

В. В. ТАЛАЛАЙ, В. В. ЕМЕЛЬЯНОВ, канд. техн. наук,
Т. П. ПЕТРУЧЕК, канд. техн. наук

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ШУМОВ ПО КАНАЛАМ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

Для повышения равномерности распределения тепловых шумов по каналам тональной частоты при частотно-разнесенном приеме в работе [1] предложено устройство, использующее инверсию группового спектра на входе одного из частотных модуляторов передатчиков с последующей обратной инверсией инвертированного спектра на выходе демодулятора перед устройством сложения.

Оценим эффективность работы предложенного устройства, взяв за критерии эффективности работы коэффициент неравномерности распределения тепловых шумов по каналам тональной частоты $N = P_{\text{ш.т в верхнем канале}} / P_{\text{ш.т в нижнем канале}}$. Псофометрическая мощность теплового шума (в пиковаттах) в канале тональной частоты, вносимая приемником одной радиорелейной станции, определяется по формуле [2]

$$P_{\text{ш.т}} = 10^9 \frac{nkT\Delta F_k K_n^2}{P_c} \left[\frac{F_k}{\Delta f_k k(F_k)} \right]^2, \quad (1)$$

где n — коэффициент шума приемника; k — постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/(Гц·К); T — абсолютная температура, принимаемая равной 290 К; ΔF_k — ширина полосы пропускания канала тональной частоты, равная $3,1 \cdot 10^3$ Гц; K_n — псофометрический коэффициент для канала тональной частоты, равный 0,75; F_k — средняя частота канала в групповом спектре, кГц; Δf_k — эффективное значение девиации частоты, соответствующее измерительному уровню сигнала одного канала на частоте нулевых предьскажений, кГц; P_c — мощность сигнала на входе приемника, Вт; $k(F_k)$ — коэффициент, учитывающий изменения девиации частоты при введении предьскажений в зависимости от частоты канала.

Приведенное выражение показывает, что при частотной модуляции распределение тепловых шумов по спектру группового сигнала неравномерно и пропорционально квадрату средней частоты телефонного канала. Мощность теплового шума имеет наибольшее значение в верхних по частоте каналах. При этом коэффициент неравномерности распределения тепловых шумов при отсутствии предьскажений $k(F_k) = 1$ пропорционален ширине спектра группового сигнала $N = (F_2/F_1)^2$ (2), где F_2 — верхняя граничная частота группового сигнала; F_1 — нижняя граничная частота группового сигнала.

Для случая системы емкостью 120 телефонных каналов $N = (552/60)^2 = 84,6$ (19,3 дБ).

Некоторого улучшения равномерности распределения тепловых шумов в пределах группового спектра добиваются введением предискажений. Введение предискажений на входе группового тракта радиорелейной системы обеспечивает увеличение девиации частоты от сигналов верхних каналов за счет уменьшения ее для нижних каналов при сохранении общей девиации частоты от сигналов всех каналов неизменной. На выходе частотного детектора включается восстанавливающий контур, обеспечивающий выравнивание уровней сигналов всех каналов. Характеристика предискажений, рекомендованная международным консультативным комитетом по радио (МККР), описывается выражением

$$k^2(F_k) = 0,4 + 1,35(F_k/F_2)^2 + 0,75(F_k/F_2)^4. \quad (3)$$

При введении предискажений коэффициент неравномерности определяется соотношением

$$N = \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2 \frac{[k(F_1)]^2}{[k(F_2)]^2}$$

и составляет 13,5 (11,3 дБ).

Использование устройства [1] в системе с частотно-разнесенным приемом обеспечивает суммирование групповых сигналов с взаимно-обратным распределением тепловых шумов по каналам тональной частоты, что приводит к уменьшению коэффициента неравномерности N . Мощность теплового шума в канале тональной частоты инвертированного спектра группового сигнала может быть определена как

$$P_{ш.т.и} = 10^9 \frac{nkT\Delta F_k K_n^2}{P_c} \left[\frac{F_1 - F_k + F_2}{\Delta f_k k_n(F_k)} \right]^2, \quad (4)$$

где $k_n(F_k)$ — коэффициент, учитывающий изменение девиации частоты при введении предискажений в зависимости от частоты канала в инвертированном групповом спектре. При этом

$$k_n^2(F_k) = 0,4 + 1,35 \left(\frac{F_1 + F_2 - F_k}{F_2} \right)^2 + 0,75 \left(\frac{F_1 + F_2 - F_k}{F_2} \right)^4. \quad (5)$$

Обозначив через $A = 10^9 nkT\Delta F_k K_n^2 / \Delta f_k^2$ с учетом (1), полную мощность теплового шума на выходе суммирующего устройства системы с частотно-разнесенным приемом можно определить, пользуясь выражением

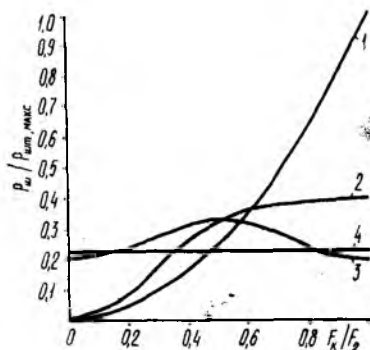
$$P_{ш.т.ш} = \frac{A}{P_{c1}} \left[\frac{F_k}{k(F_k)} \right]^2 + \frac{A}{P_{c2}} \left[\frac{F_k}{k(F_k)} \right]^2, \quad (6)$$

где P_{c1} и P_{c2} — мощность сигналов на входах частотно-разнесенных приемников.

В случае использования инверсии группового спектра сигналов полная мощность теплового шума с учетом (1) и (4) определится как

$$P_{ш.т.Э2} = \frac{A}{P_{c1}} \left[\frac{F_k}{k(F_k)} \right]^2 + \frac{A}{P_{c2}} \left[\frac{F_1 + F_2 - F_k}{k_n(F_k)} \right]^2. \quad (7)$$

На рисунке представлены графики распределения тепловых шумов по каналам тональной частоты, рассчитанные по формулам (6) и (7) и нормированные по отношению к мощности шума в верхнем телефонном канале, рассчитанной по формуле (6) при $k(F_k) = 1$ и $P_{c1} = P_{c2}$. Кривая 1 характеризует распределение тепловых шумов по спектру группового сигнала, рассчитанная по формуле (6) при отсутствии предскажений и $P_{c1} = P_{c2}$. Распределение тепловых шумов, рассчитанное по формуле (6) при стандартных предсказаниях (3) и $P_{c1} = P_{c2}$, соответствует кривой 2. При инверсии группового сигнала распределение тепловых шумов, рассчитанное по формуле (7) при стандартных предсказаниях и $P_{c1} = P_{c2}$, характеризуется кривой 3.



Анализ рассчитанных зависимостей (кривые 1—3) показал, что применение стандартных предскажений (кривая 2) позволяет уменьшить мощность теплового шума в верхнем телефонном канале в 2,5 раза. При использовании предложенного устройства максимальная мощность теплового шума приходится на средние каналы группового сигнала (кривая 3). Коэффициент неравномерности распределения тепловых шумов по каналам тональной частоты в этом случае минимален и составляет $N = 0,32/0,2 = 1,6$ (2 дБ). Мощность теплового шума в верхнем телефонном канале при этом уменьшается на 3 дБ. Полученный результат свидетельствует о целесообразности использования предложенного устройства [1], что позволит эффективней использовать аппаратуру станций систем передачи с частотной модуляцией и частотным разделением каналов.

Очевидно, что максимальная эффективность предложенного устройства в рассматриваемой системе может быть достигнута при суммировании групповых сигналов с выходов разнесенных приемников с взаимно-обратным линейным распределением тепловых шумов по каналам тональной частоты. Определим вид характеристики предскажающего контура для этого случая.

Квадратичный закон распределения тепловых шумов необходимо преобразовать в линейный

$$\frac{A}{P_c} \left[\frac{F_k}{k_n(F_k)} \right]^2 = \alpha F_k, \quad (8)$$

где α — коэффициент пропорциональности; $k_{\text{л}}(F_{\text{к}})$ — коэффициент линейных предсказаний.

Общая девиация частоты от всех телефонных каналов при этом должна оставаться неизменной, что можно записать в виде

$$\int_0^{F_{\text{в}}} k_{\text{л}}(F_{\text{к}}) dF_{\text{к}} = 1 + F_{\text{в}}. \quad (9)$$

Здесь для упрощения принято $F_{\text{н}}=0$.

Найдя из (8) значение $k_{\text{л}}^2(F_{\text{к}})$ и подставив его в (9), получим

$$\alpha = \frac{A}{P_{\text{с}}} \left(\frac{2}{3} \right)^2 F_{\text{в}}. \quad (10)$$

Значение $k_{\text{л}}^2(F_{\text{к}})$ в этом случае

$$k_{\text{л}}^2(F_{\text{к}}) = 2,25 (F_{\text{к}}/F_{\text{в}}). \quad (11)$$

Для инвертированного группового спектра

$$k_{\text{л.и}}^2(F_{\text{к}}) = 2,25 (F_{\text{н}} + F_{\text{в}} - F_{\text{к}})/F_{\text{в}}. \quad (12)$$

Распределение тепловых шумов, рассчитанное по формуле (7) с предсказаниями вида (11) и (12), представлено на рисунке (зависимость 4). В этом случае при $P_{\text{с1}}=P_{\text{с2}}$ мощность тепловых шумов распределена по всем каналам равномерно, что позволяет уменьшить мощность шума в верхнем канале по сравнению со случаем применения стандартных предсказаний (кривая 2) в 1,8 раза (на 2,56 дБ).

На основании полученных результатов можно заключить, что использование инверсии группового сигнала на входе частотного модулятора с последующей обратной инверсией спектра этого сигнала на выходе частотного детектора в случае разнесенного приема в сочетании с предсказаниями типа (11) и (12) обеспечивает равномерное распределение тепловых шумов по каналам тональной частоты.

Список литературы: 1. А. с. 1317672 СССР, МКИ⁴ НОЧВ 7/14. Устройство для борьбы с замираниями сигналов/В. В. Талалай, Т. П. Петручек, В. В. Емельянов, Л. М. Резникова//Открытия. Изобретения. 1987. №22. С. 12—13. 2. Справочник по радиорелейной связи/Под ред. С. В. Бородача. М., 1981. 405 с.

Поступила в редколлегию 30.06.89