МНОГОКАНАЛЬНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

Стороженко А.А., Богод В.М., Перваков А.А., Шлензин С.В.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

MULTICHANNEL REGISTRATION IN A WIDE WAVELENGTH RANGE WITH THE RATAN-600 RADIO TELESCOPE

Storozhenko A.A., Bogod V.M., Pervakov A.A., Shlenzin S.V.

*Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences,
Nizhnij Arkhyz, Russia*

From 2016 on the antenna system of the Southern Sector with the Periscope on RATAN-600, a new version of the wide-range spectral-polarization complex for solar observations (SSPK-16) was installed and put into operation. To understand the processes leading to the emergence of solar activity, it is necessary to register the radiation flux from the structures of active regions in a large dynamic range, from signals at the level of the quiet Sun to powerful events with a brightness temperature of the order of 10^7 K. On the other hand, to assess the quality of the antenna system, there is a need to measure weak signals from distant objects. The structure of the complex is developed taking into account the listed contradictory requirements and contains a system of distributed attenuators controlled by a digital signal, which allows to quickly adjustment the characteristics of the complex for a specific problem. SSPK-16 provides detection and registration of measured signals in the 3–18 GHz band with a wide, about 70 dB, dynamic range.

The article discusses the basic principles of building the architecture of the SSPK-16 complex, its microwave part and registration system.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-253-256

В 2016 г. в антенной системе Южного сектора с Перископом на РАТАН-600 установлена и введена в эксплуатацию новая версия широкодиапазонного спектрально-поляризационного комплекса для солнечных наблюдений – ССПК-16, рис. 1. Для понимания процессов, приводящих к возникновению активности солнечной короны, требуется регистрация потока излучения от структур активных областей в большом динамическом диапазоне, от сигналов на уровне спокойного Солнца до мощных событий с яркостной температурой порядка 10^7 К, [1]. С другой стороны, для оценки качества антенной системы, существует необходимость в измерении слабых сигналов от удаленных объектов. Структура комплекса разработана с учётом перечисленных противоречивых требований и содержит систему распределенных управляемых цифровым сигналом аттенюаторов, что позволяет быстро перестраивать характеристики комплекса под конкретную решаемую задачу. ССПК-16 обеспечивает детектирование и регистрацию

измеряемых сигналов в полосе 3–18 ГГц с широким, порядка 70 дБ, динамическим диапазоном.

В настоящей работе рассмотрены основные принципы построения архитектуры комплекса ССПК-16, его СВЧ части, системы регистрации.

Рис. 1. Солнечный спектрально поляризационный комплекс – ССПК-16. Основные обозначения: ltr-43 – модуль цифрового ввода-вывода и синхронизации, ltr-24 – модуль 4-канального сигма-дельта АЦП с параллельными независимыми каналами, ltr-114 – 24 битовый модуль АЦП с максимальной частотой преобразования 4 кГц с дифференциальным входом с динамической коммутацией до 16-ти каналов, LTR/EU16 – 16-местный 19" крейт для модулей в формате LTR/EU, AAF – anti-aliasing фильтр Бесселя 4 порядка, Att00 – управляемый 15.5dB СВЧ аттенюатор с шагом 0.5dB, Att01-Att10 – управляемый 15dB СВЧ аттенюатор с шагом 1dB, БЧР1 – блок гетеродинов первого уровня, вход 3–18ГГц, выход 10 каналов по 1.5 ГГц, БЧР2 – блок гетеродинов второго уровня, вход 1.5 ГГц выход 8 каналов по 100 МГц.

Комплекс работает с приемной антенной с совмещённым фазовым центром для левой и правой поляризации, сигнал от которой по двум фидерам поступает на входной блок, рис. 2. Сигнал во входном блоке последовательно коммутируется системой управляемых ключей (1) рис. 2, которые позволяют реализовать следующие режимы измерения: режим переключения L/R, только L, только R, переключение калибровочного генератора шума. Управляемый пятибитовый аттенюатор входного блока обеспечивает 32 варианта ослабления входного широкополосного 3–18 ГГц сигнала, в диапазоне 0–15.5 дБ с шагом 0.5 дБ. Ключи (1) рис. 2, генератор шума, система регистрации должны работать синхронно, для решения этой задачи создан управляемый генератор синхросигналов на платформе контроллера Arduino-nano (ATmega328, 16 МГц, DI/DO – 14, AI – 8, flash ram 32kB ram

2kВ), который преобразует сигналы управления от модулей LTR43, рис. 1, в синхронные управляющие последовательности.

Рис. 2. Схема входного блока. 1 – hmc547lp4(hmc547alc3) широкополосный 0-20GHz СВЧ переключатель, потери > 2 дБ, изоляция между каналами 40 дБ, время переключения 6 нс; 2 – HMC941ALP4 управляемый широкополосный 0.1–33 ГГц 5 битовый аттенюатор, с весами аттенюации 0,5-1-2-4-8 дБ, суммарным коэффициентом 15.5 дБ, коэффициентом искажений во всем диапазоне не более ± 0.3 дБ; 3 – приемная синусная антенна с двумя круговыми поляризациями QSPDCP2-18SRA, 2 – 18 ГГц.

Радиометр ССПК-16 реализует двухуровневую архитектуру БЧР1, БЧР2. БЧР 1, рис. 1, состоит из 10 каналов с полосой пропускания 1500 МГц каждый, разбивающих общий диапазон системы от 3 до 18 ГГц на десять полос. БЧР1 оснащён системой вторичных четырех битовых аттенюаторов att1..att10, диапазон подавления сигнала 0–15 дБ, шаг 1 дБ. Система вторичных аттенюаторов позволяет устанавливать индивидуальные коэффициенты передачи для каждой из десяти групп частотных каналов радиометра. БЧР2 обеспечивает 1% частотное разрешение с полосой 100 МГц на канал и числом одновременно работающих каналов 80 в диапазоне 3–18 ГГц. Суммарное количество аналоговых каналов на выходе радиометра ССПК-16 – 90(10 широкополосных 1,5 ГГц и 80 узкополосных 100 МГц) с учетом требований режима измерения R/L поляризации суммарное количество информационных каналов системы регистрации ССПК-16 – 180. СВЧ модули БЧР1, 2 размещены в специально спроектированном корпусе, с учетом требований по обеспечению необходимого теплоотвода от функциональных узлов БЧР1, 2, рис. 3.

Основной режим работы радиометра ССПК-16 — режим полной мощности с переключением измеряемого сигнала поляризации, поэтому для решения проблемы температурного дрейфа модулей БЧР1, 2 была решена задача температурной стабилизации системы. Радиометрический комплекс конструктивно разделен на 3 независимых зоны регулирования с индивидуальной обратной связью по температуре, рис.1, 3. Точность регулирования (стабилизации) в точке контроля составляет 0.1 К.

Система сбора построена в конструктиве 16 местного крейта LTR/EU16 производства L-Card [2] и оснащена модулями ввода-вывода LTR43, LTR114, LTR24. Основной поток информации от радиометра

Рис. 3. Виды внешние проекта несущих конструкций радиометрического комплекса ССПК-16. 1 – входной блок предварительного усиления 3–18 ГГц; 2 – корпус БЧР1 и БЧР2, с отдельными зонами термостабилизации; 3 – блок микропроцессорных регуляторов для управления элементами Пельтье.

ССПК-16 принимается модулями LTR114, этот тип был выбран, в первую очередь, из-за хороших технико-экономических характеристик. LTR114 предназначен для прецизионной оцифровки сигналов с частотой АЦП преобразования до 4 кГц и построен на основе одного 24-х битного сигма-дельта АЦП с программируемым 16-канальным коммутатором, в связи с чем модуль не содержит необходимых ААФ фильтров. Для устранения этого недостатка был создан набор активных ААФ фильтров Бесселя 4-го порядка. ААФ фильтры включены в структуру системы сбора, как отдельная функциональная единица, рис. 1. Система сбора ССПК-16 управляется комплексом специально разработанного прикладного программного обеспечения, исполняемого в среде ОС Linux.

С момента запуска и по сегодняшний день посредством программно-технического комплекса ССПК-16 было проведено более 10000 наблюдений в автоматическом режиме. Отметим основные прикладные задачи, которые были решены с внедрением ССПК-16: возможность динамической подстройки коэффициентов подавления сигнала в измерительных каналах системы; увеличение динамического диапазона – регистрация сигналов на уровне предельной чувствительности 0.1 К до регистрации мощных событий соответствующих 10^7 К; реализованы два уровня частотного разделения в полосе 3–18 ГГц – 10% уровень (10 частотных каналов по 1500 МГц) и 1% уровень (80 частотных каналов с полосой 100 МГц); работа в режиме полной мощности как в режиме переключения L/R, так и для одной из поляризаций; высокоточная стабилизация температуры модулей радиометра; работа в различных конфигурациях радиометрического комплекса и их оперативное переключение; работа в полностью автоматическом режиме; применение модульной архитектуры и стандартизированной широкодоступной элементной базы для системы регистрации ССПК-16.

Литература

1. Богод В.М. Радиотелескоп РАТАН-600 в 24 цикле солнечной активности. I. Новые возможности и задачи // *Астрофизический бюллетень*, 2011, том 66, № 2, с. 207–222.
2. Крейтовая система LTR руководство пользователя, <http://www.lcard.ru/download/ltr.pdf>