

УДК 523.164

**К ВОПРОСУ ОБ УМЕНЬШЕНИИ ВЛИЯНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДЛИНЫ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧ ГЕТЕРОДИННОГО
СИГНАЛА В СИСТЕМЕ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА
С ВЫСОКИМ УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

В. А. Алексеев, В. Д. Кротиков

Рассмотрен метод синтезирования когерентных гетеродинных сигналов радиоинтерферометра с высоким угловым разрешением, позволяющий значительно ослабить влияние нестабильности электрической длины линии передач в системе радиоинтерферометра с большой базой. В качестве гетеродинных сигналов предлагается использовать сигнал суммарной частоты от местного генератора данного приемника и передаваемого на близкой частоте по линии связи сигнала местного генератора другого приемника.

В настоящее время большое внимание уделяется получению высокой угловой разрешающей способности радиоинтерферометров, необходимой для решения ряда астрофизических задач и задач космической радионавигации. В радиоинтерферометрах с использованием передачи к приемникам единого гетеродинного сигнала по линии связи предельная разрешающая способность ограничивается, прежде всего, флюктуациями электрической длины линии передачи гетеродинного сигнала, приводящими к неопределенности фазы сигнала в отдельных пунктах приема.

Вопрос о компенсации фазового набега сигнала гетеродина в линии передач рассмотрен в ряде работ. В работе [1] предложен способ уменьшения влияния флюктуаций электрической длины линий передач путем компенсации набега фазы волнами гетеродина равным набегом фазы волнами сигнала по промежуточной частоте при условии квазистационарности трассы. В [2] рассмотрена возможность исключения флюктуаций фазы при помощи двухсторонней передачи сигнала промежуточной частоты и сигнала гетеродина при условии $M_\omega - N_\omega \ll \omega$, где ω — частота сигнала, Ω — частота гетеродина, M и N указывают число прохождений сигналов источника и гетеродина по линии передач. В [3] приведен обзор работ по компенсации допплеровского сдвига фаз при двухсторонней связи с движущимся объектом. В работе [4] рассмотрено фазометрическое устройство, в котором для исключения влияния флюктуаций электрической длины линий связи используется обмен фазовой информации между независимыми гетеродинами на разностной частоте гетеродинов. Однако применение дополнительного нелинейного преобразователя информативного сигнала (выделение второй гармоники «интерференционной составляющей»), необходимое для получения по этому способу когерентных сигналов и исключения фазовой нестабильности, ухудшает чувствительность интерферометра в целом (см., например, [5]). Поэтому такая схема может найти ограниченное применение при исследовании сильных источником излучения.

На наш взгляд представляется целесообразным рассмотреть еще одну возможность уменьшения влияния флюктуаций фазы гетеродина из-за нестабильности электрической длины линии передач путем соот-

ветствующего синтезирования гетеродинных сигналов. Для этого в качестве гетеродинного сигнала отдельных приемных систем может быть использован суммарный сигнал местного генератора данного приемника и передаваемого по линии связи сигнала местного генератора другого приемника. Блок-схема формирования гетеродинных сигналов для двухантенного радиоинтерферометра представлена на рис. 1. На смеси-

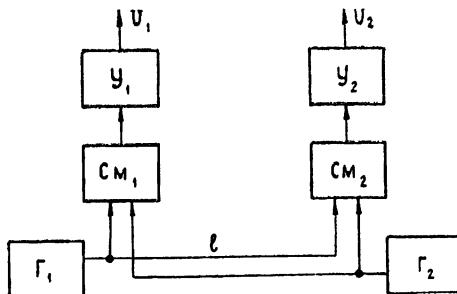


Рис. 1.

тель 1 поступает сигнал $U'_1 = \sin [\omega_{r_1} t + \varphi_1(t)]$ генератора 1 и сигнал $U'_2 = \sin \left[\omega_{r_2} \left(t - \frac{l'(t)}{c} \right) + \varphi_2 \left(t - \frac{l'(t)}{c} \right) \right]$ генератора 2, передаваемый по линии передач. С выхода смесителя через избирательный фильтр снимается сигнал суммарной частоты

$$U_1 = \cos \left[\omega_{r_1} t + \varphi_1(t) + \omega_{r_2} \left(t - \frac{l'(t)}{c} \right) + \varphi_2 \left(t - \frac{l'(t)}{c} \right) \right],$$

который после усиления используется в качестве гетеродинного сигнала приемника 1. В качестве гетеродинного сигнала приемника 2 используется сигнал

$$U_2 = \cos \left[\omega_{r_2} t + \varphi_2(t) + \omega_{r_1} \left(t - \frac{l''(t)}{c} \right) + \varphi_1 \left(t - \frac{l''(t)}{c} \right) \right].$$

В этих выражениях ω_{r_1} и ω_{r_2} — частоты сигналов генераторов 1 и 2, $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ — случайные фазы этих сигналов, $l'(t)$ — длина линии передач сигнала генератора 2 к приемнику 1, $l''(t)$ — длина линии передач сигнала генератора 1 к приемнику 2, c — скорость распространения сигнала в линии передач.

Для квазистационарной трассы (длина которой меньше 10000 км [1]) $l'(t) \approx l''(t)$, и разностная фаза сигналов U_1 и U_2 может быть записана в виде

$$\varphi_p = \Phi + (\omega_{r_1} - \omega_{r_2}) \frac{\Delta l(t)}{c} + \Psi_1 - \Psi_2,$$

где

$$\Phi = (\omega_{r_1} - \omega_{r_2}) \frac{l}{c}, \quad \Psi_1 = \varphi_1(t) - \varphi_1 \left(t - \frac{l(t)}{c} \right),$$

$$\Psi_2 = \varphi_2(t) - \varphi_2 \left(t - \frac{l(t)}{c} \right), \quad l(t) = \bar{l} + \Delta l(t).$$

Когерентность сигналов U_1 и U_2 имеет место при

$$(\omega_{r_1} - \omega_{r_2}) \frac{\sqrt{\Delta l(t)^2}}{c} + \sqrt{\Psi_1^2} + \sqrt{\Psi_2^2} \ll 2\pi.$$

Полагая для линии передач $\sqrt{\Delta l(t)^2}/c \simeq 10^{-6}$ [6], оценим допустимую разность частот ω_{r_1} и ω_{r_2} из условия $(\omega_{r_1} - \omega_{r_2}) \frac{l \cdot 10^{-6}}{c} \ll 2\pi$. Например, для $l = 1000 \text{ км}$ при $\omega_{r_1} - \omega_{r_2} = 0,01 \frac{2\pi c}{l \cdot 10^{-6}}$, $(\omega_{r_1} - \omega_{r_2})_{\max} = 3 \cdot 10^6 \text{ гц}$.

В предположении

$$\sqrt{\Psi_{1,2}^2} = 2\pi \sqrt{\Delta f_r^2(t)} \frac{l}{c} \ll 2\pi$$

найдем требования, предъявляемые к генератору в отношении стабильности. Например, для $l = 1000 \text{ км}$, $\sqrt{\Psi_{1,2}^2} = 0,01 \cdot 2\pi$ необходимо, чтобы $(\sqrt{\Delta f_r^2(t)})_{\max} = 30 \text{ гц}$, т. е. относительная нестабильность генератора при $f_r = 10^9 \text{ гц}$ должна быть не менее $3 \cdot 10^{-8}$. Требование к стабильности местных генераторов становится более жестким с увеличением расстояния между антennами радиоинтерферометров. Применение атомных или молекулярных стандартов частоты позволит увеличить это расстояние до нескольких тысяч километров. Постоянный сдвиг фазы Φ между сигналами U_1 и U_2 может быть скомпенсирован или учтен в процессе измерений.

Как видно из выражения φ_p , влияние флуктуаций электрической длины линии передач ослаблено в $(\omega_{r_1} + \omega_{r_2})/(\omega_{r_1} - \omega_{r_2})$ раз по сравнению с системами с единым гетеродином, а неопределенность начальных фаз гетеродинов входит одинаковым образом в сигналы U_1 и U_2 , не нарушая их когерентности. Очевидно, передача сигналов генераторов может осуществляться по низкой частоте с последующим умножением.

Таким образом, рассмотренная схема формирования гетеродинных сигналов приемников радиоинтерферометров позволяет значительно увеличить расстояние между антеннами и, соответственно, повысить его разрешающую способность. В существующих системах радиоинтерферометров применение этой схемы может привести к увеличению точности измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Л. Кайдановский, Радиотехника и электроника, 11, № 10, 1741 (1966).
2. Б. Н. Чихачев, Радиотехника и электроника, 11, 2072 (1966).
3. Н. Г. Басов, О. Н. Крохин, А. Н. Ораевский, Г. Н. Страховский, Б. И. Чихачев, УФН, 75, 3 (1961).
4. O. Elgalooy, D. Morris, B. Rowson, Month. Not. Roy. Astron. Soc., 124, № 5, 395 (1962).
5. И. Д. Гонтарь, В. Ф. Шульга, Радиотехника и электроника, 12, № 1, 19 (1967).
6. В. И. Бабий, В. В. Виткович, Радиотехника и электроника, 9, № 6, 960 (1964).

**ON DIMINISHING THE INFLUENCE OF THE ELECTRIC LENGTH INSTABILITIES
OF TRANSMISSION LINES OF HETERODYNE SIGNALS IN THE SYSTEM OF
RADIO INTERFEROMETER WITH A HIGH ANGULAR RESOLUTION***V. A. Alekseev, V. D. Krotikov*

The authors consider a method of synthesizing the coherent heterodyne signals of radio interferometer with the high angular resolution. Due to the latter, the instability effect of the electric length of transmission lines in the system of radio interferometer with a large base may be considerably weakened. The signal of the sum frequency from the local generator of the given receiver and the signal transmitted at a close frequency through the transmission line of the local generator of the other receiver are proposed to be used as heterodyne signals.
