

*Запропоновано метод оперативного формування квадратурної складової аналітичного сигналу. Оцінка ефективності аналізованого методу виконана в процесі модельного експерименту. Досліджено характеристики точності методу при обробці різних класів сигналів*

*Ключові слова: сигнал, цифрова обробка, перетворення Гільберта*

*Предложен метод оперативного формирования квадратурной составляющей аналитического сигнала. Оценка эффективности анализируемого метода выполнена в процессе модельного эксперимента. Исследованы характеристики точности метода при обработке различных классов сигналов*

*Ключевые слова: сигнал, цифровая обработка, преобразование Гильберта*

*We propose a method for rapid formation of the quadrature component of the analytical signal. Evaluating the effectiveness of method is analyzed in a model experiment. The characteristics of accuracy of the method in processing of different classes of signals*

*Keywords: signal, digital processing, Hilbert's conversion*

# К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ КВАДРАТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АНАЛИТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

**С.К. Алмасси\***  
**С.В. Верхунов\***  
**О.Н. Дорошенко\***  
**Н.С. Пастушенко**

Кандидат технических наук, профессор\*

Контактный тел.: (057) 702-13-20

E-mail: pastushenko\_ns@rambler.ru

\*Кафедра телекоммуникационных систем

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

## 1. Введение

Повышение скорости передачи данных в современных системах связи, как правило, связано с сокращением битового интервала, а для обеспечения требуемого качества передачи данных – с использованием более сложных сигналов (кодов).

Одновременно существенно усложняются процедуры цифровой обработки сигналов как на передающей, так и приемной стороне анализируемого канала связи. При этом в процессе цифровой обработки все шире используется квадратурная составляющая аналитического сигнала, которая восстанавливается, как правило, алгоритмически и позволяет значительно повысить качество процедур обработки.

Формирование квадратурной составляющей в зависимости от условий приема сигналов может осуществляться несколькими методами:

- в случае наличия информации о частоте опорного (несущего) колебания квадратурная составляющая (мнимая часть) может быть сформирована аппаратно с помощью фазового детектора [1];

- для гармонических сигналов сформировать квадратурную составляющую можно с помощью преобразования Гильберта или использовать фильтровые схемы, реализующие это преобразование [2];

- в случае обработки нелинейных нестационарных сигналов рекомендуют применять процедуры EMD-HSA (эмпирический метод декомпозиции – Гильбертов спектральный анализ) [3, 4].

Указанные процедуры, во-первых, имеют ограниченную область применения и, во-вторых, суще-

ственно отличаются требованиями к аппаратным или вычислительным затратам.

Поэтому до настоящего времени актуальной является задача разработки эффективных процедур формирования квадратурной составляющей для широкого спектра сигналов.

## 2. Постановка задачи в общем виде

Для дальнейшего анализа представим аналитический сигнал нормальной тригонометрической форме, а именно [1,2]

$$S(t) = A \cdot (\cos(\varphi(t)) + j \cdot \sin(\varphi(t))), \quad (1)$$

где  $A \geq 0$  – некоторый амплитудный множитель, который не имеет существенной роли, поскольку путем нормализации от этого множителя можно избавиться;  $\varphi(t)$  – аргумент, учитывающий частотную и фазовую составляющую сигнала;  $t$  – независимая переменная, которая имеет физический смысл единицы времени.

Для дискретного сигнала независимая переменная  $t$  может быть представлена следующим образом

$$t = (i-1) \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где  $\Delta t = \frac{1}{f_4}$  – шаг дискретизации сигнала по времени;  $f_4$  – частота дискретизации анализируемого сигнала;  $i = 1, \dots, N$  – число дискрет анализируемого

сигнала. Тогда (1) можно преобразовать к следующему виду

$$S_i = \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot (i-1) \cdot \Delta t + \varphi_i) + j \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot (i-1) \cdot \Delta t + \varphi_i), \quad (3)$$

где  $f_0$  – частота несущего колебания в Гц;  $\varphi_i$  – фаза анализируемого сигнала. В (3) опущен амплитудный множитель.

В соотношении (1) обратим внимание следующее. Квадратурная составляющая формируется через функцию синус от одного и того аргумента, что и у регистрируемой вещественной составляющей сигнала. При этом известно, что квадратурная составляющая «отстает» на  $\pi/2$  от вещественной составляющей анализируемого сигнала. Поэтому можно предложить следующий метод формирования квадратурной составляющей, схема реализации которого представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема формирования квадратурной составляющей

В рассматриваемой схеме введен элемент задержки. При этом величина  $\tau$  обеспечивает сдвиг сигнала на величину  $\pi/2$ , что и требуется для формирования квадратурной составляющей. Главная задача данной статьи – определить работоспособность предложенного метода формирования квадратурной составляющей и установить параметры, от которых зависит величина задержки  $\tau$ .

### 3. Методика и результаты проведения исследования

В качестве метода исследования будем использовать метод математического моделирования, а именно, разработаем имитационную модель. Как и в [5], для оценки качества формирования квадратурной составляющей будем использовать приемник сигналов с двухэлементной антенной решеткой и весовой обработкой информации (компенсатор помехового сигнала) [6]. Схема приемника представлена на рис. 2. На этом рисунке введены следующие обозначения:  $A_1, A_2$  – приемники;  $p_1, p_2, p_3, p_4$  – весовые коэффициенты, учитывающие различные составляющие регистрируемого сигнала.

Главный лепесток диаграммы направленности двухэлементной решетки в этом случае ориентируется в направлении прихода полезного сигнала, а источник помех имеет угловое (пространственное) различие. Далее будем исследовать влияние фазовращателей, которые образуют квадратурную составляющую (на рис. 2 обозначены –  $\pi/2$ ).

Проанализируем влияние точности формирования квадратурной составляющей, полагая, что приемные элементы имеют идентичные характеристики.

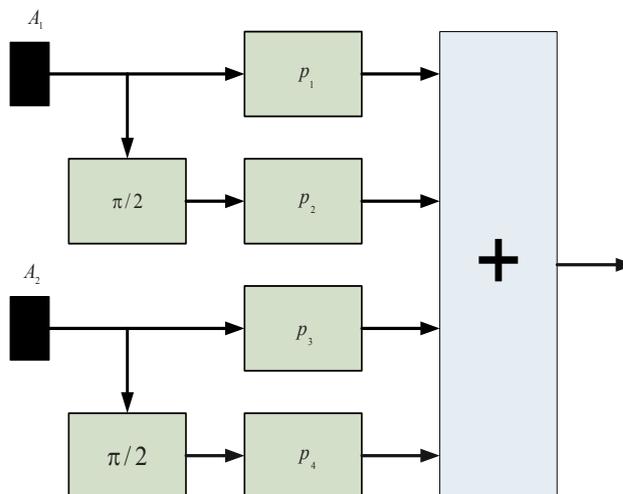


Рис. 2. Структурная схема приемника с двухэлементной решеткой

Условия модельного эксперимента следующие: угол между осью диаграммы направленности и направлением на источник помех –  $33^\circ$ ; несущая частота полезного сигнала – 1.5 кГц, а помехового – 18 кГц; амплитуды помехи и полезного сигнала равны; частота дискретизации суммарного регистрируемого сигнала – 42 кГц. В качестве критерия качества будем использовать сумму квадратов невязок между истинным сигналом и сигналом, выделенным на выходе приемника. В данной статье квадратурную составляющую будем формировать с точностью до шага дискретизации. Это простейший случай, когда из двух гармонических сигналов выделяется один полезный. Оптимальным вариантом для формирования квадратурной составляющей – использование преобразования Гильберта. Сигнал на выходе компенсатора и эталонный сигнал, при использовании для формирования квадратурной составляющей преобразования Гильберта, представлены на рис. 3.

Как показывает анализ представленных результатов эксперимента – они удовлетворяют предъявляемым требованиям и сумма квадратов невязок между результатами обработки и эталонным сигналом составляет 0.58.

Эта величина характеризует достаточно точное выделение искомого сигнала.

Теперь рассмотрим случай формирования квадратурной составляющей с помощью механизма, предложенного выше. В процессе модельного эксперимента установлено, что для заданных условий эксперимента  $\tau = 18$  дискрет.

Сформированная квадратурная составляющая с помощью предлагаемого метода и эталонная квадратурная составляющая, представлены на рис. 4.

Коэффициент корреляции между сформированной и эталонной квадратурными составляющими составляет примерно 0.85. Из этого следует, что совмещение с точностью до дискреты недостаточно. Вместе с тем, и эта составляющая позволяет выделять искомый

сигнал. Результаты модельного эксперимента представлены на рис. 5.

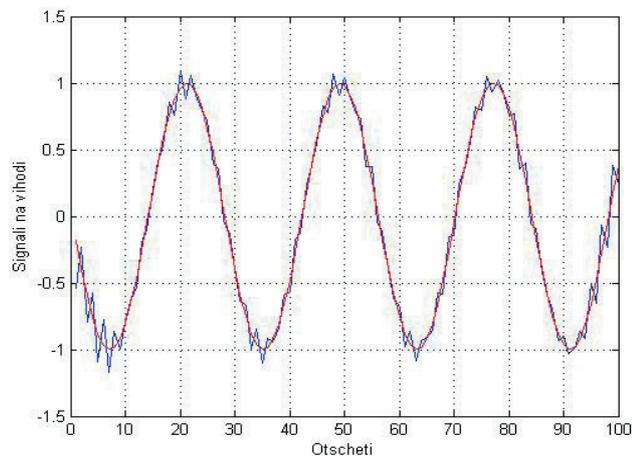


Рис. 3. Сигнал на выходе компенсатора (темный) и эталонный сигнал

Сумма квадратов невязок между результатами обработки и эталонным сигналом в анализируемом случае равна 1.05. Кроме этого, при обработке ограниченных по времени последовательностей будут иметь место краевые эффекты. Они обусловлены отсутствием возможности сформировать квадратурную составляющую в конце временной последовательности. Среди достоинств следует отметить – существенное сокращение вычислительных затрат.

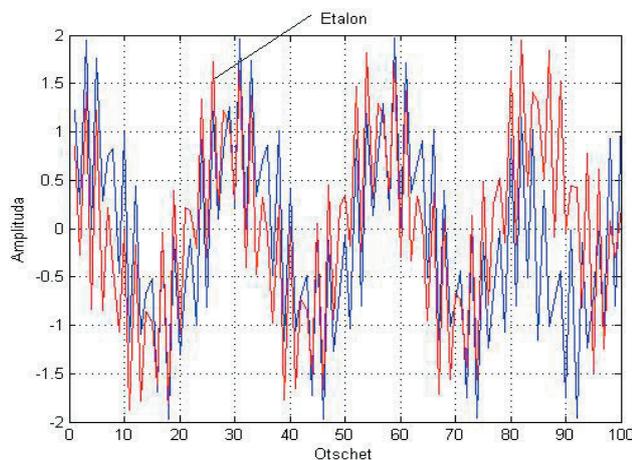


Рис. 4. Сформированная и эталонная квадратурные составляющие

Теперь ответим на вопрос, от каких параметров анализируемого сигнала зависит величина  $\tau$ . В первую очередь, это частота помехи (сигнала с максимальной частотой). Например, снижение частоты помехи до 8 кГц приводит к тому, что требуемое значение  $\tau = 20$ . Коэффициент корреляции между сформированной и эталонной квадратурными составляющими составляет примерно 0.93. Такие параметры как фаза, амплитуда, направление прихода помехи не влияют на качество формирования квадратурной составляющей.

В тоже время, направление прихода помехи влияет на качество выделения полезного сигнала, что связа-

но с работой приемника с двухэлементной решеткой [6]. Далее проанализируем влияние аддитивной помехи  $N(0, \sigma^2)$ , которая будет дополнительно влиять на сигнал, регистрируемые элементами решетки.

Здесь  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение гауссовского процесса. Результаты модельного эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Величина суммы квадратов невязки между эталонным и выделенным сигналами

	$\sigma = 0.1$	$\sigma = 0.2$	$\sigma = 0.3$
Преобразование Гильберта	0.81	3.3	4
Предлагаемый Метод	1.3	4.7	7

При этом коэффициент корреляции квадратурной составляющей уменьшился только при  $\sigma = 0.3$ , что свидетельствует о необходимости более точного формирования квадратурной составляющей при сильных помеховых сигналах.

Как следует из результатов модельного эксперимента, при наличии мультипликативной помехи, что эквивалентно обработке нелинейных сигналов, предложенный метод формирования квадратурной составляющей является предпочтительным.

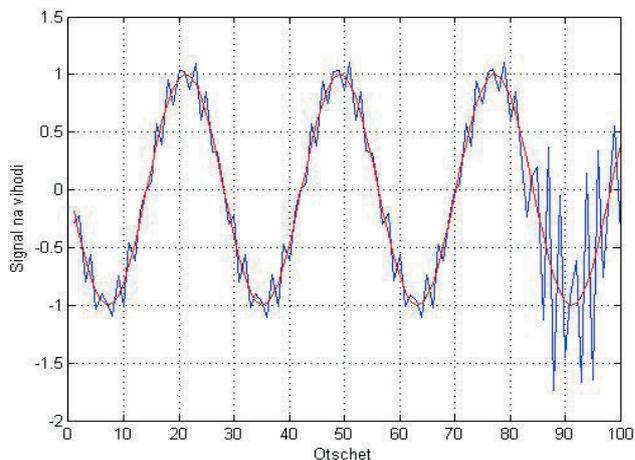


Рис. 5. Сигнал на выходе компенсатора (темный) и эталонный сигнал

#### 4. Выводы

Предложен и исследован экономичный для практической реализации в вычислительном (аппаратурном) плане метод формирования квадратурной составляющей аналитического сигнала.

Исследование предложенных процедур выполнено в процессе модельного эксперимента.

Применять предложенный метод формирования квадратурной составляющей целесообразно при наличии ограничений на время и вычислительные затраты. Более высокую эффективность предложенный метод имеет при обработке нелинейных сигналов.

Дальніші дослідження пов'язані з отриманням автоматических процедур оцінки величини задержки ( $\tau$ ) і оцінкою ефективності методу при

більш точному совмещенні оброблюваних рядів (совмещеніе до долей дискрету квантування по времени).

### Література

1. Вайнштейн Л.А. Разделение частот в теории колебаний и волн [Текст] / Л.А. Вайнштейн, Д.Е. Вакман // М.: Наука. Главн. ред. физ.мат. литературы. 1983. – 288 с.
2. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол // Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с., ил.
3. The Hilbert-Huang transform and its applications // editors, Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck. Link, Singapore 596224. Режим доступа: [http://en.pudn.com/downloads173/sourcecode/math/detail805586\\_en.html](http://en.pudn.com/downloads173/sourcecode/math/detail805586_en.html).
4. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N. C., Tung C. C., Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis // Proc. R. Soc. London, Ser. A – 1998. – No.454. – P. 903-995.
5. Пастушенко Н.С. Формирование квадратурной составляющей для одного класса сигналов. Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций», №1(3), 2011. с.84-96. Режим доступа: <http://pt.jornal.kh.ua>.
6. Адаптивная компенсация помех в каналах связи [Текст] / Под ред. Ю.И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.

*Запропонована модель формування обсягів службових даних у процесі фрагментації та інкапсуляції пакетів. Обрано критерій оцінки та проведені дослідження надлишкової інформації стеків протоколів систем у магістральних IP мережах*

*Ключові слова: надлишковість інформації, пакет, стек протоколів*

*Предложена модель формирования объемов служебных данных в процессе фрагментации и инкапсуляции пакетов. Выбран критерий оценки и проведены исследования избыточной информации стеков протоколов систем в магистральных IP сетях*

*Ключевые слова: избыточность информации, пакет, стек протоколов*

*A model of service data amount formation during the fragmentation and encapsulation of packages is offered. The criterion for estimation is chosen and the research of systems stack protocols redundant information in trunk IP networks is carried out*

*Keywords: redundancy information, package, protocols stack*

УДК 621.395.004.7

## АНАЛІЗ НАДЛИШКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОТОКОЛІВ СИСТЕМ У МАГІСТРАЛЬНИХ IP МЕРЕЖАХ

**М.І. Струкало**

Кандидат технічних наук, доцент, професор

Кафедра комутаційних систем\*

Контактний тел.: (048) 778-05-81, 098-425-52-44

E-mail: m.strukalo@mail.ru

**С.М. Горелік**

Старший викладач

Кафедра теорії електричних кіл\*

Контактний тел.: 067-977-75-83

\*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова  
вул. Ковальська, 1, м. Одеса, Україна, 65029

### 1. Вступ

Дослідження даної статті відносяться до області телекомунікацій. Однією із актуальних проблем, розв'язуваних при виробництві обладнання, проектуванні та експлуатації IP мереж, є забезпечення ефективного використання пропускної здатності каналів систем передачі. Пропускна здатність каналу між системами значною мірою залежить від використовуваних транс-

портних технологій IP мереж. Реальна пропускна здатність каналу, тобто швидкість передавання даних користувача залежить від надлишкової інформації використовуваних протоколів взаємодіючих систем.

Проблеми надлишкової інформації протоколів систем у мережах з комутацією пакетів досліджувались в багатьох роботах, наприклад [1...8], де аналізувались обсяги технологічної інформації окремих протоколів [1, 2] та стеків протоколів взаємодіючих систем