

УДК 621.371

А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОМЕТРА НА ОСНОВЕ НАКОПЛЕНИЯ СИГНАЛА

Оценена возможность повышения помехоустойчивости радиометра на основе метода накопления и показано, что применение отводной линии задержки позволяет уменьшить флуктуации шумовой компоненты, а, следовательно, улучшить чувствительность приемника.

Постановка проблемы и анализ литературы

Исходя из общих подходов к повышению помехоустойчивости тракта приема радиометрических систем (РМС), кроме метода оптимизации для борьбы с внутренним шумом и флуктуационными помехами могут быть использованы методы накопления и декорреляции шумов, а для борьбы с узкополосными помехами – метод компенсации.

Известно [1 – 5], что метод накопления позволяет эффективно бороться с внутренним шумом приемника. Сущность метода накопления заключается в суммировании отдельных реализаций смеси полезного сигнала и помехи при условии, что истинное значение полезного сигнала остается постоянным. Это поясняется следующим образом: на входе радиометрического приемника полезный сигнал постоянен и имеет величину $u_C(t)$, помеха аддитивна и принимает значения $u_{III1}(t)$, $u_{III2}(t)$, ..., $u_{III_n}(t)$, изменяющиеся от отсчета к отсчету.

Цель статьи – оценка повышения чувствительности радиометра на основе метода накопления.

Основная часть

Смесь полезного сигнала и помехи с выхода приемника поступает в накопитель, на выходе которого сигнал определяется выражением

$$u_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n [u_C(t) + u_{IIIi}(t)] = nu_C(t) + \sum_{i=1}^n u_{IIIi}(t). \quad (1)$$

Мощность полезного сигнала на выходе накопителя равна

$$P_C = [nu_C(t)]^2; \quad (2)$$

мощность шума – дисперсии суммы отсчетов, т.е.

$$P_{III} = D \left[\sum_{i=1}^n u_{IIIi}(t) \right], \quad (3)$$

а при отсутствии корреляции между отсчетами –

$$P_{III} = \sum_{i=1}^n D[u_{IIIi}(t)]. \quad (4)$$

С учетом выражений (2) и (4) отношение мощностей полезного сигнала и помехи на выходе накопителя равно:

$$\alpha_{\text{ВЫХ}} = \Pi(P_C / P_{III})_{\text{ВХ}}. \quad (5)$$

Из анализа выражения (5) следует, что метод накопления позволяет увеличить отношение сигнал-шум по мощности на выходе, а следовательно, и чувствительность радиометра (РМ) в n раз. На практике накопитель представляет собой интегратор, осуществляющий непрерывное интегрирование смеси полезного сигнала и помехи в течение определенного времени интегрирования $t_{\text{и}}$.

Конкретизация метода накопления применительно к радиометру привела к техническому решению на основе n -отводной линии задержки (ЛЗ) с суммированием сигнала (рис. 1).

Схема работает следующим образом.

Полезный сигнал на выходе антенны, внутренние шумы первого и второго усилителей радиочастоты (УРЧ) будут соответственно определяться выражением [6]

$$\begin{cases} u_C(t) = \text{Re}[\dot{U}_C(t)e^{j\omega_0 t}]; \\ u_{III1}(t) = \text{Re}[\dot{U}_{III1}(t)e^{j\omega_0 t}]; \\ u_{III2}(t) = \text{Re}[\dot{U}_{III2}(t)e^{j\omega_0 t}]. \end{cases} \quad (6)$$

Пройдя функциональные блоки, показанные на рисунке, сигнал на сумматоре будет равен

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2n} \text{Re} \left\{ \sum_{i=1}^n \dot{U}_{Ci}(t - i\tau) e^{j\omega_0(t-i\tau)} \right\}^2 + \\ & + \frac{1}{2n} \text{Re} \left\{ \sum_{i=1}^n \dot{U}_{Ci}(t - i\tau) e^{j\omega_0(t-i\tau)} \right\}^2 + \\ & + \frac{1}{n} \text{Re} \left\{ \sum_{i=1}^n \dot{U}_{IIIi}(t - i\tau) e^{j\omega_0(t-i\tau)} \right\}^2 + \end{aligned}$$

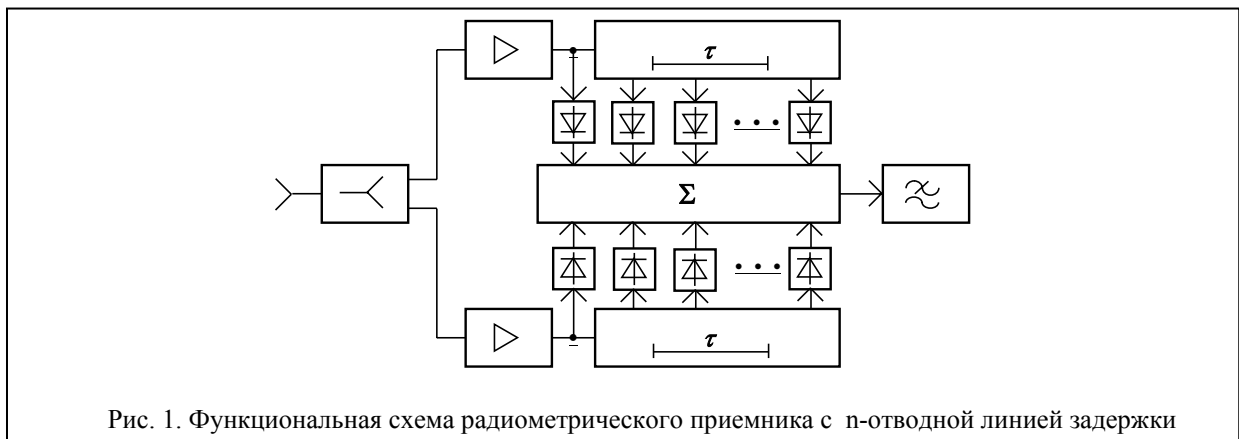


Рис. 1. Функциональная схема радиометрического приемника с n-отводной линией задержки

$$+ \frac{1}{n} \operatorname{Re} \left\{ \sum_{i=1}^n \dot{U}_{\text{Ш2}i}(t - i\tau) e^{j\omega_0(t - i\tau)} \right\}^2, \quad (7)$$

$$\Delta T_{\text{мин}}^0 = \sqrt{\frac{2}{n}} \frac{T_{\text{Ш}}^0}{\sqrt{\Delta f t_n}}. \quad (12)$$

где $U_{\text{С}i}(t - i\tau)$, $U_{\text{Ш}i}(t - i\tau)$ – полезный и шумовой сигналы на выходе i-го отвода n-отводной линии задержки соответственно; $i = 1, 2, \dots, n$;

n – число отводов первой и второй линий задержки.

Длительности задержки $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ на каждом i-м отводе многоотводной ЛЗ выбираются из условия

$$\tau_i \geq \tau_k; \quad |\tau_i - \tau_{i-1}| \geq \tau_k, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (8)$$

что позволяет на ее выходе получить n составляющих полезного сигнала и шума, некоррелированных между собой.

Среднее значение сигнала (7) на выходе фильтра нижних частот будет равно:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2n} \left\langle \sum_{i=1}^n U_{\text{С}i}^2(t - i\tau) \right\rangle + \frac{1}{2n} \left\langle \sum_{i=1}^n U_{\text{Ш}i}^2(t - i\tau) \right\rangle + \\ & + \frac{1}{2n} \left\langle \sum_{i=1}^n U_{\text{Ш2}i}^2(t - i\tau) \right\rangle = \\ & = \frac{P_{\text{С}}}{2} + \frac{1}{2} (P_{\text{Ш}} + P_{\text{Ш2}}) = \frac{P_{\text{С}}}{2} + P_{\text{Ш}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из выражения (7) видно, что шумовая составляющая на выходе приемника (рис. 1) определяется выражением

$$и_{\text{Ш}\Sigma} = \frac{1}{2n} \left[\sum_{i=1}^n U_{\text{Ш}i}^2(t - i\tau) + \sum_{i=1}^n U_{\text{Ш2}i}^2(t - i\tau) \right]. \quad (10)$$

Выражение для дисперсии $D_{\text{Ш}}$ шумовой составляющей (10) имеет вид

$$D_{\text{Ш}} = \frac{P_{\text{Ш}}^2}{2n \Delta f t_n}. \quad (11)$$

С учетом выражения (11) и равенства $P_{\text{Свых}} = P_{\text{С}}/2$, чувствительность радиометрического приемника будет равна

Выводы

Применение n-отводной линии задержки позволяет уменьшить флуктуации шумовой компоненты в $\sqrt{\frac{n}{2}}$ раз, а, следовательно, во столько же раз улучшится чувствительность приемника. Разработанный метод может быть использован для повышения чувствительности радиометрического приемника любого типа. При небольшом n такая схема может быть реализована доступными средствами и не приведет к значительному усложнению приемника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варакин Н.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.
3. Елизаренко А.С., Соломатин В.А., Якушенко Ю.Г. Оптико-электронные системы в исследовании природных ресурсов. – М.: Недра, 1984. – 215 с.
4. Филипский Ю.К. Случайные сигналы в радиотехнике: 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк., 1986. – 126 с.
5. Bara J., Camps, Torrel F. The correlation of visibility noise and its impact on the radiometric resolution of an aperture synthesis radiometric // IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens. – 2000. – V. 38, № 5, г. 2. – P. 2423 – 2426.
6. Евсиков Ю.А., Чапурский В.В. Преобразование случайных процессов в радиотехнических устройствах: Учеб. пособие для радиотехнических специальностей ВУЗов. – М.: Выс. шк., 1977. – 264 с.

Поступила 18.11.2005

Рецензент: д-р техн. наук старший научный сотрудник В.И. Антюфеев, Объединенный научно-исследовательский институт ВС Украины, Харьков.