

УДК 621.391.27

В.К. Маригодов, профессор, д-р техн. наук,**В.В. Чмут, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***НЕИСКАЖЕННАЯ ПЕРЕДАЧА КОМПЛЕКСНОГО СПЕКТРА СИГНАЛА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С ОПТИМАЛЬНЫМ ПРЕДЫСКАЖЕНИЕМ СИГНАЛОВ**

Исследуется возможность учета фазового спектра сигнала в системах связи, в которых применяется оптимальное предискажение и корректирование. В системах с адаптивным предискажением и корректированием рассмотрены условия взаимной компенсации фазового спектра в передающем и приемном трактах, а также применение фазовой коррекции.

Ключевые слова: *фазовый спектр, предискажение, корректирование, фильтр, искажение, компенсация, адаптация, система связи.*

При использовании энергетического критерия оценки эффективности адаптивного амплитудно-частотного предискажения и корректирования в системах связи не учитывается фазовый спектр сигнала. Для реализации пропускной способности канала связи необходимо, чтобы сигнал после предискажения на входе канала обладал равномерным энергетическим спектром, а спектр аддитивной помехи, действующей в канале, имел вид белого шума. С этой целью в приемный тракт системы связи на входе адаптивного корректирующего фильтра нужно включить адаптивный отбеливающий фильтр, на выходе которого помеха с произвольным спектром преобразуется в белый шум. Однако при этом происходят искажения принимаемого сигнала, поскольку аддитивная смесь сигнала и помехи пропускается через упомянутый фильтр. Для компенсации искажений сигнала в отбеливающем фильтре необходимо включить в передающий тракт после адаптивного предискажающего фильтра адаптивный компенсирующий фильтр [1]. Таким образом, структурная схема системы связи с учетом отбеливающего и компенсирующего фильтров усложняется. Кроме того, возникает необходимость наличия канала управления и канала обратной связи для адаптивной регулировки АЧХ упомянутых фильтров.

Известна система связи с неадаптивным предискажением и корректированием сигналов, в которой на входе приемника сохраняется фазовый спектр сигнала [2]. Следует отметить, что это необходимо, поскольку в фазовом спектре во многих случаях содержится важная информация о передаваемом сообщении (передача изображений, дискретных сообщений). Эта информация при использовании энергетического критерия оценки эффективности метода предискажения и корректирования теряется [3].

Цель статьи состоит в том, чтобы в системе связи, в которой применяется адаптивное предискажение и корректирование, не происходило потери информации о фазовом спектре предискажаемых сигналов. Такая задача в принципе может решаться обеспечением взаимной компенсации ФЧХ соответствующих фильтров, а так же введением дополнительных фазокорректирующих устройств в передающий и приемный тракты системы.

Структурная схема системы связи с адаптивным предискажением и корректированием сигналов изображена на рисунке 1, на котором введены следующие обозначения: $G(j\omega)$ — комплексный спектр предискажаемого сигнала; $K_1(j\omega)$, $K_2(j\omega)$, $K_0(j\omega)$, $K_3(j\omega)$, $K_4(j\omega)$ — КЧХ соответственно предискажающего, компенсирующего фильтров, канала связи, отбеливающего и корректирующего фильтров; АСС — анализатор спектра предискажаемого сигнала; АСП — анализатор спектра аддитивной помехи, действующей в канале связи; КУ — канал управления; КОС — канал обратной связи; П — приемник; $N(\omega)$ — спектральная плотность мощности помехи.

Комплексный спектр сигнала на входе системы связи можно представить в виде

$$G(j\omega) = |G(j\omega)| K_1(j\omega) K_2(j\omega) K_3(j\omega) K_4(j\omega) \times \exp\{-j[-\varphi_c(\omega) + \varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \varphi_3(\omega) + \varphi_4(\omega)]\} \quad (1)$$

где $|G(\omega)| \exp[j\varphi_c(\omega)]$ — комплексный спектр предискажаемого сигнала; $\varphi_1(\omega)$, $\varphi_2(\omega)$, $\varphi_3(\omega)$, $\varphi_4(\omega)$ — соответственно ФЧХ предискажающего, компенсирующего, отбеливающего и корректирующего фильтров.

При этом считаем, что канал связи является идеальным, то есть обладающим равномерной АЧХ в пределах эффективной полосы пропускания и линейной ФЧХ. Поэтому в (1) полагалось, что $|K_0(j\omega)| = 1 = \text{const}$.

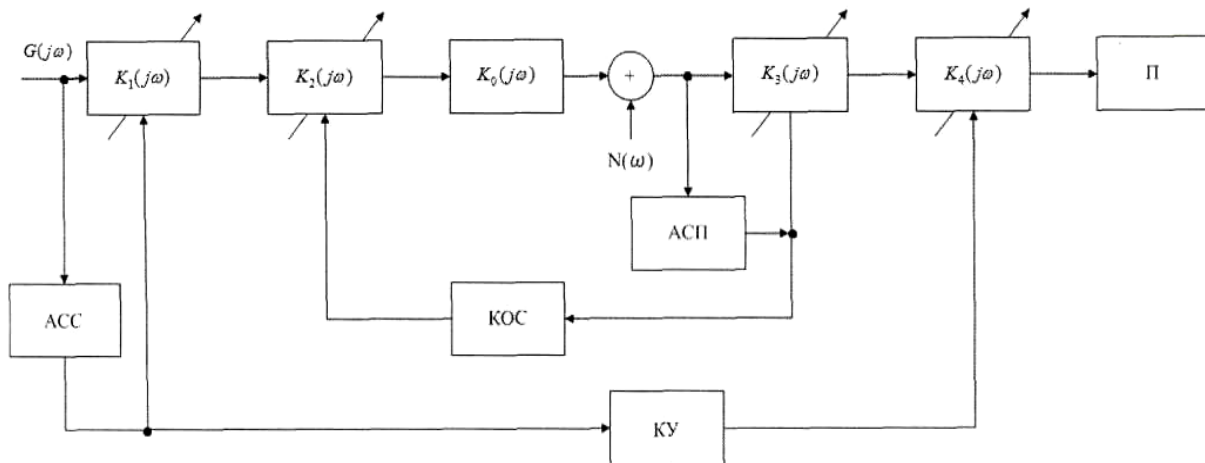


Рисунок 1 — Структурная схема системы связи с адаптивным предсказанием и корректированием

Для идеального воспроизведения комплексного спектра предсказываемого сигнала на входе приемника должны выполняться следующие условия:

$$|K_1(j\omega)K_2(j\omega)K_3(j\omega)K_4(j\omega)| = 1; \tag{2}$$

$$\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \varphi_3(\omega) + \varphi_4(\omega) = 0. \tag{3}$$

Поскольку в качестве фильтров в системе (рисунок 1) обычно используются минимально-фазовые четырехполосники, которые обладают взаимнообратными АЧХ и ФЧХ, то необходимо, чтобы имели место равенства:

$$|K_4(j\omega)| = \frac{1}{|K_1(j\omega)|}; \quad |K_3(j\omega)| = \frac{1}{|K_2(j\omega)|}; \tag{4}$$

$$\varphi_1(\omega) + \varphi_4(\omega) = 0; \quad \varphi_2(\omega) + \varphi_3(\omega) = 0. \tag{5}$$

Если условия (4) и (5) на практике сложно реализовать, то на выходах каждого из соответствующих фильтров можно включить дополнительные фазокорректирующие устройства, представляющие собой неминимально-фазовые четырехполосники [2]. В принципе возможно и другое решение, когда вместо отдельных фазовых корректоров используется один общий фазовый корректор, включаемый на выходе корректирующего фильтра. Тогда вместо (3) должно иметь место условие

$$\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \varphi_3(\omega) + \varphi_4(\omega) + \varphi'_4(\omega) = 0, \tag{6}$$

где $\varphi'_4(\omega)$ — ФЧХ общего фазового корректора.

Для адаптивной регулировки АЧХ и ФЧХ соответствующих фильтров сигналы управления, формируемые на выходах анализаторов спектров предсказываемого сигнала и аддитивной помехи, действующей в канале связи, соответственно через каналы управления и обратной связи (рисунок 1) поступают на управляющие входы адаптивных фильтров. При этом происходит изменение параметров схемных элементов фильтров. Поскольку управляющие сигналы представляют собой медленно изменяющиеся напряжения постоянного тока, то каналы управления и обратной связи являются узкополосными и не возникает сложностей с решением задачи обеспечения их помехоустойчивости и пропускной способности. Учет инерционности перестройки фильтров и каналов исследован в [4]. При этом показано, что время перестройки не превышает 0,3 мкс. Известно, что импульсная реакция коротковолнового канала практически не изменяется во времени в интервале 100 мс, то есть на протяжении 100 элементарных посылок при передаче сигналов ЧТ, ФТ или ОФТ. В связи с этим инерционность перестройки фильтров не приведет к нарушению работоспособности системы связи.

Поскольку в системе обеспечивается адаптивное отбеливание помехи, то для реализации пропускной способности каналы связи необходимо, чтобы спектр предсказанного сигнала на входе этого канала был равномерным в пределах эффективной полосы пропускания. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы выполнялось следующее равенство

$$G(j\omega)K_1(j\omega)K_2(j\omega) = G_0 \exp\{-j[\varphi_c(\omega) + \varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega)]\}, \tag{7}$$

где G_0 — плотность мощности предсказанного сигнала с равномерным спектром.

В связи с тем, что АЧХ компенсирующего фильтра связана с соответствующей характеристикой отбеливающего фильтра зависимостью (4), задача в «выравнивания» спектра сигнала должна решаться путем перестройки АЧХ предсказывающего фильтра, то есть АЧХ последнего должна удовлетворять условию

$$|K_4(j\omega)| = \frac{G_0}{|G(j\omega)||K_2(j\omega)|}. \quad (8)$$

В системах с неадаптивным предсказанием и корректированием задач неискаженной передачи фазового спектра сигнала осуществляется путем использования на передаче и приеме так называемых «составных» фильтров, которые реализуются путем последовательным включением согласованного с сигналом фильтра и предсказывающего или корректирующего фильтра соответственно в передающем или приемном трактах [2].

Таким образом, рассмотрена возможность учета фазового спектра сигнала в системе связи с адаптивным предсказанием и корректированием.

Задачами дальнейших исследований являются: теоретико-игровой синтез систем связи с адаптивным предсказанием и корректированием сигнала, а так же физическая реализация адаптивных фильтров.

Библиографический список использованной литературы

1. Маригодов В.К. Методы помехоустойчивой обработки сигналов в системах передачи информации / В.К. Маригодов, Ю.В. Матвеев, А.Н. Дегтярев; под общ. ред. В.К. Маригодова. — Севастополь, 2008. — 243 с.
2. Маригодов В.К. Возможность учета фазового спектра сигнала в системах передачи информации с предсказанием и корректированием/ В.К. Маригодов // Отбор и передача информации: сб. науч. тр. — К.: Наук. думка. — 1984. — С. 21–24.
3. Маригодов В.К. Помехоустойчивая обработка информации: методы оптимального линейного предсказания и корректирования / В.К. Маригодов. — М.: Наука, 1983. — 201 с.
4. Маригодов В.К. Синтез оптимальных радиосистем с адаптивным предсказанием и корректированием сигналов / В.К. Маригодов, Э.Ф. Бабуров. — М.: Радио и связь, 1985. — 248 с.

Поступила в редакцию 13.06.2012 г.

Маригодов В.К., Чмут В.В. Передача комплексного спектра сигнала без спотворень у системах зв'язку з оптимальним перед спотворенням

Досліджується можливість обрахування фазового спектру сигналу у системах зв'язку, в яких застосовується оптимальне передспотворення та корегування. У системах із адаптивним передспотворенням і корегуванням сигналу розглянуті умови взаємної компенсації фазового спектру в передавальному та приймальному трактах, а також застосування фазового корегування.

Ключові слова: фазовий спектр, передспотворення, корегування, фільтер, спотворення, компенсація, адаптація, система зв'язку.

Marigodov V.K., Chmut V.V. The translation of complex spectrum of signal without distortion in the communications systems with optimal predistortion

The possibility of taking into account phase spectrum of signal in communications systems with optimal predistortion correction and examine is presented. The conditions of reciprocal compensation phase spectrum in transmission and reception route and also utilization correction of phase in a systems from adaptive predistortion and correction are produced.

Keywords: phase spectrum, predistortion, correction, filter, distortion, compensation, adaptation, communication system.