

## МЕТОД ДЕКОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВ И АНАЛИЗ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ТРАКТА ПРИЕМА

Р.Г. Сидоренко  
(Харьковский университет Воздушных сил)

*Рассматривается метод повышения помехоустойчивости системы землеобзора, который в отличие от существующих основан на декорреляции шумов радиометрического тракта приема.*

**метод декорреляции шумов, помехоустойчивость, радиометрический тракт приема**

**Постановка задачи и анализ литературы.** Известно [1, 2], что метод декорреляции шумов используется при корреляционном приеме. Сущность этого метода заключается в том, что шумы, возникающие в приемных устройствах, не коррелируются между собой с полезным сигналом, и, следовательно, результирующий сигнал от них на выходе коррелятора равен нулю. Метод декорреляции шумов реализуется в корреляционном радиометрическом приемнике (КРМП).

Анализ литературных источников [1 – 3] показал, что основным недостатком КРМП является влияние неидентичности фазочастотных характеристик (ФЧХ) каналов усиления на выходной сигнал. Однако, в известной литературе методы устранения влияния неидентичности ФЧХ каналов усиления на выходной сигнал отсутствуют, а вывод выражения для чувствительности сделан без учета этого влияния. В результате проведенных исследований был разработан метод повышения реальной чувствительности корреляционного радиометрического приемника.

Поскольку чувствительность приемника является одним из основных показателей качества, а чувствительность и помехоустойчивость связаны между собой [4, 5], то в дальнейшем будем для анализа использовать показатель чувствительности.

**Целью статьи является:** повышение чувствительности корреляционного радиометрического приемника, которое основано на декорреляции шумов тракта приема.

**Основная часть.** Сущность разработанного нами метода заключается в том, что сложение сигналов в квадратуре [5] позволяет получить на выходе КРМП сигнал, не зависящий от разности фаз  $\varphi_1 - \varphi_2$ , обусловлен-

ной неидентичностью ФЧХ каналов усиления, т.е. устраняется основной недостаток корреляционного радиометрического приемника.

Для выяснения возможностей предложенного КРМП, а также для сравнения с одноименными и другими типами приемников, определим его чувствительность. Сигнал на выходе корреляционного радиометрического приемника представим в виде [6]:

$$u_C(t) = U_C(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)], \quad (1)$$

где  $U_C(t)$ ,  $\varphi(t)$  – случайные амплитуда и фаза полезного сигнала.

При прохождении через усилитель радиочастоты 1 (УРЧ<sub>1</sub>) и усилитель радиочастоты 2 (УРЧ<sub>2</sub>) к компонентам полезного сигнала добавляются их внутренние шумы, равные

$$\begin{aligned} u_{ш1}(t) &= U_{ш1}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_{ш1}(t)]; \\ u_{ш2}(t) &= U_{ш2}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_{ш2}(t)], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $u_{ш1}(t)$ ,  $u_{ш2}(t)$ ,  $\varphi_{ш1}(t)$ ,  $\varphi_{ш2}(t)$  – амплитуды и фазы внутренних шумов первого и второго УРЧ соответственно.

В результате прохождения полезного сигнала (1) и внутренних шумов (2) через функциональные блоки на первом и втором входах перемножителя сигналы будут определяться соответственно выражениями

$$\frac{1}{2} U_C(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_1] + \frac{1}{\sqrt{2}} U_{ш1}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_{ш1}(t)]; \quad (3, а)$$

$$\frac{1}{2} U_C(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_2] + \frac{1}{\sqrt{2}} U_{ш2}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_{ш2}(t)], \quad (3, б)$$

где  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – приращение фазы сигнала, обусловленное смещением нуля фазочастотной характеристики первого и второго УРЧ соответственно относительно центральной частоты  $\omega_0$ .

В результате перемножения сигналов (3, а) и (3, б) на выходе первого перемножителя сигнал будет равен:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{8} \{ U_C^2(t) \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + U_C^2(t) \cos[2\omega_0(t) + 2\varphi(t) + \varphi_1 + \varphi_2] \} + \\ &+ \frac{1}{4} \{ U_{ш1}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_{ш1}(t)] U_{ш2}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_{ш2}(t)] \}. \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая, что ФНЧ выполняет операцию статистического усреднения и отфильтровывает компоненту сигнала на удвоенной частоте  $2\omega_0$ , а  $\langle U_{ш1}(t) U_{ш2}(t) \rangle = 0$ , как среднее значение произведения статистически независимых случайных процессов, сигнал на одном входе сумматора равен

$$\frac{1}{64} [\langle U_C^2(t) \rangle]^2 \cos^2(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (5)$$

где

$$\langle U_C^2(t) \rangle = \int_0^{t_n} U_C^2(t) dt = P_C.$$

Аналогичным образом, с учетом того, что фазовращатель изменяет фазу сигнала на  $\pi / 2$ , на другом входе сумматора будет сигнал, равный

$$\frac{1}{64} [\langle U_C^2(t) \rangle]^2 \sin^2(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (6)$$

В результате сложения сигналов (5) и (6) и извлечения квадратного корня из суммы сигнал на выходе корреляционного радиометрического приемника пропорционален  $P_C / 8$  и не зависит от разности фаз  $(\varphi_1 - \varphi_2)$ , обусловленной неидентичностью ФЧХ усилительных каналов КРМП.

Для вычисления чувствительности КРМП определим дисперсию внутренних шумов УРЧ. Анализ работы корреляционного радиометрического приемника показал, что среднее значение шумового сигнала на его выходе равно нулю, а дисперсия внутренних шумов УРЧ определяется шумовой составляющей на выходе КРП, равной

$$\begin{aligned} & \frac{1}{16} \left\{ \int_0^{t_n} U_{III1}(t) U_{III2}(t) \cos[\varphi_{III1}(t) - \varphi_{III2}(t)] dt \right\}^2 + \\ & + \frac{1}{16} \left\{ \int_0^{t_n} U_{III1}(t) U_{III2}(t) \sin[\varphi_{III1}(t) - \varphi_{III2}(t)] dt \right\}^2 = \quad (7) \\ & = \frac{1}{16} \int_0^{t_n} U_{III1}^2(t) U_{III2}^2(t) dt. \end{aligned}$$

Можно показать, что в рассматриваемом случае дисперсия шумовой составляющей (7) равна

$$D_{III} = \frac{1}{32} \cdot \frac{P_{III}^2}{\Delta f \cdot t_n},$$

а чувствительность разработанного нами корреляционного радиометрического приемника определяется выражением

$$\Delta T_{A \min}^0 = \frac{\sqrt{2} T_{III}^0}{\sqrt{\Delta f \cdot t_n}}. \quad (8)$$

Анализ выражения (8) показывает, что флуктуационная чувствительность радиометра, реализующего разработанный метод, равна флуктуационной чувствительности известного корреляционного радиометрического приемника.

Известно [7], что реальная чувствительность корреляционного радиометрического приемника в зависимости от степени неидентичности ФЧХ каналов усиления может быть хуже или равной реальной чувствительности модуляционного радиометрического приемника. Следовательно, устранение влияния неидентичности ФЧХ каналов усиления на выходной сигнал приведет к аналогичному увеличению реальной чувствительности, как и устранение влияния флуктуаций коэффициента усиления на выходной сигнал в других типах приемников, т.е. к увеличению чувствительности более чем в 7 раз.

**Выводы.** Таким образом, устранение основного недостатка КРМП, а именно, влияния неидентичности ФЧХ каналов усиления на выходной сигнал, позволяет увеличить реальную чувствительность более чем в 7 раз и разработать корреляционный радиометрический приемник, имеющий реальную чувствительность, близкую к флуктуационной, что недостижимо в известных и применяемых на практике корреляционных радиометрических приемниках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. *Радиотелескопы и радиометры.* – М.: Наука, 1973. – 416 с.
2. *Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника, Нью-Йорк, 1970 / Пер. с англ. (в четырех томах) под общ. ред. К.Н. Трофимова, т. I.* – М.: Сов. радио, 1976. – 455 с.
3. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т. *Радиоизлучение Земли как планеты.* – М.: Наука, 1974. – 187 с.
4. *Измерение радиотепловых и плазменных излучений в СВЧ диапазоне / А.Е. Башаринов, Л.Т. Тучков, В.М. Поляков, Н.И. Ананов.* – М.: Сов. радио, 1968. – 390 с.
5. Николаев А.Г., Перцов С.В. *Радиотеплолокация. Пассивная радиолокация. / Под ред. А.А.Красовского.* – М.: Сов. радио, 1964. – 335 с.
6. Евсиков Ю.А., Чапурский В.В. *Преобразование случайных процессов в радиотехнических устройствах. Учеб. пособие для радиотехнических специальностей ВУЗов.* – М.: Высш. шк., 1977. – 264 с.
7. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. *Введение в статистическую радиофизику и оптику.* – М.: Наука, 1981. – 640 с.

Поступила 2.11.2005

**Рецензент:** кандидат технических наук, профессор А.М. Сотников,  
Харьковский Университет Воздушных Сил.

---