

А. М. ПИЛИПЕНКО, к. т. н. И. К. СУНДУЧКОВ, В. В. ЧМИЛЬ,
к. т. н. В. М. ЧМИЛЬ, П. А. ЯЦЫК

Украина, г. Киев, НПП «Сатурн»
Email: chmil@nbi.com

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРИЕМНЫЙ КОМПЛЕКС И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВНОСИМОЙ ИМ ПОГРЕШНОСТИ В РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Сформированы и обоснованы критерии построения структурной схемы и конструкторско-технологических решений при проектировании приемного комплекса для компенсационного радиометра полной мощности. Представлены результаты разработки приемного комплекса в рамках оснащения малых радиотелескопов, создаваемых по программе VLBI2010.

Ключевые слова: радиотелескоп, приемный комплекс, радиометр полной мощности, флуктуационная чувствительность, ошибка измерительного тракта.

Задачи навигации в современном мире являются актуальными в разных сферах деятельности — от глобального изучения Земли до практических жизненных потребностей человека и задач специального назначения. Радиометрия играет в решении этих задач большую роль как с точки зрения обеспечения необходимой точности ориентирования в пространстве, так и с точки зрения достижения максимально возможного разрешения идентификации объектов на земной поверхности.

Такие преимущества радиометрических методов, как всепогодность, возможность аппаратурной реализации в приемлемых весогабаритных характеристиках, разнообразие методов обработки радиометрических данных и развитой сети радиоинтерферометрических исследований, определили широкое применение таких устройств.

Институтом прикладной астрономии РАН на базе радиометрических приемных устройств создан радиоинтерферометр со сверхдлинной базой (РСДБ) «Квazar-КВО», который наряду с целым комплексом задач должен осуществлять:

- установление земной системы координат и ее реализацию в виде каталога координат опорных станций;

- установление динамической системы координат и ее реализацию в виде теории движения искусственных спутников Земли и, прежде всего, навигационных спутников [1].

Наблюдения, выполненные на этом интерферометре, позволяют определить параметры вращения Земли и координаты опорных станций на миллиметровом уровне точности.

Международное сообщество GGOS (Global Geodetic Observing System) разработало рекомендацию по поддержанию и развитию аппаратно-программных средств опорных станций глобальной геодезической сети [2]. Опорные

станции со своей инфраструктурой должны предоставлять количественную информацию для определения и мониторинга координат опорных источников небесной системы координат и координат опорных станций земной системы координат, а также информацию о параметрах вращения Земли, уровне моря, круговороте воды, климате и об угрозе стихийных бедствий.

Международная РСДБ-служба (International VLBI Service), в свою очередь, разработала проект VLBI2010, направленный на кардинальное повышение точности получаемых данных [3]. Сформулированы требования, которым должны удовлетворять перспективные станции IVS. Рекомендуемые технические характеристики радиотелескопов нового поколения в сравнении с характеристиками радиотелескопов ныне действующей РСДБ-сети приведены в **таблице**.

Реализация программы VLBI2010 проводится с подключением радиотелескопов по мере их строительства и на сегодняшний день в мире из этой серии функционируют радиотелескопы Wettzell (Германия) [4] и RAEGE (Испания, Португалия) [5] с частотными диапазонами $S(2,2-2,6\text{ ГГц})$; $X(7,0-9,5\text{ ГГц})$ и $Ka(28-34\text{ ГГц})$, совместимыми с диапазонами комплекса «Квazar-КВО». Исходя из этого, представляется целесообразным при проектировании приемных комплексов для аналогичных радиотелескопов в Зеленчуке и Бадарах (РФ) остановиться на тех же диапазонах [6].

В настоящей статье представлены результаты разработки НПП «Сатурн» приемного комплекса, удовлетворяющего требованиям к радиотелескопной программе VLBI2010, описаны нестандартные подходы к оптимизации структуры и конструкторско-технологических решений как изделия в целом, так и его составных частей.

Технические характеристики РСДБ-радиотелескопов

Параметр	Текущее состояние	VLBI2010
Время работы	24 ч, один раз в неделю	Круглосуточно
Время восстановления	До нескольких месяцев	Менее 24 ч
Диаметр антенны	5–100 м	10–12 м
Скорость движения	2–2000/мин	Более 3600/мин
Частоты приема	S/X диапазоны	2–14(18) ГГц
Скорость записи	128,256 Мбит/с	8–16 Гбит/с
Передача данных	Транспортировка дисков, в отдельных случаях e-РСДБ*	e-РСДБ*, в отдельных случаях транспортировка дисков
Число станций	40 (распределены случайным образом)	40 (распределены случайным образом)

*e-РСДБ (e-VLBI) — так называемая электронная РСДБ или РСДБ в реальном времени.

Принцип и критерии построения приемного комплекса

Для работы с объектами дальнего космоса требуется максимальная чувствительность, что определяет в целом построение радиометрического комплекса как компенсационного радиометра полной мощности. Таким образом, наиболее важными параметрами радиометрических приемных устройств являются потенциальная флуктуационная чувствительность и минимальная погрешность измерений.

Стабильность работы радиометра определяется степенью постоянства коэффициента шума, полосы пропускания приемного устройства и коэффициента усиления.

В общем виде выражение флуктуационной чувствительности [7, с. 60] можно представить как

$$\delta T_{\text{фп}} = T_{\text{ш}} \sqrt{\frac{2\Delta F}{\Delta f} + \left(\frac{\Delta G_y}{G_y}\right)^2}, \quad (1)$$

- где $T_{\text{ш}}$ — шумовая температура приемника;
- ΔF — эквивалентная ширина полосы пропускания низкочастотной части приемника, включая интегратор;
- Δf — эффективная ширина полосы пропускания высокочастотной части приемника до детектора;
- ΔG_y — эффективное значение изменений коэффициента высокочастотного усиления по мощности;
- G_y — среднее значение коэффициента усиления.

Важное значение в работе радиометрического канала имеет также погрешность измерения сигнала, определяемая как структурой приемного комплекса, так и конкретными схемотехническими и конструкторско-технологическими решениями.

При сложной структуре приемного тракта каждый из параметров можно представить как $G_y = G_1 + G_2 + \dots + G_i + G_n$; (2)

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{ш1}} + \frac{T_{\text{ш2}}}{G_1} + \frac{T_{\text{ш3}}}{G_1 + G_2} + \dots + \frac{T_{\text{ши}}}{G_1 + \dots + G_{i-1}}, \quad (3)$$

где G_i и $T_{\text{ши}}$ — параметры отдельных структурных единиц приемного тракта

Функционально более сложным является параметр ΔG_y , который в общем виде можно записать как

$$\Delta G_y = G_y - G_{\text{ном}},$$

где $G_{\text{ном}}$ — номинальное значение коэффициента усиления.

Поскольку ΔG_y , как и G_y , зависит от многих параметров, таких как частоты рабочего диапазона ω , температура окружающей среды $T_{\text{ок}}$, колебания питающих напряжений $U_{\text{пит}}$ и др., запишем $\Delta G_y = f(\omega, T_{\text{ок}}, U_{\text{пит}}, \dots)$.

Получать информацию о ΔG_y непрерывно во всем диапазоне частот, диапазоне температур окружающей среды достаточно проблематично.

В упрощенном виде ΔG_y можно представить в виде матрицы дискретных значений:

$$\Delta G_y = \begin{bmatrix} \Delta G_{11} & \Delta G_{12} & \Delta G_{1i} & \dots & \Delta G_{1n} \\ \Delta G_{21} & \Delta G_{22} & \Delta G_{2i} & \dots & \Delta G_{2n} \\ \vdots & & & & \\ \Delta G_{j1} & \Delta G_{j2} & \Delta G_{ji} & \dots & \Delta G_{jn} \\ \vdots & & & & \\ \Delta G_{m1} & \Delta G_{m2} & \Delta G_{mi} & \dots & \Delta G_{mn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где строки дают представление о значениях ΔG_y по составляющим неравномерности G_y по структурным единицам приемного тракта, а столбцы — значение этих коэффициентов в зависимости от частоты рабочего диапазона ($\omega_{\text{н}}$, $\omega_{\text{в}}$). Здесь G_{11} соответствует частоте $\omega_1 \leq \omega_{\text{н}}$, а G_{m1} — частоте $\omega_m \leq \omega_{\text{в}}$.

Аналогично можно представить зависимости от температуры окружающей среды, от колебания питающих напряжений и т. д.

Как видим, флуктуационная чувствительность радиометра является функцией многих параметров.

При проектировании изделия необходимо стремиться к минимизации вносимых аппаратно погрешностей за счет приемного комплекса.

В общем виде максимальную суммарную погрешность измерительного тракта радиометра [7, с. 124] можно представить в виде

$$\Delta_{\text{рад}} = \Delta_{\text{п}} + \Delta_{\text{бл}} + \Delta_{\text{аф}} + \Delta_{\text{нк}} + \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ик}} + \Delta_{\text{i}} + \Delta_{\text{ачп}} + \dots \quad (5)$$

Входящие сюда погрешности связаны со следующими факторами:

- $\Delta_{\text{п}}$ — с собственными шумами приемника;
- $\Delta_{\text{бл}}$ — с приемом сигнала боковым лепестком;
- $\Delta_{\text{аф}}$ — с относительной шумовой температурой антенно-фидерного тракта;
- $\Delta_{\text{нк}}$ — с нелинейностью измерительного тракта;
- $\Delta_{\text{т}}$ — с неточностью значения шумовой температуры эталонов, по которым производится калибровка;
- $\Delta_{\text{ик}}$ — с изменениями в течение цикла между калибровками;
- Δ_{i} — прочие ошибки (температурные, погодные и др.).

Разработчиков приемного комплекса наиболее интересует $\Delta_{\text{п}}$, которую можно представить как $\Delta_{\text{п}} = \Delta_{\text{п1}} + \Delta_{\text{п2}} + \dots + \Delta_{\text{пi}}$, то есть как сумму погрешностей каждого из блоков, входящих в тракт приемника, а также $\Delta_{\text{т}}$, поскольку в состав приемного комплекса входят и калибровочные генераторы шума.

Таким образом, исходя из того, что точность измерений радиометрического сигнала является функцией многих составляющих, определим ряд критериев, которых нужно придерживаться при проектировании комплекса.

1. Исходя из выражения (3), можно заключить, что наиболее весомый вклад в величину $T_{\text{ш}}$ вносит первый конструктивный элемент (входной усилитель), а также второй, вкладом же третьего и последующих составляющих можно пренебречь. Таким образом, необходимо стремиться к созданию входных усилительных устройств с минимальными собственными шумами и максимально возможным коэффициентом усиления. Таким требованиям наиболее полно отвечают входные усилительные устройства с криогенным уровнем охлаждения.

2. Поскольку в суммарную погрешность измерительного тракта (5) входит $\Delta_{\text{аф}}$, необходимо рассмотреть вопрос включения в конструкцию входного устройства максимального количества элементов антенно-фидерного тракта, стабилизировав его температурный режим.

3. Исходя из выражения (4), для исключения влияния фактора температуры окружающей среды необходима стабилизация температуры критических узлов блоков, входящих в приемный тракт.

4. Исходя из выражений (2) и (4), необходимо стремиться к минимизации неравномерности коэффициента усиления по диапазону частот во всех составляющих элементах приемного тракта.

5. При формировании функциональных задач для составляющих приемного комплекса необходимо выделить функции, влияющие непосредственно на флуктуационную чувствительность и погрешность измерений, и сосредоточить их в отдельных конструкторско-технологических решениях, оптимизировав с точки зрения возможности минимизации энергопотребления, весогабаритных характеристик, количества соединительных переходных элементов.

6. Учтя, что в выражение (5) входит $\Delta_{\text{т}}$, целесообразно стабилизировать критические элементы калибровочных генераторов шума по температуре и предпринять меры по минимизации количества и размеров соединительных трактов.

7. Для обеспечения эксплуатационных характеристик требуется система управления режимами работы, обеспечение питающим напряжением, регулирование температурной стабилизации критических узлов. Хотя составляющие структурной схемы, выполняющей данные функции, не входят непосредственно в тракт приемной системы и потому не требуются дополнительные меры по стабилизации их характеристик, однако требуется минимизация вносимых ими искажений в принимаемый сигнал, что является основным требованием при создании входящих в комплекс узлов и блоков.

Структурные и конструкторско-технологические решения

Исходя из вышесказанного, разработана структура и конструкция приемного комплекса (системы) (см. рис. 1).

Радиоастрономическая приемная система (РПС) состоит из криогенного приемного фокального (КПФБ) блока и блоков преобразования частоты S -диапазона (БПЧ- S), X -диапазона (БПЧ- X) и Ka -диапазона (БПЧ- Ka). Кроме того, в состав РПС входят:

- генераторы шума (БГШ);
- блоки коммутации (БК);
- блок питания, дистанционного контроля и управления 1 (БПДКУ-1);
- блок питания, дистанционного контроля и управления 2 (БПДКУ-2);
- блок питания (БП) AC/DC TXL 750-24S;
- коммутатор 112105-5004;
- режекторные фильтры (РФ) (4 шт.);
- микроохладитель RDK-40852;
- каркас РПС;
- комплект СВЧ- и НЧ-кабелей, гелиепроводов, вакуумопроводов;
- ЗИП одиночный (ЗИП-0).

Описание и принципы работы РПС

Конструктивно РПС выполнена в виде самостоятельных функциональных блоков, механически закрепленных на каркасе (рис. 2).

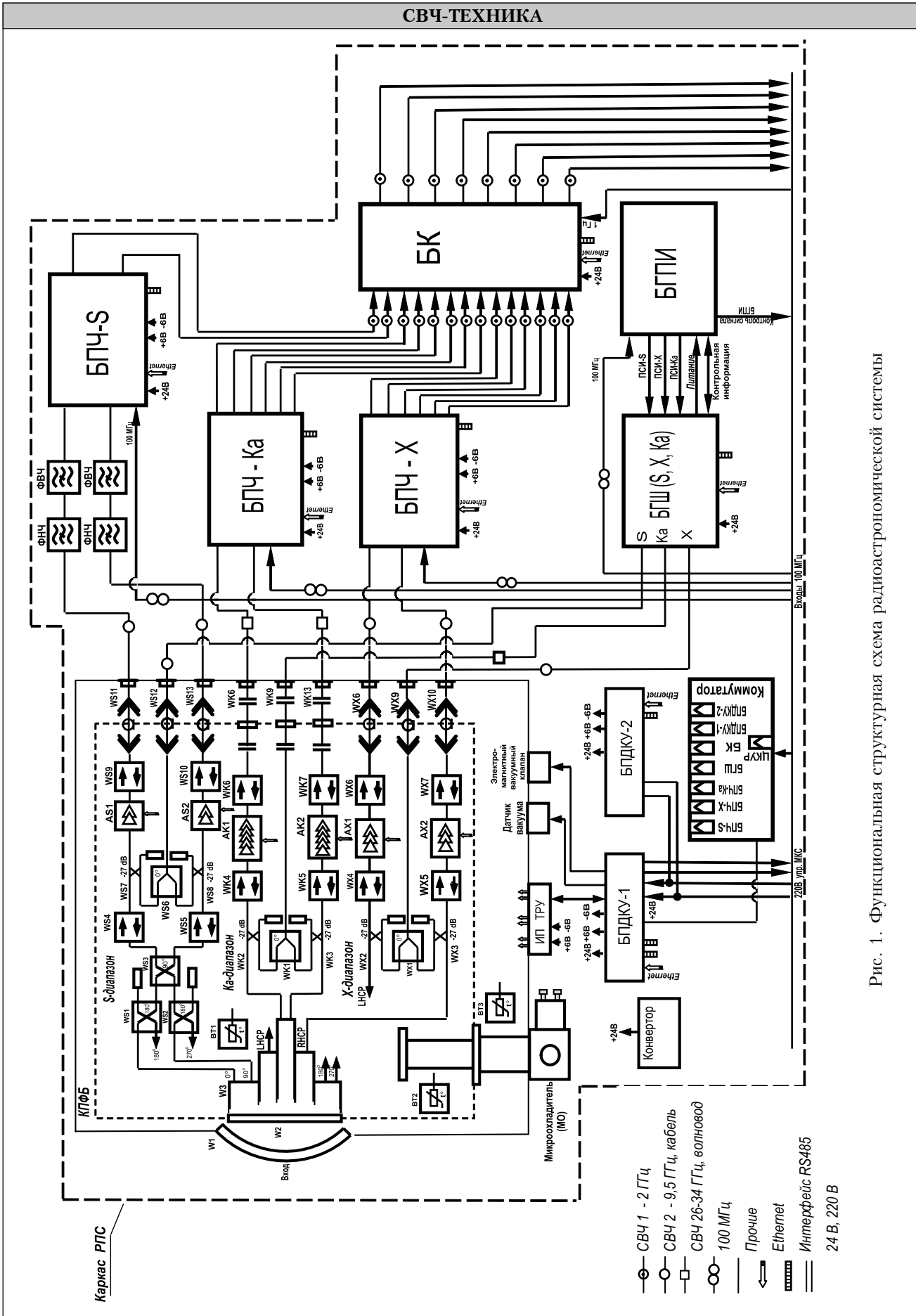


Рис. 1. Функциональная структурная схема радиоастрономической системы

Соединение между СВЧ-блоками РПС выполнено жесткими коаксиальными кабелями сечением 3,5/1,52 мм с применением малогабаритных разъемов SMA-типа (*S*- и *X*-диапазоны) и прямоугольными волноводами стандартного сечения 7,2×3,4 мм (*Ka*-диапазон).

К блокам, функционально влияющим на относительную погрешность СВЧ-тракта радиометра, следует отнести КПФБ, БПЧ-*S*, БПЧ-*X*, БПЧ-*Ka*, БК, БГШ (см. рис. 3)

Учитывая многоканальность приемного устройства, для каждого канала существует своя последовательность блоков, непосредственно влияющих на флуктуационную чувствительность и на погрешность измерений:

- для *S* диапазона: КПФБ – БПЧ-*S* – БК;
- для *X* диапазона: КПФБ – БПЧ-*X* – БК;
- для *Ka* диапазона: КПФБ – БПЧ-*Ka* – БК.

Радиоастрономические сигналы от антенны радиотелескопа поступают через радиопрозрачное окно криостата КПФБ на охлаждаемый трехдиапазонный антенный облучатель, который обеспечивает выделение полос приема радиоастрономических сигналов от зеркальной параболической антенны, а также формирование и разделение круговых (левой и правой) поляризаций вектора напряженности электрического поля.

Выделенные и сформированные радиоастрономические сигналы поступают на вход охлаждаемых маломощных усилителей, выполненных на бескорпусных GaAs-транзисторах с высокой

подвижностью электронов НЕМТ (high electron mobility transistor) фирмы NEC.

В каждом рабочем диапазоне КПФБ имеется по два приемно-усилительных канала, соответствующих левой и правой круговым поляризациям, и по одному каналу для ввода калибровочных сигналов (Вх. ГШ-*S*, Вх. ГШ-*X*, Вх. ГШ-*Ka*) от блока генераторов шума в *S*, *X* и *Ka*-диапазонах.

Охлаждение до криогенной температуры и термостатирование узлов обеспечивается микрокриогенной системой RDK-408S2-CNA-61D производства фирмы Sumitomo.

В блоках преобразования частоты (БПЧ-*S*, БПЧ-*X*, БПЧ-*Ka*) выполняется дополнительное усиление, селекция по зеркальному каналу и частотное преобразование радиоастрономических сигналов (предварительно усиленных КПФБ) трех частотных диапазонов правой и левой круговых поляризаций в сигналы промежуточной частоты (ПЧ).

БПЧ-*S* предназначен для усиления и преобразования сигналов диапазона частот 2,2 – 2,6 ГГц в сигналы ПЧ диапазона 1,05 – 1,45 ГГц. Подавление паразитных сигналов, поступающих на вход БПЧ-*S*, обеспечивается двумя режекторными фильтрами, установленными в каждом канале *S*-диапазона между выходом КПФБ и входом БПЧ-*S*.

БПЧ-*X* предназначен для усиления и преобразования сигналов в диапазоне частот 7,0 – 9,5 ГГц в сигналы ПЧ диапазона 1 – 2 ГГц.

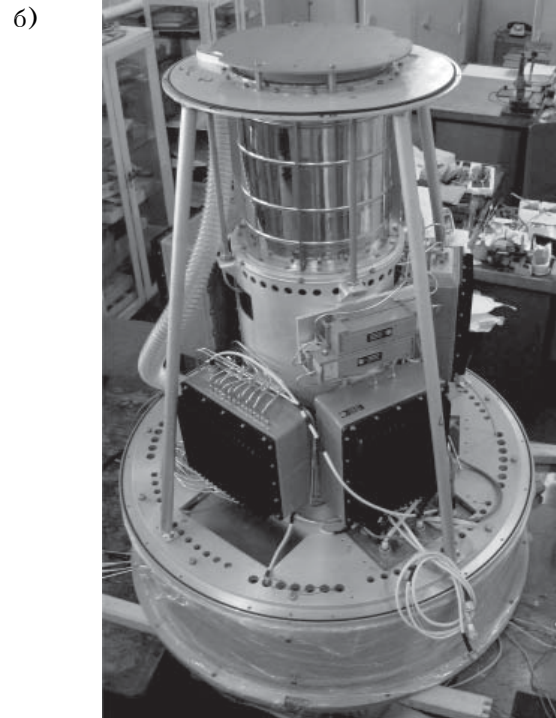
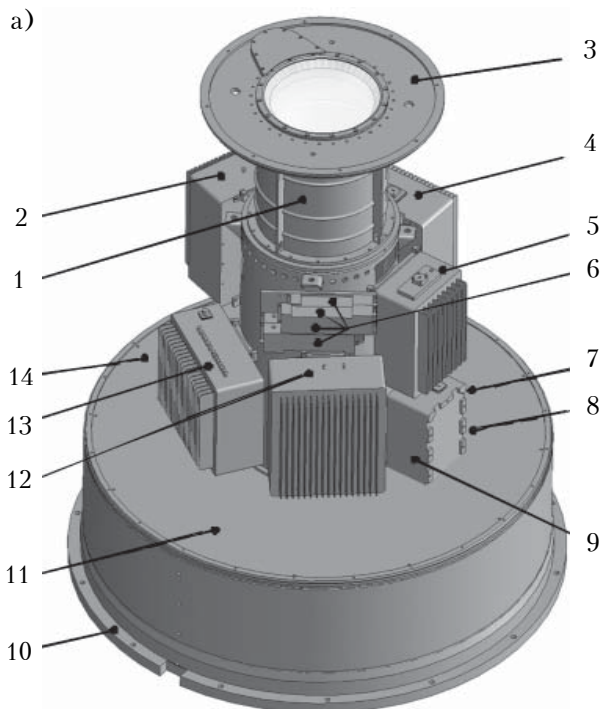


Рис. 2. Конструкция (а) и экспериментальный образец (б) радиоастрономической приемной системы: 1 – КПФБ; 2 – БПЧ-*X*; 3 – фланец КПФБ; 4 – БПЧ-*Ka*; 5 – БГШ; 6 – РФ-1, РФ-2; 7 – БПДКУ-1; 8 – коммутатор 112105-5004; 9 – БПИ; 10 – фланец присоединительный; 11 – блок АС/DC TXL750-24С; 12 – БПЧ-*S*; 13 – БК4; 14 – БПДКУ-2 (устройства 7, 8, 11, 14 и защитный кожух РПС на схеме конструкции не показаны)

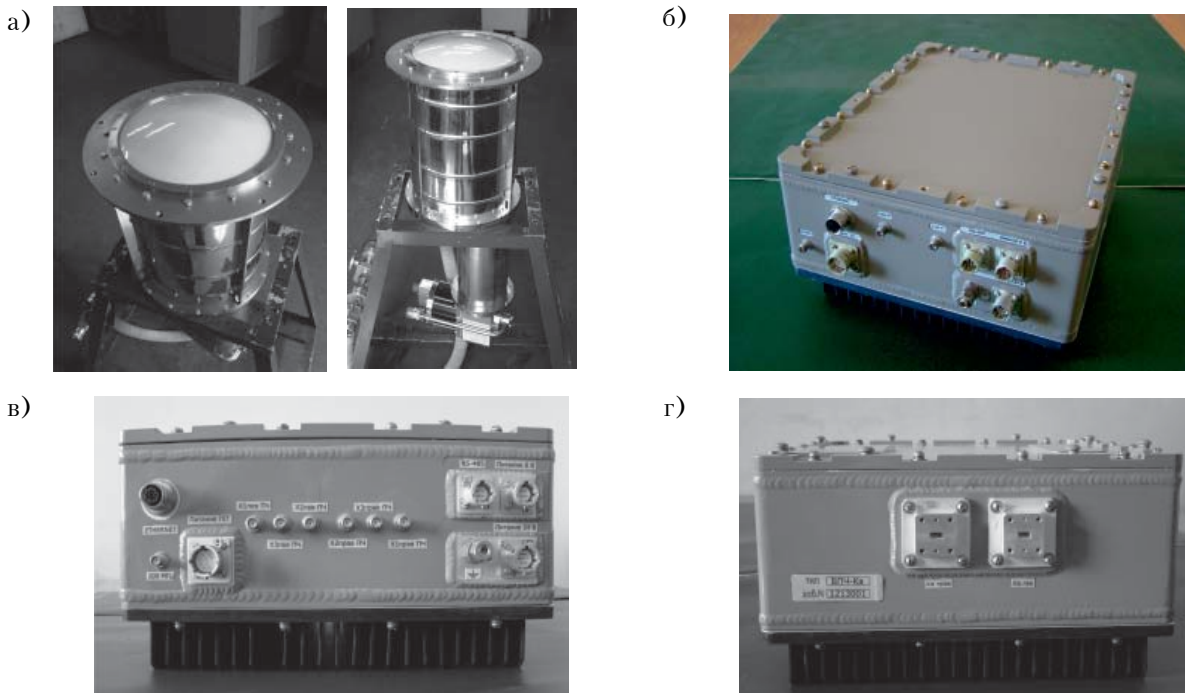


Рис. 3. Блоки, функционально влияющие на относительную погрешность СВЧ-тракта радиометра:
 а – КПФБ; б – БПЧ-*S*; в – БПЧ-*X*; г – БПЧ-*Ka*

БПЧ-*Ka* предназначен для усиления и преобразования сигналов диапазона частот 28–34 ГГц в сигналы ПЧ диапазона 1–2 ГГц.

В каждом БПЧ имеется по два входных приемно-усилительных канала, соответствующих левой и правой круговой поляризации. Количество выходных каналов: в БПЧ-*S* два канала (левой и правой поляризации); в БПЧ-*X* и БПЧ-*Ka* по шесть каналов (по три канала левой и правой поляризации). Частоты выходных сигналов ПЧ правого и левого каналов в каждом из блоков БПЧ в *S*-, *X*- и *Ka*-диапазонах совпадают.

БПЧ обеспечивают свои характеристики при подаче на их входы от внешнего источника сигналов опорной частоты 100 МГц, которые необходимы для формирования сигналов гетеродинов БПЧ.

Обеспечение стабильной работы БПЧ в температурном диапазоне 5–40°C достигается термостатированием приемно-преобразовательных модулей в *S*-, *X* и *Ka*-диапазонах.

В число блоков канала СВЧ, вносящих вклад в погрешность радиометрического канала, входит и блок коммутации, представленный на рис. 4. Он предназначен для коммутации сигналов, поступающих с выходов блоков преобразователей частоты БПЧ-*S*, БПЧ-*X*, БПЧ-*Ka*, их усиления, а также определения уровня мощности в субканалах радиометрического контроля.

Блок коммутации обеспечивает для каждой поляризации следующие режимы коммутации трактов:

– режим «*S*/3*X*», при котором входной сигнал *S*-канала обеих поляризаций и три сигнала

X-канала обеих поляризаций передаются на выходы БК;

– режим «*X*/3*Ka*», при котором входной сигнал *X*-канала обеих поляризаций и три сигнала *Ka*-канала обеих поляризаций передаются на выходы ПЧ БК.

БК имеет 14 входов для сигналов ПЧ, поступающих с выходов БПЧ (*S*, *X*, *Ka*) и восемь каналов сигналов выходных частот. Конструктивно БК выполнен в герметичном металлическом корпусе с термостатированием модуля коммутации и усиления.

Существенный вклад в суммарную погрешность измерительного тракта вносит блок генератора шума (БГШ), используемый как стандарт при калибровочных операциях, (рис. 5).

БГШ предназначен для генерирования и амплитудной регулировки сигналов в тракте ам-

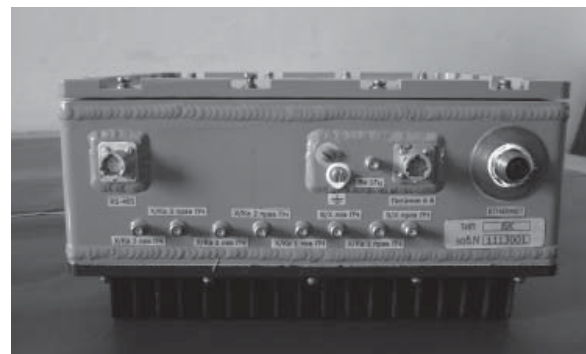


Рис. 4. Блок коммутации



Рис. 5. Блок генераторов шума

плитудной калибровки радиоприемного тракта РПС, а также выполняет амплитудную регулировку сигналов фазовой калибровки радиоприемного тракта РПС, поступающих от генератора пикосекундных импульсов.

БГШ обеспечивает генерацию шумовых сигналов в рабочей полосе частот S -, X - и Ka -диапазонов. Конструктивно БГШ выполнен в отдельном герметичном корпусе. Стабильность работы БГШ достигается термостатированием модулей формирования шумовых сигналов во всех трех диапазонах.

Остальные блоки (РПС, БПДКУ1, БПДКУ2, БГПИ) предназначены для питания блоков СВЧ-тракта и организации управления работой блоков.

Система управления организована по распределенному двухуровневому принципу. Каждый блок оснащен контроллером, который по шине Ethernet либо RS485 взаимодействует с центральным пультом управления радиотелескопа.

Связь происходит через коммутатор Ethernet в виде самостоятельного блока.

Заключение

Радиоприемная система для малых радиотелескопов имеет несколько существенных преимуществ по сравнению с применявшимися ранее.

1. Решен вопрос создания трехдиапазонного облучателя для диапазонов частот 2,2–2,6 ГГц; 7,0–9,5 ГГц; 28,0–34,0 ГГц.

2. За счет глубокого охлаждения (до 10 К) антенного облучателя и входных транзисторных усилителей достигнута высокая чувствительность приемного комплекса: в Ka -диапазоне — 36 К (0,5 дБ), в X -диапазоне — 15 К (0,21 дБ), в S -диапазоне — 10 К (0,15 дБ).

3. Минимизированы погрешности измерения в тракте радиометра за счет температурной стабилизации основных узлов радиометрического канала.

4. Реализована возможность дистанционного контроля работоспособности РПС, определения работоспособности входящих в систему узлов и блоков. Реализована возможность дистанционного управления режимами работы приемной системы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

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

2. The Global Geodetic Observing System: meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020 / Ed. by H. P. Plag, M. Pearlman. — Berlin: Springer Verlag, 2009.

3. Hase H., Dassing R., Kronschnabl G. et al. Twin Telescope Wettzell — a VLBI2010 radio telescope project // Proc. of the fifth IVS General Meeting, Russia, St. Petersburg, 2008. — P.109–113.

4. Kronschnabl G., Neidhardt A., Pausch K. et al. The TWIN-Wettzell // IVS TecSpec Workshop. — Germany, Bad Kotzting, 2012.

5. López-Fernández J. A. The RAEGE VLBI radio telescope // IVS TecSpec Workshop. — Germany, Bad Kotzting, 2012.

6. Ипатов А. Б., Чмиль В. М., Скрасанов В. Н. и др. Криогенный приемный фокальный блок для телескопов радиоинтерферометрического комплекса нового поколения // Радиофизика и радиоастрономия, 2014. — Т. 19, № 1. — С. 81–96.

7. Михайлов В.Ф., Брагин И.В., Брагин С.И. Микро-волновая спутниковая аппаратура дистанционного зондирования Земли. — Санкт-Петербург: ГУАП, 2003.

*Дата поступления рукописи
в редакцию 23.10 2015 г.*

**О. М. ПИЛИПЕНКО, І. К. СУНДУЧКОВ,
В. В. ЧМІЛЬ, В. М. ЧМІЛЬ, П. О. ЯЦИК**

Україна, м.Київ, ПАТ «НВП «Сатурн»
Email: chmil@nbi.com

РАДІОМЕТРИЧНИЙ ПРИЙМАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ТА ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ВНОСИМОЇ НИМ ПОХИБКИ У РАДІОМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Сформульовано та обґрунтовано критерії побудови структурної схеми і конструкторсько-технологічних рішень при проектуванні приймального комплексу для компенсаційного радіометра повної потужності. Представлено результати розробки приймального комплексу в рамках оснащення малих радіотелескопів,

створюваних за програмою VLDI2010. Розглянуто спроектовану приймальну систему для малих радіотелескопів, побудованих в рамках виконання програми VLDI2010.

Ключові слова: радіотелескоп, приймальний комплекс, радіометр повної потужності, флуктуаційна чутливість, помилка вимірювального тракту.

DOI: 10.15222/TKEA2015.5-6.14
UDC 621.396.677:621.396.965

A. M. PYLYPENKO, I. K. SUNDUCHKOV,
V. V. CHMIL, V. M. CHMIL, P. O. YATSYK

Ukraine, Kyiv, "Saturn" Research and Development Company PJSC
E-mail: chmil@nbi.com

RADIOMETRIC RECEIVING COMPLEX AND WAYS TO REDUCE THE RADIOMETRIC MEASUREMENTS ERROR

The authors formulate criteria for building a structural scheme and developing design and technological solutions for a reception complex for full-power compensation radiometers. The paper presents the results of development of the reception complex within the framework of equipping small telescopes created according to the program VLDI2010.

Keywords: radio telescope, receiving complex, full power radiometer, fluctuation sensitivity, measuring path error.

REFERENCES

1. Ipatov A. V. [New generation radio interferometer for fundamental and applied investigations]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2013, vol. 183, no. 7, pp. 769-777.

2. *The Global Geodetic Observing System: meeting the requirements of a Global Society on a changing planet in 2020*. Ed. by H. P. Plag, M. Pearlman. Berlin: Springer Verlag, 2009, 332 p.

3. Hase H., Dassing R., Kronschnabl G., Schluter W., Schwarz W., Kilger R., Lauber P., Neidhardt A., Pausch A., Gbldi W. Twin Telescope Wettzell – a VLBI2010 Radio Telescope Project. *Proc. of the fifth IVS General Meeting*, Russia, St. Petersburg, 2008, pp.109-113.

4. Kronschnabl G., Neidhardt A., Pausch K., Goldi W., Rayet R., Emrich A. The TWIN-Wettzell. *IVS TecSpec Workshop*, Germany, Bad Kotzting, 2012.

5. López-Fernández J. A. The RAEGE VLBI radio telescope. *IVS TecSpec Workshop*, Germany, Bad Kotzting, 2012.

6. Ipatov A. B., Chmil V. M., Skresanov V. N., Ivanov D. V., Mardyshkin V. V., Chernov V. K., Pilipenko A. M., Kirilenko A. A. [Cryogenic focalreceiving unit for telescopes of new-generation radio interferometric complex]. *Radiofizika i radioastronomiya*, 2014, vol. 19, no. 1, pp. 81-96.

7. Mikhailov V. F., Bragin I. V., Bragin S. I. *Mikrovolnovaya sputnykovaya apparatura distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Microwave satellite equipment for Earth remote sensing]. Saint-Petersburg: GUAP, 2003.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Ащеулов А. А., Охрем В. Г., Романюк И. С. Новые термоэлектрические эффекты и элементы (на украинском языке). — Черновцы: Издательский дом «Родовід», 2015.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований некоторых новых физических явлений и эффектов в термоэлектрически неоднородных и анизотропных средах. К ним относятся Umkehr-эффект, а также явления объемной термо-эдс и Бриджмена. Их использование позволило предложить и создать ряд оригинальных холодильных элементов. Рассмотрены также новые аспекты явления вихревых термоэлектрических токов, позволившие предложить оригинальный подход к проблеме термоэлектрического преобразования энергии. Полученные результаты обусловили появление ряда перспективных генераторных и холодильных элементов.

Для ученых, занимающихся термоэлектричеством, инженеров-разработчиков термоэлектрических приборов, а также для преподавателей, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

