

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.86:621.396.674.3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКТЕННЫХ СИСТЕМ

Г. П. Бояхчан, А. В. Ерастов, С. К. Лесота, Е. Н. Школьников

(кафедра радиофизики СВЧ)

Для приема и преобразования энергии, передаваемой мощным СВЧ-лучом, предложена ректенна (антенна-выпрямитель). Ректенна представляет собой антенную решетку с отражающей плоскостью из параллельно расположенных полуволновых вибраторов с независимыми нагрузками*. Нагрузкой вибратора служит система из согласующего фильтра, выпрямляющего диода с малыми потерями с барьером Шоттки, низкочастотного фильтра и нагрузки по постоянному току [1, 2]. Расчеты параметров ректенны при условии, что на нее падает плоская электромагнитная волна, во многом сходны с расчетами фазированных антенных решеток. Однако анализ ректенны необходимо проводить с учетом того, что эквивалентная ей передающая антенна должна иметь решетку из вибраторов, которые возбуждаются некогерентными генераторами. Этим, например, и объясняется слабая направленность ректенны [3, 4]. Целью настоящей работы являются расчеты некоторых параметров ректенны и исследование экспериментального макета. В работе рассматриваются ректенны с решетками из полуволновых вибраторов двух типов — треугольные (А) и прямоугольные (В) (рис. 1, а, λ — длина волны).

Важными характеристиками ректенны являются эффективная площадь $S_{\text{эф}}$ отдельного вибратора внутри решетки и КПД приема.

На рис. 1, б приведены графики зависимости этих параметров от геометрии решетки для ректенн с решетками бесконечных размеров. Расчеты проводились при условии нормального падения луча. Наибольшее значение $S_{\text{эф}} = 2,1 S_0$, при котором $\text{КПД} \approx 1$, получается для решеток треугольного типа (S_0 — эффективная площадь полуволнового вибратора в свободном пространстве). Резкий спад КПД при увеличении расстояния между вибраторами объясняется появлением переизлучения в боковые лепестки, что приводит к значительному уменьшению $S_{\text{эф}}$. Поэтому расстояние между вибраторами нужно выбирать так, чтобы отсутствовало переизлучение.

Интересной является возможность непосредственного согласования в решетке вибратора и полупроводникового диода. Для этих целей на рис. 2 приведены графики зависимости входного сопротивления вибратора $Z = R + jX$ от расстояний между вибраторами a , b и до отражающей плоскости h . Для существующих полупроводниковых диодов с сопротивлением порядка 150—200 Ом [5] оптимальными с точки зрения возможностей согласования являются, очевидно, решетки со значениями параметров a , b , определяемыми областью 1 на рис. 2.

При практическом конструировании ректенн полезно знать, что если значение входного сопротивления вибратора в решетке близко к

* В некоторых проектах с использованием СВЧ-луча в солнечных космических электростанциях преимущество ректенны имеют площадь до 100 кв. км и состоят из 1—10 млрд ректенных элементов.

75 Ом, то возможна независимая настройка каждой ректенны как отдельного элемента и далее сборка их в решетку определенной конфигурации (область II на рис. 2). Зависимости же $R(h)$ и $X(h)$, приведенные на рис. 2, указывают на возможность компенсации реактивной компоненты в системе вибратор — диод путем изменения расстояния h при практически неизменной величине активной составляющей сопротивления вибратора.

В практике приходится иметь дело с решетками, состоящими из ограниченного числа элементов. Поэтому важным является изучение зависимости входного сопротивления вибратора в таких решетках от числа элементов в ней N . В таблице приведены значения $R_{ц}$, $X_{ц}$ для центрального и $R_{\angle}$, $X_{\angle}$ для угловых вибраторов треугольных решеток в зависимости от N при значении параметров $a=b=0,5\lambda$, $h=0,25\lambda$. Как видно из таблицы, для того чтобы изменения R и X с ростом N не превышали 10%, необходимо использовать решетки с числом элементов более 100, при этом входное сопротивление центрального вибратора будет близко к сопротивлению вибратора бесконечной решетки (см. рис. 2).

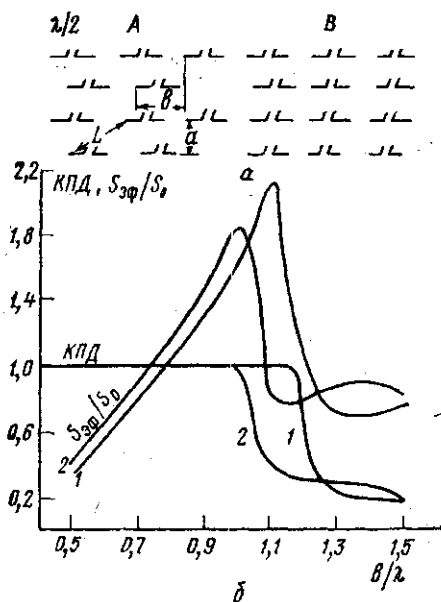


Рис. 1. Треугольные (А) и прямоугольные (В) решетки — а. Зависимости КПД и S_{30}/S_0 бесконечных решеток от расстояний между вибраторами при $h=0,25\lambda$ (h — расстояние между плоскостью вибраторов и отражающей плоскостью) для треугольных решеток при $b=L$ (1) и для прямоугольных решеток при $a=b$ (2) — б

элементов более 100, при этом входное сопротивление центрального вибратора будет близко к сопротивлению вибратора бесконечной решетки (см. рис. 2).

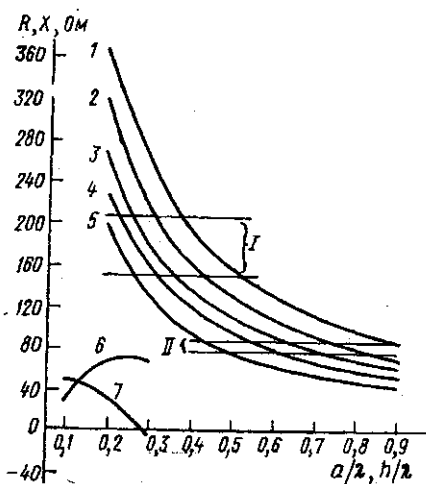


Рис. 2. Зависимости для бесконечных прямоугольных решеток: $R(a)$ при $h=0,25\lambda$ и $b=0,5\lambda$ (1); $0,6\lambda$ (2); $0,7\lambda$ (3); $0,8\lambda$ (4) и для треугольных решеток: $R(a)$ при $b=0,5\lambda$, $h=0,25\lambda$ (5); $R(h)$ при $a=b=0,5\lambda$ (6); $X(h)$ при $a=b=0,5\lambda$ (7)

Приведенные здесь результаты теоретических расчетов были использованы при конструировании и исследовании экспериментального макета ректенны, который имел приемную решетку треугольного типа, состоящую из 18 полуволновых вибраторов с параметрами решетки a , $b=0,5\lambda$, $h \geq 0,25\lambda$, $\lambda \approx 12$ см. Выпрямляющие полупроводниковые диоды с малыми потерями помещались непосредственно в зазоры вибраторов без специальных согласующих устройств, соединения их по постоянному току осуществлялись в плоскости решетки проводниками,

проходящими через центры вибраторов. Экспериментально измеренный коэффициент полезного действия ректенны имел среднее значение 65—67%. Учитывая, что потери из-за рассогласования диода и вибратора составляют 10—15% при собственном КПД диодов 80—85%, можно считать, что полученные значения для КПД ректенны являются вполне удовлетворительными.

R, X, Ом	N							
	1	5	13	25	41	61	85	113
$R_{\text{ц}}$	86	82	69	83	74	77	73	74
$X_{\text{ц}}$	72	8	22	13	23	17	22	20
$R_{\text{Л}}$	86	76	74	73	—	—	—	—
$X_{\text{Л}}$	72	62	59	59	—	—	—	—

Приведенные здесь результаты показывают, что возможно создание простых и эффективных ректенных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Glaser P. E. Science, 1968, 162, p. 857. [2] Brown W. C. Proc. of the 14th IECEC, Boston, 5—10 Aug., 1979, p. 1492. [3] Ванке В. А., Лопухин В. М., Саввин В. А. УФН, 1977, 123, № 4, с. 633. [4] Бояхчан Г. П., Ванке В. А., Лесота С. К. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1982, 23, № 4, с. 88. [5] Brown W. C. IEEE MTT Intern. Microwave Symposium. Cherry Hill, 1976, p. 142.

Поступила в редакцию
09.03.81

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1982, Т. 23, № 5

УДК 543.422.25

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДАМИ ЯМР-ИНТРОСКОПИИ

К. Л. Захаров, Ю. С. Константинов, А. М. Смирнов

(кафедра радиофизики СВЧ)

Методы, разработанные в ЯМР-интроскопии для получения томограмм неоднородных объектов, могут быть применены для изучения распределения постоянного магнитного поля с высоким пространственным разрешением. В этом случае о распределении поля можно судить по изменению резонансной частоты и формы узкой линии ЯМР, получаемой от разных элементарных объемов однородного образца [1].

В настоящей работе модифицированный метод чувствительной точки ЧТ [2] применен для изучения распределения поляризующего поля H_0 вдоль оси вращения ампулы с образцом (ось Y) в зазоре магнита спектрометра ЯМР, имеющего разрешающую способность $3 \cdot 10^{-9}$. Модификация метода ЧТ состоит в создании двух чувствительных точек: неподвижной и сканируемой по объему образца. Сигналы ЯМР от опорного и исследуемого веществ, находящихся в ампуле, регистрируются модуляционным методом [3] на разных частотах модуляции. Сигнал опорного вещества от неподвижной ЧТ, совмещенной с областью достаточно однородного поля H_0 , используется для внутренней протон-