

Радиотехнический комплекс для научных экспериментов в режиме многочастотного синтеза

© Б. З. Каневский¹, М. Г. Ларионов¹, А. Е. Вольвач⁴,
В. А. Зуга¹, А. В. Коваленко², А. М. Кутькин¹, А. И. Смирнов¹,
С. В. Сазанков¹, Д. И. Суворин², Б. Л. Коган³, Р. А. Черный¹

¹АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

²ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пущино, Россия

³ООО НПП «Контакт-Технология», г. Москва, Россия

⁴ФГБУН «КраО РАН», пос. Научный, Россия

В настоящее время радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ) является самым совершенным измерительным методом, позволяющим получать высококачественные изображения астрономических объектов с наивысшим угловым разрешением.

Многочастотный синтез (МЧС) в РСДБ предполагает картографирование радиисточника последовательно на нескольких частотах с целью улучшения заполнения UV -плоскости и, таким образом, повышения качества синтезируемых изображений.

В данной статье представлены результаты наблюдений радиисточника W49N с помощью радиотехнического комплекса, установленного на антеннах в Пущино и Симеизе, а также результаты разработки программного обеспечения для автоматизации процесса перестройки частоты приемника и калибровочных измерений.

Ключевые слова: многочастотный синтез, РСДБ, UV -плоскость, функция видности.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.48.64-69>

Введение

Заполнение UV -плоскости пространственных частот в радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) в основном осуществляется за счет использования нескольких антенн в условиях суточного вращения земли. Однако апертура радиоинтерферометра никогда не бывает заполненной полностью из-за прерывания наблюдений, ограничения времени наблюдений и количества антенн.

Координаты U - и V - функции видности измеряются в длинах волн, поэтому альтернативный метод заполнения UV -плоскости — наблюдение источника последовательно на нескольких частотах. Такой способ быстрого заполнения апертуры получил название многочастотного синтеза (МЧС) [1].

По сравнению с одночастотным синтезом [2], МЧС дает возможность получить гораздо более плотное заполнение UV -плоскости и увеличить диаметр синтезированной апертуры.

Для этих целей в АКЦ ФИАН был разработан высокочувствительный радиотехнический комплекс, установленный на антеннах РТ-22 в Пущино и РТ-22 в Симеизе.

Схема приемника и элементов управления

На рис. 1 изображена схема радиотехнического комплекса на диапазон частот 18–26 ГГц.

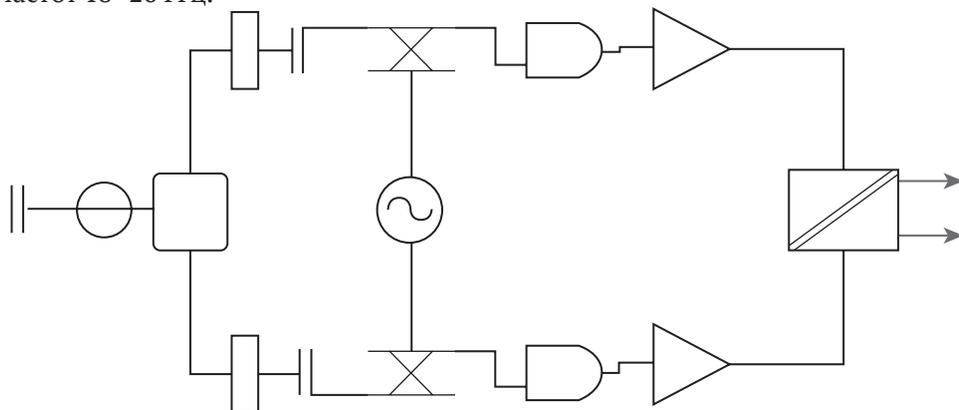


Рис. 1. Схема радиотехнического комплекса на диапазон частот 18–26 ГГц

Радиотехнический комплекс состоит из антенно-фидерного устройства (АФУ), обеспечивающего двухканальный прием излучения при наблюдениях источников излучения в режиме РСДБ.

Вид данного комплекса представлен на рис. 2.

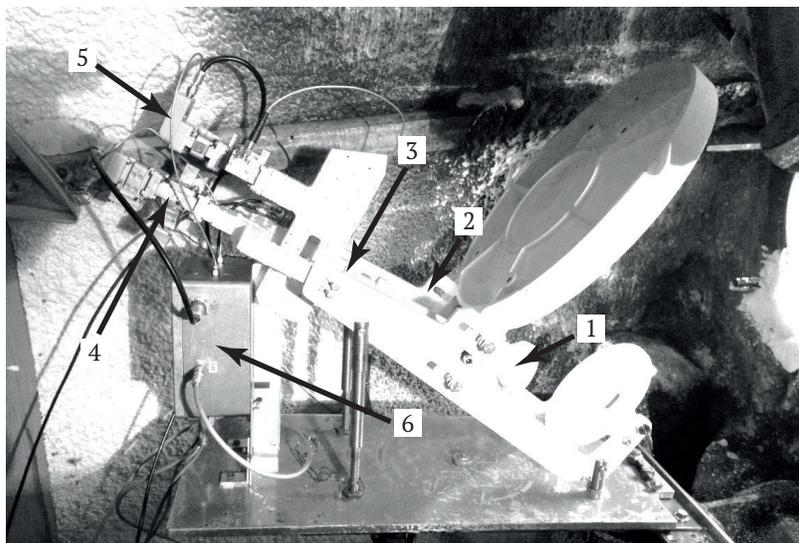


Рис. 2. Приемный радиотехнический комплекс на диапазон частот 18–26 ГГц (Пущино — Симеиз)

В состав АФУ входят: главное зеркало, контррефлектор, тракт в сборе с облучателем, пространственный элемент крепления составляющих устройства в рабочем положении, винты, гайки, шайбы.

Основные технические параметры АФУ:

— коэффициент стоячей волны по напряжению АФУ в рабочей полосе частот — не более 1.3;

— потери мощности всего АФУ — не более 0.3 Дб;

— уровень кроссполяризации по каждому из выходов — не менее 25 Дб.

АФУ имеет два волноводных выхода (правая и левая круговые поляризации) по стандартным фланцам прямоугольных волноводов сечения 11 x 5.5.

С помощью системы зеркал сигнал попадает в рупор (1), затем в поляризатор (2) и селектор поляризации (3). На выходе антенно-фидерного тракта в каждом канале установлен волноводный направленный ответвитель (4) с переходным затуханием 25 ± 3 дБ и направленностью не хуже 30 дБ, на одно плечо которого через коаксиально-волноводный переход подается генератор шума (для калибровки измерений), а на другое — согласованная нагрузка. После ответвителя сигнал поступает на вход малошумящего усилителя МШУ (5), шумовая температура не более 70 К и с усилением G не менее 40 дБ. Затем сигнал 18–26 ГГц попадает в приемник (6), в котором осуществляется преобразование частоты в промежуточную частоту 160 МГц с полосой 32 МГц.

В состав указанного понижающего преобразователя частоты также входит гетеродин, стабилизированный внешним опорным сигналом частотой 5 МГц от водородного стандарта (Н-мазера).

Далее сигнал с выхода тракта подается на вход цифрового видеоконвертора, где обеспечивается цифровая частотная селекция фильтрами низких частот (ФНЧ) с полосой ± 16 МГц (верхняя и нижняя боковые частоты). С выхода видеоконвертора (2 канала) данные передаются на аппаратуру регистрации РДР-1.

Для автоматизации процесса перестройки частоты гетеродина приемника 18–26 ГГц и калибровочных измерений разработано программное обеспечение на языке программирования C++.

Программа «управления синтезаторами приемника» через порт RS-232 позволяет осуществить загрузку файла с установкой и переключением частот гетеродина, а программа «калибровки» через порт USB осуществляет включение и выключение генератора шума после каждого скана наблюдений.

Комплексы приемной аппаратуры установлены на радиотелескопах РТ-22 в Пушино и Симеизе. Эффективная площадь РТ-22 в Пушино — 120 м², в Симеизе — 220 м². В обоих пунктах шумовая температура системы $T_{\text{сис}} = 200$ К, (50 К небо, 25 К антенна, 30 К поляризатор, 70 К усилитель, 20 К за счет 10 % затухания сигнала от входа рупора до входа усилителя).

Наблюдения и обработка данных

Для проверки работоспособности радиотехнического комплекса была составлена программа наблюдения радиоисточника мазерного излучения (W49N) в интерферометрическом режиме на радиотелескопах РТ-22 в Пушино и Симеизе. Приемная аппаратура на обоих пунктах устанавливалась во вто-

ричном фокусе. Наблюдательные данные с антенны радиотелескопа по промежуточной частоте 160 ± 16 МГц передавались в лабораторные корпуса на видеоконверторы. Там же была установлена регистрирующая аппаратура, водородные стандарты, аппаратура временной привязки и регистрации параметров наблюдений (давление, температура, влажность).

Наблюдения и регистрация данных производились в автоматическом режиме и состояли из следующих основных этапов:

- наведение антенны на источник и его сопровождение;
- синтезирование частот — по 4 мин на каждой частоте (4 цикла);
- отведение антенны с источника в каждом цикле и запись фонового уровня.

Запись данных и выполнение калибровок каждый цикл также выполнялись автоматически по программе, загруженной в компьютер управления.

Управление перестройкой гетеродина приемника и включение калибровок осуществлялись дистанционно из лабораторного корпуса радиотелескопа.

Записанные на каждом пункте интерферометрические данные передавались по линиям связи в АКЦ ФИАН для обработки на корреляторе. Идентичные наблюдения были выполнены дважды в разные дни.

В результате обработки данных на базе Пушино — Симеиз была обнаружена кросс-корреляция между данными в двух пунктах. Результаты представлены на рис. 3, 4.

На рис. 3 показаны автокорреляционные спектры в каждом интерферометрическом пункте в нижних боковых полосах. На рис. 4 приведен кросс-спектр, полученный в результате кросс-обработки нижних боковых полос в двух наблюдательных интерферометрических пунктах.

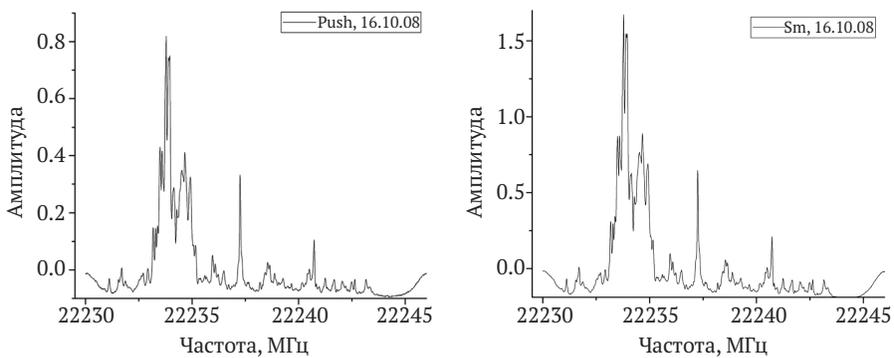


Рис. 3. Автокорреляционные спектры 18–26 ГГц, полученные для Пушино (слева) и Симеиза (справа)

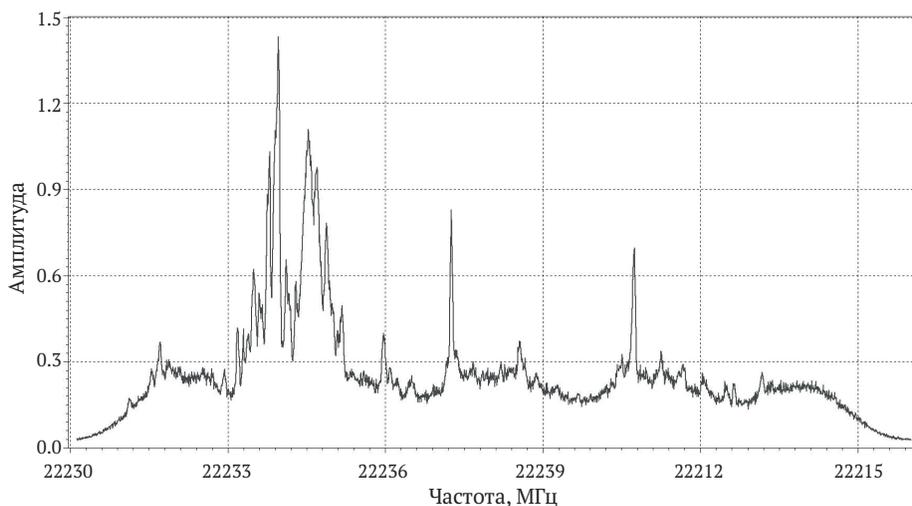


Рис. 4. Кросс-спектр на базе Пушино — Симеиз

Выводы

1. На основе широкополосных перестраиваемых радиометрических приемных устройств созданы интерферометрические комплексы для проведения РСДБ-наблюдений в режиме последовательного частотного синтеза.

2. Разработано программное обеспечение для автоматизации процесса перестройки частоты гетеродина приемника и калибровочных измерений.

3. Проведены РСДБ-наблюдения мазера водяного пара в галактическом радиоисточнике *W49N* на радиотелескопах РТ-22 в Пушино и Симеизе.

4. Выполнена обработка данных наблюдений на корреляторе АКЦ ФИАН.

5. Получена кросс-корреляция между данными указанных интерферометрических пунктов в полосе 16 МГц, где присутствует много линий мазеров водяного пара, чем подтверждена работоспособность аппаратуры при работе в интерферометрическом режиме в моде последовательного частотного синтеза.

Литература

1. *Андреянов В. В., Бирюков А. В., Кардашев Н. С. и др.* Многочастотный прием для синтеза изображений в проекте Радиоастрон. — М.: АКЦ ФИАН, 2000. — Препринт. ФИАН, №6.

2. *Байкова А. Т.* Многочастотный синтез изображений в РСДБ на основе обобщенным методом максимальной энтропии // *Астрономический журнал.* — М., 2008. — Т. 85, № 12. — С. 1059–1071.

Radio Engineering Complex for Scientific Experiments in the Multi-frequency Synthesis Mode

**B. Z. Kanevsky, M. G. Larionov, A. E. Volvach, V.A. Zuga,
A. V. Kovalenko, A. M. Kutkin, A. I. Smirnov, S. V. Sazankov,
D. I. Suvorin, B. L. Kogan, R. A. Cherny**

At present, radio interferometry with a very long baseline (VLBI) is the most advanced measuring method, which allows us to obtain high-quality images of astronomical objects with the highest angular resolution.

Multi-frequency synthesis (MFS) in VLBI involves mapping a radio source sequentially at several frequencies in order to improve the filling of the UV-plane and, thereby, to improve the quality of the synthesized images.

This article presents the results of observations of the radio source W49N using a radio engineering complex installed on antennae in Pushchino and Simeiz. The software for automatic control of the receiver frequency tuning and calibration measurements was also developed.

Keywords: multifrequency synthesis, VLBI, UV-plane, visibility function.