

УДК 621.391.82

В.К. Маригодов, профессор, д-р техн. наук,**Э.Ф. Бабуров, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**Ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***АДАПТИВНЫЙ ОТБЕЛИВАЮЩИЙ ФИЛЬТР**

Исследована возможность построения отбеливающего фильтра для аддитивной помехи с произвольным энергетическим спектром при исключении искажения формы спектра полезного сигнала в этом фильтре.

Ключевые слова: адаптация, компенсация, фильтр, сигнал, помеха, белый шум, спектр.

Преобразование помехи с произвольным энергетическим спектром в гауссовский белый шум представляет актуальную задачу в теории связи. Так, например, в теории потенциальной помехоустойчивости исследуется предельно достижимая помехоустойчивость идеального приемника при воздействии на его входе белого шума [1]. При таких же условиях оценивается эффективность оптимального предвысказания и корректирования сигналов в системах передачи информации и пропускная способность каналов связи [2].

В тех случаях, когда помеха на выходе канала связи не является белым шумом, необходимо на входе приемника включить так называемый отбеливающий фильтр, который превращает произвольную помеху в белый шум. Поскольку через этот фильтр пропускается аддитивная смесь полезного сигнала и помехи, то наряду с отбеливанием спектра помехи происходит искажение сигнала. Для исключения таких искажений можно включить в передающий тракт системы связи так называемый компенсирующий фильтр, АЧХ которого обратна по отношению к аналогичной характеристике отбеливающего фильтра. При этом необходимо, чтобы канал связи был идеальным, т.е. обладал прямоугольной формой АЧХ и линейной ФЧХ в пределах эффективной полосы пропускания канала.

Цель статьи состоит в том, чтобы построить физически реализуемый адаптивный отбеливающий фильтр для аддитивной помехи с произвольным энергетическим спектром при исключении искажений полезного сигнала в этом фильтре.

Структурная схема предлагаемого адаптивного отбеливающего фильтра изображена на рисунке 1. Она отличается от известной схемы аналогичного фильтра [3] тем, что вместо сложной схемы анализатора спектра помехи, состоящей из широкополосной избирательной цепи, нелинейного элемента, двух разнополярных линейных детекторов и вычитающего устройства, в ней применяется согласующее устройство, два узкополосных фильтра, два перемножителя, два фильтра нижних частот и вычитающее устройство [2].

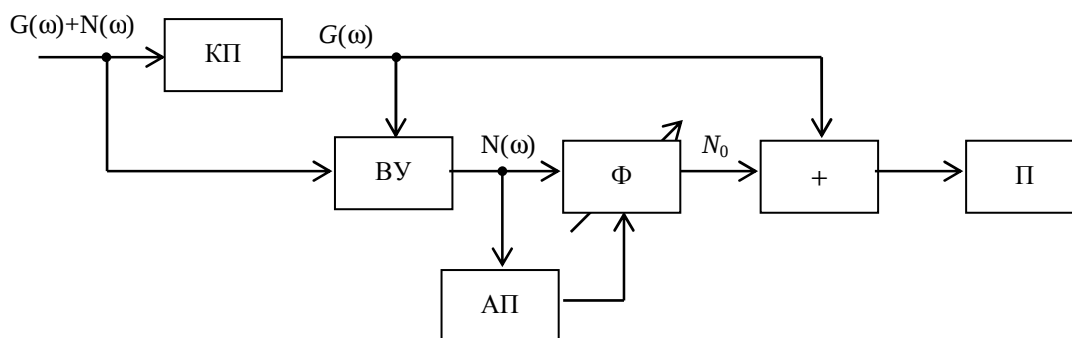


Рисунок 1 — Структурная схема адаптивного отбеливающего фильтра

На рисунке 1 введены следующие обозначения: $G(\omega)$, $N(\omega)$ — спектральные плотности мощности сигнала и помехи соответственно; КП — компенсатор помехи; АП — анализатор спектра помехи; ВУ — вычитающее устройство; Ф — перестраиваемый фильтр; П — приемник. В компенсаторе помехи (рисунок 2) происходит подавление относительно широкополосной помехи при наличии узкополосного сигнала. Здесь ЛЗ — линия задержки; ВУ — вычитающее устройство; АФ — адаптивный перестраиваемый фильтр.

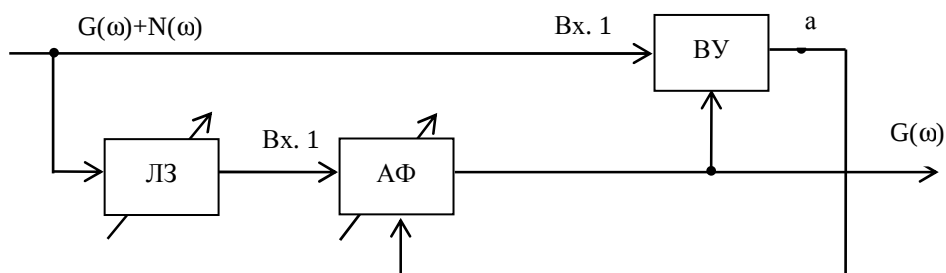


Рисунок 2 — Схема компенсатора помехи

На вход компенсатора помехи [4] поступает аддитивная смесь полезного сигнала и помехи. Она также поступает одновременно на вход линии задержки и вычитающего устройства (Вход 1). Линия задержки осуществляет сдвиг сигналов на время корреляции широкополосной помехи. В том случае, когда помеха узкополосная, выходной сигнал необходимо снимать с точки «а» (рисунок 2). При этом линия задержки предназначена для сдвига сигналов на время корреляции узкополосной помехи. Выход линии задержки и выход вычитающего устройства соединены со входами (Вход1 и Вход 2) адаптивного фильтра, а выход последнего подключен ко второму входу (Вход 2) вычитающего устройства. На выходе адаптивного фильтра формируется полезный сигнал, в котором помеха практически отсутствует. В качестве адаптивного фильтра можно использовать перестраиваемый активный RC-фильтр (рисунок 3).

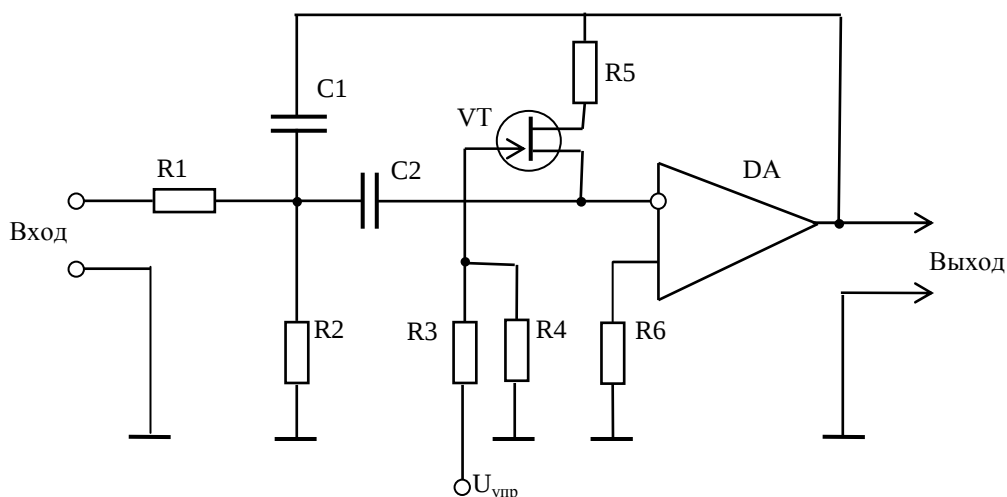


Рисунок 3 — Схема активного RC-фильтра

Схема анализатора помехи (рисунок 1) известна и принцип её действия изложен в [2].

Управляющее напряжение $U_{упр}$ формируется на выходе анализатора помехи и подается на затвор полевого триода. В результате этого происходит адаптивное регулирование АЧХ операционного усилителя $|K(j\omega)|$ по закону

$$|K(j\omega)| = N_0 / N(\omega),$$

где N_0 — спектральная плотность мощности белого шума, а $N(\omega)$ — спектр помехи на выходе фильтра.

Аддитивная смесь полезного сигнала и полученного белого шума подается на вход приемника (рисунок 1).

Для исследования физической возможности адаптивного отбеливающего фильтра необходимо рассмотреть выполнимость условия несингулярности, т.е. сходимости интеграла

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{|\ln N(\omega)|}{1 + \omega^2} d\omega \quad (1)$$

или выполнимость условия Палея – Винера

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{|\ln K(j\omega)|}{1 + \omega^2} d\omega < \infty. \quad (2)$$

Пусть спектр аддитивной помехи моделируется возрастающей с частотой функцией

$$N(\omega) = N_0(\alpha^2 + \omega^2), \quad (3)$$

где α — коэффициент, определяющий скорость экспоненциального спада корреляционной функции помехи. Из (1) имеем интеграл

$$I = N_0 \left[\ln \alpha^2 \int_0^\infty \frac{d\omega}{1 + \omega^2} + \int_0^\infty \frac{|\ln \omega^2|}{1 + \omega^2} d\omega \right] = N_0 \ln \alpha \frac{\pi}{2},$$

т.е. интеграл сходится.

Рассмотрим также случай помехи с быстро возрастающим спектром

$$N(\omega) = N_0(\alpha^2 + \omega^2)^2. \quad (4)$$

При этом АЧХ отбеливающего фильтра находится как $|K(j\omega)| = \frac{1}{\alpha^2 + \omega^2}$. Из (3) получаем

$$I = \ln \alpha^2 \int_{-\infty}^\infty \frac{d\omega}{1 + \omega^2} + 2 \int_{-\infty}^\infty \frac{|\ln \omega|}{1 + \omega^2} d\omega. \quad (5)$$

Первый из этих интегралов сходится, поскольку $\lim_{\omega \rightarrow \pm\infty} \int_{-\infty}^\infty \frac{d\omega}{1 + \omega^2} = |\arctg \omega|_{-\infty}^\infty = \pi$, а для второго интеграла необходимо раскрыть неопределенность вида ∞/∞ , тогда он обращается в нуль. В результате получаем $I = \pi \ln \alpha^2$, т.е. условие (3) выполняется.

Таким образом, кроме построения структуры адаптивного отбеливающего фильтра, рассмотрены также условия его физической реализации.

К задачам дальнейших исследований можно отнести, например, следующие: разработка адаптивного отбеливающего фильтра для мультипликативной помехи и теоретико-игровой синтез идеального приемника в условиях априорной неопределенности при оценке помеховой обстановки.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости / В.А. Котельников. — М.: Госэнергоиздат, 1956. — 152 с.
2. Маригодов В.К. Теоретико-игровой синтез систем передачи и обработки информации / В.К. Маригодов, Э.Ф. Бабуров, Ю.В. Матвеев; под общ. ред. В.К. Маригодова. — Севастополь: СевНТУ, 2006. — 187 с.
3. Маригодов В.К. Физически возможный адаптивный отбеливающий фильтр / В.К. Маригодов // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. — 2011. — Т. 54. — № 11. — С. 22–25.
4. Богданович Б.М. Радиоприемные устройства: учебное пособие для вузов / Б.М. Богданович, Н.И. Окулич; под общ. ред. Б.М. Богдановича. — Минск: Выш. школа, 1991. — 428 с.

Поступила в редакцию 15.03. 2012 г.

Марігодов В.К., Бабуров Е.Ф. Адаптивний вибілювальний фільтр

Досліджена можливість побудови вибілювального фільтру для адитивної завади з довільним енергетичним спектром за умови виключення спотворення форми спектру корисного сигналу в цьому фільтрі.

Ключові слова: адаптація, компенсація, фільтр, сигнал, завада, білий шум, спектр.

Marigodov V.K., Baburov E.F. A adaptive white-wash filter

The possibility of construction white-wash filter for additive noise which arbitrary power density spectrum under compensation distortion of signal in this filter is presented.

Keywords: adaptation, compensation, filter, noise, white noise, spectrum.