

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ФАЗОВОЙ КАЛИБРОВКИ ДВУХКАНАЛЬНОЙ РСДБ СИСТЕМЫ

В. М. Городецкий, В. Ф. Зимовский, Н. Д. Умарбаева

Рассмотрены и реализованы три метода фазовой калибровки двухканальной РСДБ системы: импульсный, шумовой, псевдошумовой. Наиболее полные оценки дает метод калибровки по шумовому сигналу, однако данный метод пригоден только при лабораторных испытаниях радиointерферометрических систем.

Three methods of phase calibration to the two channel VLBI system — impuls, noise, pseudo-noise are considered and realized. Noise calibration method gives most total estimations, but this method is good only for laboratory tests of radiointerferometric system.

Для повышения разрешающей способности определения временной задержки (разности времен прихода одного и того же волнового фронта на пункты интерферометра) в радиointерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) применяется синтез полосы [1]. Для реализации синтеза по корреляционным откликам, полученным по разным частотным каналам, необходимо выполнить фазовую калибровку этих каналов. В случае, когда отношение сигнал/шум на выходе коррелятора много больше единицы, может быть использован более простой в реализации двухчастотный синтез полосы, который позволяет получать потенциальную точность определения τ , соответствующую много-частотному синтезу при одной и той же эффективной полосе.

Обычно в практике РСДБ используется метод фазовой калибровки, основанный на использовании импульсных сигналов, синхронизованных высокостабильными стандартами частоты [2]. Рассмотрим применение этого и других методов для проведения фазовой калибровки двухканальной РСДБ системы. Первое преобразование в обоих каналах осуществляется с помощью гетеродина частотой 63 МГц. Селекция каналов производится узкополосными фильтрами на частотах 54.875 и 71.125 МГц на входе преобразователя. На рис. 1 приведена схема расположения каналов и гетеродина по частоте. Таким образом, поскольку фазовая коррекция в цепи гетеродина не предусмотрена, то широко применяемый метод фазировки каналов, основанный на управлении фазой гетеродинного сигнала, неприменим, и поэтому необходимо измерять разность фаз между первым и вторым каналом и учитывать ее при обработке. С этой целью была проведена фазовая калибровка указанной выше двухканальной системы тремя способами, основанными на использовании импульсных сигналов, шумового сигнала и псевдошумовой последовательности (ПСШП).

Метод калибровки по импульсному сигналу. Как известно, спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов содержит эквидистантную сетку гармонических составляющих [3]. Всегда можно подобрать период следования импульсов калибровочного сигнала так, чтобы в каждый частотный канал попала одна гармоника сигнала калибровки. Длительность импульсов этого сигнала выбирается так, чтобы обеспечить максимальную мощность гармоник, попадающих в частотные каналы. Гармоника калибровочного сигнала, прошедшего частотный канал, несет в себе информацию о фазе данного канала. Осуществляя запись этих сигналов в каждом РСДБ пункте и производя затем корреляционную обработку, определяют сдвиг фаз между соответствующими каналами. Параметры калибровочного сигнала выбирают так, чтобы в каждом канале получить отклик на одной и той же частоте.

В случае двухканальной системы с частотами гетеродинов f_{01} и f_{02} и полочной регистрацией Δf необходимо выполнить следующие условия для определения частоты следования калибровочных импульсов.

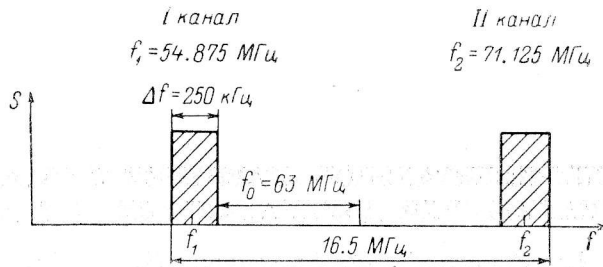


Рис. 1. Схема расположения каналов и гетеродина по частоте.

Представим гармоники сигнала в виде

$$S_n(t) = a_n \cos(n\Omega(t - \theta)), \quad (1)$$

где n — номер гармоники; a_n — ее амплитуда; Ω — частота следования; θ — временной интервал, характеризующий положение импульса периодической последовательности на шкале времени относительно условного начала времени.

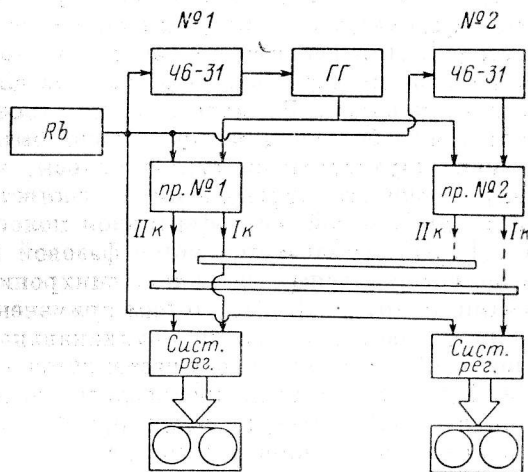


Рис. 2. Структурная схема установки для калибровки импульсными сигналами.

Пусть частоты выходных сигналов в каналах ν и μ равны:

$$\begin{aligned} \nu &= \omega_{01} - n_1\Omega; \\ \mu &= n_2\Omega - \omega_{02}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\omega_{0i} = 2\pi f_{0i}$ ($i=1, 2$). Тогда из условия равенства частот $\nu = \mu$ имеем для периода следования импульсов соотношение

$$T = \frac{n_1 + n_2}{f_{01} + f_{02}}, \quad (3)$$

где n_1 и n_2 — номера соответствующих гармоник для первого и второго каналов. Кроме того, так как канал имеет полосу пропускания Δf , то должны выполняться соотношения

$$\begin{aligned} (f_{01} - \Delta f/2) T < n_1 < (f_{01} + \Delta f/2) T; \\ (f_{02} - \Delta f/2) T < n_2 < (f_{02} + \Delta f/2) T. \end{aligned} \quad (4)$$

На рис. 2 приведена структурная схема для проведения калибровки с использованием импульсных сигналов. Согласно структурной схеме, сигнал с ге-

генератора гармоник (ГГ) подается на оба комплекта двухканальной системы, и далее с помощью блоков цифровой регистрации в полосе 0—250 кГц осуществляется запись на магнитофоны типа ЕС-5012 М. Все частотно-временные соотношения задавались опорным рубидиевым стандартом (Rb) типа НР-5065 А. Генератор гармоник выполнен на диоде с накоплением заряда. Во входную цепь генератора гармоник включен синтезатор № 1 типа Ч6-31, позволяющий осуществлять свободный выбор частоты следования с ГГ. Калибровка проводилась следующим образом: при выбранной частоте следования импульсов периодической последовательности, определяемой условиями (3), (4) производилась запись сигналов первого и второго каналов первого комплекта, затем второго и первого каналов второго комплекта. В одном из комплектов двухканальной системы вводилась расстройка гетеродина синтезатором Ч6—31 № 2, что позволяло получать корреляционный отклик на частоте расстройки. Таким образом были получены синхронные записи обоих каналов первого и второго комплектов, затем производилась корреляционная обработка на ЭВМ (СМ 4, определялся спектр и вычислялась фаза. На рис. 3 приведен вид корреляционного отклика для частоты следования импульсов $f_{сл} = 560$ кГц. Результат измерений $\Delta\varphi = 220^\circ \pm 12^\circ$.

Метод калибровки по шумовому сигналу. Корреляционный отклик на выходе k -го канала интерферометра можно представить $\rho_k \sim \cos(\omega t + \Delta\varphi_k)$ [4], где ω — частота расстройки гетеродинов; $\Delta\varphi_k$ — разность фаз между k -ми каналами интерферометрических приемников.

В данном методе измерений расстройка не вводилась ($\omega = 0$) и ρ_k имеет вид

$$\rho_k \sim \cos(\varphi_k^{(1)} - \varphi_k^{(2)}), \quad k = 1, 2, \quad (5)$$

где $\varphi_k^{(1)}, \varphi_k^{(2)}$ — фаза k -го канала соответственно первого и второго комплектов двухканальной системы. Для измерений разности фаз в один из комплектов вводится фазовый сдвиг опорного сигнала 1 МГц, при этом получаем

$$\rho_k \sim \cos(\varphi_k^{(1)} - \varphi_k^{(2)} + \varphi). \quad (6)$$

Меняя величину φ , можно получить кривую зависимости $\rho_k(\varphi)$ (рис. 4). Следует заметить, что данный способ калибровки пригоден, только если оба комплекта двухканальной системы находятся в одном месте. Калибровка по данному способу проводилась следующим образом. Сигнал с генератора шума подавался на оба комплекта. В одном из комплектов с помощью фазовращателя в цепи гетеродина вводился фиксированный сдвиг фазы φ , при каждом сдвиге производилась запись сигнала первых каналов, затем вторых. Сдвиг фазы варьировался в интервале $0-\pi$, затем производилась обработка на ЭВМ. На рис. 4 приведены зависимости хода корреляционного отклика для 1-го и 2-го каналов соответственно. Результат измерений $\Delta\varphi = 206^\circ \pm 12^\circ$.

Метод калибровки по псевдослучайной последовательности (ПСШП). Метод калибровки по ПСШП отличается от рассмотренного выше импульсного тем, что в качестве задающей частоты для генератора гармоник используется псевдослучайная бинарная последовательность, генерированная регистром сдвига с обратными связями. Структурная схема для калибровки аналогична схеме, показанной на рис. 2. Согласно схеме, одновременно с пуском системы регистрации запускается генератор ПСШП, и сигнал с генератора ПСШП по-

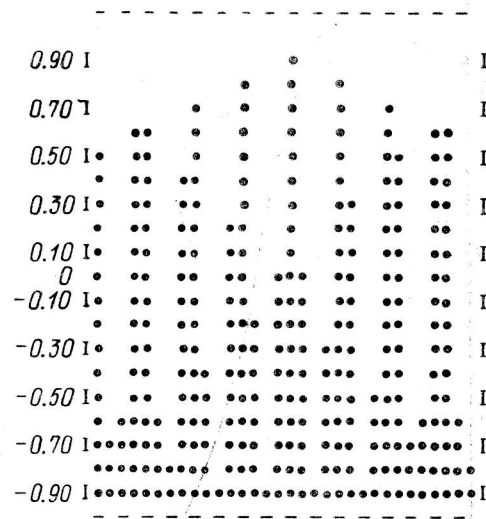


Рис. 3. Корреляционный отклик импульсного сигнала с частотой следования, равной 560 кГц.

стует на генератор гармоник, который выдает сигнал, богатый гармоническими составляющими, сфазированными с псевдошумовой последовательностью. Далее проводят регистрацию аналогично методу I. На рис. 5 приведен вид корреляционного отклика сигнала ПСШП. Результат измерений $\Delta\varphi = 226^\circ \pm \pm 7^\circ$.

Выводы. Метод калибровки двух частотных каналов по импульсному сигналу дает возможность осуществлять калибровку каждого комплекта интерферометрической системы независимо. Калибровка может производиться непрерывно, в частности в процессе наблюдения. Трудности метода в том, что необходимо удерживать положение импульсной последовательности по отно-

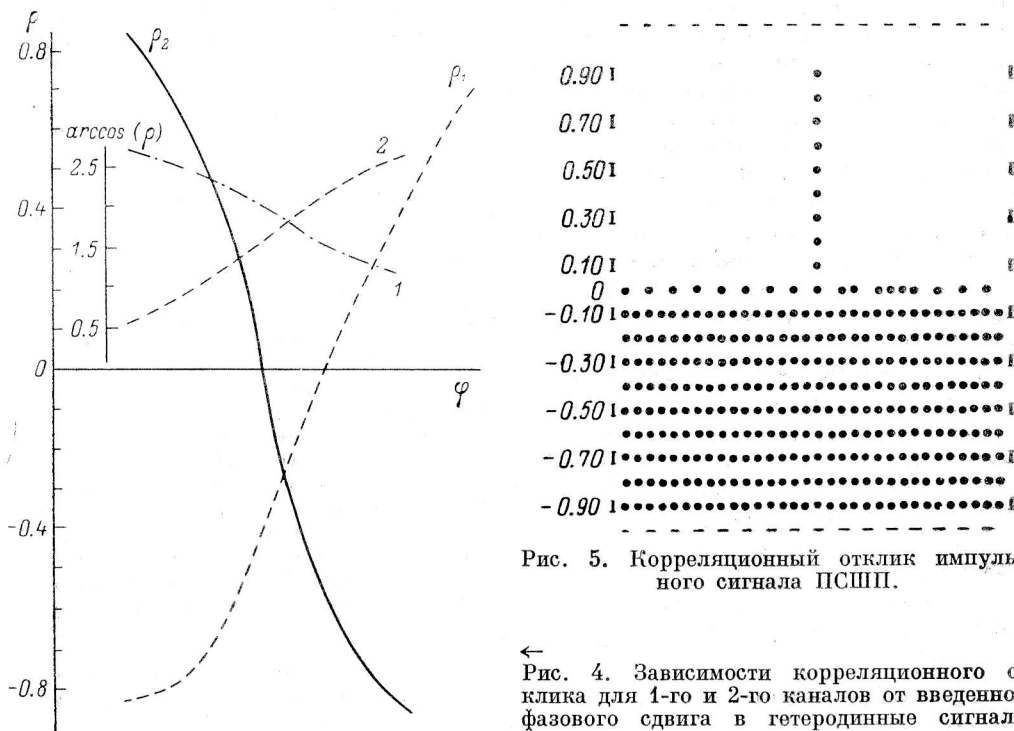


Рис. 5. Корреляционный отклик импульсного сигнала ПСШП.

← Рис. 4. Зависимости корреляционного отклика для 1-го и 2-го каналов от введенного фазового сдвига в гетеродинные сигналы.

шению к опорному сигналу стандарта с точностью $\Delta\tau \approx 1/36f_0$ при удержании фазы в пределах $\pm 5^\circ$. Для $f_0 = 63$ МГц, $\Delta\tau \approx 0.5$ нс.

Метод калибровки по шумовому сигналу пригоден, только если оба комплекта интерферометрической системы находятся в одном месте. Метод наиболее полно определяет разность фаз между корреляционными откликами двух частотных каналов по всей полосе регистрируемых частот. Данный метод целесообразно использовать при лабораторных испытаниях радиоинтерферометрических систем.

Метод калибровки по псевдошумовому сигналу обладает преимуществами первого и второго методов (автономность и определение разности фаз корреляционных откликов каналов во всей полосе регистрации) и недостатками первого метода (трудности привязки псевдослучайной последовательности к опорному сигналу стандарта частоты).

Литература

1. Rogers A. E. E. Very long baseline interferometry with large effective bandwidth for phase-delay measurements // Radio Sci. 1970. 5, nr 10. P. 1239—1247.
2. Радионавигационный интерферометр НИРФИ / В. А. Алексеев, А. А. Антипенко, Э. Д. Гаталюк и др. // Препринт НИРФИ. Горький, 1986. № 206. 50 с.
3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Сов. радио, 1977. 430 с.
4. Губанов В. С., Финкельштейн А. М., Фридман П. А. Введение в радиоастрономию. М.: Наука, 1983. 280 с.

Поступила в редакцию 26 ноября 1987 г.