

Бугаев Сергей Александрович, Завтур Евгений Евгеньевич

ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КВАДРАТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В МНОГОЛУЧЕВОМ ЭХОЛОТЕ

В работе описана процедура цифрового формирования квадратурных составляющих принятых сигналов в многолучевом эхолоте. Приведены состав эхолота, структурная схема цифрового формирования квадратурных составляющих сигналов. Схематично показано преобразование спектров сигнала при цифровом формировании квадратурных составляющих сигналов.

Многолучевой эхолот, частота дискретизации, цифровое формирование квадратурных составляющих сигналов.

Bugaev Sergey Alexandrovich, Zavtur Evgeny Evgenevich

DIGITAL GENERATION OF QUADRATURE COMPONENTS IN A MULTIBEAM ECHOSOUNDER

The paper describes the procedure of digital formation of quadrature components of received signals in the multibeam echosounder. The echosounder structure and schematic block diagram of digital formation of quadrature components of signals are given. Conversion of the signal spectra during digital formation of quadrature components is shown schematically.

Multibeam echosounder, sampling frequency, digital formation of quadrature signal components.

Достигнутый в последнее время прогресс в цифровой вычислительной технике привел к широкому распространению многолучевых эхолотов (МЛЭ).

МЛЭ предназначен для мониторинга подводной обстановки, проведения поисково-спасательных и гидрографических работ. Использование МЛЭ позволяет повысить эффективность проведения работ, вероятность распознавания подводных объектов в широком диапазоне измеряемых глубин при различных гидрографических условиях. МЛЭ обеспечивают полное акустическое освещение морского дна, что в результате повышает разрешающую способность съемки и возможность обнаружения объектов на поверхности дна [1–3].

МЛЭ состоит из излучающей и приемной гидроакустических антенн, блока электроники (БЭ), блока вторичных источников питания (ВИП) и персонального компьютера (ПК). Структурная схема МЛЭ приведена на рис. 1.

Приемная антенна представляет собой линейную антенную решетку, состоящую из нескольких десятков элементов.

БЭ МЛЭ осуществляет формирование зондирующих сигналов, приём, обработку и передачу гидроакустической информации. БЭ выполняет команды, поступающие по интерфейсу Ethernet от персонального компьютера, на котором установлена программное обеспечение (ПО) МЛЭ. ПО

также выполняет пространственно-временную обработку сигналов [4–6] и формирование гидролокационного изображения рельефа дна.

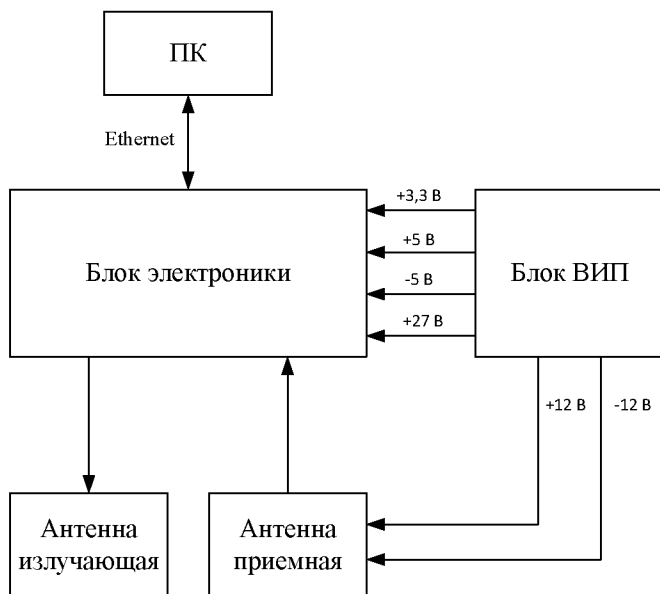


Рис. 1. Структурная схема МЛЭ

Основной процедурой, выполняемой в БЭ, является цифровое формирование квадратурных составляющих (ЦФКС) принятых сигналов [7–9], в результате которого выделяется комплексная огибающая (КО) сигналов [10].

Известно, что для полосовых сигналов частоту дискретизации F_d можно выбирать не по верхней граничной частоте f_v , а по ширине полосы исследуемых частот $\Delta f = f_v - f_n$ (f_n – нижняя граничная частота). Это позволяет снизить требования к быстродействию аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и следующих за ним устройств цифровой обработки сигналов (ЦОС). В данном методе ЦФКС сигнала используется стробоскопический эффект при дискретизации сигналов.

При ЦФКС наибольшее распространение получил симметричный разнос граничных частот, при котором в результате дискретизации центральная частота спектра сигнала попадает точно на $F_d/4$ или на $3F_d/4$. При

симметричных относительно центральной частоты спектра исходного сигнала (например, для импульсов с ЛЧМ) и помехи, расположение спектров после дискретизации будет наилучшим по критерию минимального наложения спектров.

На рис. 2 приведена структурная схема ЦФКС.

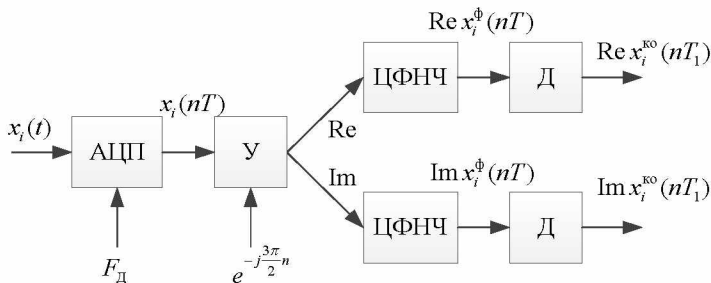


Рис. 2. Структурная схема ЦФКС

На схеме обозначено:

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

У – умножитель;

ЦФНЧ – цифровой фильтр нижних частот;

Д – дециматор.

Согласно приведенной на рис. 2 структурной схеме в течение времени приема сигналов T_n в АЦП производится преобразование принятых в каждом i -ом канале эхосигналов $x_i(t)$ на несущей частоте f_0 в цифровую форму $x_i(nT)$ ($n = 0, 1, \dots, N - 1$) с частотой дискретизации $F_d = 4/3f_0$.

ЦФКС состоит из АЦП, работающего с частотой дискретизации F_d , умножителя на комплексную экспоненту, обеспечивающего сдвиг спектра сигналов в область нулевых частот, и двух ЦФНЧ в реальном и мнимом каналах с децимацией выходных отсчетов в k_d . Частота дискретизации КО сигналов на выходе ЦФКС равна $F_{д1} = F_d/k_d$.

Полученный с выхода АЦП оцифрованный сигнал $x_i(nT)$ умножается на значения комплексной экспоненты:

$$x_i^3(nT) = x_i(nT)e^{-j\frac{3\pi}{2}n}, \quad (1)$$

где $n = 0, 1, \dots, N - 1$; N – количество отсчетов сигнала; T – период дискретизации.

Дальнейшая обработка заключается в фильтрации сигнала с целью подавления инверсной (зеркальной) составляющей спектра сигнала. Для этого используется ЦФНЧ.

Частота гарантированного пропускания амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ЦФНЧ выбрана из условия пропускания спектра сигнала. Выбранная частота гарантированного задерживания исключает наложение спектров сигнала после децимации. Широкая переходная полоса обеспечивает малый порядок фильтра.

Фильтрация осуществляется путем линейной свертки сигнала с импульсной характеристикой (ИХ) фильтра:

$$x_i^\Phi(nT) = \sum_{l=0}^n x_i^3(lT) \cdot h_{\text{ЦФНЧ}}((n-l)T) = x_i^3(nT) \otimes h_{\text{ЦФНЧ}}(nT), \quad (2)$$

где \otimes – обозначение операции свертки; $x_i^\Phi(nT)$ – сигнал на выходе ЦФНЧ.

В результате низкочастотной фильтрации формируется комплексный сигнал $x_i^\Phi(nT)$ со спектром на нулевой частоте.

Ширина спектра полученного комплексного сигнала меньше частоты дискретизации, поэтому на заключительном этапе ЦФКС выполняется децимация сигнала в k_d в соответствии с формулой:

$$x_i^{\text{КО}}(nT_1) = x_i^\Phi(nk_dT), \quad (3)$$

где $n = 0, 1, \dots, N_1 - 1$; N_1 – количество отсчетов КО сигнала; T_1 – период дискретизации КО сигнала.

На выходе ЦФКС получают отсчеты квадратурных составляющих КО сигнала $x_i^{\text{КО}}(nT_1)$ с уменьшенной частотой дискретизации $F_{\text{дл}}$.

Процедура ЦФКС иллюстрируется преобразованием спектров сигнала, которые приведены на рис. 3.

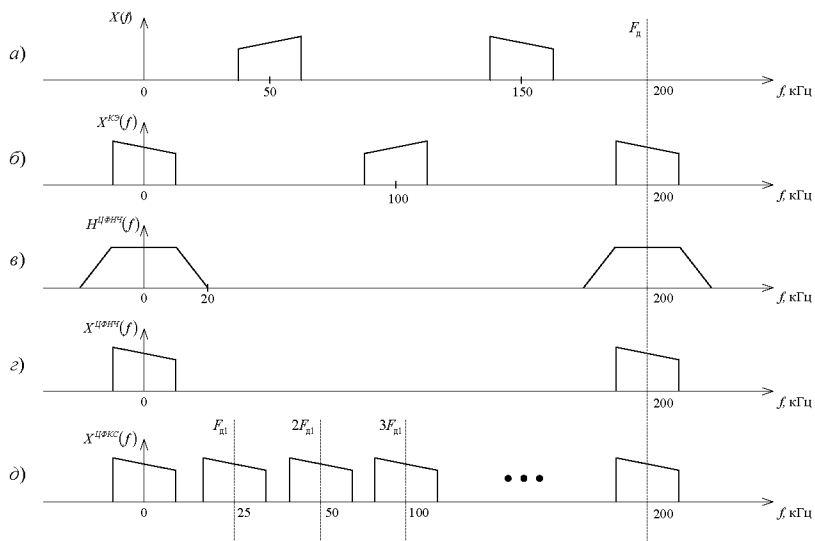


Рис. 3. Преобразование спектров сигнала при ЦФКС:

- а) спектр оцифрованного сигнала; б) спектр сигнала после умножения на экспоненту; в) АЧХ ЦФНЧ; г) спектр сигнала после фильтрации; д) спектр сигнала после децимации

Следует отметить, что выполнение процедуры ЦФКС позволяет уменьшить объем передаваемой в ПК информации. Например, при частоте дискретизации АЦП $F_{д1} = 200$ кГц и коэффициенте децимации $k_d = 8$ объем передаваемых в ПК отсчетов уменьшится в 4 раза, так как квадратурные составляющие сигнала являются комплексными (передаются реальная и мнимая части).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фирсов Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров: учеб. пособие. СПб.: Изд-во «Нестор-История», 2010. – 348 с.
2. Колосков Е.Н., Фирсов Ю.Г. Применение современных гидро-графических технологий для изучения рельефа и донного газопроявления в северных морях России. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 3. – С. 54–62.

3. *Фирсов Ю. Г., Кожухов И. В.* Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 2. — С. 17–23.

4. *Найт У.С., Придэм Р.Г., Кэй С.М.* Цифровая обработка сигналов в гидролокационных системах // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69. – № 11. – С. 84–155.

5. *Маркович И.И.* Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в гидроакустических системах и комплексах. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – С. 366–373.

6. *Маркович И.И.* Методы и алгоритмы цифровой пространственно-временной обработки гидроакустических сигналов в многолучевых эхолотах и локаторах препятствий // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – СПб: Наука, 2014. – Т. 7. – № 2. – С. 58–71.

7. *Маркович И.И.* Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах: монография. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – 236 с.

8. *Маркович И. И.* Реализация алгоритмов цифрового формирования квадратурных составляющих в локационных комплексах различного назначения // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2006. – № 6. – С. 16–21.

9. *Маркович И.И.* Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в многолучевом гидролокаторе морского подводного робототехнического комплекса // «Известия ЮФУ. Технические науки», 2019. – №1(203).– С.239–248.

10. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие для вузов. М.: Дрофа, 2006. – 719 с.

Бугаев Сергей Александрович, заместитель директора Научно-конструкторского бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, 347922, телефон: +7(8634)39-30-75, e-mail: sabugaev@sfedu.ru.

Завтур Евгений Евгеньевич, начальник сектора Научно-конструкторского бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, 347922, телефон: +7(8634)39-30-75; e-mail: zavtur@sfedu.ru.

Bugaev Sergey Alexandrovich, Deputy Director of the Research and Design Bureau of Digital Signal Processing of the Southern Federal University, 2 Shevchenko Str., Taganrog, 347922, Russia; phone: +7(8634) 39-30-75, email: sabugaev@sfedu.ru.

Zavtur Evgeny Evgenevich, Head of sector of the Research and Design Bureau of Digital Signal Processing of the Southern Federal University, 2 Shevchenko Str., Taganrog, 347922, Russia; phone: +7 (8634)39-30-75; e-mail: zavtur@sfedu.ru.