

СВЧ-блоки широкополосной приемной системы для РТ–13 обсерватории «Светлое»

© О. Г. Евстигнеева, А. А. Евстигнеев, Е. Ю. Хвостов, М. Б. Зотов,
И. А. Ипатова, И. А. Поздняков, В. В. Мардышкин,
Ю. В. Векшин, А. С. Лавров

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В ИПА РАН ведутся работы по созданию радиоинтерферометра, состоящего из трех радиотелескопов с антеннами малого диаметра 13.2 м. РТ–13 в обсерватории «Светлое» предполагается оснастить широкополосной приемной системой.

В данной статье приведены результаты разработки основных блоков системы (широкополосного приемного криогенного фокального блока, блока промежуточных частот, блока генераторов шума, блока коммутации), их параметры и результаты лабораторных испытаний. Статья отражает особенности конструкции отдельных СВЧ-блоков системы и их характеристики, измеренные в лаборатории.

Ключевые слова: РСДБ, интерферометр со сверхдлинными базами, широкополосная приемная система, ШПС, VGOS.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.46.132-138>

Введение

В ИПА РАН разработана широкополосная приемная система (ШПС) с рабочим диапазоном частот 3–16 ГГц на ортогональных линейных поляризациях [1]. Эта система планируется к установке на радиотелескоп РТ–13 обсерватории «Светлое» для использования в составе формирующейся международной сети VGOS (VLBI Global Observing System).

Принцип работы ШПС (рис. 1) заключается в следующем: электромагнитное излучение источника, сфокусированное антенной системой, принимается и усиливается в охлаждаемом широкополосном криоэлектронном приемном фокальном блоке (ШКПФБ). В этот же блок поступает сигнал калибровки от широкополосного блока генераторов шума (ШБГШ). Далее сигнал поступает на блок делителей (БД), разделяющий принимаемый сигнал на четыре идентичных субканала. Для выбора необходимого участка из входной широкой полосы 3–16 ГГц и его преобразования в полосу частот регистрации (диапазон 1024–2048 МГц) используется широкополосный блок преобразования частот

(ШБПЧ). Питание ШКПФБ и БД осуществляется с помощью отдельного блока питания входных усилителей (БПВУ). Охлаждение ШКПФБ обеспечивается криогенно-вакуумной системой (КВС), в которую входят вакуумная система (ВС) и микрокриогенная система (МКС) [2].

К СВЧ-блокам относятся ШКПФБ, БД, ШБГШ и ШБПЧ. Все СВЧ-узлы ШПС размещены в прочных герметичных корпусах, ШКПФБ — в криостатируемом, остальные — в термостатируемых, что позволяет стабилизировать температуру внутри блока.

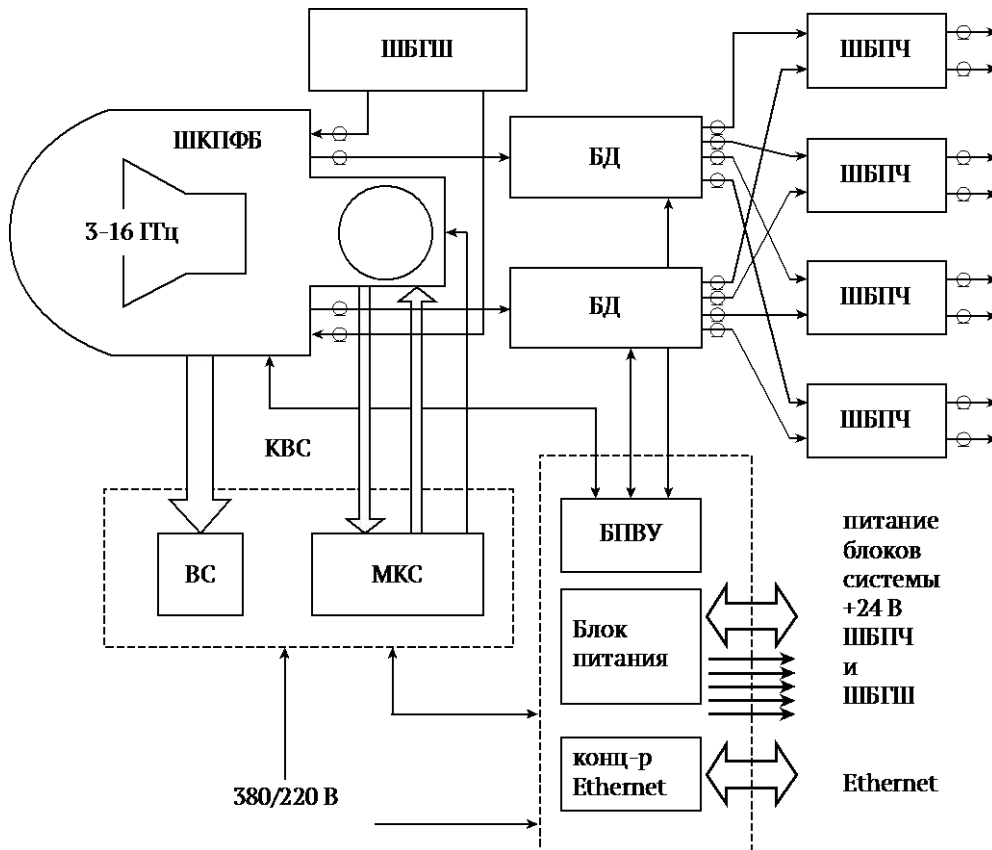


Рис. 1. Структурная схема ШПС

Широкополосный криоэлектронный приемный фокальный блок

ШКПФБ, фотография которого приведена на рис. 2, содержит охлаждаемый облучатель (W3) и входные усилители A1 и A2 для двух каналов, соответствующих линейным поляризациям принимаемого сигнала (рис 3). Фокус облучателя совпадает со вторичным фокусом антенны. Для ввода сигнала калибровки используются направленные ответвители WE1 и WE2. В СВЧ-трактах имеются теплоразвязывающие участки из кабеля с низкой теплопроводностью (W4–W7).

Аппаратура блока работает при температуре 10..25 К, которую обеспечивает микроохладитель МКС. Для контроля физической температуры применены низкотемпературные диодные датчики. СВЧ-устройства закрыты азотным экраном с ИК-фильтром W2 и заключены в герметичный криостат M1 с вакуумным окном W1. На несущем фланце криостата размещены датчик вакуума ВР1 и вакуумный клапан КР1.



Рис. 2. Фотография ШКПФБ, без корпуса и азотного экрана

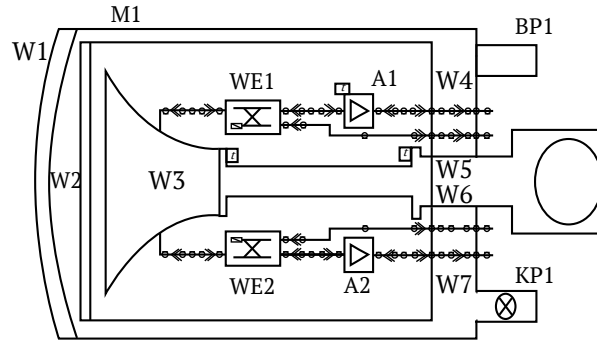


Рис. 3. Блок-схема ШКПФБ

На рис. 4 представлены результаты измерений эквивалентной шумовой температуры (не более 30 К) в диапазоне частот 3–14 ГГц. В диапазоне частот 14–16 ГГц необходимо улучшить согласование охлаждаемого облучателя и МШУ, снизив шумовую температуру с 40 К до 30 К и менее. Коэффициент усиления составляет не менее 35 дБ в рабочем диапазоне частот.

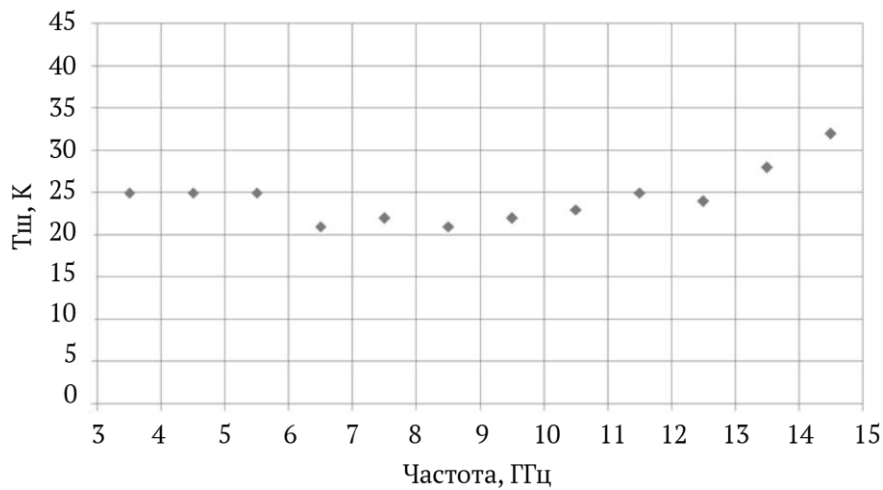


Рис. 4. Эквивалентная шумовая температура ШКПФБ

Широкополосный блок генератора шума

ШБГШ (рис. 5, 6) является источником амплитудных калибровочных сигналов и имеет вход для подачи внешних пикосекундных импульсов фазовой калибровки. Источником амплитудного калибровочного шума служит лавинно-пролетный диод, на направленном ответвителе происходит его смешивание с внешним сигналом фазовой калибровки. Величины фазовой и амплитудной калибровок регулируются постоянными и управляемыми аттенуаторами. С помощью широкополосного резистивного делителя сигнал подается на два идентичных канала.

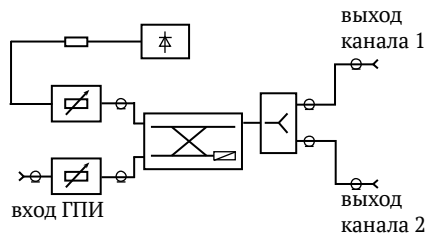


Рис. 5. Структурная схема ШБГШ

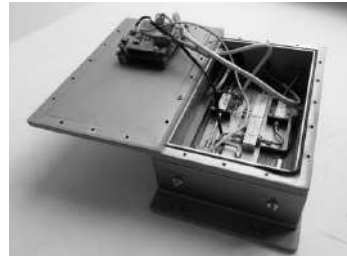


Рис. 6. Фотография ШБГШ

Согласно результатам измерений, спектральная плотность мощности шума (СПМШ) сигнала калибровки оставляет не менее 7000 К, что обеспечивает 70 К калибровочного сигнала (значение, приведенное ко входу ШКПФБ, рис. 7). На графике приведены интегральные значения СПМШ в полосе шириной 1 ГГц.

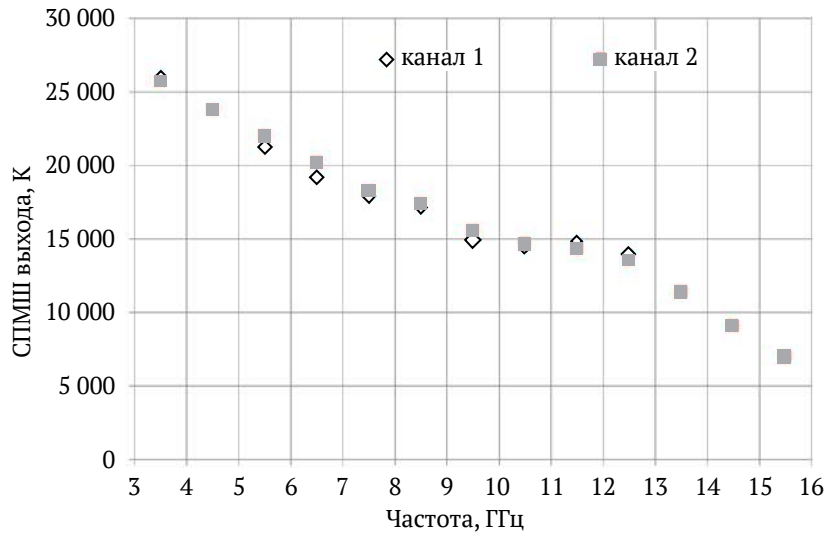


Рис. 7. Входная СПМШ ШКПФБ

Блок делителей

Блок делителей (рис. 8 и рис. 9) позволяет подать сигнал каждой поляризации на четыре идентичных субканала. Для компенсации высоких потерь в резистивных делителях в качестве входного каскада блока установлен дополнительный малошумящий предусилитель. Таким образом, коэффициент передачи по каждому субканалу составляет +13 дБ при шумовой температуре на входе блока не более 600 К.

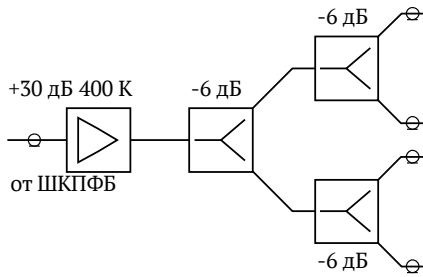


Рис. 8. Структурная схема блока делителей

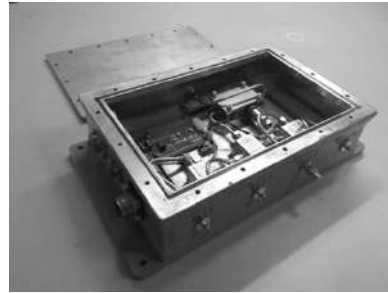


Рис. 9. Блок делителей

Широкополосный блок преобразователей частоты

Широкополосный блок преобразователей частоты (рис. 10, 11) обеспечивает выбор из входной полосы 3–16 ГГц участка для регистрации шириной 1 ГГц (1024–2048 МГц) и преобразование его в диапазон ПЧ.

Преобразование частоты двойное и осуществляется сначала «вверх» (диапазон частот первого гетеродина составляет 26–40 ГГц), затем — «вниз»

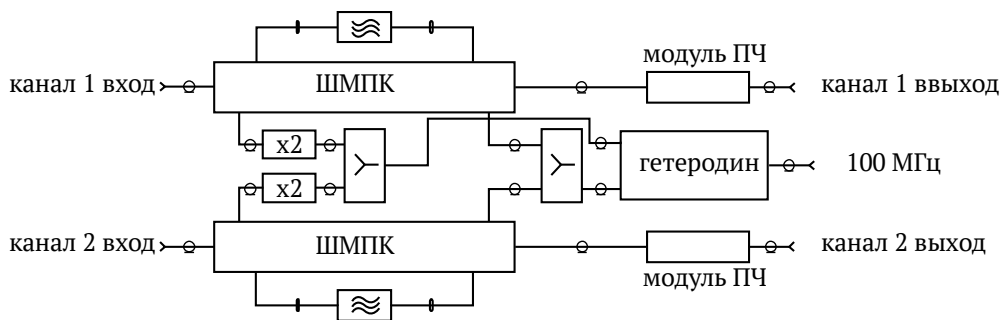


Рис. 10. Структурная схема ШБПЧ

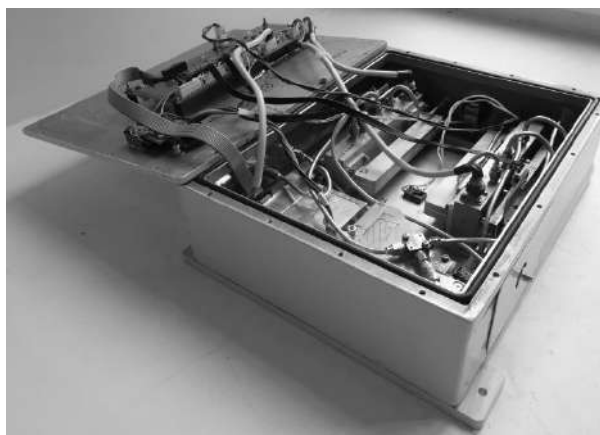


Рис. 11. Фотография ШБПЧ

(частота второго гетеродина фиксирована и составляет 22 ГГц). Поскольку выбираемая для преобразования полоса идентична для обеих поляризаций, блоки реализованы двухканальными - с использованием делителей мощности гетеродина. Преобразовательная часть выполнена в виде микросборки с волноводным фильтром первой ПЧ, дальнейшее усиление осуществляется в микросборке модуля ПЧ.

Заключение

В статье был приведен обзор разработанных для ШПС РАО «Светлое» СВЧ-блоков: ШБГШ, ШКПФБ, ШБПЧ, БД. Для создания блоков, отвечающих требованиям системы, были проведены следующие работы:

- уточнены применяемые компоненты и функциональные схемы блоков;
- разработана рабочая конструкторская документация, включающая 3D-моделирование;
- создан комплект блоков, настроена их внутренняя аппаратура (все — полностью, ШБПЧ — частично);
- измерены основные параметры блоков.

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

Литература

1. Евстигнеев А. А., Евстигнеева О. Г., Лавров А. С., Мардышкин В. В., Поздняков И. А., Хвостов Е. Ю. Результаты разработки сверхширокополосной приемной системы радиотелескопа РТ-13 // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2015 — Вып. 35. — С. 98–103.
2. Евстигнеев А. А., Векшин Ю. В., Евстигнеева О. Г., Зотов М. Б., Лавров А. С., Мардышкин В. В., Поздняков И. А., Хвостов Е. Ю., Шахнабиев И. В. Широкополосная приемная система для РТ-13 обсерватории «Светлое» // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2018 — Вып. 46 — С. 50–56.

**Radio Frequency Units of the Ultra-Wideband
Receiving System for the RT-13 Radio Telescope
in the “Svetloe” Observatory**

**O. G. Evstigneeva, A. A. Evstigneev, E. Y. Khvostov,
M. B. Zotov, I. A. Ipatova, I. A. Pozdnyakov, V. V. Mardyshkin,
Yu. V. Vekshin, A. S. Lavrov**

IAA RAS is currently working to create the radio interferometer network which consists of three 13.2-metre radio telescopes. The RT-13 radio telescope of the “Svetloe” observatory will be equipped with a new ultra-wideband receiving system. The article describes the development of the system’s main units (the ultra-wideband focal cryogenic receiving unit, a frequency conversion unit, a noise generator unit and a splitter unit). Their expected parameters and the results of laboratory tests are given. Technical features of the system units are presented.

Keywords: VLBI, very long baseline interferometer, ultra-wideband receiving system, VGOS (VLBI Global Observing System).