

Встроенный гетеродин для радиоастрономических приемных систем диапазона 18 см

© А. В. Крохалев

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье представлены результаты разработки встроенного гетеродина для микросборок радиоастрономических приемных систем диапазона длин волн 18 см, предназначенных для установки на радиотелескопы РТ-32 комплекса «Квazar-КВО». Гетеродин является одночастотным синтезатором частоты, построенным по однокольцевой схеме фазовой автоподстройки частоты, которая реализована на базе одной микросхемы KSN2675A. Она содержит синтезатор частоты, генератор, управляемый напряжением с разветвителем сигнала и петлевой фильтр низких частот. Частота синхронизации опорного сигнала гетеродина составляет 5 или 10 МГц. Выходная частота гетеродина 1.26 ГГц получается делением частоты генератора на два. Мощность сигнала гетеродина на выходах равна 0.8 мВт при температурной нестабильности фазы не более 0.8 пс/°С. Подавление гармоник выходной частоты гетеродина составляет не менее 45 дБ, дискретных компонентов, кратных частоте сравнения — не менее 90 дБ, а гармоник питания в спектре выходного сигнала — не менее 60 дБ. Джиттер сигнала гетеродина составляет не более 0.5 пс, а среднеквадратическое отклонение (СКО) фазовых шумов — не более 0.2°. Спектральная плотность мощности фазовых шумов гетеродина при отстройках от 1 кГц до 100 кГц составляет не менее 98 дБ. В статье приведены принципы построения и функционирования основных узлов гетеродина, а также его основные параметры.

Ключевые слова: гетеродин, фазовая автоподстройка частоты, генератор, управляемый напряжением, импульсно-фазовый детектор, радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.48.70-74>

Введение

Для замены штатных блоков преобразования частот (БПЧ) с блоком внешнего гетеродина диапазона 18 см [1], используемых с 90-х годов на радиотелескопах РСДБ-комплекса «Квazar-КВО», в ИПА РАН разработан комплект микросборок для БПЧ со встроенным гетеродином [2]. В статье рассмотрены результаты разработки встроенного гетеродина.

Техническая реализация

Встроенный гетеродин представляет собой синтезатор частоты, построенный по классической однокольцевой схеме фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) см. рис. 1 [3].

ФАПЧ реализована в одной интегральной микросхеме (ИМС) KSN2675A-119+. В нее интегрированы синтезатор частоты ADF4153; генератор, управляемый напряжением (ГУН), петлевой фильтр низких частот (ФНЧ) и разветвитель сигнала ГУН, что позволяет совместить гетеродин и широкополосный преобразователь частоты в одной микросборке. Кроме того, самая чувствительная к внешним помехам точка петли ФАПЧ — управляющий вход ГУН — в данном случае находится в общем экране этой ИМС.

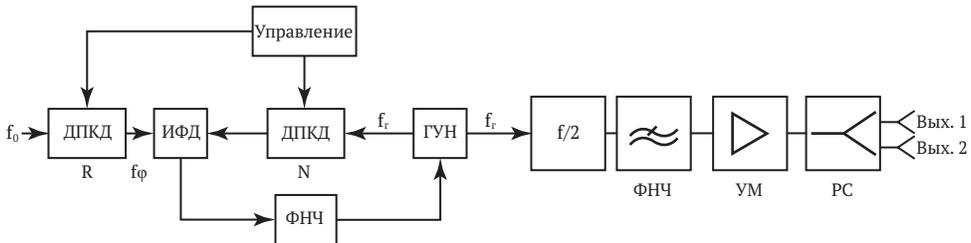


Рис. 1. Структурная схема разработанного гетеродина:

ДПКД — делитель с переменным коэффициентом деления;

ИФД — импульсно-фазовый детектор; ГУН — генератор, управляемый напряжением;

ФНЧ — фильтр низкой частоты, УМ — усилитель мощности,

РС — разветвитель сигнала гетеродина

Гетеродин синхронизируется от опорных сигналов f_0 с частотой 5 или 10 МГц, первый из которых используется на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО», а второй — при настройке и проверке гетеродина. Выбор частоты сигнала осуществляется автоматически с помощью встроенного в микросборку контроллера схемы управления гетеродина. Частота сравнения импульсно-фазового детектора (ИФД) f_ϕ выбрана максимально возможной для данной схемы и равна 5 МГц, что позволяет снизить фазовые шумы, вносимые элементами схемы кольца ФАПЧ. Выходной сигнал ГУН f_r (рис. 1) равен 2.52 ГГц, а коэффициент деления в петле N при этом — 504. ФНЧ в петле ФАПЧ подавляет сигнал с частотой f_ϕ и его гармоники в спектре выходного сигнала гетеродина на 90 дБ.

Частота выходного сигнала встроенного гетеродина 1.26 ГГц получается путем деления на 2 частоты сигнала ГУН f_r (рис. 1). Это позволяет также уменьшить фазовые шумы.

Высокочастотный сигнал с выхода делителя частоты после фильтрации гармоник в ФНЧ на миниатюрном керамическом фильтре LFCN-1325 и усиления в усилителе мощности (УМ) на ИМС SBB-4089Z поступает одновременно через разветвитель сигнала (РС), который реализован на ИМС SCN-2-15+, на выходные разъемы микросборки. Это позволяет создавать в одном термо-

стативируемом блоке 2-канальные широкополосные преобразователи частоты радиоастрономических приемных устройств (РПУ) диапазона длин волн 18 см для одновременного приема сигналов двух поляризаций.

Для уменьшения уровня гармоник сетевой частоты в спектре выходного сигнала гетеродина применены стабилизаторы напряжения питания ADP150A с ультранизкими шумами на выходе (9 мкВ в полосе 10 Гц–100 кГц) для схемы ФАПЧ и TPS7A8001 (15.6 мкВ в полосе 10 Гц–100 кГц) для ГУН.

Коды управления синтезатора с ФАПЧ достаточно выставить 1 раз при включении питания, т. к. перестраивать гетеродин в РПУ диапазона 18 см в процессе работы не требуется. В схеме управления гетеродином используется ИМС 8-битного микроконтроллера ATtiny2313V, для прошивки которого используется SPI-интерфейс. Микроконтроллер транслирует на низкочастотный разъем DB9 сигнал наличия синхронизации частоты гетеродина в центральный компьютер радиотелескопа.

Элементы схем встроенного гетеродина и преобразователя частоты микросборки размещены на единой диэлектрической СВЧ-подложке из материала R4350B толщиной 0.25 мм, а схема управления — на обратной стороне платы из диэлектрического материала FR-4 High Tg. Общая толщина комбинированной платы составляет 1.6 мм. Плата с элементами установлена в негерметичный фрезерованный корпус с габаритными размерами 90×143×26 мм (рис. 2) и массой не более 570 г.

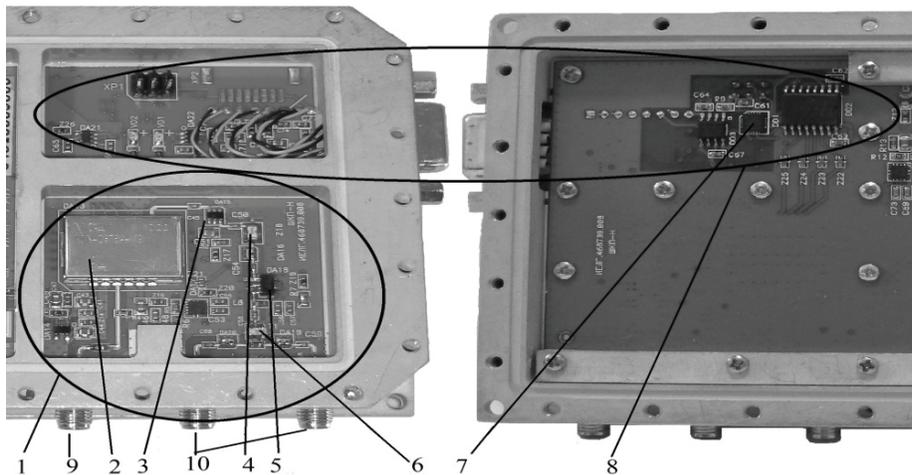


Рис. 2. Микросборка блока преобразования частот диапазона длин волн 18 см со снятыми крышками:
1 — встроенный гетеродин; 2 — ГУН с синтезатором частоты;
3 — делитель частоты на 2; 4 — ФНЧ; 5 — УМ; 6 — РС;
7 — микроконтроллер; 8 — схема управления;
9 — вход опорной частоты;
10 — выходы гетеродина

Технические параметры разработанного гетеродина представлены в табл.

Т а б л и ц а

Технические параметры встроенного гетеродина

Параметр	Параметры по ТЗ	Фактические
Выходная частота сигнала гетеродина, ГГц	1.26	
Мощность сигнала гетеродина на выходах, мВт	0.8±0.2	0.79 (0.8*)
Подавление гармоник выходной частоты гетеродина, дБ	-40	-47
Опорная частота гетеродина, МГц	5 или 10	
Температурная нестабильность фазы гетеродинного сигнала, пс/°С	1	0.81
Спектральная плотность мощности фазовых шумов гетеродина, дБ/Гц, при отстройках от несущей частоты на		
1кГц	-75	-98
10кГц	-80	-101
100кГц	-100	-129
Подавление дискретных компонентов, кратных f_{ϕ} , не менее, дБ	70	90
Джиттер сигнала гетеродина, не более, пс	1	0.45
Уровень гармоник питания в спектре выходного сигнала, не более, дБ/Гц	-50	-60
СКО фазовых шумов, не более, °	0.5	0.19

* – мощность сигнала на втором выходе гетеродина.

Заключение

Фактическое значение параметров разработанного гетеродина удовлетворяет техническому заданию (см. табл.).

Гетеродин обладает низким уровнем фазовых шумов (0.19°), мощность на его выходах соответствует оптимальному режиму работы смесителя в широкополосном канале преобразования частоты.

Термостатируемый БПЧ с первым комплектом микросборок диапазона 18 см установлен на радиотелескопе РТ-32 обсерватории «Светлое».

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

Литература

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. Крохалев А. В. Широкополосные преобразователи частоты L-диапазона частот для радиоастрономических приемных систем // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2019. — Вып. 48. — С. 75–80.

3. Левин В. А., Малиновский В. Н., Романов С. К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. — М.: Радио и связь, 1989. — С. 232.

Built-in Local Oscillators for Radio Astronomy Receiving Systems at the 18 cm Wavelength

A. V. Krokhalev

The paper presents the results of the development of a built-in heterodyne for microassemblies of radio astronomy receiving systems in the wavelength range of 18 cm, designed to be installed on the radio telescope RT-32. The heterodyne is a single-frequency frequency synthesizer built in a single-ring phase-locked loop scheme, which is implemented on the basis of a single chip KSN2675A. It contains a frequency synthesizer, a voltage controlled oscillator with a signal splitter and a low-pass loop filter. The frequency of synchronization of the reference signal of the heterodyne is 5 or 10 MHz. The output frequency of the 1.26 GHz heterodyne is obtained by dividing the oscillator frequency by two. The power of the heterodyne signal at the outputs is 0.8 mW at a phase temperature instability of no more than 0.8 ps/°C. The suppression of harmonics of the heterodyne output frequency is no less than 45 dB, while that for discrete components, multiples of the comparison frequency is no less than 90 dB, and power harmonics in the spectrum of the output signal — no less than 60 dB. The heterodyne signal jitter is no more than 0.5 ps, and RMS phase noise is no more than 0.2°. Power spectral density of the phase noise of local oscillator with frequency detuning from 1 kHz to 100 kHz is no less than 98 dB. The paper presents the principles of construction and functioning of the heterodyne main nodes, as well as its basic parameters.

Keywords: heterodyne, phase-locked loop, voltage-controlled oscillator, pulse-phase detector, VLBI.