



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2011132765/07, 03.08.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.08.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.08.2011

(45) Опубликовано: 10.02.2013 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Давыдов Ю.Г. и др. Радиоприемные устройства. - М.: Высшая школа, 1989, с.235, рис.12.2. RU 2246132 C2, 10.02.2005. RU 2282209 C1, 20.08.2006. RU 2321007 C1, 27.03.2008. US 5990823 A, 23.11.1993. EP 816863 A2, 07.01.1998. JP 2009264900 A, 12.11.2009. US 6385 543 B1, 07.05.2002. JP 2006226779 A, 31.08.2006.

Адрес для переписки:

394064, г.Воронеж, ул. Старых  
Большевиков, 54А, ФГОУ ВПО ВАИУ,  
научно-исследовательский отдел

(72) Автор(ы):

**Болкунов Александр Анатольевич (RU),  
Волков Алексей Витальевич (RU),  
Рюмшин Руслан Иванович (RU),  
Сахаров Сергей Леонидович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное военное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Военный  
авиационный инженерный университет" (г.  
Воронеж) Министерства обороны  
Российской Федерации (RU)**

**(54) ПРИЕМНИК ПРОСТОГО ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в средствах радиоконтроля, радиолокации и радионавигации для приема и обработки сигналов. Достижимый технический результат изобретения - улучшение разрешающей способности по времени и обеспечиваемой потенциальной точности измерения временного положения импульсного сигнала. Указанный результат достигается за счет введения блока модифицированного прямого вейвлет-преобразования на основе вейвлета Морле, соединенного входом с выходом широкополосной линейной части, а выходом с входом оптимального обнаружителя. При этом процедура модифицированного прямого вейвлет-преобразования осуществляется в соответствии с выражением

$$W(a, b) = \int_{b-ca}^{b+ca} (|S(t) + K \cdot \psi(a, b, t)| - |S(t) - K \cdot \psi(a, b, t)|) dt$$

где  $S(t)$  - входной сигнал блока;  $W(a, b)$  - выходной сигнал блока;  $\psi(a, b, n)$  - базис, конструируемый с помощью масштабного коэффициента  $a$  и сдвига по времени  $b$  в пределах длительности принимаемого сигнала в виде

$$\psi(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

для действительной или мнимой части вейвлета Морле в виде

$$\psi(t) = e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}},$$

где  $t$  - время,  $f$  - частота,  $i$  - комплексная переменная,  $\pi=3.14$ ;  $K$  - постоянный множитель, удовлетворяющий неравенству  $K \gg S_m$ , где  $S_m$  - амплитуда сигнала на входе

блока;  $c$  - постоянный множитель, удовлетворяющий неравенству  $c \geq 3.6$  ил.

R U 2 4 7 4 8 4 2 C 1

R U 2 4 7 4 8 4 2 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2011132765/07, 03.08.2011**  
 (24) Effective date for property rights:  
**03.08.2011**  
 Priority:  
 (22) Date of filing: **03.08.2011**  
 (45) Date of publication: **10.02.2013 Bull. 4**  
 Mail address:  
**394064, g. Voronezh, ul. Starykh Bol'shevikov,  
 54A, FGOU VPO VAIU, nauchno-issledovatel'skij  
 otdel**

(72) Inventor(s):  
**Bolkunov Aleksandr Anatol'evich (RU),  
 Volkov Aleksej Vital'evich (RU),  
 Rjumshin Ruslan Ivanovich (RU),  
 Sakharov Sergej Leonidovich (RU)**  
 (73) Proprietor(s):  
**Federal'noe gosudarstvennoe voennoe  
 obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
 professional'nogo obrazovaniya "Voennyj  
 aviatsionnyj inzhenernyj universitet" (g.  
 Voronezh) Ministerstva oborony Rossijskoj  
 Federatsii (RU)**

(54) **SIMPLE IMPULSE SIGNAL RECEIVER**

(57) Abstract:  
 FIELD: radio engineering.  
 SUBSTANCE: method is implemented from introduction means of modified forward wavelet-conversion unit based on Morley wavelet, which is connected at its input to the output of broad-band linear part, and at its output to the input of optimum detector. Modified forward wavelet conversion procedure is performed in compliance with the following expression:  

$$W(a, b) = \int_{b-ca}^{b+ca} (|S(t) + K \cdot \psi(a, b, t)| - |S(t) - K \cdot \psi(a, b, t)|) dt$$
 , where S(t) - input signal of the unit; W(a,b) - output signal of the unit;  $\psi(a, b, t)$  - basis built by means of scale coefficient "a" and time shift "b"

within the duration of the received signal in the form of

$$\psi(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \text{ for}$$

actual or supposed part of Morley wavelet in the form of

$$\psi(t) = e^{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}, \text{ where } t - \text{time, } f -$$

frequency, i - complex variable,  $\pi=3.14$ ; K - constant multiplier satisfying the inequality  $K \gg S_m$ , where  $S_m$  - unit input signal amplitude; c - constant multiplier satisfying the inequality  $c \geq 3$ .

EFFECT: improvement of resolution capability as to time and provided potential measurement accuracy of temporary position of impulse signal.

6 dwg

RU 2 4 7 4 8 4 2 C 1

RU 2 4 7 4 8 4 2 C 1

Изобретение относится к области радиотехники и может использоваться в средствах радиоконтроля, радиолокации и радионавигации для обработки сигналов.

Известно большое многообразие приемников простого импульсного сигнала [А.П.Голубков, А.Д.Далматов, А.П.Лукошкин и др. Проектирование радиолокационных приемных устройств. Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов. Под ред. М.А.Соколова. - М.: Высшая школа, 1984 г. - 335 с., М.К.Белкин, В.Т.Белинский, Ю.Л.Мазор, Р.М.Терещук. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств. К.: Высшая школа 1988 г. 1988 - 172 с.].

Из известных устройств наиболее близким по технической сущности к заявляемому (прототипом) является оптимальный приемник простого импульсного сигнала [Давыдов Ю.Т., Данич Ю.С., Жуковский А.П. и др. Радиоприемные устройства. Под ред. профессора А.П. Жуковского. М., «Высшая школа», 1989 г. 342 с., рис.12.1, с.234].

Представляется целесообразным перед раскрытием сути изобретения пояснить понятие «Приемник простого импульсного сигнала», составляющее название, заимствованное авторами из указанного источника. Содержательная трактовка понятия «Оптимальный приемник простого импульсного сигнала», включающая в себя описательную часть, структурную схему и аналитические соотношения приведено на стр.234-235 в параграфе 12.1 «Структурные схемы радиоприемников импульсных сигналов» указанного источника. Здесь же вводится определение простого импульсного сигнала в виде: «Под простым импульсным сигналом понимают одиночный высокочастотный импульс напряжения ограниченной длительности».

Заметим, что более строгое разделение сигналов на простые и сложные, включая импульсные, содержится в известном учебном пособии: Лёзин Ю.С. «Введение в теорию и технику радиотехнических систем.: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1986. - 280 с. Здесь этому вопросу посвящен параграф на стр.104, который называется «6.2.4. Понятие о простых и сложных сигналах». В соответствии с этим пособием под простым импульсным сигналом следует понимать прямоугольный радиоимпульс без внутримпульсной модуляции или манипуляции с произведением ширины спектра на длительность импульса примерно равным единице.

Известный оптимальный приемник простого импульсного сигнала содержит широкополосную линейную часть, вход которой является входом приемника, и последовательно включенный с ней оптимальный обнаружитель, выход которого является выходом приемника.

Широкополосная линейная часть производит предварительную фильтрацию сигнала и его усиление до уровня, необходимого для качественной работы обнаружителя.

Оптимальный обнаружитель реализует процедуру оптимальной фильтрации и принятия решения о наличии или отсутствии сигнала и может содержать, как линейные (согласованный фильтр, линейный детектор), так и нелинейные (пороговое устройство) элементы. Он может быть фильтрового или корреляционно-фильтрового типа.

Далее будем ориентироваться на оптимальный обнаружитель фильтрового типа, как наиболее широко распространенный, в составе последовательно включенных согласованного фильтра, линейного детектора и порогового устройства [см., например, Давыдов Ю.Г. и др. «Радиоприемные устройства.» М., «Высшая школа», 1989, 342 с., рис.12.2, с.235].

Недостатками известного приемника простого импульсного сигнала являются

невысокие разрешающая способность по времени и обеспечиваемая потенциальная точность измерения временного положения импульсного сигнала.

Действительно, разрешающая способность по времени  $\Delta t$  для импульсного сигнала определяется в соответствии с критерием разрешения Релея и составляет  $\Delta t \cong \tau$ , где  $\tau$  - длительность импульсного сигнала. Следовательно, если расстояние по временной оси между двумя импульсами, которые необходимо разрешить, менее  $\tau$ , они не разрешаются и фиксируются оптимальным обнаружителем как один.

Применительно, например, к системам радиоконтроля это исключает дальнейший раздельный анализ сигналов, а к радиолокации - раздельное наблюдение близкорасположенных объектов.

Что касается обеспечиваемой приемником потенциальной точности измерения временного положения импульсного сигнала, то она также зависит от длительности сигнала и определяется среднеквадратической погрешностью  $\sigma_t$  в виде [Л.С.Беляевский, В.Г.Черкашин. Точность радиоэлектронных измерительных систем. - К.: Техника, 1981 г., 136 с.]

$$\sigma_t = K_{\phi} \frac{\tau}{q}, \quad (1)$$

где  $q$  - отношение сигнал/шум на выходе оптимального фильтра,  $K_{\phi}$  - коэффициент, определяемый формой огибающей сигнала.

Уменьшение длительности сигнала при его формировании для улучшения разрешающей способности и точности практически не всегда возможно в силу различных причин.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, состоит в изменении структуры принимаемого сигнала для уменьшения его длительности после сжатия в согласованном фильтре.

Технический результат, на достижение которого направлено предлагаемое изобретение, заключается в улучшении разрешающей способности по времени и обеспечиваемой потенциальной точности измерения временного положения импульсного сигнала.

Технический результат достигается тем, что в известный приемник простого импульсного сигнала, содержащий широкополосную линейную часть, вход которой является входом приемника, оптимальный обнаружитель, выход которого является выходом приемника, введен блок модифицированного вейвлет-преобразования на основе вейвлета Морле, соединенный входом с выходом широкополосной линейной части, а выходом с входом обнаружителя, причем в блоке модифицированного вейвлет-преобразования на основе вейвлета Морле принятые импульсные сигналы преобразуют в сложный фазоманипулированный, сигнал, в согласованном фильтре обнаружителя производят независимое сжатие каждого из входных импульсных сигналов с обеспечением уменьшения их длительности, измеряют временное положение каждого импульсного сигнала и разрешают их по времени, при этом процедура модифицированного прямого вейвлет-преобразования (ПВП) осуществляется в соответствии с выражением:

$$W(a, b) = \int_{b-ca}^{b+ca} (|S(t) + K \cdot \psi(a, b, t)| - |S(t) - K \cdot \psi(a, b, t)|) dt, \quad (2)$$

где  $S(t)$  - входной сигнал блока;

$W(a, b)$  - выходной сигнал блока;

$\psi(a, b, t)$  - базис, конструируемый с помощью временного масштабного

коэффициента  $a$  и сдвига по времени  $b$  в пределах длительности принимаемого сигнала в виде:

$$\psi(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t - b}{a}\right), \quad (3)$$

для действительной или мнимой части вейвлета Морле в виде:

$$\psi(t) = e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (4)$$

где  $t$  - время,  $f$  - частота,  $j$  - комплексная переменная;

$K$  - постоянный множитель, удовлетворяющий неравенству  $K \gg S_m$ ,

где  $S_m$  - амплитуда сигнала на входе блока;

$c$  - постоянный множитель, удовлетворяющий неравенству  $c \geq 3$ ;

$\pi = 3.14$ .

Сущность предлагаемого изобретения заключается в преобразовании простого импульсного сигнала с помощью блока модифицированного ПВП на основе вейвлета Морле в сложный фазоманипулированный сигнал, который, затем, сжимается в согласованном фильтре оптимального обнаружителя, обеспечивая уменьшение длительности, а следовательно, и улучшение разрешающей способности по времени и потенциальной точности измерения временного положения импульса.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами графического материала. На фиг.1 представлена структурная схема заявляемого приемника, где обозначено 1 - широкополосная линейная часть, 2 - блок модифицированного ПВП на основе вейвлета Морле, 3 - оптимальный обнаружитель. На фиг.2 и фиг.3 показаны характерные сечения вейвлет-спектра импульсного сигнала для обычного (фиг.2) и модифицированного ПВП (фиг.3) на основе вейвлета Морле. Эпюры фиг.4 иллюстрируют процесс обработки импульсного сигнала в элементах заявляемого приемника и прототипа. На фиг.5 показан аналогичный процесс для случая, когда входные импульсы накладываются друг на друга. На фиг.6 крупным планом представлены огибающие выходных сигналов согласованного фильтра для заявляемого и известного приемников.

Обоснуем необходимость введения блока модифицированного ПВП на основе вейвлета Морле, реализующего процедуру (2).

Применение вейвлет-преобразований (ВП) при обработке радиосигналов связано с реализацией фильтрующего свойства ВП. Задача ВП заключается в очищении от шума входной смеси, а алгоритм обработки сводится к прямому и обратному ВП (ПВП - ОВП).

При этом используются различные вейвлеты, а традиционное ПВП реализует в виде [В.П. Дьяконов. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Пресс, 2004 г. - 100 с.]

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot \psi\left(\frac{t - b}{a}\right) dt. \quad (5)$$

Изучение свойств ВП и, в частности, вейвлета Морле (4) показывает, что именно этот вейвлет при определенных условиях обеспечивает достижение технического результата. Прежде всего, это связано с тем, что обработке подвергается радиоимпульсный сигнал, похожий на вейвлет. Действительно, вейвлет Морле имеет комплексный характер, локализован во времени и по частоте, непрерывен, одномерен, симметричен, имеет аналитическое задание. Но принципиальным является наличие такого свойства, как существование зоны нечувствительности к синусоидальному

импульсному сигналу для определенных временных масштабных коэффициентов ПВП. Однако явно выраженным на частоте сигнала (при определенном значении коэффициента  $a$ ) это свойство становится только в том случае, если вместо традиционного ПВП (5) используется модифицированное ПВП (2). Трансформация традиционного ПВП осуществляется, во-первых, путем замены в нем в подынтегральном выражении скалярного произведения  $(S(t), \psi(a,b,t))$  на скалярное пересечение  $(S(t) \cap \psi(a,b,t))$  [В.И.Гордиенко, С.Е.Дубровский, Р.И.Рюмшин, Д.В.Фенев. Универсальный, многофункциональный элемент системы обработки информации.

«Радиоэлектроника». Изв. ВУЗов, №3, 1998, с.13-17], которое имеет вид:

$$(S(t) \cap \psi(a, b, t)) = |S(t) + \psi(a, b, t)| - |S(t) - \psi(a, b, t)|. \quad (6)$$

Во-вторых, правомерность и адекватность такой замены имеет место в том случае, если элементы базиса  $\psi(a,b,t)$  участвуют в (6) с некоторым коэффициентом  $K$ . Значение  $K$  определяется из условия допустимой погрешности при реконструкции исходного сигнала в результате ОВП.

Анализ показал, что значения коэффициента должно удовлетворять неравенству  $K \gg S_m$ , где  $S_m$  - амплитуда сигнала на входе блока ВП.

Это соотношение получено путем вычисления функционала расстояния  $\rho(K)$  для различных значений  $K$  в виде.

$$\rho(K) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_1}^{T_2} |S_{p1}(t) - S_{p2}(t, K)| dt. \quad (7)$$

Здесь  $S_{p1}(t)$  - реконструированный в результате традиционного ПВП - ОВП сигнал;  $S_{p2}(t, K)$  - реконструированный в результате модифицированного ПВП - ОВП сигнал;

$\Delta T$  - интервал существования сигнала;

$T_1, T_2$ , - границы интервала.

Значение  $K$  определяется из условия

$$\rho(K) \leq \rho_{\text{доп}}, \quad (8)$$

где  $\rho_{\text{доп}} \sim$  единицы процентов.

Тогда (6) преобразуется к виду:

$$(S(t) \cap K \cdot \psi(a, b, t)) = |S(t) + K \cdot \psi(a, b, t)| - |S(t) - K \cdot \psi(a, b, t)|. \quad (9)$$

Следует заметить, что применение скалярного пересечения вместо скалярного умножения помимо достижения технического результата обеспечивает сокращение вычислительных затрат при цифровой реализации алгоритмов обработки сигналов.

В-третьих, анализ показал, что для заданного базиса  $\psi(a,b,t)$  и выбранного значения временного масштабного коэффициента  $a$  при переходе к модифицированному ПВП целесообразно для подчеркивания свойства нечувствительности на определенном интервале, формирования фазоманипулированного сигнала и сокращения вычислений ограничивать пределы интегрирования в (5) некоторыми «эффективными» размерами. Тем более, что физически это вполне оправдано тем, что вейвлет Морле хорошо локализован во времени.

То есть в общем случае для ПВП на пересечении можно записать:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{t_1(a,b,\Psi)}^{t_2(a,b,\Psi)} (S(t) \cap K \cdot \psi(a, b, t)) dt. \quad (10)$$

Здесь  $t_1$  и  $t_2$  текущие пределы интегрирования.

Моделирование и анализ показали, что для достижения технического результата

эти пределы следует задавать в виде:

$$t_1=b-c \cdot a, t_2=b+c \cdot a, \text{ где значение коэффициента } c \text{ принято: } c \geq 3 \text{ из условия (8).}$$

Результаты моделирования традиционного ПВП в соответствии с (5) и модифицированного ПВП в соответствии с (2) радиоимпульса единичной амплитуды с несущей частотой  $f=8 \cdot 10^6$  Гц приведены на фиг.2 и фиг.3.

Здесь в координатах время-амплитуда (в условных единицах) показаны характерные сечения вейвлет-спектра радиоимпульса для традиционного ПВП (фиг.2) и модифицированного ПВП (фиг.3).

На фиг.2,а изображен исследуемый радиоимпульс. Эпюры б, в, г, д, е, ж иллюстрируют сечения вейвлет-спектра для  $a=3, a=6, a=7, a=9, a=11, a=12$  соответственно. Как видно из рисунка, зоны нечувствительности проявляются на  $a=3, a=6, a=11, a=12$ . Приемлемые для анализа сечения, где сохраняется несущая частота и достаточная амплитуда, имеют место при  $a=7$  и  $a=9$ , однако на этих масштабах у традиционного ПВП отсутствуют зоны нечувствительности и практически исключена возможность сжатия сигнала.

Исследуемый радиоимпульс и аналогичные сечения вейвлет-спектра для модифицированного ПВП показаны на фиг.3. Здесь так же, как и в случае традиционного ПВП, приемлемыми для анализа сечениями с сохраненной несущей частотой являются сечения  $a=7$  и  $a=9$  (фиг.3 г,д). Однако достижению технического результата удовлетворяет только сечение  $a=9$ . Это сечение представляет собой амплитудно-модулированный фазоманипулированный сигнал в виде двух пар парциальных радиоимпульсов, расположенных попарно симметрично на участке длительности анализируемого радиоимпульса. Длительность парциального импульса соответствует длительности вейвлета Морле  $\tau_b$ .

Таким образом, выбор соответствующего значения временного масштабного коэффициента  $a$  связан с анализом сечений вейвлет-спектра модифицированного ПВП.

Полученный сигнал может быть сжат в согласованном фильтре до длительности парциального импульса, что обеспечивает улучшение разрешения по времени и потенциальной точности измерения временного положения.

Принцип работы предлагаемого приемника заключается в следующем.

Пусть на входе приемника (фиг.1) на фоне шума  $n(t)$  с нормальным распределением мгновенных значений действует полезный сигнал  $U_c(t)=S_m \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ , представляющий собой прямоугольный радиоимпульс длительностью  $\tau$ .

После преобразования на промежуточную частоту и усиления в широкополосной части (блок 1, фиг.1) смесь полезного сигнала и шума  $S(t)=U_c(t)+n(t)$  (фиг.4,а) подается на блок 2. В блоке 2 с входной смесью производится модифицированное ПВП в соответствии с (2). При этом  $a=9, c=3, K \gg S_m$ , где  $S_m=1$ , а в качестве базисной функции используется мнимая часть вейвлета Морле (4), показанная на фиг.4,б.

В результате модифицированного ПВП на выходе блока 2 будет амплитудно-модулированный фазоманипулированный сигнал в составе четырех парциальных радиоимпульсов (фиг.4,в). Здесь длительность входного радиоимпульса подобрана таким образом, что парциальные радиоимпульсы выходного сигнала блока 2 примыкают друг к другу. В общем случае, когда  $\tau > 4\tau_b$  выходной сигнал представляет собой две пары радиоимпульсов, разделенных зоной нечувствительности (фиг.3,д).

На фиг.4,в представлен предельный (наихудший) с точки зрения выигрыша в разрешении и потенциальной точности случай.

С выхода блока 2 амплитудно-модулированный фазоманипулированный сигнал и шум поступают в оптимальный обнаружитель (блок 3), фильтр которого согласован с

полезным сигналом.

В результате согласованной фильтрации на выходе фильтра имеет место автокорреляционная функция в виде центрального пика длительностью  $\tau_B$  и боковых лепестков (фиг.4,г), представляющая собой сжатый во времени сигнал. После детектирования в обнаружителе получаем огибающую автокорреляционной функции, которая представлена на фиг.4,д.

Для сравнения на фиг.4 показаны выходной сигнал согласованного фильтра для прототипа (фиг.4,е), представляющий собой радиоимпульс ромбовидной формы, и его огибающая на выходе детектора обнаружителя (фиг.4,ж).

Качественный анализ (сравнение) выходных сигналов для заявляемого устройства (фиг.4,д) и прототипа (фиг.4,ж) свидетельствует об очевидном выигрыше заявляемого устройства с точки зрения разрешающей способности и точности. Количественная оценка выигрыша будет дана далее.

Эпюры на всех рисунках представлены в координатах амплитуда-время в относительных единицах.

Имитационное моделирование работы заявляемого приемника и прототипа проводилось для рабочей частоты  $f=8 \cdot 10^6$  Гц при частоте дискретизации  $f_d=54 \cdot 10^6$  Гц в предположении об отсутствии потерь полезного сигнала.

На фиг.5 иллюстрируется процесс разрешения двух накладывающихся друг на друга радиоимпульсов. Эпюры здесь аналогичны приведенным на фиг.4.

На входе заявляемого приемника действует два накладывающихся друг на друга импульса со случайной фазой, разными амплитудами и одинаковой длительности (фиг.5,а). На выходе блока модифицированного ПВП также будет аддитивная смесь накладывающихся друг на друга амплитудно-модулированных фазоманипулированных сигналов (фиг.5,в). Согласованный фильтр обнаружителя производит независимое сжатие каждого из входных сигналов, обеспечивая возможность их разрешения. Выходные сигналы после прохождения через согласованный фильтр представлены на фиг.5,г, а огибающие этих сигналов после детектора показана на фиг.5,д.

Как видно из представленных эпюр, накладывающиеся друг на друга сигналы в предлагаемом приемнике вполне разрешаются.

В то же время выходные сигналы фильтра для прототипа (фиг.5,е) и их огибающая (фиг.5,ж) свидетельствуют об отсутствии разрешения по времени.

Для количественной оценки выигрыша в разрешающей способности по времени и точности измерения временного положения импульса воспользуемся представленными на фиг.6 крупным планом огибающими выходных сигналов заявляемого и известного приемников, совмещенными на одном рисунке.

Выигрыш  $K_p$  в разрешающей способности определим, как отношения разрешающих способностей известного  $\Delta t_u$  и заявляемого  $\Delta t_3$  приемников:

$$K_p = \frac{\Delta t_u}{\Delta t_3}. \quad (11)$$

Исходя из критерия Релея  $\Delta t_3 \approx \tau_B$  (фиг.6) и не зависит от длительности входного сигнала. Аналогично для известного приемника  $\Delta t_u = \tau$ . Представим длительность входного сигнала в виде целого числа  $\tau_B: \tau \approx n\tau_B, n=3, 4, 5 \dots$

Согласно (11) выигрыш будет определяться соотношением

$$K_p \approx \frac{n\tau_B}{\tau_B} = n.$$

Учитывая предельный случай, рассмотренный в примере реализации,  $n \geq 3 \dots 4$ .  
 Выигрыш  $K_t$  в обеспечиваемой заявляемым приемником потенциальной точности измерения временного положения определим аналогичным образом, как отношение  
 5 среднеквадратических погрешностей измерения для известного  $\sigma_{tu}$  и заявляемого  $\sigma_{tz}$  приемников

$$K_t = \frac{\sigma_{tu}}{\sigma_{tz}}. \quad (12)$$

Тогда для заявляемого приемника, исходя из принципа его работы и определения  
 10 потенциальной среднеквадратической погрешности, можно записать:

$$\sigma_{tz} \approx K_\phi \frac{\tau_B}{\sqrt{\frac{2E_c}{N_0}}}, \quad (13)$$

15 где  $E_c$  - энергия сигнала на выходе фильтра обнаружителя,  $N_0$  - спектральная плотность шума.

Для заявляемого приемника справедливо соотношение  $E_c \approx P_u \cdot 4\tau_B$ . Здесь  $P_u$  - импульсная мощность парциального импульса на выходе фильтра. Тогда (13)  
 20 преобразуется к виду:

$$\sigma_{tz} \approx K_\phi \sqrt{\frac{\tau_B \cdot N_0}{8P_u}}. \quad (14)$$

25 Для известного приемника потенциальная точность измерения определяется соотношением:

$$\sigma_{tu} \approx K_\phi \frac{\tau}{\sqrt{\frac{2E_c}{N_0}}}. \quad (15)$$

30 Но  $\tau \approx n \cdot \tau_B$ , а  $E_c \approx P_u \cdot n \cdot \tau_B$  и (15) приобретает вид:

$$\sigma_{tu} \approx K_\phi \sqrt{\frac{n \cdot \tau_B \cdot N_0}{2P_u}}. \quad (16)$$

35 Тогда с учетом (14) и (16) выигрыш в потенциальной точности измерения временного положения, обеспечиваемый заявляемым приемником, будет:

$$K_t \approx 2\sqrt{n}. \quad (17)$$

40 Напомним, что  $n$  - количество парциальных импульсов, определяемых эффективной длительностью вейвлета Морле, укладываемых на интервале длительности импульсного сигнала. Например, для предельного случая  $n=4$ , тогда  $K_t \approx 4$ . Заметим, что приведенные рассуждения в части обоснования выигрыша и возможности  
 45 увеличения  $n$  справедливы до того момента, пока отношение сигнал/шум на выходе линейной части существенно превышает единицу, что является обычным требованием в теории и практике радиотехнических измерений.

Таким образом, полученные оценки и результаты моделирования подтверждают работоспособность, реализуемость и достижение технического результата заявляемым  
 50 приемником, который, по сравнению известным приемником, заключается в улучшении разрешающей способности по времени и потенциальной точности измерения временного положения импульсного сигнала, по крайней мере, в несколько раз.

Возможность практической реализации заявляемого приемника следует из того, что

он строится на типовых, известных и технологически отработанных элементах и алгоритмах.

Например, возможно его построение по универсальной аналогово-цифровой схеме.

В этом случае широкополосная часть строится в аналоговом виде, а блок  
 5 модифицированного ПВП и оптимальный обнаружитель - в цифровом на основе высокоскоростных многоразрядных АЦП, цифровых преобразователей частоты на основе цифровых синтезаторов DDS и программируемых логических интегральных  
 10 схемах (ПЛИС), позволяющих путем реконфигурации своей «прошивки» всю трудоемкость по организации процедур обработки сосредоточить в области программного обеспечения при неизменной аппаратной части.

Подобное построение аппаратуры на современной элементной базе приведено в статье Н.Г.Пархоменко, Б.М.Баташов «Решение задачи оптимальной обработки  
 15 сигналов со сложными видами модуляции при помощи универсальных устройств на ПЛИС». «Радиоконтроль». Выпуск №5, 2002 г. с.81-88, рис.1, с.82, рис.2,3, с.83, рис.4, с.85.

Анализ известных технических решений в области принципов и устройств приема импульсных сигналов показывает, что заявляемое изобретение благодаря  
 20 существенным признакам, определившим путь достижения технического результата, не следует для специалиста явным образом из известного уровня техники и соответствует требованию «изобретательского уровня».

Заявителем не обнаружен аналог, характеризующийся признаками, идентичными  
 25 всем существенным признакам заявляемого изобретения. Определение прототипа, как наиболее близкого по совокупности признаков аналога, позволило выявить в заявляемом объекте существенные по отношению к техническому результату отличительные признаки, что позволяет считать заявленное изобретение удовлетворяющем критерию «изобретательская новизна».

30

#### Формула изобретения

Приемник простого импульсного сигнала, содержащий широкополосную линейную часть, вход которой является входом приемника, оптимальный обнаружитель, выход  
 35 которого является выходом приемника, отличающийся тем, что введен блок модифицированного прямого вейвлет-преобразования на основе вейвлета Морле, соединенный входом с выходом широкополосной линейной части, а выходом с входом обнаружителя, причем в блоке модифицированного вейвлет-преобразования на основе вейвлета Морле принятые импульсные сигналы преобразуют в сложный  
 40 фазоманипулированный сигнал, в согласованном фильтре обнаружителя производят независимое сжатие каждого из входных импульсных сигналов с обеспечением уменьшения их длительности, измеряют временное положение каждого импульсного сигнала и разрешают их по времени, при этом процедура модифицированного прямого вейвлет-преобразования осуществляется в соответствии с выражением:

45

$$W(a, b) = \int_{b-ca}^{b+ca} (|S(t) + K \cdot \psi(a, b, t)| - |S(t) - K \cdot \psi(a, b, t)|) dt,$$

где S(t) - входной сигнал блока;

W(a,b) - выходной сигнал блока;

50

$\psi(a,b,t)$  - базис, конструируемый с помощью временного масштабного коэффициента a и сдвига по времени b в пределах длительности принимаемого

сигнала в виде  $\psi(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$  для действительной или мнимой части

вейвлета Морле в виде  $\psi(t) = e^{i2\pi ft} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$ , где  $t$  - время,  $f$  - частота,  $i$  - комплексная

5

переменная,  $\pi=3.14$ ;

$K$  - постоянный множитель, удовлетворяющий неравенству  $K \gg S_m$ ,

где  $S_m$  - амплитуда сигнала на входе блока;

10

$c$  - постоянный множитель, удовлетворяющий неравенству  $c \geq 3$ .

15

20

25

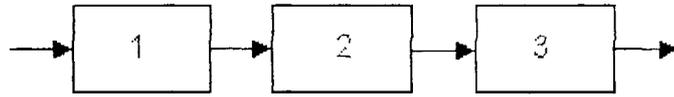
30

35

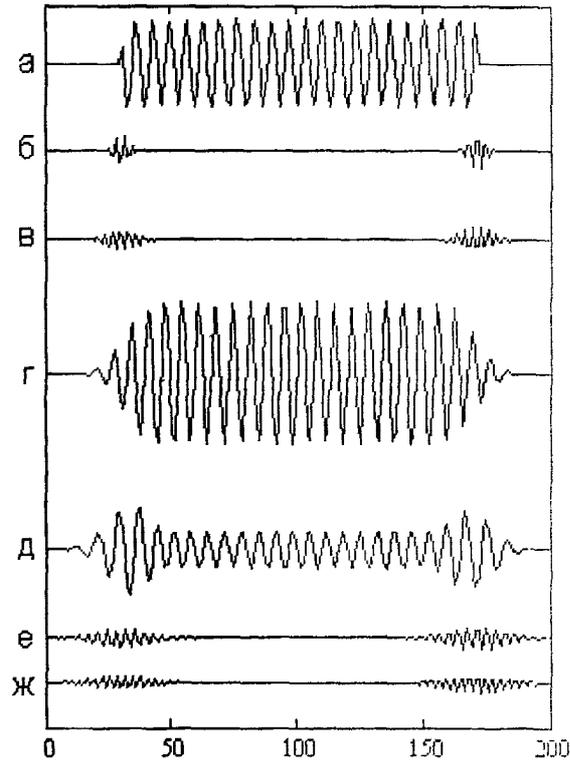
40

45

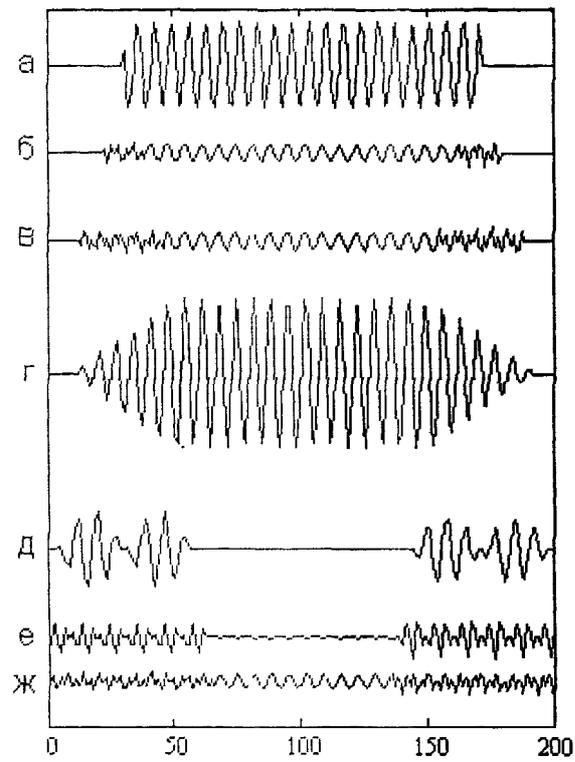
50



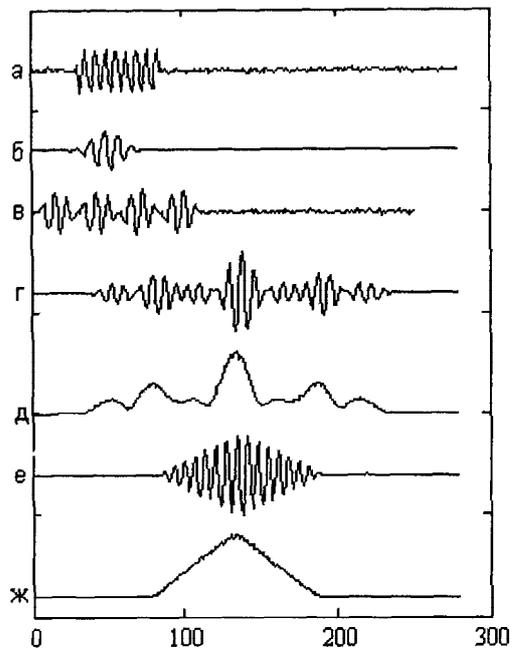
Фиг.1



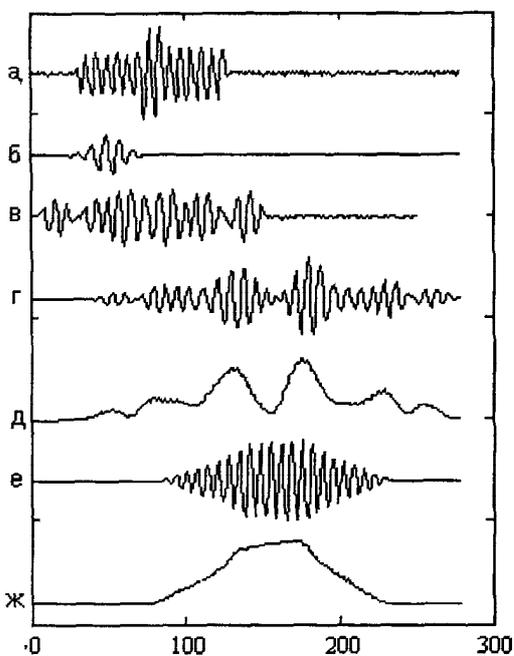
Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6