

УДК 621.391.82

В.К. Маригодов, профессор, д-р техн. наук,**Г.А. Тихонов, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ИДЕАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ СПЕКТРОМ**

Произведена оценка помехоустойчивости идеального радиоприемника в случае воздействия на его входе помехи, которая отличается от белого шума. Определены АЧХ оптимального отбеливающего фильтра и величина отношения сигнал-помеха на входе приемника.

Ключевые слова: помехоустойчивость, белый шум, энергетический спектр, отбеливающий фильтр, отношение сигнал-помеха.

Помехоустойчивость идеального приемника при воздействии на его входе белого шума исследована в [1]. В данном случае она называется *потенциальной*, т. е. предельно возможной при заданных спектральных плотностях сигнала и помехи.

Исследование потенциальной помехоустойчивости при аддитивных помехах с произвольной формой энергетического спектра проведено в [2]. При этом для преобразования помехи в белый шум использовался «выравнивающий» (отбеливающий) фильтр на входе идеального приемника. Однако в таком фильтре происходит естественное «деформирование» энергетического спектра принимаемого сигнала, что нежелательно. В большинстве практических ситуаций форма принимаемого сигнала должна быть сохранена.

Цель статьи состоит в том, чтобы определить потенциальную помехоустойчивость идеального приемника к помехам с произвольным спектром при компенсации искажений сигнала в отбеливающем фильтре.

Для решения поставленной задачи необходимо в системе передачи информации на входе канала связи включить компенсирующий фильтр с АЧХ, взаимнообратной по отношению к аналогичной характеристике отбеливающего фильтра. Система передачи информации в этом случае будет до некоторой степени подобна системе с предыскажением и корректированием сигналов, в которой компенсирующий фильтр играет роль предыскажающего, а отбеливающий фильтр — роль корректирующего фильтра [3]. Эффективность предыскажения и корректирования при аддитивных помехах с произвольным энергетическим спектром исследована в [4]. В такой системе передачи информации отбеливающий фильтр представляет собой последовательное включение корректирующего и выравнивающего фильтров.

На рисунке 1 изображена структурная схема системы передачи информации с компенсирующим и отбеливающим фильтрами. Здесь $G(\omega)$ и $N(\omega)$ — спектральные плотности мощности соответственно полезного сигнала и аддитивной помехи; $|K(j\omega)|$ и $1/|K(j\omega)|$ — АЧХ компенсирующего и отбеливающего фильтров; $|K_0(j\omega)|$ — АЧХ идеального канала связи ($|K_0(j\omega)|=1$); ИП — идеальный приемник.

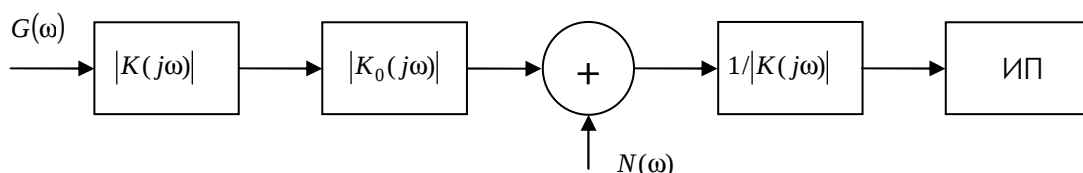


Рисунок 1 — Структурная схема системы передачи информации

В качестве критерия эффективности системы (рисунок 1) можно выбрать произведение мощности сигнала на входе канала связи на отношение мощности помехи к мощности сигнала на входе идеального приемника

$$S_1 = \frac{\int_{\Delta\omega} G(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega \cdot \int_{\Delta\omega} \frac{N(\omega)}{|K(j\omega)|^2} d\omega}{\int_{\Delta\omega} G(\omega) d\omega}, \quad (1)$$

где $\Delta\omega$ — эффективная полоса пропускания канала.

Для того, чтобы критерий (1) был безразмерным необходимо определить коэффициент S_2 , который отличается от (1) тем, что компенсирующий и отбеливающий фильтры не применяются, т. е. $|K(j\omega)|^2 = 1$, и далее разделить S_2 на S_1 . При этом получаем $S = S_2/S_1$, т. е.

$$S = \frac{\int_{\Delta\omega} G(\omega) d\omega \cdot \int_{\Delta\omega} N(\omega) d\omega}{\int_{\Delta\omega} G(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega \cdot \int_{\Delta\omega} \frac{N(\omega)}{|K(j\omega)|^2} d\omega}. \quad (2)$$

Критерий (2) показывает во сколько раз можно уменьшить мощность сигнала на входе канала при фиксированной мощности помехи на входе идеального приемника или во сколько раз можно уменьшить мощность помехи на входе приемника при фиксации мощности сигнала на входе канала.

Найдем АЧХ компенсирующего фильтра, которая минимизирует мощность сигнала на входе канала при фиксированной мощности помехи на входе приемника. При этом получим из (2) $S_{\max}$.

Решение находится из уравнения Эйлера – Лагранжа

$$\frac{\partial}{\partial |K(j\omega)|^2} \left[G(\omega) |K(j\omega)|^2 + \lambda \frac{N(\omega)}{|K(j\omega)|^2} \right] = 0, \quad (3)$$

где λ — лагранжев множитель.

В качестве дополнительных (ограничительных) условий выбирают следующие:

$$\int_{\Delta\omega} G(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega = P_{cp} = const; \quad (4)$$

$$\int_{\Delta\omega} \frac{N(\omega)}{|K(j\omega)|^2} d\omega = P_{\Pi} = const. \quad (5)$$

Из решения (3) получаем

$$|K(j\omega)|_{opt}^2 = \sqrt[4]{\lambda \frac{N(\omega)}{G(\omega)}}. \quad (6)$$

Множитель λ находится подстановкой (6) в (5)

$$\lambda = \left[\frac{1}{P_{\Pi}} \int_{\Delta\omega} \sqrt{G(\omega)N(\omega)} d\omega \right]^2. \quad (7)$$

Из (2), (6) и (7) получаем максимальное значение S , т. е.

$$S_{\max} = \frac{\int_{\Delta\omega} G(\omega) d\omega \cdot \int_{\Delta\omega} N(\omega) d\omega}{\left[\int_{\Delta\omega} \sqrt{G(\omega)N(\omega)} d\omega \right]^2}. \quad (8)$$

Числитель и знаменатель (8) связаны между собой неравенством Буняковского – Коши. Поэтому эффективность применения компенсирующего и отбеливающего фильтров получается тем большей, чем больше отличаются между собой спектральные плотности мощности сигнала и помехи. Если сигнал на входе канала имеет равномерный спектр, а помеха является белым шумом, то компенсирующий и отбеливающий фильтры не нужны. В том случае, когда отбеливающий фильтр применяется без компенсирующего фильтра, происходит искажение сигнала, что во многих практических ситуациях недопустимо.

Таким образом, определены АЧХ оптимальных компенсирующего и отбеливающего фильтров, а также помехоустойчивость идеального приемника при аддитивных помехах с произвольным спектром в случае, когда спектр принимаемого сигнала в отбеливающем фильтре не искажается.

Задачами дальнейших исследований в данном направлении можно считать теоретико-игровую оценку потенциальной помехоустойчивости радиоприемника в условиях конфликтной ситуации между операторами систем передачи информации и радиомаскировки.

Библиографический список использованной литературы

1. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости / В.А. Котельников. — М.: Госэнергоиздат, 1956. — 152 с.
2. Пелегов Ю.Ф. О помехоустойчивости идеального приемника к помехам с произвольным энергетическим спектром / Ю.Ф. Пелегов // Госуд. НИИ Министерства связи СССР: сб. тр. — М., 1963. — Вып. 4 (32). — С. 27–32.
3. Маригодов В.К. Помехоустойчивая обработка информации: методы оптимального линейного предсказания и корректирования / В.К. Маригодов. — М.: Наука, 1983. — 200 с.
4. Маригодов В.К. Эффективность предсказаний при аддитивных помехах с произвольным энергетическим спектром / В.К. Маригодов. // Известия вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. — 1969. — Т. 12. — № 7. — С. 746–749.

Поступила в редакцию 29.03.2010 г.

Марігодов В.К., Тихонов Г.О. Перешкодостійкість ідеального приймача при дії перешкод із довільним спектром

Проведено оцінювання перешкодостійкості ідеального радіоприймача у випадку дії на його вході перешкоди, яка відрізняється від білого шуму. Знайдена АЧХ оптимального відбілюючого фільтра і величина відношення сигнал–завада на вході приймача.

Ключові слова: перешкодостійкість, білий шум, енергетичний спектр, відбілюючий фільтр, відношення сигнал-перешкода.

Marigodov V.K., Tihonov G.A. Noise resistance of the ideal receiver under the influence of noise with the arbitrary spectrum

Estimation of the noise resistance of the ideal receiver under the influence of the random noise different from the white spectrum at its input is presented. The amplitude-frequency response of the optimal white-wash filter and signal-to-noise ratio at the input of the receiver are obtained.

Keywords: noise immunity, white noise, power spectrum, white-wash filter, signal-to-noise ratio.