

Двухканальная приемная система X-диапазона для макета радиотелескопа РТ-4

© М. Б. Зотов, Д. В. Иванов, И. А. Поздняков,
Е. Ю. Хвостов, В. К. Чернов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Разработана радиоастрономическая приемная система X-диапазона, предназначенная для макета радиотелескопа РТ-4. Она включает в себя облучатель, входной СВЧ-тракт на волноводе круглого сечения, блок приемный криостатируемый с размещенными в нем малощумящими усилителями и разделителем поляризаций, два блока преобразования частоты, блок генераторов шума, систему управления и электропитания, а также криогенно-вакуумную систему. Приемная система изготовлена и смонтирована на макете радиотелескопа РТ-4 в обсерватории «Светлое». Проведены радиометрические измерения параметров макета радиотелескопа РТ-4. Полученные значения SEFD подтверждают возможность проведения совместных РСДБ-наблюдений РТ-4 с радиотелескопами радиоинтерферометрической сети «Квazar-КВО».

Ключевые слова: радиотелескоп РТ-4, радиоастрономическая приемная система, микрокриогенная система, малощумящие усилители, радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.48.50-55>

Введение

Создание радиотелескопов малого диаметра обусловлено необходимостью развития РСДБ-сети и повышения точности системы координатно-временного обеспечения [1]. Целью данной работы является разработка радиоастрономической приемной системы для макета радиотелескопа РТ-4. В распоряжении ИПА РАН имеется несколько станций спутниковой связи Tesla. Эти станции снабжены двухзеркальной антенной системой Ku-диапазона с диаметром основного зеркала 4.3 м. На базе одной из них в обсерватории «Светлое» создан макет радиотелескопа РТ-4 для РСДБ-наблюдений совместно с радиотелескопами сети «Квazar-КВО» [2]. Для этого антенная система РТ-4 была оснащена приемной аппаратурой X-диапазона, совместимой по своим параметрам с приемными системами радиотелескопов сети «Квazar-КВО» [3].

Приемная система

Требования, предъявляемые к приемной системе:

- рабочий диапазон частот приемной системы 8.2–9.1 ГГц;
- двухканальные приемные устройства — для приема сигналов правой (RCP — right circular polarization) и левой круговой поляризации (LCP — left circular polarization);

- криогенное охлаждение входных каскадов приемной системы для уменьшения уровня собственных шумов;
- дистанционное управление режимами работы приемников и контроль параметров.

Функциональная схема и основные узлы приемной системы

На рис. 1 представлена функциональная схема разработанной приемной системы, ее основными элементами являются: облучатель, блок приемный криостатируемый (БПК) с размещенными в нем разделителем поляризаций и малошумящими усилителями, два блока преобразования частоты (БПЧ), блок генераторов шума (БГШ) с генераторами на лавинно-пролетных диодах (ЛПД), система управления и электропитания, микрокриогенная система (МКС) с микроохладителем (МО), а также генератор пикосекундных импульсов (ГПИ). Система управления и электропитания включает: блок связи, блок питания, источник бесперебойного питания, коробку распределительную и пускатель микроохладителя. Управление и контроль параметров приемной системы осуществляется с центральной системы управления радиотелескопом (ЦСУР).

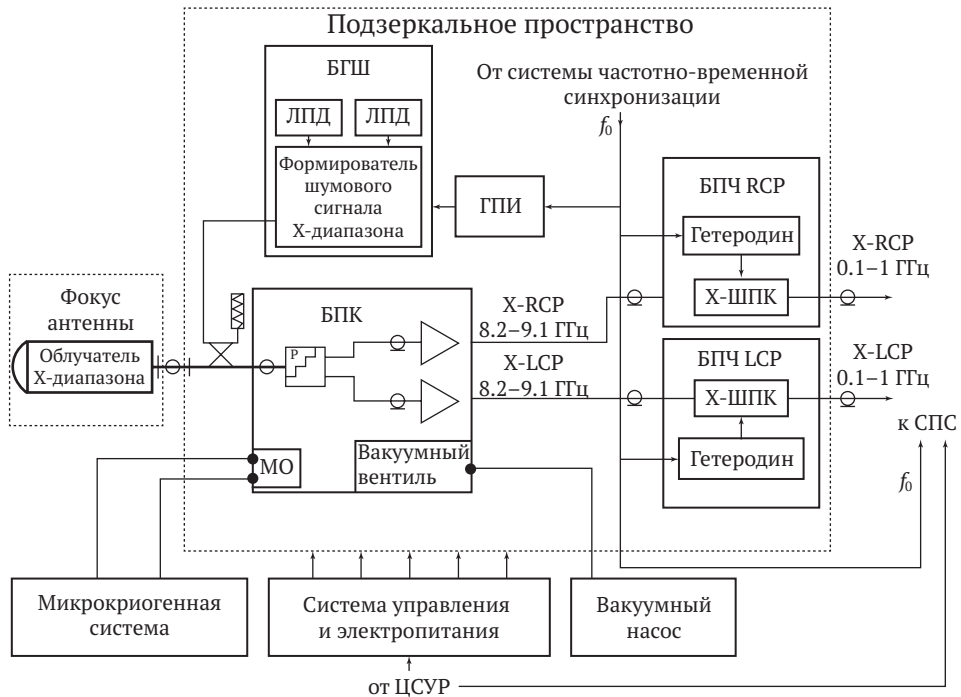


Рис. 1. Функциональная схема приемной системы макета радиотелескопа РТ-4

Специально разработанный для макета радиотелескопа РТ-4 облучатель X-диапазона представляет собой конический скалярный рупор, фазовый центр которого совмещен с вторичным фокусом антенной системы РТ-4. Ширина диаграммы направленности облучателя по уровню -10 дБ в рабочей полосе частот составляет $47-51^\circ$, что соответствует облучению кромок контррефлектора антенной системы РТ-4 на уровне ~ -11 дБ. Облучатель помещен в цилиндрический контейнер диаметром 112 мм.

Волноводный тракт круглого сечения длиной 1 м имеет внутренний диаметр 25 мм, что обеспечивает передачу волн типа TE₁₁ двух ортогональных поляризаций с малыми потерями и препятствует распространению волн высших типов во всем рабочем диапазоне частот приемной системы. Тракт и облучатель имеют серебряное покрытие толщиной 9 мкм. Ожидаемые потери в волноводном тракте составляют не более 0.2 дБ. Осушение волноводного тракта осуществляется волноводным дегидратором ДВР-01.

Одним из важных параметров входных цепей приемной системы, работающей на круговой поляризации, является осевой коэффициент эллиптичности. Его величина главным образом определяется разделителем поляризаций, находящимся внутри БПК, но зависит также и от качества изготовления облучателя и волноводного тракта. Измерения коэффициента эллиптичности проводились методом вращающейся передающей антенны, расположенной на оси входного тракта приемной системы на расстоянии 1 м от облучателя. Измерения показали, что осевой коэффициент эллиптичности входных СВЧ-цепей приемной системы радиотелескопа РТ-4 во всем рабочем диапазоне частот не превышает 1 дБ.

В БПК сигнал с выхода разделителя поляризаций подается на охлаждаемые малошумящие усилители (МШУ). Для охлаждения разделителя поляризаций и МШУ до водородных уровней температур (15 К) используется микрокриогенная система МСМР-110Н-3.2/20 замкнутого цикла охлаждения. Непосредственно перед БПК расположен направленный ответвитель для ввода сигналов амплитудной и фазовой калибровок во входной СВЧ-тракт от БГШ и ГПИ. Источником сигнала амплитудной калибровки в БГШ являются малогабаритные широкополосные полупроводниковые генераторы шума на лавинно-пролетных диодах. С выхода БПК сигналы поступают в блоки преобразования частоты, по одному для каждой поляризации. БПЧ включает в себя микросборку широкополосного преобразовательного канала (ШПК) [4], микросборку гетеродина, систему термостабилизации и платы вторичных источников питания. В нем высокочастотный сигнал усиливается и переносится в диапазон промежуточных частот (100–1000 МГц). БПК, БГШ и БПЧ располагаются в подзеркальном пространстве антенны.

Сигналы с выходов соответствующих БПЧ по радиочастотным кабелям поступают на делители мощности и регистрируются измерителем мощности (в радиометрическом режиме) либо системой преобразования сигналов (СПС) в радиоинтерферометрическом режиме работы [5]. Система управления и электропитания, система регистрации и блоки формирования опорных частот системы частотно-временной синхронизации располагаются в контейнере вблизи антенны РТ-4.

Измерение параметров приемной системы

Были проведены радиометрические измерения параметров приемной системы в составе макета радиотелескопа РТ-4. Шумовая температура приемника T_{np} и уровень сигнала амплитудной калибровки $T_{кал}$ определялись методом двух отсчетов с использованием охлаждаемой жидким азотом согласованной нагрузки. Шумовая температура системы T_{sys} определялась сравнением выходного сигнала приемной системы при включенном и выключенном сиг-

нале амплитудной калибровки. Для проверки совмещения фазового центра облучателя с вторичным фокусом антенны макета радиотелескопа РТ-4 проведено измерение коэффициента использования поверхности (КИП) и ширины диаграммы направленности (ДН) радиотелескопа. Для определения КИП был измерен параметр SEFD (System Equivalent Flux Density) РТ-4. Измерения SEFD и ДН РТ-4 проводились по космическому радиоисточнику Лебедь А, положение которого по углу места на момент измерений составляло приблизительно 70° . Скан по углу места радиоисточника Лебедь А представлен на рис. 2. Определенное по этому скану значение ширины ДН по уровню половинной мощности, составляет 0.56° для правой и левой поляризации. Таким же образом, по азимутальному скану радиоисточника Лебедь А, было определено значение ширины ДН РТ-4 в горизонтальной плоскости, которое составило 0.58° . Результаты измерений приведены в таблице. Все параметры соответствуют ожидаемым.

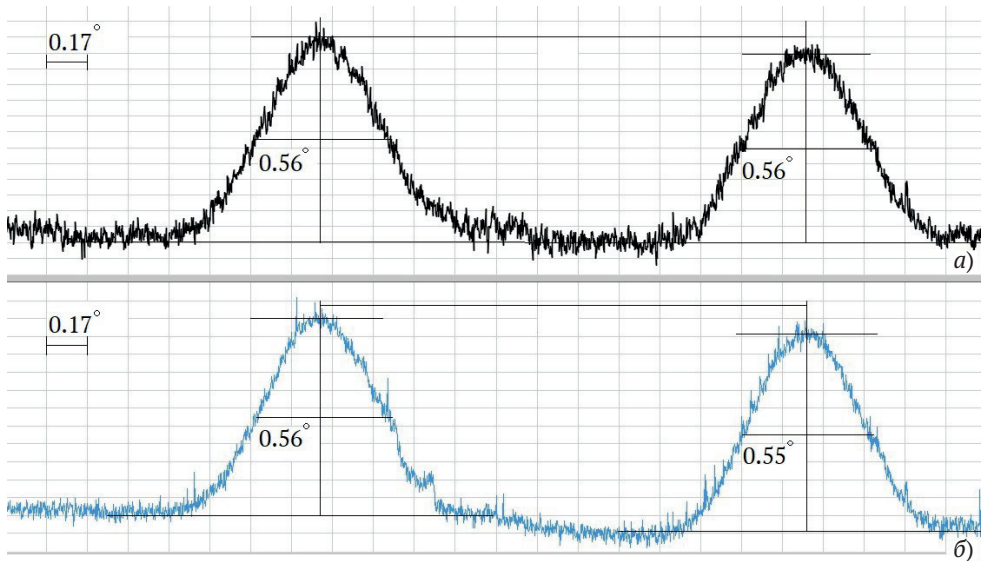


Рис. 2. Скан по углу места радиоисточника Лебедь А в
а — правой и б — левой поляризации

Т а б л и ц а

Параметры приемной системы и макета радиотелескопа РТ-4

Параметр	RCP	LCP
$T_{\text{пр}}$	35 К	34 К
$T_{\text{кал}}$	5.4 К	5.0 К
T_{sys}	59 К	53 К
SEFD	16100 Ян	14980 Ян
КИП	0.74	0.71
Ширина ДН по уровню -3 дБ	УМ— 0.56° АЗ— 0.58°	УМ— 0.56° АЗ— 0.58°

Заключение

Разработанная в ИПА РАН двухканальная приемная система X-диапазона частот смонтирована на макете РТ-4 в обсерватории «Светлое». Данная система способна принимать сигналы правой и левой круговой поляризации от радиоисточников в полосе частот 8.2–9.1 ГГц. Проведены радиометрические измерения параметров РТ-4, результаты которых представлены в таблице.

Согласно теоретическим расчетам, представленным в [1], радиотелескоп РТ-4 совместно с РТ-13 способен успешно участвовать в РСДБ-наблюдениях радиоисточников с потоком не менее 0.4 Ян. Полученные результаты измерений подтверждают возможность проведения таких РСДБ-наблюдений РТ-4 с радиотелескопами радиоинтерферометрической сети «Квazar-КВО».

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП/УНУ «Радиоинтерферометрический комплекс «Квazar-КВО».

Литература

1. Иванов Д. В., Ипатов А. В., Гаязов И. С., Зотов М. Б., Мельников А. Е., Стэмковский В. Г., Суркис И. Ф., Чернов В. К. Оценка возможности использования малогабаритных РСДБ систем для решения задач КВНО // Тезисы докладов Седьмой Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО-2017)», Санкт-Петербург, 17–21 апреля 2017 г. — С. 131–132.

2. Ипатов А. В. Радиоинтерферометр нового поколения для фундаментальных и прикладных исследований // Успехи физических наук. — 2013. — Т. 183, № 7. — С. 769–777.

3. Иванов Д. В., Ипатов А. В., Ипатова И. А., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г. Приемники радиоинтерферометрической сети КВАЗАР // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 1997. — Вып. 2. — С. 242–256.

4. Маршалов Д. А., Кольцов Н. Е. Широкополосные усилительно-преобразовательные устройства для радиоастрономических приемников // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2007. — Вып. 16. — С. 245–251.

5. Кольцов Н. Е., Маршалов Д. А., Носов Е. В., Федотов Л. В. Цифровая система преобразования широкополосных сигналов для астрономических радиоинтерферометров // Известия вузов России. Радиоэлектроника. — 2014. — №1. — С. 34–40.

The Dual Chanel X-band Receiving System for a Prototype of Radio Telescope RT-4

M. Zotov, D. Ivanov, I. Pozdnyakov, E. Khvostov, V. Chernov

An X-band radio astronomical receiving system for a prototype of radio telescope RT-4 has been developed. It includes a conical corrugated feed horn, a septum polarizer and low-noise amplifiers placed in a dewar, two frequency conversion units, a noise generator unit for amplitude calibration, a control and power supply system, and a cryo/vac system. The receiving system has been manufactured and mounted on the prototype of the RT-4 radio telescope at “Svetloe” observa-

tory. Radiometric measurements of the parameters of the RT-4 prototype were carried out. The possibility of joint VLBI observations of RT-4 and radio telescopes of Quasar VLBI network is confirmed by SEFD values obtained.

Keywords: radio telescope RT-4, radioastronomical receiving system, cryogenic receiving system, low noise amplifiers, very long base interferometry, VLBI.