

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 621 396.628 523 164

РСДБ-ПРИЕМНИК МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б. Н. Липатов, А. С. Сизов

Для астрофизических РСДБ-исследований в длинноволновой части дециметрового и коротковолновой части метрового диапазонов длин волны нами разработаны приемники с системами когерентного преобразования частот принимаемых шумовых сигналов от радиостанций на основе рубидиевых стандартов частоты Ч1-48 и синтезаторов частоты Ч6-31. В указанном диапазоне при РСДБ-измерениях интересны задачи, связанные как с изучением угловой структуры радиостанций, так и со свойствами галактической среды вдоль трассы распространения сигналов, ввиду того, что неоднородности межзвездной плазмы могут вызвать заметное уширение угловых размеров радиостанций по сравнению с измерениями на более коротких волнах.

Структура и принцип построения системы когерентного преобразования предлагаемых приемников позволяют проводить перестройку по частоте в пределах нескольких десятков мегагерц, при этом меняется только входной усилитель высокой частоты. В качестве конкретного примера в статье описан вариант приема на средней частоте ~ 327 МГц — вблизи предполагаемой линии сверхтонкого перехода дейтерия В системе в этом случае обеспечивается оперативная перестройка частоты приема в пределах около $\pm 1,5$ МГц путем переключения частоты в синтезаторах. Приемники обеспечивают однополосный прием сигналов. Кроме того, предусмотрен прием сигналов в двух вариантах: в полосе частот 250 и 500 кГц для регистрации на видеочастоте на магнитной ленте с помощью цифровых магнитофонов. Приемники могут использоваться также в малобазовых радионтерферометрах с линиями связи между антеннами, при этом обеспечивается существенно больший потенциал по чувствительности, чем при РСДБ-наблюдениях.

1. Принципы построения РСДБ-приемника метрового диапазона. РСДБ-приемник метрового диапазона разработан по схеме с тройным преобразованием частоты, его упрощенная блок-схема показана на рис. 1. Конструктивно приемник состоит из двух блоков, отмеченных на схеме пунктирной линией: блока высокой частоты БВЧ, который располагается непосредственно на антенне, и блока низкой частоты БНЧ, который вместе со всей остальной аппаратурой, входящей в состав приемной системы, находится в аппаратной комнате. Размеры обоих блоков одинаковы и равны $110 \times 280 \times 280$ мм вместе со встроенными в них блоками питания.

В качестве входного усилителя высокой частоты служит резонансный транзисторный усилитель с температурой шумов ~ 100 К со средней рабочей частотой ~ 327 МГц и шириной полосы приема ~ 5 МГц. В усилителе использованы транзисторы типа КТ 399 А, из которых специально отбирались обеспечивающие наименьший уровень шумов в усилителе.

Рассмотрим особенности формирования гетеродинных сигналов и работу системы когерентного преобразования частоты РСДБ-приемника.

Сигнал первого, высокочастотного гетеродина формируется из выходного сигнала синтезатора частоты Ч6-31 $\sim 37,125$ МГц, который синхронизируется опорным сигналом 5 МГц рубидиевого стандарта частоты Ч1-48. Сигнал первого гетеродина перестраивается по частоте в целях компенсации дифференциального доплеровского сдвига частоты в принимаемых на разных пунктах радионтерферометра сигналах радиостанции путем установки расчетной частоты на синтезаторах. Выходной сигнал синтезатора проходит вначале через узкополосный буферный транзисторный усилитель (БУ), а затем с помощью гетеродинного умножительного модуля (ГУМ), подобно описанному в [1], умножается по частоте на восемь. Сформированный таким образом высокостабильный гетеродинный сигнал в области частоты 297 МГц поступает на транзисторный смеситель СМ-1.

Сигнал первой промежуточной частоты со средней частотой 30 МГц усиливается вначале в усилителе промежуточной частоты УПЧ-1, находящемся в высокочастотном блоке, затем по длинному соединительному кабелю поступает на полосовой усилитель первой промежуточной частоты ПУПЧ-1, расположенный в блоке низкой частоты. Полосовой усилитель промежуточной частоты содержит три расстроенных от-

носительно друг друга резонансных транзисторных каскада и формирует сигнал в интервале частот 28—32 МГц. Далее сигнал первой промежуточной частоты поступает на второй смеситель через переключаемый аттенуатор А, а также на измеритель мощности принимаемого радиоизлучения и на переднюю панель блока.

Сигнал второго гетеродина фиксирован по частоте и формируется путем умножения на пять выходного сигнала 5 МГц рубидиевого стандарта в транзисторном умножителе частоты. В тракте второй промежуточной частоты формируются полосы приема сигналов 250 и 500 кГц. Для этой цели в блоке низкой частоты имеются два полосовых фильтра-усилителя Ф-1 и Ф-2, схемное и конструктивное решение которых подобно полосовому усилителю первой промежуточной частоты, но настроены они на другие частоты. Ф-1 пропускает сигнал в полосе частот 5,00—5,50 МГц, а Ф-2 — в полосе частот 5,00—5,25 МГц. Любой из фильтров, на выбор, может быть оперативно подключен наблюдателем в тракт приемника внешними переключками.

С помощью сигнала третьего гетеродина, в качестве которого используется сам опорный сигнал 5 МГц рубидиевого стандарта, осуществляется преобразование сигнала на видеочастоту для записи на магнитную ленту.

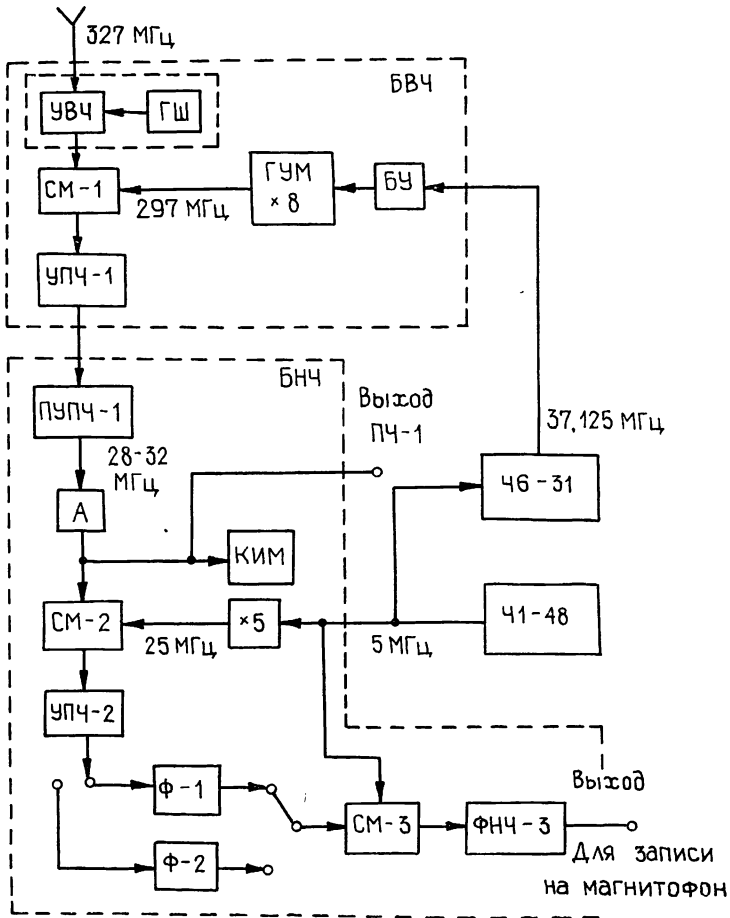


Рис. 1.

Отметим, что система когерентного преобразования частоты обеспечивает однополосное преобразование сигнала на каждом этапе с помощью соответствующих фильтров зеркальных каналов.

Настройка приемной системы на любую частоту в пределах ~230—500 МГц обеспечивается сменой частоты сигнала только первого гетеродина, которая возможна в широких пределах благодаря относительной легкости изменения в гетеродинном умножительном модуле коэффициента умножения с соответствующим набором частоты на синтезаторе. При этом необходима смена резонансных входных усилителей, фильтрующих нежелательный зеркальный канал.

2. Работа РСДБ-приемников в радиометрическом режиме. В радиометрическом режиме РСДБ-приемник работает в полосе частот 4 МГц, которая формируется в диапазоне первой промежуточной частоты в интервале 28—32 МГц. Измерение мощности принимаемой от радиостанции мощности необходимо для оценки функции видимости и осуществляется с помощью компенсационного измерителя мощности (КИМ), а для повышения стабильности коэффициента усиления приемника применено пассивное термостатирование обоих блоков.

В одном корпусе с усилителем высокой частоты размещен генератор шума (ГШ), выполненный на основе лавинно-пролетного диода, имеющий слабую емкостную связь с входным каскадом малошумящего усилителя. Генератор шума дает калибровочный сигнал интенсивностью ~1,5 К, включение и выключение которого осуществляется из блока низкой частоты, где также находится стабилизатор тока шумового диода.

3. Возможности приемной системы РСДБ метрового диапазона. После дополнительной фильтрации в ФНЧ-3 с полосой пропускания 0—500 кГц видеосигнал поступает на систему регистрации [2], осуществляющую запись сигналов от радиостанции на цифровом накопителе на магнитной ленте в полосе частот 250 или 500 кГц в зависимости от формата записи. При полосе регистрации 250 кГц корреляционно-спектральная обработка информации может проводиться полностью на универсальной ЭВМ, а при полосе 500 кГц — с помощью системы обработки данных астрометрического РСДБ НИРФИ [3], где основной объем данных перерабатывается в реальном масштабе времени.

Учитывая, что использование рубидиевого стандарта частоты Ч1-48 обеспечивает при РСДБ-наблюдениях на длине волны ~1 м время когерентного накопления не менее 300 с, максимальная полоса регистрации на цифровой магнитофон равна 500 кГц, а температура шума приемника ~100 К, аппаратурный флуктуационный порог чувствительности РСДБ-системы составляет величину ~0,013 К.

Описанные РСДБ-приемники пригодны также для повышения точности измерений координат радиостанций путем увеличения точности определения групповой задержки между сигналами от радиостанции, принятыми антеннами радионтерферометра, зависящей от времени корреляции регистрируемого излучения. Здесь имеется в виду применение так называемого синтеза сигнала в широкой эффективной полосе частот $\Delta f_{эфф}$ [4], когда регистрация сигналов на магнитную ленту ведется из нескольких частотных каналов. При этом среднеквадратичная ошибка измерения задержки $\sigma_\tau \approx [\Delta f_{эфф} n]^{-1}$, где n — отношение сигнала к шуму на выходе системы обработки одноканального РСДБ. В нашем случае синтез может осуществляться с $\Delta f_{эфф} = 4$ МГц в интервале частот первой промежуточной частоты при использовании системы синтеза широкополосного сигнала, подобной описанной в [5] и содержащей три сфазированных гетеродинных сигнала на частотах 28, 30 и 32 МГц. Тогда при $n=20$ достигается аппаратурная точность измерения задержки $\sigma_\tau = 12,5$ нс. Однако следует иметь в виду, что в рассматриваемом диапазоне длин волн существенный вклад в ошибку измерения задержки дают неконтролируемые возмущения от ионосферных неоднородностей. Тем не менее, такие измерения координат радиостанций полезны для астрофизики, а также имеют самостоятельное значение.

Отметим, что структура РСДБ-приемников допускает стыковку с электроникой приемной системы большого индийского радиотелескопа в Ути [6], работающего на средней частоте 326,5 МГц.

Кроме РСДБ-измерений описанные приемные системы могут быть использованы в качестве основы малобазового радионтерферометрического аппаратурного комплекса с кабельными линиями связи между антеннами при применении систем корреляционной обработки и спектрального анализа интерференционного колебания в реальном масштабе времени в процессе наблюдений, описанных в [7]. В этом случае реализуется интерференция сигналов по желанию наблюдателя в полосе частот 4 МГц, 500 и 250 кГц, для чего при корреляционной обработке используются выходы сигнала на первой промежуточной частоте и на видеочастоте. В такой системе может быть достигнуто очень большое время когерентного и некогерентного накопления сигнала и реализована значительно более высокая чувствительность при измерении коррелированной мощности изучаемых дискретных радиостанций, чем при РСДБ-наблюдениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липатов Б. Н., Сизов А. С. Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрономической конференции. — Ереван: АН АрмССР, 1982, с. 419, Изв вузов — Радиофизика, 1984, 27, № 2, с. 131.
2. Дементьев А. Ф., Крюков А. Е. Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрономической конференции — Ереван: АН АрмССР, 1982, с. 425.
3. Антипенко А. А., Дементьев А. Ф., Князев Н. А., Крюков А. Е., Рат Р. Н. Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрономической конференции. — Ереван: АН АрмССР, 1982, с. 434.
4. Rogers A. E. E. — Radio Science, 1970, 5, № 10, p. 1239.

- 5 Липатов Б. Н Сизов А С Тезисы докладов XI Всесоюзной радиоастрономической конференции. — Ереван: АН АрмССР, 1978, с 224.
 6 Sharma N. V G., Joshi M. N., Bagri D. S., Ananthakrishnan S — J. Institution of Electronics and Telecom. Engrs, 1975, 21, № 3, p. 110.
 7. Алексеев В А, Крюков А. Е., Липатов Б. Н, Сизов А. С Тезисы докладов XIV Всесоюзной радиоастрономической конференции. — Ереван: АН АрмССР, 1982, с 412; Изв вузов — Радиофизика, 1983, 26, № 11, с. 1428

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
9 марта 1983 г.

УДК 538. 574

УЧЕТ КОРРЕЛЯЦИИ СРЕДА — ИСТОЧНИК ПРИ ОПИСАНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ В РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Л. Апресян

Одним из основных способов описания первых моментов случайных полей, удовлетворяющих линейным стохастическим уравнениям, в настоящее время является использование уравнений Дайсона (УД) и Бете—Солпитера (УБС) [1]. Обычно при получении этих уравнений источники поля считаются либо детерминированными, либо флуктуирующими, но статистически не зависимыми от флуктуаций среды. Между тем, это допущение может нарушаться в тех случаях, когда флуктуации источников и среды зависят от одних и тех же флуктуирующих параметров задачи. Например, в задаче о тепловом излучении в макроскопически случайно-неоднородной среде интенсивность тепловых источников пропорциональна поглощению, т е связана со свойствами среды. В данной заметке мы приведем естественные обобщения УД и УБС на случай коррелированных источников и среды, и на простом примере для задачи о тепловом излучении в случайно-неоднородной среде обсудим условия, при которых в УБС этой корреляцией можно пренебречь.

Пусть случайное комплексное поле $u = u(x)$ удовлетворяет линейному стохастическому уравнению

$$Lu \equiv (L_0 - V)u = q,$$

где L_0 — детерминированный невозмущенный оператор, V — случайный оператор возмущения, а q — функция источников. Используя обычные алгебраические преобразования [2], нетрудно показать, что в общем случае коррелированных источников (q) и среды (V) первые два момента u удовлетворяют уравнениям

$$D\bar{u} = \bar{q}^{\text{эфф}}, \quad (D_1 D_2^* - K_{12}) \overline{u_1 u_2^*} = \overline{q_1 q_2^* \text{эфф}}. \quad (1)$$

Здесь D — оператор Дайсона, K_{12} — оператор интенсивности, $u_1 = u(x_1)$, $u_2 = u(x_2)$, операторы с индексами 1 и 2 действуют по аргументам с теми же индексами, а $\overline{q^{\text{эфф}}}$ и $\overline{q_1 q_2^* \text{эфф}}$ — эффективные функции источников:

$$\overline{q^{\text{эфф}}} = \bar{q} + \widetilde{A}q; \quad (2)$$

$$\overline{q_1 q_2^* \text{эфф}} = \overline{q_1 q_2^*} + (1 + \widetilde{A_1 A_2^*})^{-1} (\widetilde{A_1 + A_2^* + A_1 A_2^*}) \overline{q_1 q_2^*} \equiv \overline{q_1 q_2^*} + \delta \overline{q_1 q_2^*}, \quad (3)$$

где $\widetilde{a} = a - \bar{a}$ — флуктуация случайной величины a (черта означает полное статистическое усреднение). Входящий в (2) и (3) случайный оператор A зависит от свойств среды и удовлетворяет уравнению

$$A = \widetilde{V}G_0 + \widetilde{A}\widetilde{V}G_0, \quad (4)$$

где $G_0 = L_0^{-1}$. Если решить это уравнение итерациями, то нетрудно получить следующее разложение A :

$$A = \widetilde{V}G_0 + \widetilde{V}\widetilde{G_0 V}G_0 + \dots = \widetilde{V}G_0 + \widetilde{V}G_0 V G_0 - \widetilde{V}G_0 V G_0 + \dots \quad (5)$$

При этом $\widetilde{G} = \overline{G}A$.

Легко видеть, что если корреляция среда — источник отсутствует, то согласно (2) и (3) $\overline{q^{\text{эфф}}} = \bar{q}$, $\overline{q_1 q_2^* \text{эфф}} = \overline{q_1 q_2^*}$ и уравнения (1) принимают вид обычных УД и УБС.