Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 3

АСТРОНОМИЯ

В. В. ВИТКЕВИЧ

НОВАЯ СИСТЕМА МОДУЛЯЦИОННОГО РАДИОПРИЕМА СЛАБЫХ СИГНАЛОВ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАДИОТЕЛЕСКОПА СВЕРХВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СИЛЫ*

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 3 III 1955)

1. В работе (1) нами впервые была предложена технически осуществимая система радиоинтерферометра с узкой диаграммой радиоприема. Принцип работы этой системы состоит в том, что наличие широкой полосы пропускания многоэлементного радиоинтерферометра (2,3) обеспечивает когерентное сложение напряжений от различных антенн только в пределах весьма малого телесного угла.

Положение главного лепестка диаграммы радиоприема может изменяться посредством изменения длин кабелей (каналов) от каждой из антенн до точки их соединения. Эта система дает возможность осуществить прием с диаграммой порядка десятка и менее угловых минут для волн метрового диапазона.

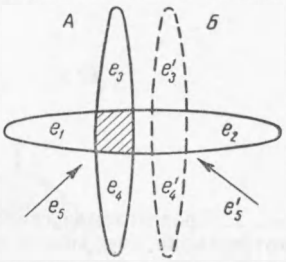


Рис. 1. Диаграммы приема 2-й антенны: *А* — первое положение; *Б* — второе положение

2. В последнее время была описана другая система узконаправленного радиоприема (4), состоящая из двух антенн. Первая антенна имеет размер в одном направлении x_1, а во втором y_1, причем $x_1 \gg y_1$. У второй антенны $y_2 \gg x_2$. Если через φ_{y1} и φ_{x1} обозначить углы раствора первой антенны в направлении, соответственно, x и y, а через φ_{y2} и φ_{x2} углы раствора второй антенны, то очевидно, что $\varphi_{y1} \gg \varphi_{x1}$; $\varphi_{x2} \gg \varphi_{y2}$. Если на сфере, окружающей обе антенны, вычертить кривые, ограничивающие телесные углы, определяемые диаграммами радиоприема каждой из антенн, то получим рис. 1.

Представим полную эдс, наводимую в первой антенне, как сумму $e_1 + e_2 + e_5$, где e_5 — эдс от источников, расположенных в пределах общего телесного угла диаграмм двух антенн, а $e_1 + e_2$ — эдс от источников, расположенных в пределах телесного угла только первой антенны; эдс, наводимую во второй антенне, можно представить в виде суммы $e_3 + e_4 + e_5$.

Будем складывать эдс, наводимые в каждой из антенн, в фазе и противофазе попеременно. Тогда появится переменная составная эдс с амплитудой e_5.

Если производить радиоприем с узкополосным фильтром, включенным после детектора на выходе *УПЧ*, то очевидно, что можно будет измерить только эдс e_5, и таким образом можно будет осуществить радиоприем в пределах угла φ_{x1} в направлении x и φ_{y2} в направлении y.

* Доложено на коллоквиуме лаборатории колебаний Физического института АН СССР 22 IV 1954 г.

3. Недостатком описанной системы является то, что отдельные антенны, из которых образуется «крест», являются антеннами, состоящими из ряда вибраторов, расположенных в непосредственной близости друг от друга. Такую систему большой разрешающей силы не легко выполнить технически, если размеры антенн велики, а самое главное, при помощи такой системы практически не представляется возможным изменять направление угла приема.

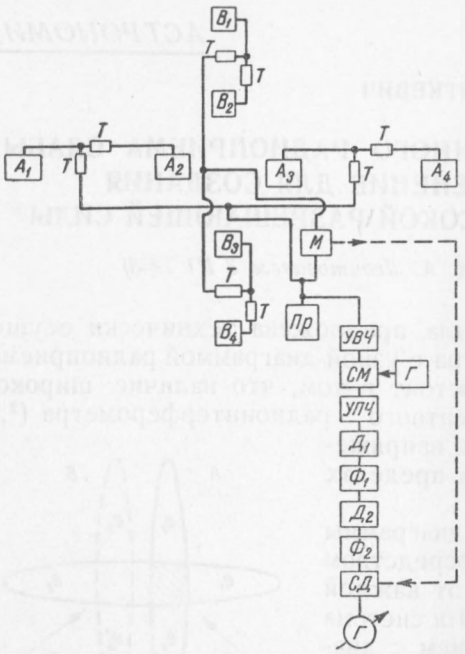


Рис. 2. Предлагаемая скелетная схема радиотелескопа сверхвысокой разрешающей способности с электрически управляемой диаграммой радиоприема. A, B — отдельные антенны; T — тромбоны, управляющие диаграммой радиоприема; M — модулятор; *УВЧ* — усилитель высокой частоты; *Г* — гетеродин; *УПЧ* — усилитель промежуточной частоты; $Д_1$ — детектор; $Ф_1$ — усилитель-фильтр на частоту Ω_1; $Д_2$ — детектор; $Ф_2$ — усилитель-фильтр на частоту Ω_2; *СД* — синхронный детектор

Соединим наш принцип широкополосного радиоприема, изложенный в п. 1, и принцип, изложенный в п. 2. Мы получаем тогда новую систему (рис. 2), обладающую узкой диаграммой радиоприема.

Модулятор M периодически с частотой Ω_1 изменяет фазу сложения эдс от каждой из широкополосных антенн, так что при сложении модулируется только эдс e_5, наводимая источниками, расположенными в пределах телесного угла, общего для двух диаграмм антенн. Посредством изменения электрических длин каналов до каждой из антенн (при помощи схематически указанных тромбонов T), очевидно, можно изменять направление главного максимума радиоприема.

Раствор диаграммы радиоприема определяется так ([2]):

в направлении x $\varphi_x = \frac{\lambda (N_x - 1)}{N_x D_x}$;

в направлении y $\varphi_y = \frac{\lambda (N_y - 1)}{N_y D_y}$,

где N_x и N_y — число антенн в каждом из рядов, соответственно, в направлении x и в направлении y; D_x и D_y — расстояния между крайними антеннами соответствующих рядов.

Отметим, что в рассматриваемом случае раствор диаграммы радиоприема и коэффициент усиления не имеют однозначной связи.

4. Системы, описанные в пп. 2 и 3, дают возможность принимать всю энергию источников, попадающих в телесный угол радиоприема. Однако для выделения локальных источников радиоизлучения на общем фоне Галактики целесообразно применять пространственную модуляцию диаграммы радиоприема. Это можно осуществить посредством соответствующего одновременного изменения длин каналов от общей точки их соединения до каждой из антенн, причем если такое изменение производить у одного ряда антенн, то модуляция будет осуществляться в направлении его расположения. Такую модуляцию нельзя осуществлять с той же частотой, что и частота переключения длины канала при сложении, т. е. с частотой Ω_1, так как в этом случае остро направленные свойства радиоприема исчезли бы.

Для того чтобы сохранить остро направленные свойства радиоприема и вместе с тем исключить общий фон радиоизлучения Галактики,

мы предлагаем применить модуляцию с различными частотами — осуществлять с низкой частотой Ω_1 модуляцию фаз сложения эдс от каждой из антенн и с низкой частотой Ω_2 пространственную модуляцию, причем $\Omega_1 \gg \Omega_2$. Нас интересует разность энергий $\overline{e_5^2} - \overline{e_5'^2} = \overline{\Delta e_5^2}$, где черта сверху обозначает усреднение по высокой частоте.

На входе радиоприемника при пространственной модуляции 2-й антенны, кроме не модулированных по низкой частоте напряжений $\overline{e_1^2}$ и $\overline{e_2^2}$, возникают следующие модулированные по низкой частоте напряжения (рис. 3):

$$\sqrt{\overline{[e_5^2 - e_5'^2]}}\,(1 + \cos\Omega_2 t)\,(1 + \cos\Omega_1 t);$$

$$\sqrt{\overline{(e_3 + e_4)^2 - (e_3' + e_4')^2}}\,(1 + \cos\Omega_2 t).$$

Включим на выходе *УПЧ* линейный детектор, как показано на рис. 2; на его выходе будут следующие слагающие тока:

$$\sqrt{\overline{(e_3 + e_4)^2 - (e_3' + e_4')^2}}\cos\Omega_2 t;$$

$$\sqrt{\overline{e_5^2 - e_5'^2}}\,\{\cos\Omega_2 t + \cos\Omega_1 t + \cos\Omega_2 t\cos\Omega_1 t\}.$$

Включим усилитель-фильтр Φ_1, настроенный на частоту Ω_1 с полосой пропускания $2\Omega_2$. Тогда на его выходе останется только такое напряжение:

$$\sqrt{\overline{e_5^2 - e_5'^2}}\cos\Omega_1 t\,\{1 + \cos\Omega_2 t\}.$$

После следующего линейного детектирования останется переменная составляющая $\sqrt{\overline{e_5^2 - e_5'^2}}\cos\Omega_2 t$, которая после квадратичного детектирования даст искомое значение мощности $\overline{\Delta e_5^2}$, в то время как другие составляющие эдс отфильтруются; таким образом, мы получаем на выходе величину, которую и требуется измерить.

Чувствительность радиоприема определяют внутренние и внешние шумы аппаратуры ([5]).

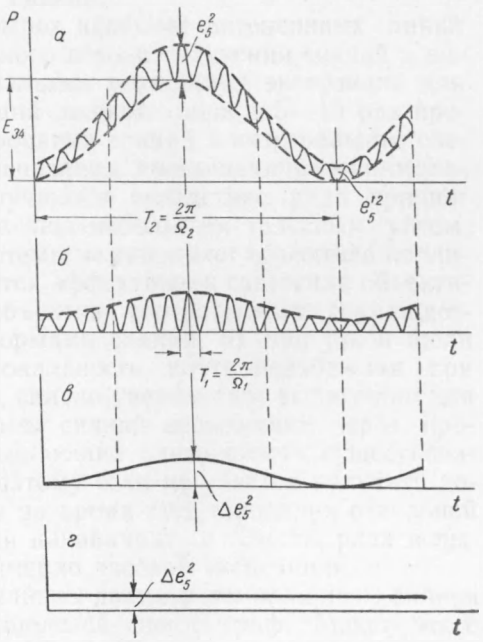


Рис. 3. Энергия: *а* — на входе приемника; *б* — на выходе фильтра Φ_1; *в* — на выходе фильтра Φ_2; *г* — на выходе синхронного детектора, значение которой регистрируется

5. Предложенный нами принцип двойной (в общем случае многократной) модуляции применен для создания новой системы радиотелескопа сверхвысокой разрешающей способности. Однако он может быть применен и для других задач, из которых мы рассмотрим только одну.

Известно, что для надежного наблюдения монохроматического радиоизлучения целесообразно применять радиометр с частотной моду-

ляцией ([6]). Однако для выделения отдельных локальных источников монохроматического радиоизлучения полезно применить метод качающейся диаграммы радиоприема. Таким образом, для непосредственного выделения локальных монохроматических источников излучения целесообразно осуществлять двойную модуляцию — частотную модуляцию с частотой Ω_1 и качание диаграммы радиоприема с частотой $\Omega_2 \ll \Omega_1$, а для приема применить систему, описанную выше (рис. 2).

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
4 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. В. Виткевич, ДАН, **91**, № 6 (1953). [2] В. В. Виткевич, Р. Л. Сороченко, Астр. журн., **30**, № 6 (1953). [3] В. В. Виткевич, Астр. журн., **29**, № 4 (1952). [4] B. Mills, Observatory, October (1953). [5] В. В. Виткевич, Астр. журн., **29**, № 1 (1952). [6] В. В. Виткевич, Астр. журн., **29**, № 5 (1952)