

Широкополосные модули промежуточных частот для радиоастрономических приёмных систем

© А. В. Крохалев, А. А. Евстигнеев

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

В статье представлены результаты разработки микросборки модуля промежуточных частот для блоков преобразования частот диапазона 3–16 ГГц широкополосной приемной системы радиотелескопа РТ-13. Приведены принципы построения и функционирования основных узлов микросборки, а также её основные параметры.

Разработанная микросборка представляет собой модернизированный вариант аналогичного по основному назначению устройства и содержит входной переключаемый аттенюатор, малощумящий усилитель, корректор амплитудно-частотной характеристики, фильтр нижних частот, выходной усилитель, направленный ответвитель и детектор.

Полоса пропускания по уровню -3 дБ составляет 2 ГГц, коэффициент передачи равен 26 дБ при «нулевом» ослаблении входного аттенюатора, который имеет диапазон значений перестройки от 0 до 31 дБ с шагом 1 дБ. Верхняя граница линейности амплитудной характеристики по уровню 1 дБ компрессии составляет 18 дБм. Динамические диапазоны тракта основного усиления и тракта детекторного канала составляют не менее 60 дБ.

Ключевые слова: усилитель, фильтр нижних частот, корректор амплитудно-частотной характеристики, радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами, детектор, микрополосковая технология.

Контакты для связи: Крохалев Андрей Владимирович (newbizz@bk.ru).

Статья поступила в редакцию 23.09.2020, принята к публикации 16.10.2020, опубликована 30.10.2020.

Для цитирования: Крохалев А. В., Евстигнеев А. А. Широкополосные модули промежуточных частот для радиоастрономических приёмных систем // Труды ИПА РАН. 2020. Вып. 54. С. 40–43.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.54.40-43>

Broadband IF Modules for Radio Astronomy Receiving Systems

A. V. Krokhaliev, A. A. Evstigneev

Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The paper presents the results of the development of a microassembly of the IF module for frequency conversion units in the 3–16 GHz band of the RT-13 broadband receiving system. The principles of construction and operation of the main components of the microassembly, as well as its main parameters, are given.

The microassembly developed is an upgraded version of the previous device that was used in the receiving system. Microassembly consists of an input switchable attenuator, a low-noise amplifier, an amplitude-frequency response corrector, a low-frequency filter, an output amplifier, a directional coupler, and a detector.

The -3 dB bandwidth is 2 GHz, which is twice the operating range of the previous version (1 GHz). The gain is 26 dB with “zero” attenuation of the input attenuator, which has a range of tuning values from 0 to 31 dB in 1 dB increments. The upper limit of the linearity is 18 dBm for 1-dB compression level. The dynamic range of the main and the detector channels is at least 60 dB.

Keywords: amplifier, low-pass filter, amplitude-frequency response corrector, VLBI, detector, microstrip technology.

Contacts: *Andrey V. Krokhaliev* (newbizz@bk.ru).

Received 23 September, 2020, accepted 16 October, 2020, published 30 October, 2020.

For citation: Krokhaliev A. V., Evstigneev A. A. Broadband IF modules for radio astronomy receiving systems // Transactions of IAA RAS. 2020. Iss. 54. P. 40–43.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.54.40-43>

Введение

Модули промежуточных частот входят в состав широкополосных блоков преобразования частот [1] приемной системы радиотелескопа РТ-13 [2]. Являясь окончательным каскадом усиления приемной

системы, они определяют верхнюю границу её динамического диапазона.

Основной целью разработки новых микросборок модулей промежуточных частот (ММПЧ) является расширение рабочей полосы с 1 ГГц до 2 ГГц

с одновременным снижением неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) с 3 до 1 дБ и расширением динамического диапазона с 40 до 60 дБ по сравнению с применявшимися ранее. Дополнительно повышена надёжность микросборок за счёт применения единой несущей платы, содержащей в себе элементы цифрового управления аттенуатором, ранее выносимых на отдельную плату. Использование более современной элементной базы и тщательная проработка межкаскадного согласования улучшили основные технические параметры устройства.

Габаритные и присоединительные размеры, а также интерфейс управления широкополосной ММПЧ полностью совместимы с ранее применявшимися микросборками, что упрощает их замену в блоках приемной системы.

Техническая реализация

Разработанная микросборка (рис. 1) содержит: входной переключаемый аттенуатор 0–31 дБ — Ат. 1, фильтр нижних частот — ФНЧ1, малошумящий широкополосный усилитель — МШУ1, корректор АЧХ — Кор. АЧХ, фиксированный аттенуатор — Ат. 2, ФНЧ2, МШУ2, направленный ответвитель — НО и детектор.

В отличие от штатных микросборок в состав ММПЧ входит детекторный канал, и нет отдельной платы управления — всё реализовано на единой несущей плате с тремя торцевыми разъёмами SMA. Конструктивно ММПЧ представляет собой законченный функциональный узел, который выполнен в виде негерметизированной микросборки (рис. 2). К плате с помощью винтов крепится рамочный фрезерованный экран с крышкой и планка

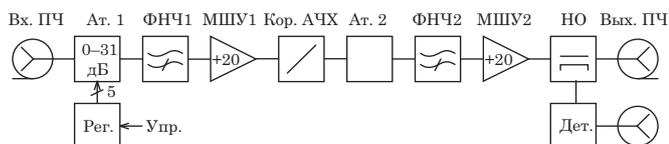


Рис. 1. Функциональная схема ММПЧ



Рис. 2. Общий вид ММПЧ

для установки в широкополосные блоки преобразования частот. Через разъём XS1 подаются напряжения питания и сигналы управления входным аттенуатором по последовательному протоколу.

Результаты исследования технических характеристик модуля

Измеренные АЧХ ММПЧ с разными полосами пропускания приведены на рис. 3.

Применение корректора АЧХ [3] позволило при расширении рабочего диапазона снизить неравномерность характеристики за счёт устранения наклона АЧХ. Подавление сигнала вне рабочей полосы (более 30 дБ) увеличено за счёт использования пары ФНЧ.

Сравнение передаточных характеристик модулей, измеренных по монохроматическому сигналу, показано на рис. 4.

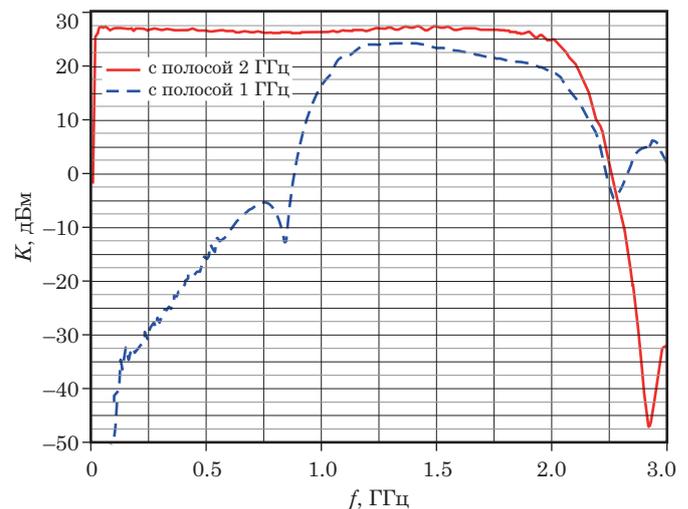


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика ММПЧ с полосой 2 ГГц и 1 ГГц, где K — коэффициент передачи ММПЧ, f — частота

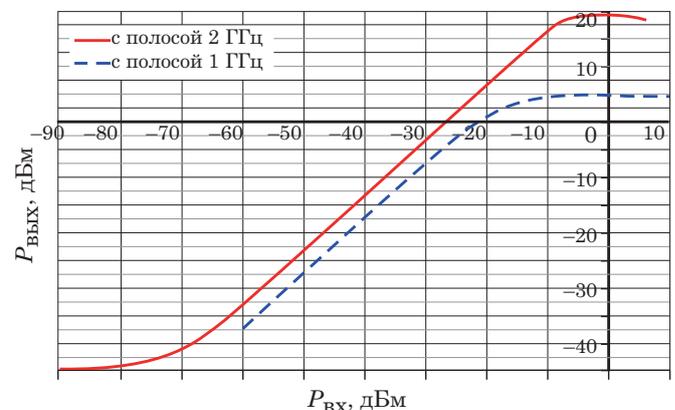


Рис. 4. Передаточная характеристика ММПЧ с полосой 2 ГГц и 1 ГГц, где $P_{вх}$ и $P_{вых}$ — мощность сигнала на входе и выходе ММПЧ

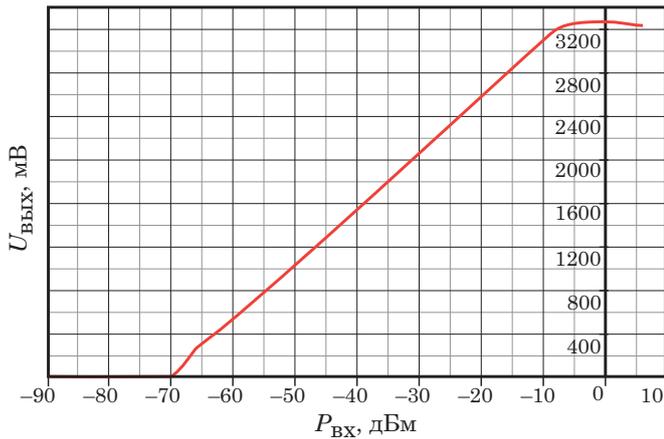


Рис. 5. Передаточная характеристика детекторного канала ММПЧ, где $P_{\text{вх}}$ — мощность сигнала на входе ММПЧ, $U_{\text{вых}}$ — уровень напряжения сигнала на выходе детекторного канала

Уровень компрессии 1-дБ [4] широкополосного модуля увеличен до величины -8 дБм по входу. Поскольку номинальный уровень входного сигнала

при работе системы (-50 дБм) превышает уровень собственных шумов модуля на $35\text{--}40$ дБ, ММПЧ обеспечивает усиление сигнала промежуточной частоты с минимальными искажениями в динамическом диапазоне более 40 дБ.

Отличительной особенностью широкополосного ММПЧ является наличие встроенного детектора, на базе которого может быть построена система автоматической регулировки усиления или радиометрической регистрации. На рис. 5 представлена передаточная характеристика детекторного канала.

Величина выходного напряжения детекторного канала позволяет подавать его на большинство аналого-цифровых преобразователей без дополнительного усиления.

Обобщённые сравнительные характеристики ММПЧ с разными полосами пропускания представлены в таблице.

Увеличение уровня шумов в новых ММПЧ (см. таблицу) обусловлено увеличением полосы пропускания в 2 раза.

Таблица

Основные характеристики ММПЧ

Наименование	Значение	
	2 ГГц полоса	1 ГГц полоса
Диапазон выходных частот по уровню -3 дБ, ГГц	0.03–2.05	1.08–1.84
Неравномерность АЧХ в 90 % рабочей полосы пропускания, дБ	1 ± 0.1	3
Коэффициент передачи сигнала при «0» ослаблении входного аттенюатора	26.5 ± 1	22.5 ± 1.5
Ослабление внеполосных сигналов при отстройке $+300$ МГц, дБ	32 ± 1	10
Верхняя граница линейности амплитудной характеристики по 1-дБ уровню компрессии, дБм	18	1
Точка 1-дБ компрессии по входу, не менее, дБм	-8	-21
Коэффициент собственного шума, дБ	10 ± 0.5	7
Односигнальный динамический диапазон, не менее, дБ	62	40
Динамический диапазон детекторного канала, не менее, дБ	60	—
Диапазон ослабления входного аттенюатора с шагом «1 дБ», дБ	0–31	0–31

Заключение

В разработанных ММПЧ полоса пропускания по сравнению с ранее применявшимися увеличена до 2 ГГц при снижении неравномерности АЧХ до 1 дБ, а динамический диапазон расширен на 22 дБ. Это позволяет обеспечить увеличение отношения сигнал/шум на выходе коррелятора в $\sqrt{2}$ раз [5], что повышает чувствительность радиointерферометра и радиометра. С учетом номинального уровня выходного сигнала приёмной системы новые микросборки по сравнению со штатными обеспечивают запас по 1-дБ компрессии по выходу в 17 дБ, что значительно снижает вероят-

ность перегрузки приёмной системы. Наличие встроенного детектора позволяет в будущем оснастить широкополосные блоки преобразования частот интегрированными устройствами радиометрической регистрации для дополнительного контроля за параметрами приемной системы или системами автоматической регулировки усиления для облегчения работы оператора.

Разработанные микросборки в сентябре 2020 г. введены в состав четырех широкополосных блоков преобразования частот, установленных в широкополосную приёмную систему радиотелескопа РТ-13 обсерватории «Светлое». Проведённые

испытания показали правильность принятых схемотехнических решений, что позволяет применить разработанные ММПЧ для комплектования запасных блоков и изготавливаемых приёмных систем для оснащения радиотелескопов РТ-13 на других обсерваториях комплекса «Квазар-КВО» [6].

Литература

1. *Евстигнеева О. Г., Евстигнеев А. А., Хвостов Е. Ю. и др.* СВЧ-блоки широкополосной приемной системы для РТ-13 обсерватории «Светлое» // Труды ИПА РАН. 2018. Вып. 46. С. 132–138.

2. *Ипатов А. В.* Радиоинтерферометр нового поколения для фундаментальных и прикладных исследований // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. С. 769–777.

3. *Vendelin G. D., Pavo A. M., Rohde U. L.* Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques. 2nd Edition. Canada: Wiley, 2005. P. 474–475.

4. *William F. E.* Practical RF system design. Canada: Wiley, 2003. P. 119.

5. *Томпсон А. Р., Моран Дж. М., Свенсон Дж. У.* Интерферометрия и синтез в радиоастрономии. М.: Физматлит, 2009.

6. *Chernov V. K., Ipatov A. V., Mardyshev V. V., et al.* Ultra-wideband feed for radio telescope of a new-generation radio interferometric network // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems: 15th International Conference, NEW2AN 2015, and 8th Conference, ruSMART 2015, August 26–28, 2015. Proceedings. 2015. Vol. 9247. P. 729–738. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23126-6_67 (accessed: 05.08.2020).