

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ  
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 523.164

**СПОСОБ КАЛИБРОВКИ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ СИГНАЛОМ С ДИСКРЕТНЫМ СПЕКТРОМ**

*А. В. Мень, И. С. Фалькович*

Общепринятая в настоящее время методика радиоинтерферометрических измерений в СВЧ диапазоне основана на сравнении амплитуд  $A_n$ ,  $A_э$  интерференционных записей измеряемого и эталонного объектов:

$$A_n/A_э = s_n m_n / s_э m_э,$$

где  $m_n$ ,  $m_э$ ,  $s_n$ ,  $s_э$  — модуль функции видимости и спектральная плотность потока радиоизлучения измеряемого и эталонного источников соответственно [1]. При использовании в качестве эталонного источника с достаточно малыми угловыми размерами искомое значение функции видимости

$$m_n = A_n s_э / A_э s_n. \tag{1}$$

В декаметровом диапазоне радиоволн подобная методика малопримодна из-за существенного влияния ионосферы и межпланетной среды на принимаемый сигнал и высокого уровня различных помех, а также вследствие использования высоконаправленных, электрически управляемых антенн с изменяющимися КНД и КПД при смене ориентировки луча. Существенное повышение точности и помехоустойчивости определения  $m_n$  достигается при отказе от использования эталонных радиисточников с поставлением  $A_n$  с огибающей интерференции от гипотетического точечного источника, который воспроизводится посредством дополнительной «интерференционной» калибровки, проводимой с помощью генератора «белого» шума [2]. В этом случае вместо (1) используется соотношение

$$m_n = (A_n/A_k) \sqrt{P_{1k} P_{2k} / P_{1n} P_{2n}}. \tag{2}$$

Здесь  $P_{1n}$ ,  $P_{2n}$ ,  $P_{1k}$ ,  $P_{2k}$  — относительные мощности принимаемого и соответственно калибровочного сигналов, измеряемые радиометрами в первом и втором пунктах интерферометра,  $A_k$  — огибающая «интерференции» при калибровке. Территориальный разнос приемных пунктов интерферометра приводит к необходимости использовать для калибровки два разных генератора шума, сигналы которых некоррелированы, что требует проведения семи калибровок вместо трех, соответствующих (2) [2]. Как показывает практика, такая процедура калибровок трудоемка, требует большого времени и усложняет обработку результатов измерений.

Желание вернуться к соотношению (2), требующему одновременного проведения только трех калибровок  $A_k$ ,  $P_{1k}$ ,  $P_{2k}$ , ставит вопрос об использовании калибровочных генераторов, сигналы которых в двух пунктах интерферометра были бы полностью коррелированы и имели бы спектр, близкий к «белому» шуму в полосе пропускания приемника. Указанным требованиям отвечают, например, ЧМ сигнал с большим индексом или АМ сигнал с импульсной модуляцией. Перечисленные сигналы являются детерминированными в отличие от «белого» шума, что снижает дисперсию калибровки и, следовательно, повышает ее точность. Частота модулирующего сигнала  $F$  должна быть достаточно низкой, чтобы интервал  $F$  между соседними спектральными составляющими был меньше характерного масштаба неравномерности сквозной АЧХ приемного тракта, имеющего полосу пропускания  $\Delta f$ . Практически достаточно  $F < 0,1 \Delta f$ . В случае, например, амплитудной модуляции длительность  $\tau$  модулирующего импульса выбирается из условия

$$\sin 0,5\pi\tau\Delta f / 0,5\pi\tau\Delta f \geq 0,99, \tag{3}$$

при этом спектр калибровочного сигнала будет достаточно равномерным в пределах  $\Delta f$ . Для уменьшения пикового значения калибровочного сигнала модулирующую по-

следовательность видеоимпульсов необходимо пропустить через фильтр нижних частот с частотой среза  $\Delta f/2$ . При выполненном условии (3) сформированный калибровочный сигнал имеет вид

$$u(t) \sim \sum_{\substack{k=-N \\ k \neq 0}}^N \cos [2\pi (f_0 + kF)(t + \tau_3)]. \quad (4)$$

Здесь  $f_0$  — несущая частота (частота калибровки),  $\tau_3$  — задержка импульсной последовательности с учетом характеристик фильтра,  $N = \text{ent}(\Delta f/2F)$ . Отсутствие в выражении (4) члена с  $k=0$  объясняется подавлением несущей при балансировке амплитудного модулятора. Это требование является не принципиальным, но практически удобным, так как в процессе эксплуатации пропадает необходимость контролировать и поддерживать уровень несущей в результирующем спектре при возможной разбалансировке модулятора.

Возможны два режима работы радиоинтерферометра: 1) в реальном времени с трансляцией одного из сигналов по радиорелейной линии (РРЛ), последующим синхронным перемножением двух сигналов в корреляторе и 2) режим с независимой записью в двух пунктах принимаемых и калибровочных сигналов. При перемножении калибровочных сигналов вида (4), преобразованных к промежуточной частоте приемника  $f_{п.ч}$ , нормированный выходной эффект коррелятора

$$\rho = \frac{\overline{u_1(t) u_2(t)}}{\sqrt{\overline{u_1^2(t) u_2^2(t)}}} = \frac{1}{2N} \sum_{\substack{k=-N \\ k \neq 0}}^N \cos [2\pi (f_{п.ч} + kF)(\tau_{31} - \tau_{32})], \quad (5)$$

где черта сверху означает усреднение за время накопления. При калибровке огибающая «интерференции» должна соответствовать точечному источнику, т. е.  $\rho = 1$ , что достигается на основании (5) при  $\tau_{31} = \tau_{32}$ , поэтому необходимо синхронизировать модулирующие последовательности видеоимпульсов в двух пунктах с требуемой точностью. Например,  $\rho \geq 0,99$  при  $|\tau_{31} - \tau_{32}| \leq 1,5$  мкс,  $f_{п.ч} \sim 30$  кГц,  $F \sim 1$  кГц и  $\Delta f \sim 20$  кГц. Для интерферометра с независимой записью сигналов синхронизация обеспечивается с помощью автосинхронизируемых радиочасов, входящих в аппаратурный комплекс интерферометра и привязанных по сигналам единого времени.

При работе в реальном времени синхронизация достигается использованием второго (обратного) канала РРЛ для передачи модулирующего колебания из первого пункта интерферометра во вторую, где осуществляется компенсация линией задержки вносимого РРЛ запаздывания.

Описанный способ калибровки прошел испытания на декаметровом радиоинтерферометре УРАН-1 и дал положительные результаты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры.—М.: Наука, 1973.
2. Vobeiko A. L. et al.—Astrophys. Space Sci., 1979, 66, p. 221.

Институт радиопизики и электроники  
АН УССР

Поступила в редакцию  
6 декабря 1982 г.,  
после доработки  
21 марта 1983 г.

УДК 551.510.535

## ОБ ОДНОЙ ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ФЛУКТУАЦИЙ ФАЗЫ РАДИОВОЛНЫ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИОНОСФЕРЫ

П. И. Шпиро

При исследовании неоднородной структуры ионосферы вычисление частотного спектра флуктуаций фазы радиосигнала обычно осуществляется в предположении «замороженного» переноса неоднородностей с постоянной скоростью  $V_r$  вдоль горизонтальной оси. Влияние вертикального дрейфа неоднородностей при этом не рассматривается. Последнее вполне оправдано при вертикальном «просвечивании» ионо-