

УДК 523.164

КВАЗИОПТИЧЕСКОЕ РАДИОВИДЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СТАНДАРТНЫХ АНТЕНН

Э. И. Гельфер, В. Б. Кравцов, С. Е. Финкельштейн, А. В. Шишарин

Экспериментально показана возможность квазиоптического радиовидения в миллиметровом диапазоне при использовании стандартной параболической антенны для построения изображения объектов.

Интерес к прямому квазиоптическому радиовидению в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах обусловлен меньшим (по сравнению с оптическим) поглощением радиоволн в рассеивающей среде (туман, дымка) и в то же время еще достаточно высоким разрешением при небольших апертурах приемных систем. В опубликованных экспериментальных работах по прямому наблюдению изображений объектов при помощи радиоволн [1, 2] изображение формировалось диэлектрической линзой, а наблюдаемый объект был удален от линзы на расстояние порядка метра. Для того, чтобы эксперименты по радиовидению имели практическое значение, дальнейшая работа в этой области, очевидно, должна вестись в направлении увеличения расстояний до объекта, а следовательно, и увеличения размеров формирующей системы для улучшения ее разрешающей способности и энергетики. Трудности изготовления высококачественных радиолинз и зонных пластинок большого диаметра и значительное ослабление ими проходящей волны заставляют обратиться к поискам других формирующих устройств.

В настоящей статье исследуется возможность использования для формирования радиоизображения стандартных антенн миллиметрового диапазона. Обычным в миллиметровой технике короткофокусным параболическим зеркалам присущи значительные aberrации. Чтобы оценить их влияние, необходимо было: а) измерить распределение интенсивности в изображении удаленного точечного источника; б) сравнить эти распределения для двух источников: расположенного на оптической оси антенны и смещенного от нее на угол φ ; в) изучить форму каустической поверхности при смещении источника в плоскости, перпендикулярной оси антенны.

Исследования проводились с параболической зеркальной антенной диаметра $D = 133$ см с фокусным расстоянием $F = 57$ см на длине волны $\lambda = 8$ мм. Эксперимент показал, что распределение интенсивности поля в изображении точки близко совпадало с расчетным, а изменение его при смещении источника на угол $\varphi = 11\lambda/D$ несущественно для задачи построения изображения. Сечения каустической поверхности определялись следующим образом: источник излучения перемещался перпендикулярно оптической оси антенны на расстоянии 6 м от нее и измерялись координаты максимума интенсивности принятой антенной волны. Полученная зависимость показала, что при угловом смещении источника, меньшем $10\lambda/D$, отклонение каустической поверх-

ности от плоскости изображения не превышает дифракционной глубины максимума вдоль оси антенны [3],

$$\Delta z = \pm \frac{\lambda}{2} \left(\frac{2F}{D} \right)^2 \approx \pm 3 \text{ мм},$$

и можно считать изображение всех точек лежащим в одной плоскости.

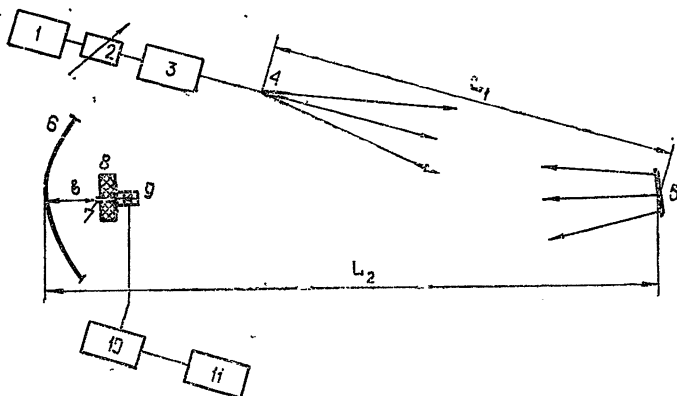


Рис. 1. Блок-схема установки:

1—генератор; 2—регулируемый аттенюатор; 3—модулятор; 4—рупорная антенна; 5—отражающий объект; 6—приемная антенна; 7—волновод; 8—поглотитель; 9—детекторная головка; 10—селективный усилитель; 11—регистрирующий потенциометр.

Непосредственно эксперимент по построению изображения объектов параболической антенной проводился в отраженном излучении по схеме рис. 1. Высокочастотный сигнал генератора 1 излучался рупорной антенной 4. Расходящаяся волна, прошедшая путь L_1 в свободном пространстве, отражалась объектом 5 и принималась параболической антенной, расположенной на расстоянии L_2 от объекта. В эксперименте расстояния были равны $L_1 = L_2 = 7 \text{ м}$. В качестве объекта было выбрано квадратное металлическое зеркало размером $50 \times 50 \text{ см}^2$, на котором можно было укреплять различные фигуры из поглотителя. В плоскости, сопряженной плоскости объекта ($b = 63 \text{ см}$ при $a = L_2 = 7 \text{ м}$), перемещался щуп в виде открытого конца волновода, соединенного с детекторной головкой. Принятый сигнал детектировался, усиливался и фиксировался на регистрирующем потенциометре.

На рис. 2 приведены полученные таким образом одномерные распределения интенсивности в изображении объекта — зеркала с укрепленной на нем вертикальной полоской из поглотителя. Ширина полоски менялась от $l = 15 \text{ см}$, что в несколько раз больше теоретического предела разрешения на этом расстоянии.

$$\frac{\lambda}{D} a \approx 4 \text{ см},$$

до $l = 2 \text{ см}$, что меньше расчетной величины разрешения. Тем не менее при $l = 2 \text{ см}$ еще виден четкий провал в изображении (рис. 2 в). Это объясняется тем, что реальная ширина неотражающей части объекта больше l из-за затенения прилегающих к полоске участков зеркала, так как излучение падает на зеркало под углом и толщину поглотителя нельзя считать малой ($h = 5 \text{ см}$). На рис. 2 а, б стрелками отмечены расчетные размеры в получающемся изображении $l' = l \frac{b}{a}$.

Из графиков видно, что на расстоянии 7 м могут быть разрешены объекты размером порядка нескольких сантиметров.

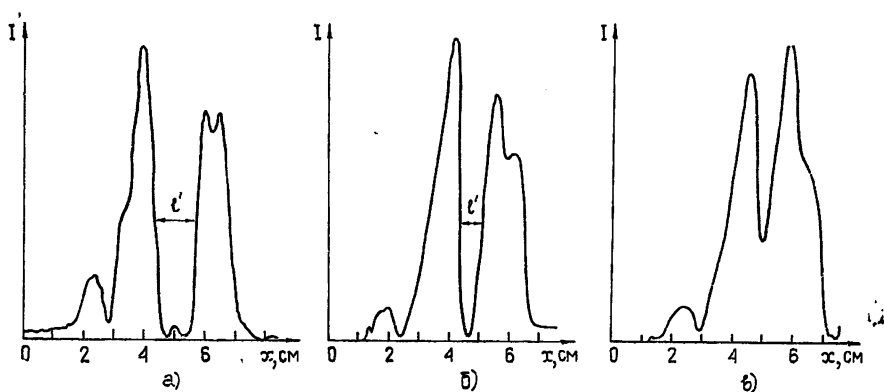


Рис. 2. Зондограммы изображений объекта в виде металлического зеркала с вертикальной полоской из поглотителя толщиной $h = 5$ см и шириной l (а) $l = 15$ см, б) $l = 6,5$ см, в) $l = 2$ см); x —координата в плоскости изображения.

Двумерные радиоизображения объектов были получены по схеме рис. 1 при $L_1 = L_2 = 6$ м методом механического сканирования дополнительно установленного плоского контррефлектора. На расстоянии 51 см от центра антенны устанавливалось плоское металлическое зеркало, которое могло изменять угол наклона в вертикальной и горизонтальной плоскостях. При повороте контррефлектора картина распределения поля смещалась относительно неподвижно установленного волноводного щупа. Расстояние между волноводом и зеркалом плавно изменялось для нахождения плоскости изображения. Проверка распределения интенсивности в фокальном сечении показала, что влияние контр-рефлектора сказалось на боковых лепестках, однако, несущественно изменило форму и ширину центрального максимума. Расфокусировка при максимальных углах поворота зеркала рефлектора не превышала глубины пятна изображения вдоль оптической оси антенны, к тому же она частично компенсировалась аберрациями антенны.

Сигнал, принятый антенной, после детектирования и усиления модулировал яркость электронного луча осциллографа, вертикальное и горизонтальное смещения которого были синхронизованы с движением контррефлектора. Время развертки всего кадра из 20 строк—15 с.

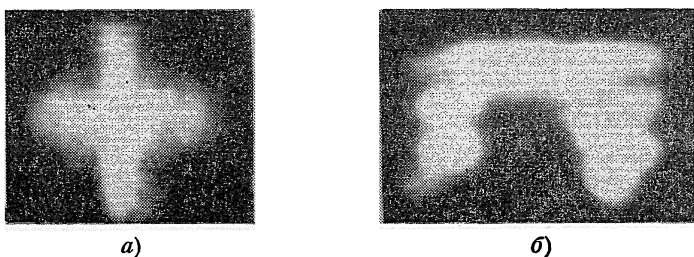


Рис. 3.

На рис. 3 приведены двумерные изображения, сфотографированные с экрана осциллографа. Объекты — металлические крест и буква Π с шириной полос 5—10 см.

Приведенные результаты показывают, что обычная короткофокусная параболическая антенна дает возможность наблюдать изображения объектов на миллиметровых волнах с разрешением, близким к теоретическому пределу. Выбранные расстояния до объектов (6—7 м) определялись только реальными условиями эксперимента и не ограничивались ни энергетикой системы, ни параметрами антенны, так как с увеличением расстояния плоскость изображения приближается к фокальной и влияние аберраций на изображение, по крайней мере, не увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 В. А. Павельев, Э. И. Вайнберг и др., Радиотехника и электроника, 17, № 7, 1547 (1972).
- 2 Хофер, Джекобс, Шумахер, Зарубежная радиоэлектроника, № 6, 93 (1972).
- 3 М. Борн, Э. Вольф, Основы оптики, изд. Наука, М., 1970.

Горьковский государственный университет

Поступила в редакцию
20 марта 1974 г.

QUASI-OPTICAL RADIO VIEWING USING STANDARD ANTENNAS

E. I. Gel'fer, V. B. Kravtsov, S. E. Finkel'shtein, A. V. Shisharin

The possibility of quasi-optical radio viewing at millimeter wavelengths using a standard parabolic antenna for constructing the object images is experimentally shown.
