

О ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОМЕТРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПО СПЕКТРУ ПОМЕХ

к.т.н. А.М. Сотников, проф. В.Е. Пустоваров, В.В. Пустоваров

Проанализирована возможность повышения помехоустойчивости радиометра по отношению к мощным узкополосным помехам с помощью режекторных фильтров.

В [1] отмечается, что наиболее опасными для радиометрических систем навигации являются узкополосные помехи, ширина спектра которых существенно меньше полосы пропускания радиометрического канала. Для режекции таких помех целесообразно использовать частотные различия полезного сигнала и помехи, как это делается в широкополосной радиосвязи, применив с этой целью на входе компенсационного канала линию задержки, время задержки которой превышает интервал корреляции полезного сигнала, чтобы не допустить его компенсации.

Рассмотрим возможность подавления мощной сосредоточенной по спектру помехи в преселекторе или в тракте УПЧ с помощью пассивного звена, содержащего делитель мощности с коэффициентом передачи μ и $1 - \mu$ ($\mu \in (0, 1)$), выходной сигнал одного из каналов которого поступает на сумматор непосредственно, а второй – через линию задержки с временем задержки τ_0 . Звено представляет собой режекторный фильтр с гребенчатой частотной характеристикой

$$|H(f)|^2 = 1 - 4\mu(1-\mu)\sin^2\pi f\tau_0 \quad (1)$$

и частотами режекции

$$f_n = (n + 1/2)/\tau_0, \quad n \in \mathbb{N}. \quad (2)$$

Пусть на его вход поступает аддитивная смесь полезного сигнала $u_s(t)$ и помехи $u_p(t)$

$$u(t) = u_s(t) + u_p(t), \quad (3)$$

где $u_s(t)$, $u_p(t)$ – полосовые гауссовские случайные процессы со спектральными плотностями мощностей:

$$S_s(f) = kT_s[\text{rect}(f + f_0, \Delta f) + \text{rect}(f - f_0, \Delta f)]/2; \quad (4)$$

$$S_p(f) = kT_p[\text{rect}(f + f_p, \Delta f_p) + \text{rect}(f - f_p, \Delta f_p)]/2, \quad (5)$$

причем полагаем $\Delta f_p < \Delta f$.

Оценим выигрыш в помехоустойчивости радиометра с таким фильтром отношением мощностей помехи и сигнала на выходе и входе звена, используя [2]:

$$B = (P_{\text{РВЫХ}}/P_{\text{СВЫХ}})/(P_{\text{РВХ}}/P_{\text{СВХ}}) = (P_{\text{РВЫХ}}/P_{\text{РВХ}})/(P_{\text{СВЫХ}}/P_{\text{СВХ}}) = k_p/k_s, \quad (6)$$

где $k_p = P_{p\text{вых}}/P_{p\text{вх}}$ – коэффициент подавления помехи;

$k_s = P_{s\text{вых}}/P_{s\text{вх}}$ – коэффициент передачи сигнала.

Выполнив необходимые вычисления и преобразования, найдем:

$$k_p = 1 - 2\mu(1-\mu)[1 - |\sin c(\pi\Delta f_p\tau_0)|\cos 2\pi f_p\tau_0]; \quad (7)$$

$$k_s = 1 - 2\mu(1-\mu)[1 - |\sin c(\pi\Delta f\tau_0)|\cos 2\pi f_0\tau_0]. \quad (8)$$

Поскольку интервал корреляции процесса (4) составляет $\tau_k = 1/(2\Delta f)$, сигналы в каналах фильтра при времени задержки $\tau_0 \geq (2\Delta f)^{-1}$ – некоррелированы. Будем выбирать время задержки из условия

$$\tau_0 = m/(2\Delta f), \quad m = 1, 2, \dots \quad (9)$$

Отметим, что при выполнении этого условия в полосе пропускания приемника Δf помещается ровно m периодов частотной характеристики (1), в выражении (8) $\sin c(\pi\Delta f\tau_0) = 0$ и тогда

$$k_s = 1 - 2\mu(1-\mu). \quad (10)$$

Полагаем, что фильтр настроен на среднюю частоту сигнала f_0 (2), и потребуем выполнения условия (9). Для этого выберем число n из условия

$$n = \left\lfloor \frac{1}{2} \left(\frac{mf_0}{\Delta f} - 1 \right) \right\rfloor, \quad (11)$$

где $[a]$ – целая часть числа a .

Теперь уточним значение τ_0 из соотношения

$$\tau_0 = (n + 1/2)/f_0. \quad (12)$$

Тогда $\cos 2\pi f_0\tau_0 = -1$ и, используя соотношения (7) и (8), преобразуем выражение (6) в виду (в дБ)

$$B = 10 \lg \frac{1 - 2\mu(1-\mu) \left[1 + \left| \sin c(\pi m \Delta f_p / \Delta f) \right| \cos 2\pi \delta f \tau_0 f_0 \right]}{1 - 2\mu(1-\mu)}, \quad (13)$$

где $\delta f = (f_p - f_0)/f_0$ – относительная расстройка центральных частот спектров сигнала и помехи.

Дифференцируя (13) по μ , определим, что это выражение достигает минимума при оптимальном значении $\mu_{\text{опт}} = 1/2$ и равно

$$B = 10 \lg [1 - |\sin c(\pi m \Delta f_p / \Delta f)| \cos 2\pi \delta f \tau_0 f_0]. \quad (14)$$

На рис.1 представлено семейство зависимостей $B(f)$ при $\delta f = 0$ и $\Delta f_p / \Delta f = 10^{-2}$ для различных значений параметра задержки m , из которого следует, что фильтр критичен к балансировке уровней сигналов в каналах. Зависимости выигрыша в помехоустойчивости от отношения ширины спектра помехи и сигнала приведены на рис.2,а. Эти зависимости рассчитаны по формуле (14) для случая оптимального значения $\mu_{\text{опт}} = 1/2$ и при условии, что центральные частоты спектров сигнала и помехи совпадают, т.е. $\delta f = 0$. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что при $\Delta f_p / \Delta f < 10^{-2}$ описанный фильтр позволяет подавить узкополосную помеху не менее, чем на 30 дБ при соответствующей балансировке плеч и точной настройке фильтра на частоту помехи. При этом мощность полезного сигнала уменьшается в два раза независимо от частоты настройки

ки фильтра, т.е. чувствительность радиометра, в котором применен такой фильтр, уменьшается в $\sqrt{2}$ раз.

На рис.2,б изображены графики зависимости выигрыша в помехоустойчивости от относительной расстройки центральной частоты спектра помехи относительно частоты режекции фильтра при $\Delta f_p/\Delta f=10^{-2}$. Результаты расчетов свидетельствуют о необходимости точной настройки фильтра на частоту помехи. В условиях реальной помеховой обстановки центральная частота помехи, как правило, неизвестна. Поэтому

необходимо использовать принцип адаптации для автоподстройки фильтра на частоту помехи.

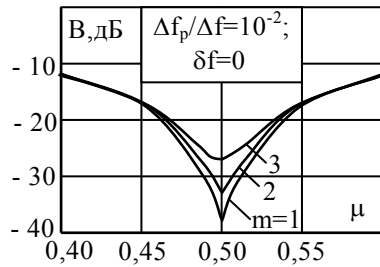


Рис.1. Зависимость показателя **B** от степени балансировки уровней сигнала μ

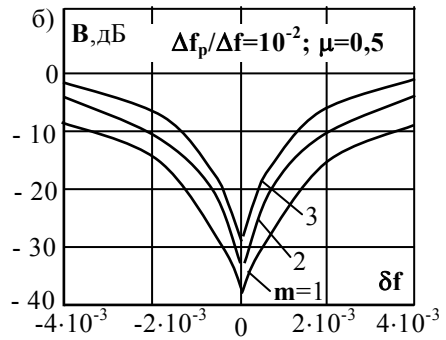
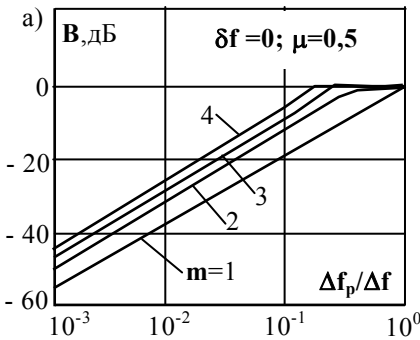


Рис.2. Зависимость показателя **B** от относительной ширины спектра помехи (а) и относительной расстройки центральных частот спектров помехи и сигнала (б)

Таким образом, применение режекторных фильтров в радиометрах позволяет повысить их помехоустойчивость по отношению к мощным сосредоточенным помехам. При этом величина выигрыша может составлять до 30 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А.Г., Перцов С.В. Радиотеплокация. Пассивная радиолокация. – М.: Сов. радио, – 1964. – 320 с.
3. Сотников А.М., Пустоваров В.Е., Пустоваров В.В. Защита радиометра от узкополосных и широкополосных помех // Системы обработки информации. – Харьков: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 2(12) – С. 169 - 171.

Поступила в редколлегию 19.03.2001