

УДК 621.396.628 : 523.164

РАДИОТЕЛЕСКОП МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН С ЗАПОЛНЕННОЙ АПЕРТУРОЙ

В. В. Виткевич, Ю. П. Илясов, С. М. Кутузов

После открытия пульсаров и бурного развития исследований их основных характеристик наступил период более планомерного и глубокого изучения особенностей их излучения. В исследовании собственно пульсаров можно выделить два основных направления — детальное изучение радиоизлучения уже открытых пульсаров и поиск новых пульсаров с помощью радиотелескопов с большой чувствительностью. Значительный научный интерес представляют исследования межзвездной среды методом просвечивания с помощью пульсаров [1]. Близкой этому направлению, с точки зрения методики, является задача исследования межпланетной неоднородной плазмы методом просвечивания ее дискретными источниками малых угловых размеров [2]. По известным средним характеристикам межпланетной среды можно оценить угловые размеры и распределение радиояркости по сравнительно компактным дискретным радиоисточникам с разрешением порядка нескольких угловых секунд. Такого разрешения в метровом диапазоне волн на существующих или проектируемых радиотелескопах пока нельзя получить.

Ниже рассматривается возможность создания в метровом диапазоне волн радиотелескопа, предназначенного для исследования пульсаров и наблюдения мерцаний дискретных радиоисточников на неоднородностях межпланетной среды.

1. ВОЗМОЖНЫЙ ТИП РАДИОТЕЛЕСКОПА

Радиотелескопы, предназначенные для исследования дискретных источников, должны иметь большую разрешающую способность, чтобы уменьшить эффект «путаницы» [3], и создаются, как правило, с незаполненной апертурой.

В 1969 г. была обоснована необходимость и возможность создания крупного радиотелескопа метровых волн с заполненной апертурой и большой эффективной площадью, предназначенного для дальнейшего развития исследований по отмеченным во введении направлениям [4]. Для исследования пульсаров эффект «путаницы» по главному лепестку диаграммы направленности при предельно допустимых на сегодня чувствительностях не возникает, а для мерцающих радиоисточников появляется только для $A_{эфф} > 2 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ при расстоянии от Солнца $R_{\odot} < 40^{\circ}$. Если $R_{\odot} > 40^{\circ}$, эффект «путаницы» для мерцающих источников начнет проявляться для $A_{эфф} > 10^5 \text{ м}^2$ на волнах порядка $3 \div 3,5 \text{ м}$ [4].

При исследованиях пульсаров и мерцающих радиоисточников необходимо иметь радиотелескоп с большой чувствительностью и сравнительно невысокой разрешающей способностью. Для увеличения чувствительности при наблюдении пульсаров и мерцающих радиоисточников нельзя выбирать большую постоянную времени, так как она определяет

ся длительностью импульса или периодом мерцаний. По различным причинам полосу приема также приходится ограничивать долями процента или, в лучшем случае, несколькими процентами. Единственным и радикальным способом повышения чувствительности радиотелескопа является увеличение его эффективной площади. В настоящее время имеются технические возможности, позволяющие создавать в метровом диапазоне волн радиотелескопы с эффективной площадью порядка нескольких десятков тысяч квадратных метров с электрически управляемой диаграммой направленности.

С точки зрения требуемой формы диаграммы направленности такого радиотелескопа перечисленные выше задачи определяют несколько его характерных особенностей. Во-первых, желательно, чтобы исследуемый объект как можно дольше находился в диаграмме направленности радиотелескопа. Для этого радиотелескоп должен иметь либо широкую диаграмму направленности по часовому углу, либо давать возможность некоторое время сопровождать наблюдаемый объект. Во-вторых, для обзорных работ с целью поиска неизвестных пульсаров и мерцающих радиоисточников желательно иметь радиотелескоп с диаграммой направленности, широкой по углу места.

Для решения поставленных задач в метровом диапазоне волн кажется удобным построить радиотелескоп в виде большой многоэлементной антенной решетки. При использовании многоэлементной решетки можно получить многолучевую диаграмму направленности в телесном угле, определяемом группой элементов или единственным элементом решетки.

Решетки с многолучевой диаграммой направленности позволяют значительно увеличить скорость съема информации, а также получить радиоизображение протяженного радиоисточника. В общем случае для многоэлементной решетки можно, например, получить «крестообразное» расположение лучей (рис. 1). Вертикальная строка удобна при проведе-

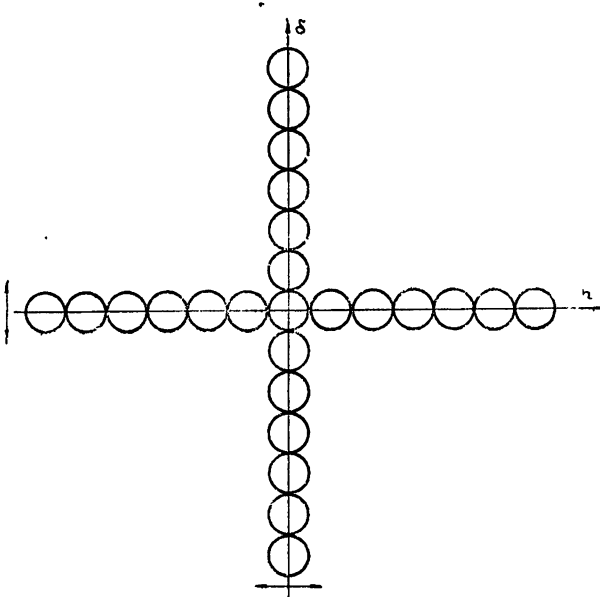


Рис. 1.

нии обзорных работ, а горизонтальная — при слежении за источником и для увеличения времени экспозиции. Для многоэлементной решетки

нет принципиальных затруднений в получении такой или прямоугольной матрицы лучей. На наш взгляд, системы с многолучевыми диаграммами направленности могут оказаться весьма перспективными для решения многих задач.

Конечно, для построения такого радиотелескопа должны использоваться антенные усилители, фазирующие устройства и сложная электронная регистрирующая аппаратура. Для одного радиотелескопа можно применить одновременно несколько фазирующих устройств. При этом каждый выход фазирующего устройства соответствует определенному лучу.

Наиболее простой случай — это многоэлементная плоская решетка излучателей, разделенная на равные секции по одной координате. Выходы от этих секций соединяются с диаграммообразующей системой, например с фазирующей матрицей Батлера.

2. ПРОЕКТ БСА ФИАН

С учетом изложенных выше принципов разработан проект, по которому создается антенна — БСА ФИАН (Большая сканирующая антенна Физического института АН СССР).

БСА ФИАН будет представлять собой плоскую многоэлементную фазирруемую прямоугольную решетку размером 187×384 м из волновых диполей (рис. 2).

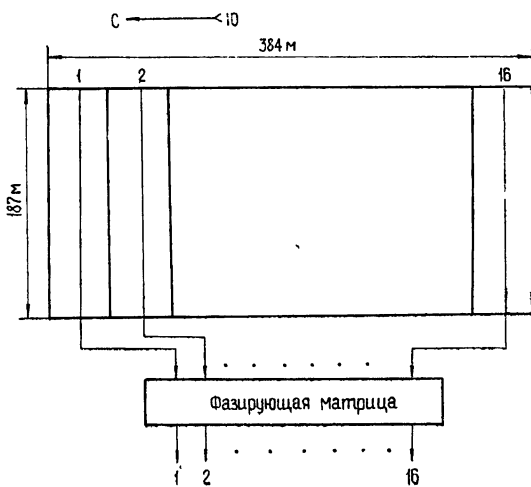


Рис. 2.

Основные проектные параметры БСА ФИАН. Диаграмма направленности одного луча в E - и H -плоскостях по уровню 0,5 мощности (в зените) $1^\circ,5 \times 0^\circ,5$.

Расстояние между элементами соответственно в E - и H -плоскостях

Количество диполей

Количество лучей

Рабочая частота антенны

Полоса $2\Delta f$

Ожидаемая эффективная площадь

(в зените)

Поляризация

$0,99 \lambda \times 0,5 \lambda$

16384

16

102,5 МГц

3%

$\sim 2,5 \cdot 10^4$ м²

линейная,

восток — запад

Предельная флуктуационная чувствительность без учета эффекта «путаницы»

(при отношении сигнал/шум = $\frac{5}{1}$, посто-

янной времени — 1 сек и полосе приема — 500 кГц)

Сектор обзора

$$0,5 \cdot 10^{-26} \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц}$$

110° (от —35° + 75°)
по зенитному рас-
стоянию

Полное время обзора неба в указанном выше секторе

15—20 суток

Вся антенна в направлении север — юг разделена на 16 отдельных полотен, которые соединяются с фазирующей матрицей Батлера. С помощью фазирующей матрицы формируется 16-лучевая диаграмма направленности в H -плоскости (рис. 3), так что каждому выходу фазирующей матрицы соответствует свой набор дифракционных лучей. Штрихпунктирная кривая на рис. 3 соответствует диаграмме направленности одного полотна. Эта диаграмма вырезает для каждого выхода фазирующей матрицы из соответствующего набора дифракционных лучей только один луч*.

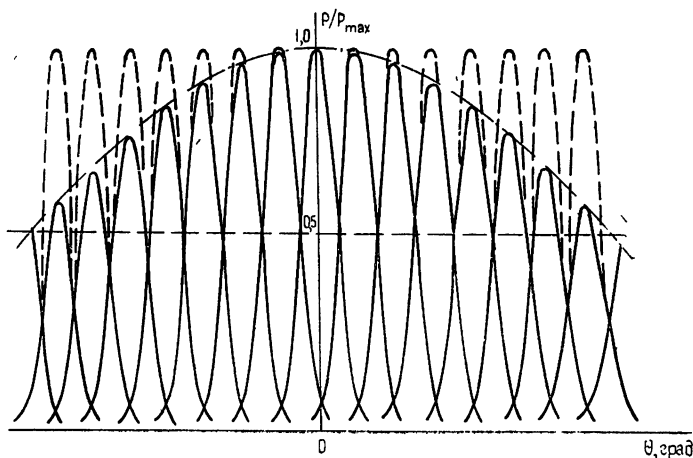


Рис. 3.

Каждое полотно антенны состоит из двух секций. Секция, схема которой приведена на рис. 4, состоит из восьми рядов диполей, объединенных системой фазирования. В каждом ряду 64 волновых диполя разделены на 4 группы. Диполи в группах объединяются последовательно, а группы — параллельно с помощью двухпроводной открытой линии.

В центре каждого ряда устанавливается симметрирующее устройство, выход которого подсоединяется к системе фазирования секции. Система фазирования секции, работающей по временному принципу, состоит из 7 дискретных и 4-разрядных дистанционно-управляемых фазовращателей. Кроме того, каждый фазовращатель с помощью квадратного переключателя позволит переключить задержки из одного плеча фазо-

* Это утверждение неточно для крайних лучей. На границах сектора, определяемого диаграммой направленности одного полотна, получается неоднозначность, так как одному выходу соответствуют два луча одинаковой величины. Неоднозначность разрешается при переборе диаграммы направленности полотна на один дискретный шаг.

вращателя в другое. Диаграмма секции предварительно наклонена на 14° к югу от зенита. Четыре разряда дискретных фазовращателей обеспечивают перекрытие всего сектора обзора 110° с пересечением диаграмм направленности полотна по уровню 0,88 мощности.

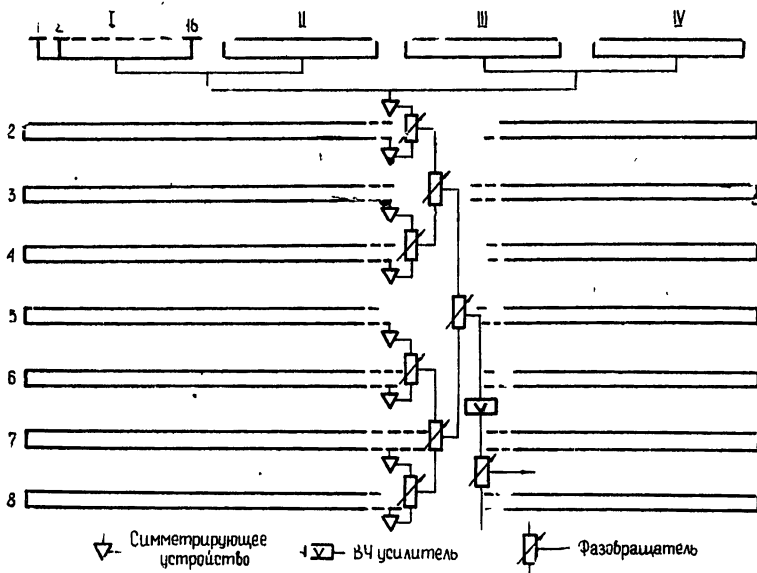


Рис. 4.

На выходе системы фазирования каждой секции устанавливается маломощный предусилитель. После предусилителей устанавливается еще один фазовращатель, объединяющий две секции в полотно.

В настоящее время многие узлы антенны проверены экспериментально. Экспериментальные характеристики хорошо соответствуют теоретическим оценкам, и это дает основание полагать, что в будущем при создании антенны удастся реализовать проектные параметры БСА ФИАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Виткевич, Ю. П. Шитов, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 13, № 12, 1888 (1970).
2. В. В. Виткевич, Докл. АН СССР, 77, № 4 (1951).
3. В. В. Виткевич, Астрон. ж., 34, вып. 3, 349 (1957).
4. В. В. Виткевич, Ю. П. Илясов, Вопросы создания крупных радиотелескопов в свете новых задач радиоастрономии (пульсары, мерцания), Препринт ФИАН № 144, 1969