

УДК 621 396.628 523 164

СИСТЕМА КОГЕРЕНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ АСТРОМЕТРИЧЕСКОГО РСДБ НИРФИ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Б. Н. Липатов, А. С. Сизов

Излагаются принципы построения системы когерентного преобразования частоты сигналов сантиметрового диапазона, предназначенной для астрометрического радионтерферометра со сверхдлинной базой. Одной из особенностей предлагаемой системы является формирование сигнала первого СВЧ гетеродина, основанного на умножении частоты выходного сигнала рубидиевого стандарта 5 МГц. Полоса преобразования принимаемых от радионисточника сигналов в разработанной системе составляет 50 МГц, что обеспечивает многоканальный синтез корреляционнойгибающей в такой же эффективной полосе частот. Приводятся результаты экспериментальной проверки.

Для решения круга задач, связанного с астрометрией, геодезией и геодинамикой, в НИРФИ разработан специализированный аппаратный комплекс астрометрического радионтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ) сантиметрового диапазона [1], позволяющий на современном уровне требований к точности эксперимента измерять основные исходные величины — групповую задержку и частоту интерференции. Важной частью этого аппаратного комплекса является система когерентного преобразования частоты принимаемых сигналов от радионисточника. Как известно, такая система может быть построена на основе атомных стандартов частоты в каждом пункте РСДБ, нестабильность которых будет определять длительность когерентного накопления интерферометрического сигнала. При разработке задача сводится к перенесению высокостабильных свойств сигнала стандарта частоты на сигналы гетеродинов при условии их спектральной чистоты. Последнее обстоятельство особенно важно для астрометрической системы при точных и однозначных измерениях частоты интерференции. Кроме того, система когерентного преобразования сигналов астрометрического РСДБ должна выполнять преобразование в достаточно широкой полосе частот, необходимой для синтеза соответствующей широкой эффективной полосы частот, ширина которой в большой степени определяет конечную точность измерения групповой задержки [2].

1. Принципы построения системы когерентного преобразования сигналов сантиметрового диапазона. Разработанная и изготовленная нами система когерентного преобразования сигнала представляет собой систему с двойным преобразованием частоты с шириной полосы приема 50 МГц, преобразующую принимаемые сигналы сантиметрового диапазона в рабочую полосу устройства синтеза широкой полосы частот (СШПЧ) 30—76 МГц [3]. Блок-схема системы показана на рис. 1. Сигнал первого, фиксированного по частоте гетеродина (ПГ) формируется непосредственно из сигнала 5 МГц рубидиевого стандарта частоты Ч1-69 путем умножения, сигнал второго гетеродина получается умножением выходного сигнала синтезатора частоты Ч6-58, который

синхронизируется выходным сигналом того же рубидиевого стандарта. Значение частоты сигнала второго гетеродина устанавливается с помощью синтезатора частоты с учетом предварительно рассчитанной величины дифференциального доплеровского сдвига частоты на начальный момент каждого РСДБ-сеанса наблюдений космического радиоисточника.

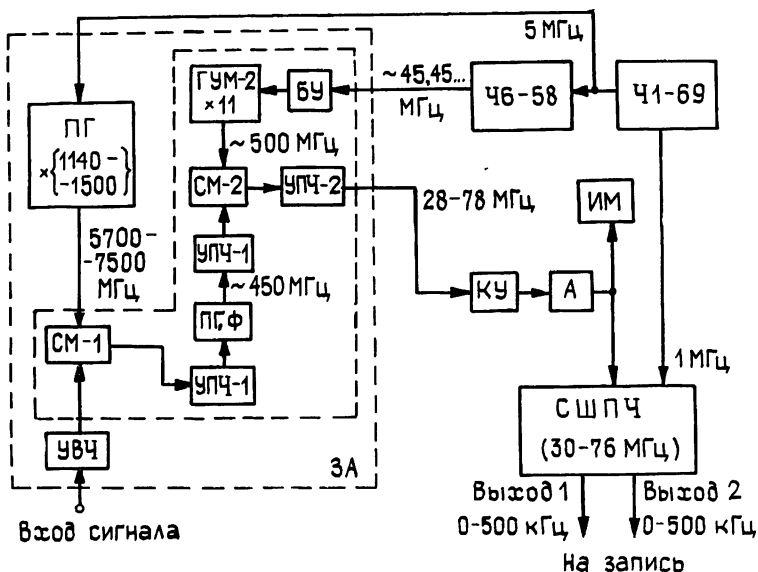


Рис. 1.

В существующих системах РСДБ сантиметрового, а иногда и дециметрового диапазонов первый гетеродин приемника для получения стабильного по частоте и спектрально чистого сигнала разрабатывается, как правило, на основе клистронного генератора или генератора на диоде Ганна с использованием фазовой автоподстройки частоты [4, 5, 6]. Это позволяет получить нужный сигнал мощностью в несколько милливатт. Однако путем умножения частоты выходного сигнала рубидиевого стандарта частоты удалось создать относительно простую и надежную в работе конструкцию гетеродина сантиметрового диапазона длин волн, дающую сигнал достаточной мощности и хорошей спектральной чистоты.

Блок-схема первого гетеродина сантиметрового диапазона, построенного на таком принципе, показана на рис. 2. Части схемы, обведенные пунктиром, выполнены в виде модулей, а весь гетеродин собран в отдельном блоке. Сигнал частоты 5 МГц с выхода рубидиевого стандарта Ч1-69 поступает на вход двухступенчатого транзисторного умножителя частоты на 10, причем вначале сигнал умножается по частоте на 2, а потом на 5. Полученный сигнал частоты 50 МГц умножается затем на 6 с помощью гетеродинного умножительного модуля ГУМ-1, который состоит из генератора гармоник ГГ-1, гребенчатого фильтра ГФ и транзисторного усилителя мощности УМ. Генератор гармоник выполнен на диоде с накоплением заряда (ДНЗ), в качестве которого применен параметрический диод типа ГА 401, обеспечивающий получение гармоники исходного сигнала в полосе частот до ~1 ГГц. Сигнал генератора гармоник поступает на шестирезонаторный перестраиваемый гребенчатый фильтр ГФ полоскового типа. Фильтр настроен на шестую гармонику и выделяет сигнал частоты 300 МГц, ширина полосы фильтра ~ 8 МГц. Этот сигнал затем усиливается и по-

стует на второй генератор гармоник ГГ-2, построенный также на основе ДНЗ. Здесь применен параметрический диод типа ГА 402 В, позволяющий формировать в режиме ДНЗ из синусоидального сигнала последовательность импульсов длительностью $\sim 0,1$ нс с частотой следования в данном случае 300 МГц. Выход генератора гармоник нагружен на узкополосный фильтр на встречных стержнях. Конструкция фильтра позволяет проводить перестройку по частоте и настраиваться на гармоники сигнала 300 МГц, начиная с 19-й по 25-ю, перекрывая тем самым частотный диапазон 5,7—7,5 ГГц.

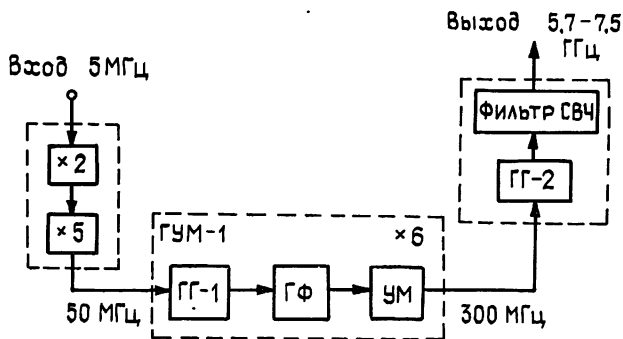


Рис. 2.

При таком способе формирования гетеродинного сигнала в нашей системе на каждом шаге умножения частоты происходит качественное подавление ненужных гармоник, причем особо тщательное подавление осуществляется на самых первых этапах умножения при формировании сигнала 50 МГц. Этому, кроме схемных решений, в значительной степени способствует выбор самого ряда коэффициентов умножения: 2, 5, 6, 19—25. В результате в выходном гетеродинном сигнале сантиметрового диапазона уровень мешающих спектральных составляющих, связанных с гармониками сигнала 300 МГц, около номинальной частоты не превышает — 40 дБ, а уровень всех остальных (включая и спектральные составляющие, обусловленные гармониками сигнала 5 МГц) пренебрежимо мал, и они не оказывают влияния на работу РСДБ-системы. Выходная мощность гетеродинного сигнала равна 0,3 мВт.

Такого уровня мощности сигнала гетеродина сантиметрового диапазона оказывается достаточно для нормальной работы специально разработанного СВЧ смесителя СМ-1. Это балансный смеситель с двухшлейфным мостом на входе, выполненный по микрополосковой технологии на подложке из поликора. В смесителе применены диоды с барьером Шоттки типа АА 112, на которые подается внешнее смещение, позволяющее оптимально выбирать рабочую точку для данного уровня мощности гетеродинного сигнала. При соответствующей настройке смеситель работает в диапазоне частот от 5,2 до 7,6 ГГц.

С выхода смесителя сигнал первой промежуточной частоты поступает на вход широкополосного транзисторного усилителя. Следующий за усилителем полосовой гребенчатый фильтр (ПГФ) задает рабочую полосу частот приема 50 МГц. Средняя частота сигнала первой промежуточной частоты составляет ~ 450 МГц. Сформированный таким образом сигнал первой промежуточной частоты подается на второй смеситель СМ-2 и с помощью сигнала второго гетеродина преобразуется во вторую промежуточную частоту. Сигнал второго гетеродина, перестраиваемый по частоте в области 500 МГц, образуется в гетеродинном умножительном модуле ГУМ-2 на одиннадцать из выходного сигнала синтезатора частоты Ч6-58 $\sim 45,454545$ МГц, прошедшего че-

рез узкополосный буферный транзисторный усилитель (БУ). Конструкция и схема ГУМ-2 подобна формирователю сигнала 300 МГц ГУМ-1 в блоке первого гетеродина. Сигнал второй промежуточной частоты в полосе частот 28—78 МГц усиливается в широкополосном усилителе УПЧ-2.

Аппаратура ЗА, отмеченная на рис. 1 пунктиром, располагается непосредственно в зеркале антенны и соединяется с выходной частью приемной системы достаточно длинным кабелем. Поэтому корректирующий усилитель КУ устраняет искажения, связанные с большим затуханием на верхних частотах рабочей полосы сигнала второй промежуточной частоты. Далее сигнал через переключаемый аттенюатор (А) поступает на измеритель мощности (ИМ) принятого сигнала от радиисточника и одновременно подается на восьмиканальное устройство для синтеза широкой эффективной полосы частот (СШПЧ) [3]. В блоке синтеза широкой полосы частот сигнал второй промежуточной частоты с помощью сетки восьми сфазированных гетеродинных сигналов в диапазоне 30—76 МГц преобразуется на видеочастоту для записи в режиме синтеза на одном магнитофоне в энергетической полосе частот 0—500 кГц при последовательном переключении частотных каналов. На другом магнитофоне, подключенном к другому выходу блока синтеза, непрерывно пишется сигнал любого частотного канала.

Отметим, что применение широкополосного первого смесителя и использование принципа умножения частоты с относительно большой кратностью при формировании обоих гетеродинных сигналов позволяет легко настраивать систему когерентного преобразования на прием сигналов любой частоты в диапазоне 5,2—7,6 ГГц. В качестве входного СВЧ усилителя используется параметрический усилитель или лазер.

2. Результаты экспериментальной проверки. Окончательным критерием качества работы описанной системы когерентного преобразования служил вид спектра интерференционного колебания, полученного в результате измерений с двумя подобными системами, включенными по схеме, полностью повторяющей структуру РСДБ. С целью установления формы спектральной линии интерференционного колебания на сигнальные входы двух приемных систем был подан достаточно мощный шумовой сигнал для обеспечения хорошего отношения сигнала к шуму на выходе. После всех частотных преобразований выходные видеосигналы с каждого плеча радиоинтерферометра перемножались и результат подвергался спектральному анализу на низкочастотном анализаторе спектра С4-54. На синтезаторах частоты Ч6-58 была введена взаимная частотная расстройка, соответствующая смещению по частоте спектральной линии интерференционного колебания на ~ 1 Гц от нулевой частоты.

Проверка показала, что при максимально использовавшемся спектральном разрешении фурье-анализа 0,01 Гц линия спектра интерференционного колебания, обусловленная умножительными каскадами гетеродинов, чистая, ширина обратно пропорциональна времени когерентного накопления, а ее амплитуда соответствует энергетике входного коррелированного шумового сигнала. Это свидетельствует, что система когерентного преобразования сигналов сантиметрового диапазона не вносит заметных искажений при временах когерентного накопления до 100 с — максимальном времени, использовавшемся при проверке.

Измерения показали также, что сами рубидиевые стандарты частоты Ч1-69 при работе в составе астрометрического РСДБ в диапазоне ~ 5 см позволяют проводить когерентное накопление до 50 с практически без искажения формы линии интерференционного колеба-

ния (рис. 3б). Это возможно, однако, при увеличении до ~ 50 с постоянной времени в цепи обратной связи фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) рубидиевого стандарта, осуществляющей управление частотой кварцевого генератора относительно опорной линии рубидиевого перехода, поскольку при меньших значениях постоянной времени (включая и штатное ~ 7 с для Ч1-69) цепь ФАПЧ вносит значительные искажения в выходной сигнал РСДБ (рис. 3а). Время когерентного накопления и чистота спектральной линии интерференционного

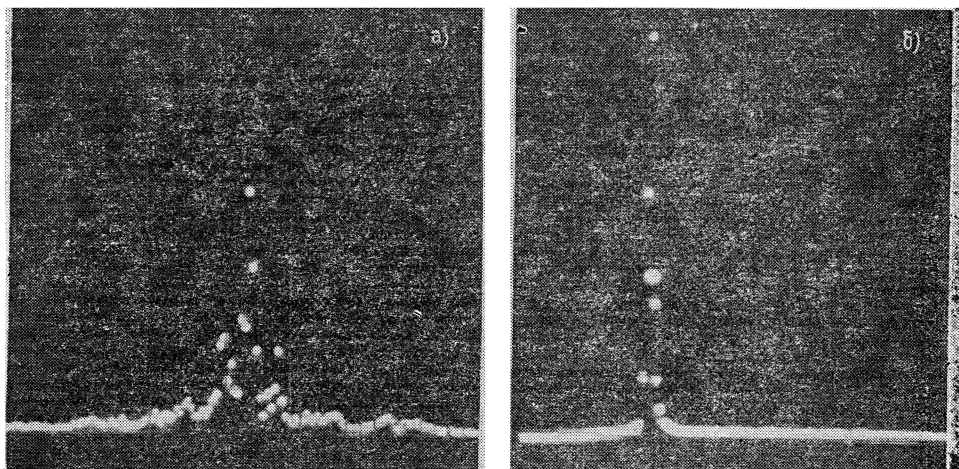


Рис 3 Фотографии окрестностей спектральной линии интерференционного колебания в полосе анализа $\sim 1,5$ Гц. Спектральное разрешение фурье-анализа $0,01$ Гц — расстояние между двумя соседними точками на фотографии. Постоянная времени в цепи обратной связи ФАПЧ рубидиевого стандарта: а) ~ 7 с, б) 50 с.

колебания в рабочем режиме с постоянной времени 50 с полностью определяются фазовой нестабильностью кварцевого генератора рубидиевого стандарта частоты Ч1-69 ($\sim 1,6 \cdot 10^{-12}$). Долговременная нестабильность, порядка суток и более, определяющая шкалу времени и воспроизводимость номинала частоты интерференции, целиком контролируется рубидиевым переходом и находится в соответствии с данными стандарта частоты Ч1-69.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В А, Антипенко А А, Гатэлюк Э Д, Дементьев А Ф., Князев Н А., Крюков А Е, Липатов Б Н, Матвеев Л Г., Сизов А С, Рат Р Н Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрономической конференции — Ереван. АН АрмССР, 1982, с. 414.
2. Rogers A E E — Radio Science, 1970, 5, № 10, p. 1239.
3. Липатов Б Н, Сизов А С. Тезисы докладов XI Всесоюзной радиоастрономической конференции — Ереван. АН АрмССР, 1978, с. 224
4. Whitney A. R., Rogers A. E. E., Hinteregger H. F., Knight C A., Levine J I., Lippincott S., Clark T A., Shapiro I. I., Robertson D S — Radio Science, 1976, 11, № 5, p. 421.
5. Дорониц Ю В, Недоростков А Н, Смоленцев С Г., Федотов А М Тезисы докладов XI Всесоюзной радиоастрономической конференции — Ереван АН АрмССР, 1978, с. 229
6. Каневский Б. З., Коган Л Р., Матвеев Л И, Папаценко А Х, Струков И А, Тимофеев В. В. Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрономической конференции — Ереван. АН АрмССР, 1982, с. 410

B. N. Lipatov, A. S. Sizov

In this paper principles of the construction of a system with coherence transformation of frequencies in centimeter wave range signals are described. This system is a part of astrometric radiointerferometer with very long baseline. One of the system features is a signal formation of first microwave local oscillator based on frequency multiplying of output rubidium standard signal of 5 MHz. Transformation signals of radiosource is produced in passband of 50 MHz that provides multichannel synthesis of correlation function in the same effective frequency band. Test results are shown.

И Н Ф О Р М А Ц И Я

Межвузовский сборник

«ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ»

Издательство Воронежского государственного университета,
объем — 10 печ. л., под редакцией И. Я. Кремера,
выход — IV квартал 1983 г.

Сборник «Обработка пространственно-временных сигналов» является очередным (пятым) выпуском межвузовских сборников по проблеме пространственно-временной обработки сигналов.

Сборник состоит из двух разделов.

В первом разделе «Прием и обработка пространственно-временных сигналов» помещен ряд статей по оцениванию параметров электромагнитных полей, теории оптимального пространственно-временного разрешения сигналов и по теории сигналов в антенных решетках. Рассмотрено оптимальное управление наблюдениями при оценивании параметров детерминированных электромагнитных полей. Исследовано обнаружение цели в среде с рассеиванием во времени, пространстве и по частоте. Рассматриваются отдельные вопросы теории РЛС с синтезированными апертурами. Ряд статей посвящен теории обработки сигналов в системах с фазированными антенными решетками. Рассмотрено пространственное разрешение источников сигнала и помехи в системе обработки с фазированной решеткой. Проанализирована каскадная схема пространственного разрешения радиосигналов. На основе преобразований Уолша синтезирована диаграммообразующая схема для РЛС с фазированными антенными решетками.

Во втором разделе сборника «Прием и обработка временных сигналов» помещены статьи по вопросам обнаружения временных сигналов и оценки их параметров. Исследован последовательный непараметрический алгоритм обнаружения сигналов с симметричной группировкой каналов. Проведен синтез и анализ оптимального рангового обнаружителя пачки радиолокационных сигналов. Проанализирована эффективность оптимальной обработки сигналов в частотной области.

(Продолжение см. с. 202)