

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗВЕЗДООБРАЗНОЙ КРОМКИ КОЛЛИМАТОРА МАРК-12

Балабуха Н.П.¹, Зубов А.С.¹, Меньших Н.Л.¹, Солосин В.С. *¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 24.03.2023

Одобрена после рецензирования 28.03.2023

Принята к публикации 31.05.2023

Аннотация

Рассмотрена задача об оптимизации звездообразной кромки коллиматора МАРК-12. Звездообразная кромка или отогнутый край зеркала используются для того, чтобы уменьшить влияние дифракционных эффектов на распределение поля в рабочей зоне коллиматора. В настоящее время широкое внедрение получили зубцы с криволинейными ребрами, которые при той же высоте обеспечивают более равномерное распределение поля в рабочей зоне компактного полигона. В модельной задаче дифракции на двумерном коллиматоре путем перебора была найдена форма профиля зубцов, обеспечивающая наилучшее распределение поля. Расчет дифракции в модельной задаче выполнялся методом интегральных уравнений. Было отмечено, что распределения полей в модельной задаче сильно зависят от поляризации падающей волны как для зубцов с прямолинейными, так и с криволинейными ребрами. Затем был рассмотрен ряд вариантов расположения зубцов с оптимизированной формой ребер по краю параболической части коллиматора МАРК-12. Методом физической оптики была проведена оценка распределения полей в рабочей зоне коллиматора. Показано, что модификация формы звездообразной кромки позволит уменьшить неравномерность распределения поля в рабочей зоне коллиматора на 0,6 дБ в низкочастотной части диапазона при сохранении габаритных размеров зеркала.

Ключевые слова: компактный полигон, коллиматор, рабочая зона, распределение поля, звездообразная кромка

EDN RTOOCF

Введение

Компактный полигон – это универсальный измерительный комплекс, позволяющий проводить измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн. Основой компактного полигона является коллиматор, обычно зеркальный. Точность измерений в компактном полигоне определяется неравномерностью распределения поля в его рабочей зоне [1], которая в значительной степени зависит от точности изготовления поверхности и формы кромки зеркала коллиматора.

Чтобы уменьшить влияние дифракционных эффектов на распределение поля в рабочей зоне, края зеркала коллиматора дополняют поглощающим материалом, используют фасонные окончания в виде зубцов или в виде плавного отгиба края [2–5]. Наиболее популярными направлениями остаются использование звездообразной кромки зеркала и плавного отгиба края. Большой интерес представляют зубцы с криволинейными ребрами, которые при той же высоте обеспечивают более равномерное распределение поля в рабочей зоне компактного полигона [6].

В компактном полигоне ИТПЭ РАН используется коллиматор МАРК-12, контур которого выполнен в виде звездообразной кромки из зубцов с прямолинейными ребрами. Целью настоящей работы является разработка новой формы звездообразной кромки с использованием зубцов с криволинейными ребрами.

* Автор, ответственный за переписку: Владимир Сергеевич Солосин, svsl5105@yandex.ru

Выбор формы лепестков

При разработке новой формы звездообразной кромки учитывалась необходимость сохранения габаритных размеров коллиматора (рисунок 1), так как размеры беззубой камеры заданы и должны остаться неизменными. Увеличение длины зубцов и, следовательно, габаритных размеров коллиматора естественным образом приводит к улучшению качества распределения поля в рабочей зоне. Однако рассеянные контуром коллиматора электромагнитные волны, отражаясь от близко расположенных стенок беззубой камеры, попадают в рабочую зону компактного полигона, что приводит к увеличению неравномерности распределения амплитуды поля.

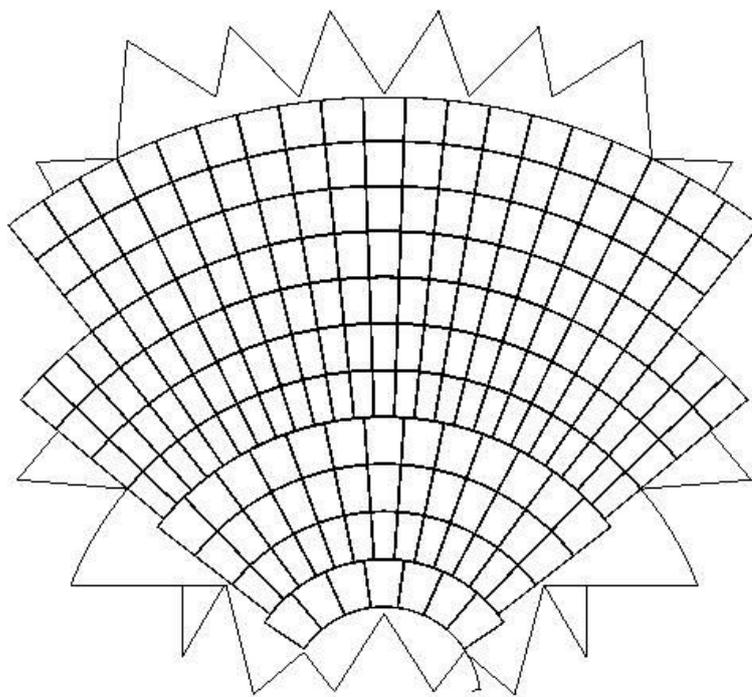


Рисунок 1 – Внешний вид рефлектора коллиматора МАРК-12

Задача модернизации формы звездообразной кромки рефлектора коллиматора решалась в два этапа. Первоначально был найден профиль ребер зубцов, который обеспечивает наилучшее распределение поля в рабочей зоне двумерного коллиматора, схематически изображенного на рисунке 2. В данной задаче двумерный коллиматор представляет собой бесконечную периодическую структуру из металлических пластин с зубцами. Параметры двумерной структуры следующие: период P (размер основания зубца) равен 0,8 м, высота зубца H – 1 м, ширина «зеркала» W – 4 м.

Плоская волна падает на рассматриваемую структуру (волновой вектор перпендикулярен плоскости чертежа, рисунок 2). На расстоянии 5 м рассчитывается распределение поля, отраженное периодической структурой. Расчет проводился на частоте 1,5 ГГц при вертикальной и горизонтальной поляризации падающей волны. На этой частоте размер зубца составляет 5 длин волн, что примерно соответствует размеру зубца коллиматора МАРК-12 на нижней частоте рабочего диапазона, где влияние дифракционных эффектов особенно заметно. Результаты расчета распределения поля для структуры с зубцами с прямолинейными ребрами представлены на рисунке 3. Расчет выполнен методом интегральных уравнений.

Из графика видно, что неравномерность распределения амплитуды поля зависит от поляризации, при этом для горизонтальной поляризации эта величина составляет 3,8 дБ. После нескольких итераций был подобран профиль ребер зубцов, при котором была достигнута минимальная неравномерность распределения амплитуды поля. Результаты расчета распределения поля для структуры с зубцами с криволинейными ребрами представлены на рисунке 4.

Для случая с криволинейными зубцами неравномерность распределения амплитуды поля также зависит от поляризации, при этом для горизонтальной поляризации эта величина составляет 3,44 дБ. Таким образом ожидаемый выигрыш от использования зубцов с профилированными ребрами может составить примерно 0,36 дБ.

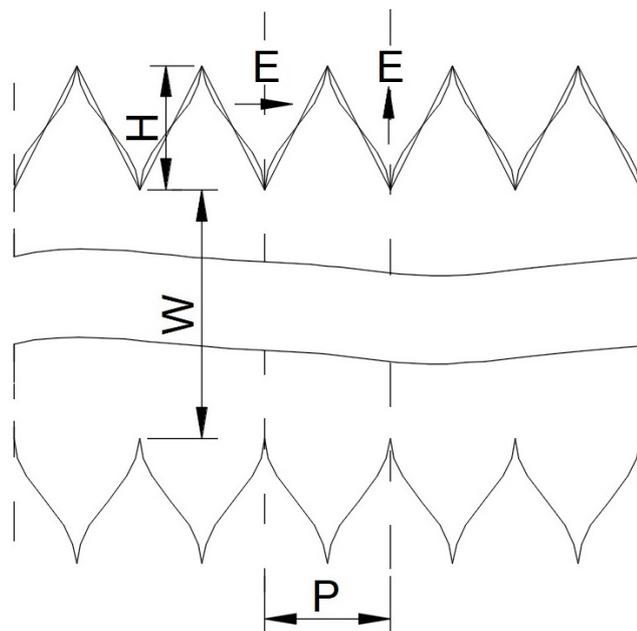


Рисунок 2 – Модель двумерного коллиматора на основе бесконечной периодической структуры из металлических пластин с зубцами разной формы

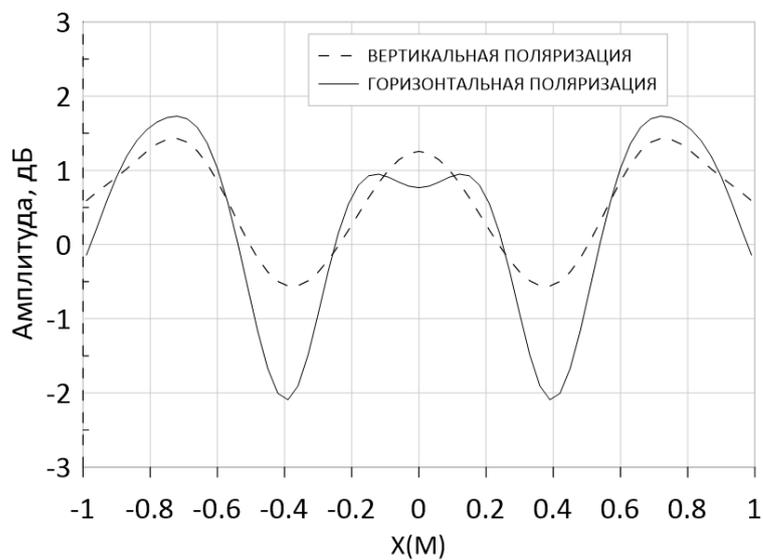


Рисунок 3 – Распределение амплитуды поля в рабочей зоне модельного двумерного коллиматора с зубцами с прямолинейными ребрами

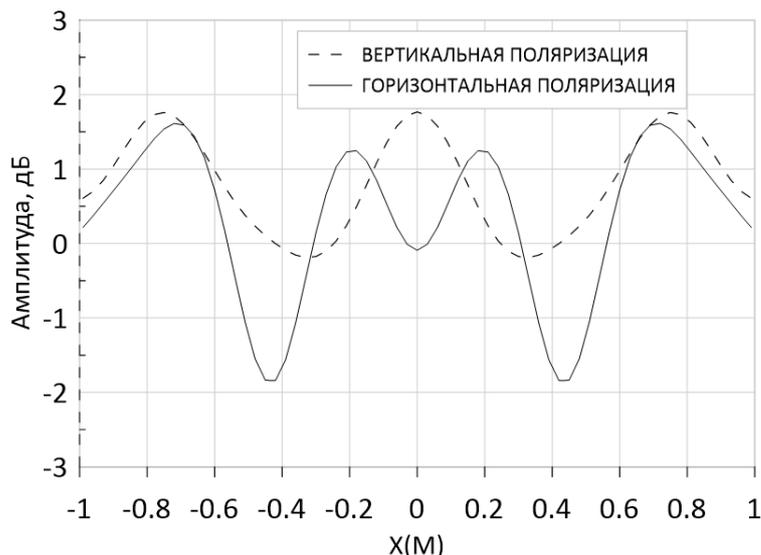


Рисунок 4 – Распределение амплитуды поля в рабочей зоне модельного двумерного коллиматора с зубцами с криволинейными ребрами

Коллиматор с модернизированными лепестками

Конечной целью является анализ распределения поля, сформированного коллиматором с модернизированной звездообразной кромкой. Учитывая возможности вычислительных ресурсов, расчет выполнялся в приближении физической оптики с помощью программного комплекса для электромагнитного моделирования ФЕКО на нижней частоте рабочего диапазона коллиматора (1 ГГц). Для рассмотрения различных вариантов размеров и форм профиля контура рефлектора была разработана программа, которая дополняет основное зеркало коллиматора зубцами с оптимизированной формой профиля.

Для анализа качества распределения амплитуды поля использовались данные, попавшие в рабочую зону - круг диаметром 6 м. Далее при анализе отбрасывается 5% точек с максимальным отклонением, чтобы получить неравномерность распределения поля в заданной области с достоверностью 95%.

После последовательных уточнений формы профиля звездообразной кромки неравномерность распределения амплитуды поля в рабочей зоне диаметром 6 м снизилась до $\pm 0,81$ дБ, что на 0,6 дБ меньше, чем для исходного варианта профиля кромки действующего коллиматора МАРК-12 при тех же габаритах рефлектора. Внешний вид коллиматора с модернизированной звездообразной кромкой показан на рисунке 5.

Заключение

В работе предложен алгоритм для оптимизации криволинейного профиля зубца. Решена задача построения оптимального звездообразного контура коллиматора МАРК-12. Показано, что, при сохранении параболической части зеркала и общих габаритов коллиматора, зеркало с оптимизированной звездообразной кромкой обеспечивает уменьшение неравномерности распределения амплитуды поля в рабочей зоне на нижних частотах рабочего диапазона на 0,6 дБ.

Список литературы

- [1] Компактные полигоны для измерений характеристик рассеяния объектов. Балабуха Н.П., Зубов А.С., Солосин В.С. - М.: Наука, 2007. 266 с.
- [2] I. J. Gupta, K. P. Ericksen, W.D. Burnside. A Method to Design Blended Rolled Edges for Compact Range Reflectors. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. V. 38, No. 6, June 1990.
- [3] T. Lee, W.D. Burnside. Performance Trade-Off Between Serrated Edge And Blended Rolled Edge Compact Range Reflectors. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, V. 44, No. 1, January 1996.

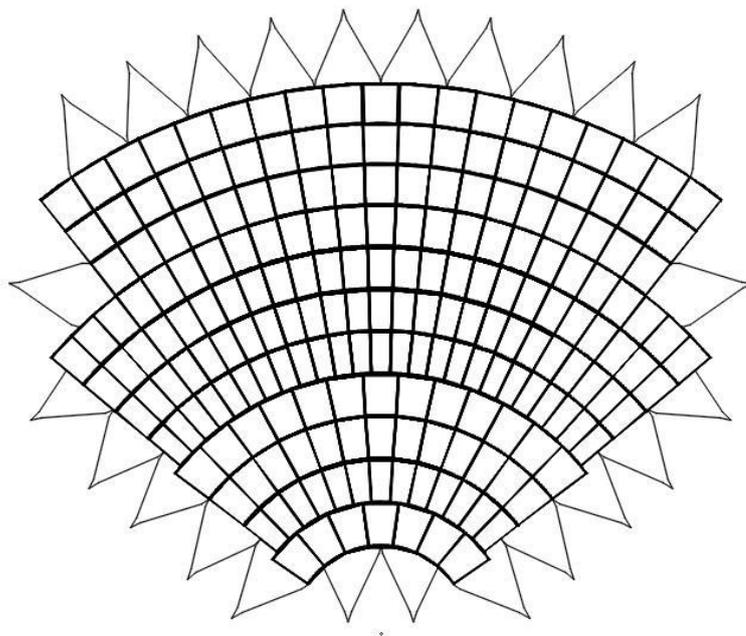


Рисунок 5 – Внешний вид рефлектора коллиматора с модернизированной звездообразной кромкой

- [4] A. M. Munos-Acevedo, M. Sierra-Castaner. An Efficient Hybrid GO-PWS Algorithm to Analyze Conformal Serrated-Edge Reflectors for Millimeter-Wave Compact Range. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. V. 60, No. 2, February 2012.
- [5] Shaohui Quan. Compact Range Performance Evaluation Using Aperture Near-Field Angular Spectrums. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, V. 61, No. 5, May 2013.
- [6] J. Hartman, D. Fasold. Advanced Serration Design For Compact Range With UDT // *AMTA Conference 2000*, pp.460-465.

MODERNIZATION OF THE SERRATED EDGE OF THE MARK-12 COLLIMATOR

Balabukha N.P.¹, Zubov A.S.¹, Menshikh N.L.¹, Solosin V.S.^{1*},

¹ Institute for Theoretical and Applied Electromagnetics of RAS, Moscow, Russia

* svsl5105@yandex.ru

Abstract

The problem of optimizing the serrated edge of the collimator MARK-12 is considered. The serrated or rolled edge of the mirror is used to reduce the influence of diffraction effects on the field distribution in the quiet zone of the collimator. Currently, teeth with curved edges have been widely introduced, which, at the same height, provide a more uniform distribution of the field in the quiet zone of a compact ranges. Using model of the two-dimensional collimator, the shape of the tooth profile was found by iteration, which provides the best smoothness of the field distribution in the quiet zone. The calculation of the diffraction problem was performed by the method of integral equations. It was shown that the field distributions in the model problem strongly depend on the polarization of the incident wave for both serrations with rectilinear and curved edges. Then a number of options for the arrangement of serrations with an optimized shape of the edges on the edge of the parabolic part of the collimator MARK-12 were considered. The physical optics method was used to evaluate the distribution of fields in the quiet zone of the collimator. It was shown that the modification of the shape of the serrated edge will reduce the nonuniformity of the field distribution in the quiet zone of the collimator by 0.6 dB in the low-frequency part of the range while maintaining the overall dimensions of the mirror.

Key words: compact range, reflector, quiet zone, field distribution, serrated edge
