

Широкополосные преобразователи частоты L-диапазона для радиоастрономических приемных систем

© А. В. Крохалев

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье представлены результаты разработки микросборки широкополосного преобразователя частоты L-диапазона для блоков преобразователей частоты радиоастрономических приемных систем. Микросборка преобразователя имеет два исполнения: без гетеродина и со встроенным гетеродином. В статье рассмотрен только один вариант исполнения, а именно — без гетеродина. Преобразователь построен по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты «вниз» без инверсии спектра. Он содержит преселектор с модулятором, смеситель и тракт промежуточной частоты. Полоса пропускания по уровню 3 дБ составляет 340 МГц при неравномерности амплитудно-частотной характеристики не более 1 дБ. Номинальная частота гетеродина при этом составляет 1.26 ГГц при мощности сигнала 0.8 мВт. Коэффициент передачи преобразователя равен 35 дБ при «нулевом» ослаблении амплитудного модулятора, который имеет два значения 0/10 дБ. Амплитудная модуляция коэффициента усиления преобразователя используется в радиометрическом режиме работы радиотелескопа. Ослабление комбинационных составляющих и шумов зеркального канала составляет более 60 дБ. Верхняя граница линейности амплитудной характеристики по уровню компрессии 1 дБ равна 10 мВт. Эквивалентная шумовая температура преобразователя составляет не более 90 К, что соответствует вкладу в шумовую температуру системы порядка 0.2 %.

Преобразователи предназначены для установки на радиотелескопы РТ-32 комплекса «Квазар-КВО». Приведены принципы построения и функционирования основных узлов тракта преобразователя, а также его основные параметры.

Ключевые слова: преобразователь частоты, смеситель, супергетеродин, радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.48.75-80>

Введение

Для замены штатных блоков преобразования частот (БПЧ) L-диапазона радиоастрономических приемных устройств (РПУ) [1], используемых более 20 лет на радиотелескопах РСДБ-комплекса «Квазар-КВО», в ИПА РАН разработан комплект микросборок для БПЧ со встроенным гетеродином. Технические параметры и надежность микросборок улучшены за счет использования современной элементной базы. В статье представлены результаты разработки широкополосных преобразователей частоты (ШПЧ).

Техническая реализация

Комплект БПЧ состоит из двух микросборок, в одну из которых встроены гетеродин с двумя выходами. Это позволяет создавать в одном термостатируемом блоке 2-канальные ШПЧ РПУ L-диапазона частот для одновременного приема сигналов двух поляризаций. ШПЧ построен по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты «вниз» без инверсии спектра и содержит преселектор, смеситель и тракт промежуточной частоты (ПЧ). Частотный план ШПЧ представлен на рис. 1.

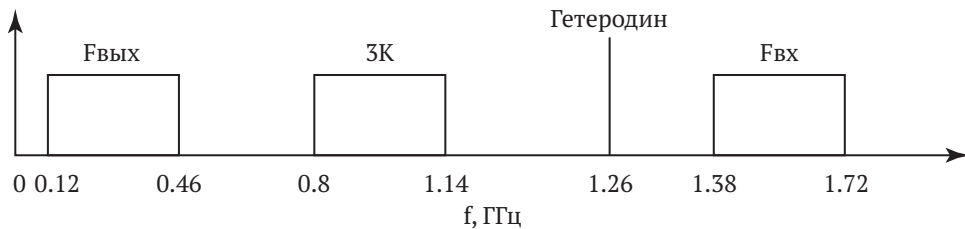


Рис. 1. Частотный план преобразования L-диапазона, где ЗК-зеркальный канал

Основным элементом схемы ШПЧ является смеситель, который реализован на интегральной схеме (ИМС) НМС422MS8. При малом потреблении по постоянному току и небольшом количестве внешних согласующих элементов, он обладает неравномерностью в интересующей полосе пропускания (ПП) не более 0.5 дБ, хорошей температурной стабильностью (0.005 дБ/°С) и низкими потерями преобразования (8 дБ). За счет встроенного усилителя уровень мощности сигнала гетеродина может быть снижен до 0 дБм.

Анализ комбинационных составляющих спектра, попадающих в выходную ПП ШПЧ [2], и паспортных данных на смеситель показал, что для номинального уровня мощности полезного сигнала на входе смесителя -20 дБм и уровня мощности гетеродина 0 дБм относительный уровень мощности комбинации $3f_r - 2f_c$ на выходе не превышает -63 дБ, а остальных комбинаций более высокого порядка — менее -74 дБ относительно уровня мощности сигнала ПЧ.

В L-диапазоне частот зеркальный канал (ЗК) (рис. 1) должен быть подавлен не менее чем на 60 дБ из-за высокого уровня помех, создаваемых системами сотовой связи. Избирательность по ЗК обеспечивается только входным преселектором ШПЧ до смесителя, а основная избирательность по соседнему каналу при однократном преобразовании частоты — фильтром ПЧ после смесителя и частично преселектором [3].

В качестве полосно-пропускающего фильтра (ППФ) преселектора использован 2-каскадный полосовой фильтр на основе ИМС ВРF-A1600+. Для обеспечения работы смесителя по номинальному уровню мощности входного сигнала в канал преселектора введен малошумящий усилитель (МШУ) высокой частоты (УВЧ). Двухкаскадный УВЧ1 на малошумящих E-РHEMT усилителях PSA4-5043+ позволяет получить суммарный коэффициент шума ШПЧ порядка 1.3 дБ.

Для модуляции коэффициента усиления по амплитуде, необходимой для радиометрического режима работы радиотелескопа [4], между каскадами УВЧ1 применен аттенюатор 0/10 дБ НМС541LP3, имеющий хорошую темпера-

турную стабильность ($0.00045 \text{ дБ/}^\circ\text{С}$) в рабочем диапазоне частот. Это решение уменьшает габариты и упрощает управление по сравнению с модуляторами на коммутаторах в существующих БПЧ других диапазонов частот [5] и штатных БПЧ. Недостаточное усиление в преселекторе до смесителя компенсируется введением УВЧ2, выполненного на МШУ типа SBB-4089Z.

ППФ тракта ПЧ построен на основе последовательного соединения фильтра высоких частот (ФВЧ) и 2 фильтров низких частот (ФНЧ), на микросхемах LFCN900+ (на основе низкотемпературной керамики LTCC) и SXLP-450+. Для более точной подстройки левой границы выходной ПП использован эллиптический LC-ФВЧ Кауэра 5-го порядка на планарных компонентах (типичная добротность чип-индуктивностей Q равна 80).

Для коррекции наклона суммарной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ШПЧ на 3–5 дБ на нижней частоте диапазона ПЧ в тракт ПЧ добавлен корректор АЧХ с максимальными потерями на верхней частоте диапазона ПЧ 9 дБ. Потери в фильтрах ПЧ, корректоре АЧХ и смесителе компенсируются в усилителе промежуточной частоты (УПЧ) на основе ИМС SBB-5089Z.

Структурная схема ШПЧ приведена на рис. 2.

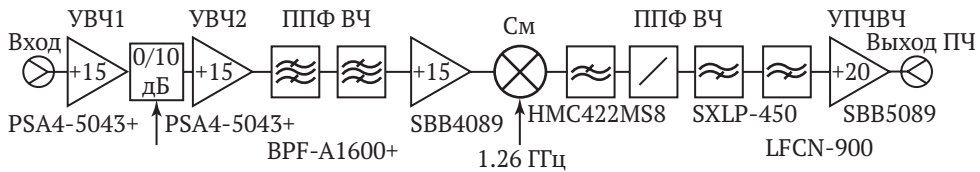


Рис. 2. Структурная схема микросборки ШПЧ без встроенного гетеродина

В результате оптимизации коэффициентов усиления каскадов в ШПЧ (рис. 2), динамический диапазон всего тракта ШПЧ составил 60 дБ. Эффективная шумовая температура ШПЧ составляет не более 90 К, что соответствует вкладу в шумовую температуру системы (шумы антенны и криоблока) порядка 0.2 %.

Элементы схемы преобразователя частоты микросборки размещены на единой СВЧ подложке из материала R4350В толщиной 0.25 мм, а цепи питания – на обратной стороне платы из диэлектрического материала FR-4 High Tg.

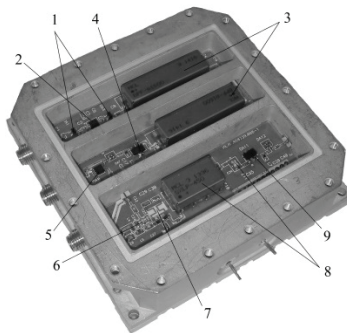


Рис. 3. Микросборка ШПЧ L-диапазона частот без встроенного гетеродина со снятой крышкой, где 1 – УВЧ1, 2 – модулятор, 3 – ППФ преселектора, 4 – УВЧ2, 5 – смеситель, 6 – ФВЧ тракта ПЧ, 7 – корректор АЧХ, 8 – ФНЧ тракта ПЧ, 9 – УПЧ

Общая толщина комбинированной 4-слойной платы составляет 1.6 мм. Плата с элементами установлена в негерметичный фрезерованный корпус (рис. 3) с габаритными размерами 90×90×27 мм и массой не более 380 г.

Технические параметры разработанного ШПЧ представлены в таблице.

Таблица

Технические параметры широкополосного преобразователя частоты

Параметр	Заданный по ТЗ	Фактический
Диапазон входных частот, ГГц	1.38–1.72	1.37–1.71
Номинальная частота гетеродина, ГГц	1.26	
Номинальная мощность сигнала гетеродина, мВт	0.8±0.2	
Полоса пропускания по уровню 3 дБ, МГц	340	340
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в 90 % полосы пропускания, дБ	≤1.5	0.6
Коэффициент передачи при ослаблении амплитудного модулятора «0 дБ», дБ	35 ± 2	36.9
Ослабление шумов зеркального канала, дБ	≥60	66
Ослабление комбинационных составляющих, дБ	≥60	62.5
Верхняя граница линейности амплитудной характеристики по 1 дБ уровню компрессии, мВт	≥10	10
Эквивалентная шумовая температура, К	≤150	90
Динамический диапазон, дБ	≥60	60
Глубина амплитудной модуляции, дБ	10 ± 0.5	10.3
Коэффициент стоячей волны напряжения входов (выходов)	≤2.0 (2.0)	≤1.7(1.3)
Температурный коэффициент усиления, дБ/°С	≤0.04	0.02

Аналогичными параметрами обладает и микросборка ШПЧ со встроенным гетеродином, который имеет низкий уровень фазовых шумов (0.19°). Эта микросборка имеет габаритные размеры 90×143×26 мм и массу не более 570 г.

Заключение

Разработан и изготовлен полный комплект микросборок ШПЧ в одном термостатируемом БПЧ РПУ со встроенным гетеродином. Это позволило в 3 раза уменьшить габариты и массу аппаратуры по сравнению со штатными блоками преобразования и блоком 2-канального внешнего гетеродина. По сравнению с использовавшимися ранее блоками БПЧ уменьшено число СВЧ-узлов и соответственно количество внутриблочных разъёмных соединений и кабельных перемычек, а также число внешних соединений, что повысило надёжность и улучшило согласование элементов схемы.

Фактическое значение параметров разработанных микросборок ШПЧ удовлетворяет техническому заданию (см. таблицу).

Разработанный БПЧ по сравнению с штатными блоками имеет меньший разброс коэффициентов усиления между каналами, а неравномерность АЧХ уменьшена до 0.6 дБ.

Высокая температурная стабильность параметров разработанной микросборки ШПЧ ($\text{TKY} \approx 0.02 \text{ дБ/}^\circ\text{C}$) гарантирует высокую стабильность результатов радиоастрономических наблюдений при использовании ШПЧ в термостатируемом блоке РПУ.

БПЧ с первым комплектом микросборок L-диапазона частот установлен и введен в эксплуатацию на радиотелескопе РТ-32 обсерватории «Светлое».

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

Л и т е р а т у р а

1. *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.

2. *Манасевич В.* Синтезаторы частот. Теория и проектирование. / Пер. с англ. под ред. А. С. Галина. — М.: Связь, 1979. — 384 с.

3. *Герасимов Т. М., Мартынов И. А.* Радиоприемные устройства. — Л.: СЗПИ, 1975.

4. *Ипатов А. В., Кольцов Н. Е., Крохалев А. В.* Радиометрическая система радиотелескопа РТФ-32 // Приборы и техника эксперимента. — М.: Наука, 2005. — № 4. — С. 66–75.

5. *Маршалов Д. А., Кольцов Н. Е.* Микросборки широкополосных каналов усиления и преобразования частот для радиоастрономических приемников // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2006. — Вып. 15. — С. 110–129.

L-band Wideband Frequency Converters for Radio Astronomy Receiving Systems

A. V. Krokhalov

The paper presents the results of the development of a broadband frequency converter microassembly over L-band frequencies for blocks of frequency converters of radio astronomic receiving systems. The microassembly of the converter is realized in two versions: without a heterodyne and with a built-in heterodyne. The paper considers only one version, namely, without a built-in heterodyne. The converter is built in a superheterodyne scheme with a single “down” frequency conversion without spectrum inversion. It contains a preselector with a modulator, a mixer and an intermediate frequency channel. Bandwidth at 3 dB level is 340 MHz. The uneven amplitude-frequency response is no more than 1 dB. The nominal frequency of the heterodyne is 1.26 GHz with a signal power of 0.8 mW. The transmission coefficient of the converter is 35 dB at «zero» attenuation of the amplitude modulator, which has two values 0/10 dB. Amplitude modulation of the gain of the converter is used in the radiometric mode of the radio telescope. The attenuation of the combination components and noise of the mirror channel is more than 60 dB.

The upper limit of the amplitude characteristic linearity by (of/on/at) 1 dB compression level is 10 mW. The equivalent noise temperature of the converter is not more than 90 K, which corresponds to the contribution to the system noise temperature of the order of 0.2 %.

Converters are designed to be installed on the radio telescope RT-32. The principles of the construction and functioning of the main nodes of the conversion path, as well as its main parameters are given.

Keywords: frequency converter, mixer, superheterodyne, VLBI.