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, Севастополь, Украина, 99053
E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИВЕДЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ К ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ОДНОКАНАЛЬНОЙ

Рассмотрены методы замены многоканальных систем связи одноканальными на примере систем с оптимальным предыскажением сигналов и систем с распараллеливанием обработки информации при использовании канала с селективными по частоте замираниями.

Ключевые слова: *система связи, предыскажение, корректирование, функционал, комплексная частотная характеристика, средняя мощность сигнала.*

Рассмотрим систему связи, в каждом из параллельных каналов которой применяется оптимальное предыскажение и корректирование сигналов (рисунок 1). Здесь введены следующие обозначения: $G(\omega)$ — спектральная плотность мощности предыскажаемого сигнала; $K_{1i}(\mathrm{j}\omega)$, $K_{0i}(\mathrm{j}\omega)$, $K_{2i}(\mathrm{j}\omega)$ — комплексные частотные характеристики (КЧХ) соответственно предыскажающих фильтров, каналов и корректирующих фильтров; $N_i(\omega)$ — спектральные плотности мощности аддитивных помех в параллельных каналах.

КЧХ оптимального корректирующего фильтра i-го канала можно представить в виде [1]

$$K_{2i}(\mathrm{j}\omega) = \frac{G(\omega) G_v(\omega) N_i(\omega)}{G(\omega) + G_v(\omega)}, \qquad (1)$$

где

$$N_i(\omega) = \sum_{j=1}^{n} \left[\overline{K}_{1j}(\mathrm{j}\omega)\overline{K}_{0j}(\mathrm{j}\omega)\right] \Big/ N_{ij}(\omega), \qquad (2)$$

$$G_v(\omega) = \left[\sum_{i,j=1}^{n} \overline{K}_{1i}(\mathrm{j}\omega)\left|K_{1j}(\mathrm{j}\omega)\right| K_{0i}(\mathrm{j}\omega)\overline{K}_{0j}(\mathrm{j}\omega) N_{ij}^{(-1)}(\omega)\right]^{-1}. \qquad (3)$$

Черта над КЧХ в (2), (3) означает комплексно-сопряженные величины, а индексы (-1) следует понимать как обратные величины.

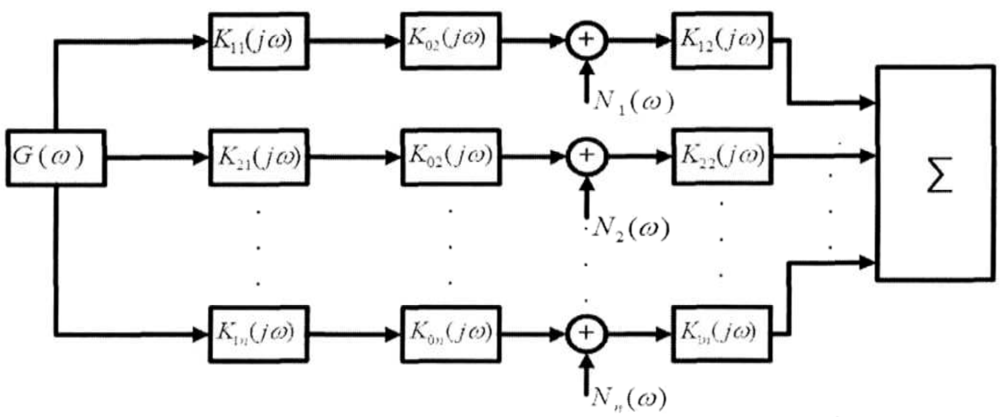

Рисунок 1 — Структурная схема системы связи с параллельной обработкой сигналов

Цель статьи состоит в том, чтобы показать возможность замены системы (рисунок 1) эквивалентной одноканальной системой, а также доказать то же самое для канала с селективными по частоте замираниями при использовании системы связи с повторением информации в каждом из параллельных каналов.

Предположим, что в системе с параллельным предыскажением и корректированием (рисунок 1) осуществляется передача одного и того же сигнала по каждому из n каналов. В этом случае можно считать, что $K_{1i}(\mathrm{j}\omega) = K_1(\mathrm{j}\omega)$, то есть полагаем, что в системе связи имеется один общий для всех каналов предыскажающий фильтр. То же самое справедливо и для корректирующего фильтра, включенного в приемный тракт. Тогда (3) преобразуется как [2]

$$G_v(\omega) = \left[\left| K_1(\mathrm{j}\omega) \right|^2 \sum_{i,j=1}^{n} K_{0i}(\mathrm{j}\omega) \overline{K}_{0i}(\mathrm{j}\omega) N_{ij}^{(-1)}(\omega) \right]^{-1} . \tag{4}$$

Эффективность предыскажения и корректирования можно оценить по среднеквадратическому критерию [1]

$$\overline{\varepsilon^2} = \frac{1}{2\pi} \int_{\Delta\omega} \frac{G(\omega) G_v(\omega)}{G(\omega) + G_v(\omega)} \mathrm{d}\omega . \tag{5}$$

Если подставить значение $G_v(\omega)$ из (4) в выражение (5), то получим

$$\left| K_1(\mathrm{j}\omega) \right|^2 = \max \left\{ \lambda \sqrt{\frac{K_{0i}(\mathrm{j}\omega) \overline{K}_{0j}(\mathrm{j}\omega)}{G(\omega) N_{ij}(\omega)}} - \frac{K_{0i}(\mathrm{j}\omega) \overline{K}_{0j}(\mathrm{j}\omega)}{G(\omega\omega N_{ij}(\omega)}, 0 \right\}, \tag{6}$$

где множитель неопределенности Лагранжа λ находится из (6), в котором вместо $K_{1i}(\mathrm{j}\omega)$, $P_{\text{ср}i}$, $\Delta\omega_i$ необходимо принять соответственно $K_1(\mathrm{j}\omega)$, $P_{\text{ср}}$, $\Delta\omega$. Здесь $P_{\text{ср}}$ — средняя мощность сигнала на входе канала, $\Delta\omega$ — эффективная полоса частот канала.

В более общем случае, когда в каждом из параллельных каналов применяются различные предыскажающие и корректирующие фильтры можно предположить, что средние мощности предыскаженных сигналов на входе каждого канала одинаковы и КЧХ всех каналов так же идентичны, то есть $P_{\text{ср}i} = P_{\text{ср}}$, $K_{0i}(\mathrm{j}\omega) = K_0(\mathrm{j}\omega)$. Кроме того, примем, что спектры аддитивных помех в каждом из каналов одинаковы, то есть $N_{ij}(T) = N(T)$ для всех $i \neq j$ и $N_{ij}(\omega) = N(\omega)$. В этом случае (4) принимает вид

$$G_v(\omega) = \left\{ \left| K_0(\mathrm{j}\omega) \right|^2 \left[N_{12}^{(-1)}(\omega\omega \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{n} K_{1i}(\mathrm{j}\omega) \overline{K}_{1j}(\mathrm{j}\omega) + N^{(-1)}(\omega) \sum_{i=1}^{n} \left| K_{1i}(\mathrm{j}\omega) \right|^2 \right] \right\} . \tag{7}$$

Минимум функционала (5), соответствующий наименьшей среднеквадратической ошибке, находится варьированием по $K_{1i}(\mathrm{j}\omega)$ с учетом (7) и выбором в качестве дополнительного условия фиксации средней мощности сигнала на входе каждого из каналов, то есть

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\Delta\omega_i} \left| K_{1i}(\mathrm{j}\omega) \right|^2 G(\omega) \mathrm{d}\omega = P_{\text{ср}i} = \mathrm{const} . \tag{8}$$

При этом находим

$$G_v(\omega) = \left\{ \left| K_0(\mathrm{j}\,\omega) \right|^2 \left| K_1(\mathrm{j}\,\omega) \right|^2 n \left[N^{(-1)}(\omega) + \left| N_{12}^{(-1)}(\omega) \right| \right] \right\}^{-1} . \tag{9}$$

Если принять спектральную плотность мощности аддитивных помех в каналах равной $|K_1(\mathrm{j}\omega)|^2 G_v(\omega)$ и с учетом этого определить КЧХ предыскажающих фильтров на основании (6), то многоканальная система связи может быть преобразована в эквивалентную ей одноканальную.

В некоторых случаях можно показать, что канал с селективными по частоте замираниями, модель которого представляется как система с распараллеливанием, по аналогии с рисунком 1 также может быть сведен к одноканальному [3]. Структурная схема модели такого канала показана на рисунке 2.

Сигнал $x(t)$ расфильтровывается условными фильтрами Φ_i с постоянными параметрами и соответствующими импульсивными реакциями. Далее каждая составляющая сигнала умножается на коэффициент передачи соответствующего канала $\mu_i(t)$, который является случайной функцией времени. Число фильтров в такой модели достаточно велико, но практически можно ограничиться конечным их числом с учетом того, что энергия входного сигнала вне определенной граничной полосы частот мала. При такой модели канала можно считать, что $\mu_i(t)$ коррелированны между собой и представляют в канале мультипликативную помеху. К сигналу на выходе канала после суммирования добавляется аддитивная помеха $n(t)$, которую в общем случае можно моделировать белым гауссовским шумом.

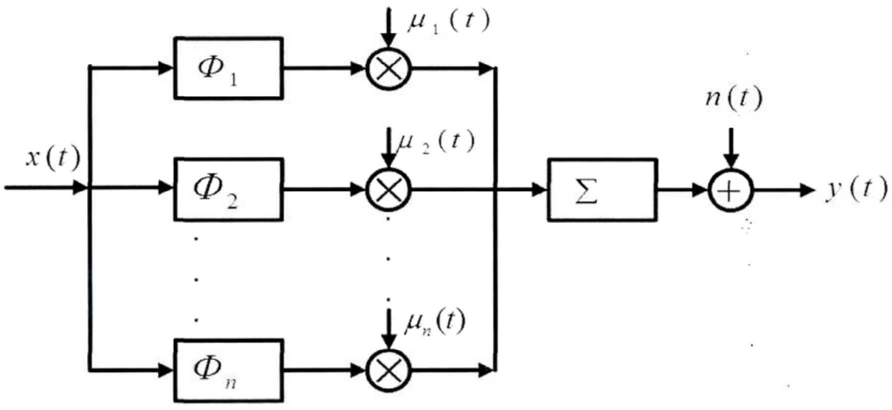

Рисунок 2 — Модель канала с селективными замираниями сигнала

Предположим, что случайные величины $\mu_i(t)$ положительны и независимы между собой, а их плотности вероятности

$$p(\mu_1) = p(\mu_2) = \ldots = p(\mu_n) = p(z), \tag{10}$$

начиная с некоторого значения z как случайной реализации $\mu_i(t)$, являются непрерывными функциями, которые монотонно убывают при $z \to \infty$ и обращаются в нуль при $z = \infty$, а их первые производные $p'(z)$ непрерывны. Если при этом также имеет место условие

$$[q(z-k_0)/q(z)] \to 1 \quad \text{при} \quad z \to \infty, \tag{11}$$

где $q(z)$ — вероятность неравенства $\mu_k(t) > z$ $(1 \le k \le n)$; k_0 — некоторое конечное число, и можно выбрать функцию

$$v = v(z)p'(z) = O[p(z)], \quad p(\text{v}) = O(z^{-1}), \quad v = O(z), \tag{12}$$

где $O(\cdot)$ — порядок функции, то справедливо [4]

$$[nq(z)/q_n(z)] \to 1, \text{ если } z \to \infty.$$

Здесь $q_i(z)$ — вероятность неравенства $[\mu_1(t) + \mu_2(t) + \ldots + \mu_i(t)] > z$.

Таким образом, если законы распределения величин $\mu_i(t)$ близки, то при выполнении дополнительных условий (11) и (12), которые обычно справедливы для большинства встречающихся на практике распределений, закон распределения суммы случайных величин в области достаточно больших ее значений совпадает с законом распределения максимальной из них. На основании этого модель канала (рисунок 2) можно привести к эквивалентной одноканальной.

В результате проведенных исследований доказано, что многоканальную систему связи с предыскажением сигналов можно привести к одноканальной. Показана также возможность эквивалентной замены канала с селективными замираниями сигнала одним общим каналом, в котором замирания наиболее резко выражены. Как частный случай, можно рассмотреть двухканальную систему, а также ситуацию, когда аддитивные помехи в каналах имеют различные спектры.

В дальнейшем предполагается исследование каналов с многолучевым распространением, а также каналов метеорной радиосвязи.

Библиографический список использованной литературы

1. Маригодов В.К. Синтез оптимальных радиосистем с адаптивным предыскажением и корректированием сигналов / В.К. Маригодов, Э.Ф. Бабуров. — М.: Радио и связь, 1985. — 248 с.

2. Овсеевич И.А. Оптимальное линейное предыскажение и корректирование сигнала при передаче его по многопутевой системе / И.А. Овсеевич, М.С. Пинскер // Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и автоматика. — 1959. — № 2. — С. 49–59.

3. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. — М.: Сов.радио, 1970. — 728 с.

4. Сифоров В.И. Об условиях эквивалентности статистических свойств радиотехнических систем с большим числом случайных параметров / В.И. Сифоров, Ю.Б. Синдлер // Докл. АН СССР. — 1957. — Т. 116. — Вып. 6. — С. 956–958.

Поступила в редакцию 24.10.2012 г.

Марігодов В.К., Чмут В.В. Про можливість приведення багатоканальної системи зв'язку до еквівалентної одноканальної

Розглянуто методи заміни багатоканальних систем зв'язку на одноканальні на прикладі систем з оптимальним передспотворенням сигналів та систем із паралельною обробкою інформації при використанні каналу з селективними по частоті завмираннями.

Ключові слова: система зв'язку, передспотворення, корегування, функціонал, комплексна частотна характеристика, середня потужність сигналу.

Marigodov V.K., Chmut V.V. On the possibility introduction multichannel communication system for equivalent of single channel system

The methods of substitution multichannels communications systems for examples systems with optimal predistortion of signals and systems with paralleling processing of information by utilization of channel with selection at frequency dying down has been considered.

Keywords: communication system, predistortion, correction, functional, frequency response, averidge power of signal.