



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H04L 27/22 (2006.01); H03D 3/02 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017108372, 13.03.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.03.2017

Дата регистрации:
06.07.2018

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 13.03.2017

(45) Опубликовано: 06.07.2018 Бюл. № 19

Адрес для переписки:
197045, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/
1, ФГКВОУ ВО "Военный учебно-научный
центр Военно-Морского Флота "Военно-морская
академия им. Адмирала Флота Советского
Союза Н.Г. Кузнецова"

(72) Автор(ы):
Биккенин Рафаэль Рифгатович (RU),
Мазепа Валерий Андреевич (RU),
Андрюков Алексей Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное казенное
военное образовательное учреждение
высшего образования "Военный
учебно-научный центр Военно-Морского
Флота "Военно-морская академия им.
Адмирала Флота Советского Союза Н.Г.
Кузнецова" (RU)

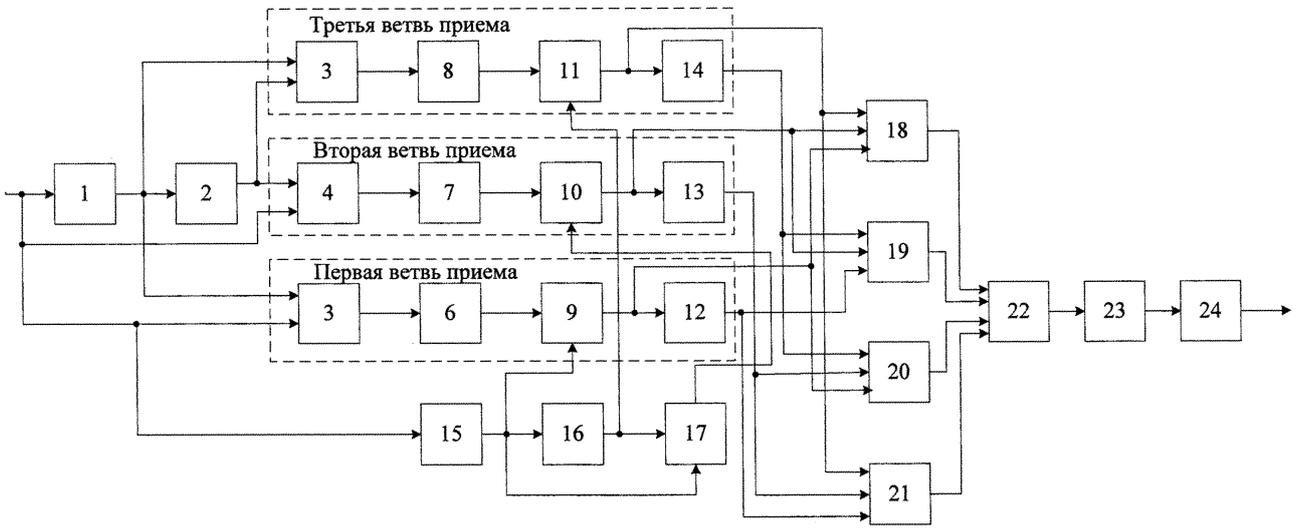
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: ОКУНЕВ Ю.Б., Теория
фазоразностной модуляции, Москва,
"Связь", 1979 г., стр.139-150, рис. 4.11. RU
2037969 C1, 19.06.1995. RU 2460225 C1,
27.08.2012. RU 2505922 C2, 27.01.2014. RU
2168869 C1, 10.06.2001. EP 1694017 A1,
23.08.2006. US 4715047 A1, 22.12.1987. US
7315587 B2, 01.01.2008.

(54) Автокорреляционный демодулятор псевдослучайных сигналов с относительной фазовой модуляцией

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике телекоммуникаций и может быть применено для обработки дискретных сигналов с относительной фазовой модуляцией в системах с псевдослучайными сигналами в условиях организованных (преднамеренных) помех. Технический результат - повышение помехоустойчивости приема сигналов с относительной фазовой модуляцией за счет использования псевдослучайных преобразований сигналов, которые лишают возможности создавать эффективную помеху для нарушения процесса приема сигналов, и за счет

дополнительного увеличения энергии сигнала путем ее накопления при удлинении интервала обработки с двух до трех посылок сигнала. Устройство содержит первый 1 и второй 2 элементы задержки, первые перемножители 3, 4, 5, интеграторы 6, 7, 8, вторые перемножители 9, 10, 11, инверторы 12, 13, 14, блок 15 синхронизации с генератором псевдослучайной последовательности, третий элемент задержки 16, третий перемножитель 17, первый 18, второй 19, третий 20 и четвертый 21 сумматоры, блок выбора максимального сигнала 22, суммирующий накопитель 23, решающий блок 24. 2 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H04L 27/22 (2006.01)
H03D 3/02 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H04L 27/22 (2006.01); H03D 3/02 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017108372, 13.03.2017**

(24) Effective date for property rights:
13.03.2017

Registration date:
06.07.2018

Priority:

(22) Date of filing: **13.03.2017**

(45) Date of publication: **06.07.2018** Bull. № 19

Mail address:

**197045, Sankt-Peterburg, Ushakovskaya nab., 17/1,
FGKVOU VO "Voennyj uchebno-nauchnyj tsentr
Voenno-Morskogo Flota "Voenno-morskaya
akademiya im. Admirala Flota Sovetskogo Soyuza
N.G. Kuznetsova"**

(72) Inventor(s):

**Bikkenin Rafael Rifgatovich (RU),
Mazepa Valerij Andreevich (RU),
Andryukov Aleksej Anatolevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe kazennoe voennoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Voennyj uchebno-nauchnyj tsentr
Voenno-Morskogo Flota "Voenno-morskaya
akademiya im. Admirala Flota Sovetskogo
Soyuza N.G. Kuznetsova" (RU)**

(54) **AUTOCORRELATIVE DECODER OF PSEUDONOISE SIGNALS WITH DIFFERENTIAL PHASE SHIFT KEYING**

(57) Abstract:

FIELD: communication equipment.

SUBSTANCE: invention relates to telecommunications techniques and can be applied to the processing of discrete signals with differential phase shift keying in systems with pseudonoise signals in conditions of organized (deliberate) interference. Device comprises first 1 and second 2 delay elements, first multipliers 3, 4, 5, integrators 6, 7, 8, second multipliers 9, 10, 11, inverters 12, 13, 14, synchronization unit 15 with a pseudorandom sequence generator, third delay element 16, third multiplier 17, first 18, second 19, third 20 and fourth 21 totalizers, maximum signal selection

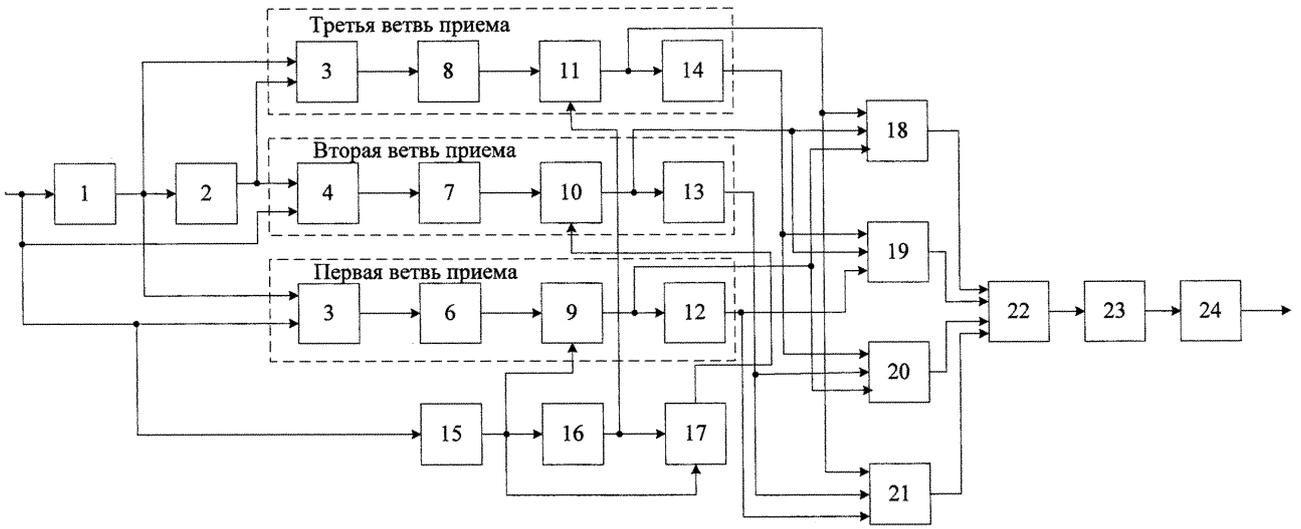
unit 22, summing accumulator 23, decision unit 24.

EFFECT: increase noise immunity of receiving signals with differential phase shift keying due to the use of pseudonoise transformations of signals that make it impossible to create an effective interference for the violation of the signal reception process, and at the expense of an additional increase in the energy of the signal by its accumulation with an extension of the processing interval from two to three signal transmissions.

1 cl, 2 dwg

RU 2 660 595 C1

RU 2 660 595 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к технике телекоммуникаций и может быть применено для обработки дискретных сигналов с относительной фазовой модуляцией в системах с расширением спектра (с псевдослучайными или шумоподобными сигналами) в условиях организованных (преднамеренных) помех.

5 Известны автокорреляционный демодулятор сигналов с фазоразностной модуляцией первого порядка (а.с. 1425869, МКИ Н04L 27/22, 1987), демодулятор сигналов относительной фазовой модуляции (патент 2037969, МКИ Н04L 27/22, 1995), демодулятор сигналов с относительной фазовой модуляцией (патент 2460225, МПК Н04L 27/22, Н03D 3/02, 2012), цифровой демодулятор сигналов с относительной фазовой манипуляцией
10 (патент 2505922, МПК Н04В 1/10, Н03D 3/02, 2014).

Названные технические решения обладают определенной помехоустойчивостью в условиях естественных помех в канале связи (телекоммуникаций). Но в условиях действия организованных (преднамеренных) помех, имеющих сигналподобную структуру и превосходящих сигнал по энергетике, они будут не работоспособны. Это вытекает из
15 результатов работ: Овчаренко Л.А., Поддубный В.Н. Помехоустойчивость приема фазоманипулированных сигналов на фоне наиболее неблагоприятных помех // Радиотехника. 1992. №7-8. С. 13-19; Агафонов А.А., Ложкин К.Ю., Поддубный В.Н. Методология и результаты синтеза и оценки преднамеренных помех приемникам дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 41. №8. С. 956-962. Здесь
20 отмечено, что оптимальная помеха приемникам (демодуляторам) сигналов с фазовыми методами модуляции представляют собой также колебание с таким же видом модуляции, несущая частота и длительность посылок которого совпадают с соответствующими параметрами сигнала, при этом совпадают тактовые моменты смены фаз у сигнала и помехи. Когда помеха оказывается в противофазе с передаваемым сигналом, произойдет
25 регистрация помехи, имеющей энергетическое превосходство над более слабым сигналом. Это приведет к появлению значительного количества ошибок и будет способствовать потере работоспособности демодулятора (приемника).

Для защиты от организованных (преднамеренных) помех указанного вида в технике телекоммуникаций применяют системы с расширенным спектром на основе
30 псевдослучайных (шумоподобных) сигналов (см.: Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. - М.: Радио и связь, 2003. - 640 с.; Скляр Б. Цифровая связь. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. - 1104 с.; Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и
35 приложения. - М.: Техносфера, 2007. - 486 с.; Голдсмит А. Беспроводные коммуникации. Основы теории и технологии беспроводной связи. - М.: Техносфера, 2011. - 904 с.).

В демодуляторе (приемнике) обработка псевдослучайных сигналов и поступающих вместе с ними организованных (преднамеренных) помех при использовании алгоритмов систем с расширенным спектром приводит к «обелению» помех. Иными словами, помеха
40 становится похожей по структуре и свойствам на естественный шум, методы защиты от которого хорошо изучены, известны и во многих случаях эффективны.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является автокорреляционный демодулятор сигналов с однократной фазоразностной модуляцией (ФРМ-1). Схема этого демодулятора представлена на с. 125 в кн.: Окунев Ю.Б. Теория
45 фазоразностной модуляции. - М.: Связь, 1979. (В этой книге использован термин «фазоразностная модуляция», который по своей сущности совпадает с термином «относительная фазовая модуляция», но последний термин имеет более широкое применение в научно-технической литературе.)

Названный автокорреляционный демодулятор (прототип) состоит из ветви приема, содержащей последовательно соединенные перемножитель (далее он именуется - первый перемножитель) и интегратор, при этом первый вход перемножителя является входом устройства и подключен через элемент задержки (далее - первый элемент задержки) к его второму входу.

Данный демодулятор реализует обработку сигналов на основе правила

$$\int_0^T u_k(t)u_{k-1}(t)dt \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0,$$

где $u_k(t)$, $u_{k-1}(f)$, $k=1, 2, \dots$ - текущая и задержанная на время длительности одной посылки аддитивная смесь сигнала и помехи, являющейся естественным шумом.

Если левая часть неравенства больше нуля, то регистрируется посылка «0», в противном случае - «1».

Как видно, процедура обработки и регистрации сигнала осуществляется на основе сравнения двух его соседних посылок - текущей под номером k и задержанной, имеющей номер $k-1$. Это соответствует известному правилу относительной фазовой модуляции. Для этого в составе автокорреляционного демодулятора имеется элемент задержки на время длительности одной посылки сигнала (а.с. 105692 Способ телеграфной проводной и радиосвязи фазоманипулированными колебаниями, 1954; Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. - М.: Сов. радио, 1965. - 262 с.). После перемножения и интегрирования по знаку наблюдаемого напряжения сигнала принимается решение о приеме нулевой или единичной посылки сигнала.

В кн. Ю.Б. Окунева «Теория фазоразностной модуляции» показано, что автокорреляционный демодулятор (прототип) обладает определенной помехоустойчивостью в условиях естественных шумовых помех. Однако, как и названные выше аналоги, автокорреляционный демодулятор (прототип) в условиях организованной (преднамеренной) помехи будет не работоспособен. Ввиду отсутствия различий между сигналом и помехой, очевидно, он будет регистрировать более мощную, чем сигнал, помеху.

Цель изобретения - повышение помехоустойчивости приема сигналов с относительной фазовой модуляцией в условиях действия организованных (преднамеренных) помех, имеющих сигналподобную структуру и превышающих по мощности сигнал.

Для решения данной задачи могут быть применены псевдослучайные сигналы (сигналы с расширенным спектром), формируемые на основе относительной фазовой модуляции. Кроме того, задача повышения помехоустойчивости в условиях преднамеренных помех может быть решена за счет дополнительного увеличения энергии сигнала путем ее накопления при удлинении интервала анализа обрабатываемого сигнала от двух до трех посылок, последовательно друг за другом поступающих в демодулятор (см.: Divsalar D., Simon M.K. Multiple-symbol differential detection of MPSK // IEEE Trans. Commun, 1990. №3. P. 300-308).

Для достижения поставленной цели в известный автокорреляционный демодулятор (прототип), состоящий из ветви приема, содержащей последовательно соединенные первый перемножитель и интегратор, при этом первый вход первого перемножителя является входом устройства и подключен через первый элемент задержки к его второму входу, введены подключенные к выходу интегратора последовательно соединенные второй перемножитель и инвентор, вторая и третья параллельные ветви приема, каждая из которых содержит последовательно соединенные первые перемножители,

интеграторы, вторые перемножители и инверторы, подключенный к входу устройства блок синхронизации с генератором псевдослучайной последовательности, выход которого соединен со вторым входом второго перемножителя первой ветви приема непосредственно, со вторым входом второго перемножителя третьей ветви приема
 5 через третий элемент задержки, выход которого дополнительно подключен ко второму входу второго перемножителя второй ветви приема через третий перемножитель, второй вход которого соединен с выходом генератора псевдослучайной последовательности, при этом выход второго перемножителя первой ветви приема соединен с первыми
 10 входами первого и третьего сумматоров и через инвертор с первыми входами второго и четвертого сумматоров, выход второго перемножителя второй ветви приема соединен со вторыми входами первого и второго сумматоров и через инвертор со вторыми
 входами третьего и четвертого сумматоров, выход второго перемножителя третьей ветви приема соединен с третьими входами первого и четвертого сумматоров и через инвертор с третьими входами второго и третьего сумматоров, кроме того, вход
 15 устройства соединен с первым входом первого перемножителя второй ветви приема, а выход первого элемента задержки дополнительно подключен ко второму входу первого перемножителя третьей ветви приема непосредственно и через второй элемент задержки ко второму входу первого перемножителя второй ветви приема и к первому
 20 входу первого перемножителя третьей ветви приема, при этом выходы первого, второго, третьего и четвертого сумматоров подключены к соответствующим входам блока выбора максимального сигнала, выход которого через суммирующий накопитель соединен с решающим блоком, выход которого является выходом устройства.

На фиг. 1 представлена структурная схема предлагаемого устройства, на фиг. 2 представлены результаты количественной оценки помехоустойчивости предлагаемого
 25 устройства.

Автокорреляционный демодулятор псевдослучайных сигналов с относительной фазовой модуляцией состоит из трех ветвей приема, каждая из которых содержит последовательно соединенные первые перемножители 3, 4, 5, интеграторы 6, 7, 8, вторые
 30 перемножители 9, 10, 11 и инверторы 12, 13, 14, при этом первый вход первого перемножителя 3 является входом устройства и подключен через первый элемент задержки 1 к его второму входу, подключенного ко входу устройства блока 15 синхронизации с генератором псевдослучайной последовательности, выход которого соединен со вторым входом второго перемножителя 9 первой ветви приема
 35 непосредственно, со вторым входом второго перемножителя 11 третьей ветви приема через третий элемент задержки 16, выход которого дополнительно подключен ко второму входу второго перемножителя 10 второй ветви приема через третий перемножитель 17, второй вход которого соединен с выходом генератора псевдослучайной последовательности 15, при этом выход второго перемножителя 9
 40 первой ветви приема соединен с первыми входами первого 18 и третьего 20 сумматоров и через инвертор 12 с первыми входами второго 19 и четвертого 21 сумматоров, выход второго перемножителя 10 второй ветви приема соединен со вторыми входами первого 18 и второго 19 сумматоров и через инвертор 13 со вторыми входами третьего 20 и четвертого 21 сумматоров, выход второго перемножителя 11 третьей ветви приема соединен с третьими входами первого 18 и четвертого 21 сумматоров и через инвертор
 45 14 с третьими входами второго 19 и третьего 20 сумматоров, кроме того, вход устройства соединен с первым входом первого перемножителя 4 второй ветви приема, а выход первого элемента задержки 1 дополнительно подключен ко второму входу первого перемножителя 5 третьей ветви приема непосредственно и через второй элемент

задержки 2 ко второму входу первого перемножителя 4 второй ветви приема и к первому входу первого перемножителя 5 третьей ветви приема, при этом выходы первого 18, второго 19, третьего 20 и четвертого 21 сумматоров подключены к соответствующим входам блока выбора максимального сигнала 22, выход которого через суммирующий накопитель 23 соединен с решающим блоком 24, выход которого является выходом устройства.

Новая совокупность признаков, образованная за счет введения блоков и элементов, указанных выше, позволяет обрабатывать псевдослучайные сигналы с относительной фазовой модуляцией при удлинении интервала анализа до трех посылок и полнее использовать энергетические параметры сигналов, что приводит к положительному эффекту - повышению помехоустойчивости приема в условиях действия организованных (преднамеренных) помех, имеющих сигналподобную структуру и превышающих по мощности сигнал.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Принимаемый псевдослучайный сигнал, содержащий n двоичных посылок (элементов) «0» и «1» (n - база псевдослучайного сигнала), поступает на входы первых перемножителей 3, 4, 5 в трех ветвях приема непосредственно и через элементы задержки 1 и 2 в соответствии со схемой на фиг. 1. Таким образом, в первых перемножителях 3, 4, 5 реализуется по сути фазовое детектирование сигнала с относительной фазовой модуляцией, известное как прием методом «сравнения фаз» (Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции. - М.: Связь, 1979).

Продетектированные посылки сигнала проходят в трех ветвях приема через интеграторы 6, 7, 8, которые выполняют функции фильтров нижних частот. В результате на вход второго перемножителя 9 первой ветви приема поступают элементы сигнала

вида $X_k = \int_0^T u_k(t)u_{k-1}(t)dt$, на вход второго перемножителя 10 второй ветви приема -

элементы сигнала вида $X'_k = \int_0^T u_k(t)u_{k-2}(t)dt$ и на вход второго перемножителя 11

третьей ветви приема - элементы сигнала вида

$$X_{k-1} = \int_0^T u_{k-1}(t)u_{k-2}(t)dt, \text{ где } u_k(t),$$

$u_{k-1}(t)$, u_{k-2} - аддитивные смеси посылок сигнала и помехи - текущая и задержанные на длительность одной и двух посылок соответственно; T - длительность посылки сигнала.

На вторые входы вторых перемножителей 9, 10, 11 всех трех ветвей приема поступают в соответствии со схемой на фиг. 1 элементы псевдослучайной последовательности γ , формируемой генератором псевдослучайной последовательности, который синхронизирован с сигналом при помощи блока 15 синхронизации.

Далее после прохождения соединенных в определенном порядке (см. фиг. 1) инверторов 12, 13, 14 и сумматоров 18, 19, 20, 21 на их выходах формируются следующие совокупные величины сигналов: V_{1k} - на выходе первого сумматора 18, V_{2k} - на выходе второго сумматора 19, V_{3k} - на выходе третьего сумматора 20, V_{4k} - на выходе четвертого сумматора 21, которые имеют вид:

$$V_{1k} = (-1)^{\gamma_k} X_k + (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k + (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}$$

$$V_{2k} = -(-1)^{\gamma_k} X_k + (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k - (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}$$

$$V_{3k} = (-1)^{\gamma_k} X_k - (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k - (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}$$

$$V_{4k} = -(-1)^{\gamma_k} X_k - (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k + (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}$$

Данные совокупные величины сигналов содержат в себе накопленную энергию на длительности трех посылок псевдослучайного сигнала в отличие от прототипа, где энергия сосредоточена только на двух посылках сигнала. При этом, с учетом правила формирования сигнала с относительной фазовой модуляции, информационным параметром, который определяется $(k-1)$ -м и k -м элементами сигнала в величинах V_{1k} и V_{3k} является «0», а в V_{2k} и V_{4k} - «1». В первом случае при переходе от второго слагаемого к третьему знак сохраняется, а в другом случае знак меняется на противоположный.

Кроме того, в результате преобразований сигнала с помощью блока 15 синхронизации с генератором псевдослучайной последовательности и перемножителей 9, 10, 11 с сигналом снимается псевдослучайная последовательность. Поскольку одновременно с сигналом этим преобразованиям подвергается организованная (преднамеренная) помеха, то она «обеляется», то есть становится случайным процессом, напоминающим естественный шумовой процесс в канале связи.

Блок 15 синхронизации с генератором псевдослучайной последовательности может быть реализован в виде известных устройств синхронизации (например, патент на полезную модель 118495, МПК H04L 7/02, 2012).

Совокупные величины сигналов V_{ik} , $i = \overline{1,4}$ далее поступают в блок 22 выбора максимального сигнала, который реализует на микропроцессоре известный алгоритм выбора максимальной величины. При этом, если максимальным оказывается любой из вариантов, соответствующий информационному параметру «0», то при фактической его передаче это будет соответствовать одной правильной посылке (элементу) сложного псевдослучайного сигнала, состоящего из совокупности n посылок (элементов). Аналогично будет и при информационном параметре «1».

Блок выбора максимального сигнала является известным устройством (см., например: Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др. Пространственные и вероятностно-временные характеристики эффективности станций ответных помех при подавлении систем радиосвязи / Под ред. В.И. Борисова. - М.: РадиоСофт, 2008. С. 221, 222; рис. 5.2.7, 5.2.8; блоки СВМ - схемы выбора максимума). В настоящее время такие блоки реализуются либо аппаратно, либо программными средствами на элементах с цифровой

логикой (микропроцессорах). При аппаратной реализации, подходящей к нашему случаю, они выполняются, как правило, с использованием компараторов - сравнивающих устройств (см., например: Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - М.: «Вильямс», 2007. С. 206-207; Горошков Б.И. 5 Элементы радиоэлектронных устройств. Справочник. - М.: Радио и связь, 1988. С. 141-143, рис. 11.20-11.24).

Затем выбранный вариант максимальной посылки через суммирующий накопитель 23 емкостью n , что соответствует заданному числу посылок (база) псевдослучайного сигнала, поступает в решающий блок 24.

10 Суммирующий накопитель 23 может быть реализован в виде интегратора на операционных усилителях со сбросом, осуществляющих накопление сигнала на временном интервале nT , где n - база (число элементов) составного псевдослучайного сигнала; T - длительность элемента (см.: Сикарев А.А., Лебедев О.Н. Микроэлектронные устройства формирования и обработки сложных сигналов. - М.: Радио и связь, 1983. 15 С. 198-200, рис. 7.10; Горошков Б. И. Радиоэлектронные устройства. Справочник. - М.: Радио и связь, 1985. С. 349, рис. 15.42).

Поскольку с сигнала снята псевдослучайная последовательность, то он представляет собой совокупный информационный символ «0» или «1», состоящий из n посылок (элементов), часть из которых может быть поражена помехой. Поэтому для 20 окончательной регистрации в решающем блоке 24 производится сравнение с пороговой величиной. Если накопленный сигнал превышает порог, то регистрируется сигнал, соответствующий нулевому символу, в противном случае решение принимается в пользу единичного символа.

Решающий блок 24 может быть реализован на компараторе, на один вход которого 25 поступает сигнал, а на второй - пороговое напряжение. При превышении сигналом порогового напряжения на выходе компаратора появляется высокий логический уровень, в противном случае - низкий. При реализации блока 24 можно использовать интегральную микросхему К521СА2 (см.: Горошков Б.И. Радиоэлектронные устройства. Справочник. - М.: Радио и связь, 1985. С. 314, рис. 13.34б).

30 Для оценки достигаемого положительного эффекта, то есть повышения помехоустойчивости в условиях организованных (преднамеренных) помех, воспользуемся соотношением, позволяющем рассчитать вероятность ошибки псевдослучайного сигнала с относительной фазовой модуляцией при обработке на интервале трех посылок. Данное соотношение получено авторами (см.: Биккенин Р.Р., 35 Андрюков А.А. Оценка эффективности обработки шумоподобных сигналов с относительной фазовой модуляцией на удлиненном интервале в условиях наихудших помех // Информация и космос. 2015. №3. С. 6-12) и имеет вид

$$40 \quad P_{\text{ош}} \approx 1 - F\left(\sqrt{\frac{2nq^2}{1+3q}}\right),$$

45 где $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$ - интеграл вероятностей; n - число посылок (база)

составного псевдослучайного сигнала; q - отношение мощностей элементов сигнала и преднамеренной помехи.

Результаты расчетов по данному соотношению при обработке псевдослучайного сигнала на интервале трех его посылок (элементов) для различных значений базы сигнала n в виде графических зависимостей от соотношения сигнал/помеха q представлены на фиг. 2.

5 Поскольку здесь рассматривается задача повышения помехоустойчивости в условиях действия преднамеренных помех, мощность которых превышает мощность сигнала, то прототип, как отмечалось выше, будет фактически не работоспособен. В то же время, как видно на фиг. 2, предлагаемое техническое решение позволяет повысить помехоустойчивость приема псевдослучайных сигналов с относительной фазовой
10 модуляцией в условиях действия организованных (преднамеренных) помех. Так, при соотношении сигнал/помеха $q=0,5$ (помеха вдвое превышает мощность сигнала), при базе сигнала $n=50 P_{\text{ош}} \approx 7,83 \cdot 10^{-4}$, а при базе сигнала $n=100 P_{\text{ош}} \approx 3,87 \cdot 10^{-6}$, что позволяет уверенно говорить о достижении положительного эффекта.

15 Таким образом, использование новых элементов, указанных в отличительной части формулы изобретения, выгодно отличает предлагаемое техническое решение от прототипа и позволяет получить положительный эффект в виде повышения помехоустойчивости приема сигналов с относительной фазовой модуляцией в условиях действия организованных (преднамеренных) помех, имеющих сигналподобную
20 структуру, и с мощностью, превышающей мощность сигнала.

Обозначение блоков

1. Первый элемент задержки.
2. Второй элемент задержки.
- 3, 4, 5. Первые перемножители.
- 6, 7, 8. Интеграторы.
- 25 9, 10, 11. Вторые перемножители.
- 12, 13, 14. Инверторы.
15. Блок синхронизации с генератором ПСП.
16. Третий элемент задержки.
17. Третий перемножитель.
- 30 18. Первый сумматор.
19. Второй сумматор.
20. Третий сумматор.
21. Четвертый сумматор.
22. Блок выбора максимального сигнала.
- 35 23. Суммирующий накопитель.
24. Решающий блок.

Литература

1. Агафонов А.А., Ложкин К.Ю., Поддубный В.Н. Методология и результаты синтеза
40 и оценки преднамеренных помех приемникам дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 41. №8.
2. А.с. 1425869, МКИ H04L 27/22, 1987.
3. А.с. 105692 Способ телеграфной проводной и радиосвязи фазоманипулированными колебаниями, 1954.
4. Биккенин Р.Р., Андрюков А.А. Оценка эффективности обработки шумоподобных
45 сигналов с относительной фазовой модуляцией на удлиненном интервале в условиях наихудших помех // Информация и космос. 2015. №3.
5. Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. - М.: Радио и

связь, 2003.

6. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др. Пространственные и вероятностно - временные характеристики эффективности станций ответных помех при подавлении систем радиосвязи / Под ред. В.И. Борисова. - М.: РадиоСофт, 2008.

5 7. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации. Основы теории и технологии беспроводной связи. - М.: Техносфера, 2011.

8. Горошков Б.И. Радиоэлектронные устройства. Справочник. - М.: Радио и связь, 1985.

9. Горошков Б.И. Элементы радиоэлектронных устройств. Справочник. - М.: Радио
10 и связь, 1988.

10. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. - М.: Техносфера, 2007.

11. Овчаренко Л.А., Поддубный В.Н. Помехоустойчивость приема фазоманипулированных сигналов на фоне наиболее неблагоприятных помех // 15 Радиотехника. 1992. №7-8.

12. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции. - М.: Связь, 1979.

13. Патент 2037969, МКИ H04L 27/22, 1995.

14. Патент 2460225, МПК H04L 27/22, H03D 3/02, 2012.

15. Патент 2505922, МПК H04 B1/10, H03D 3/02, 2014.

16. Патент на полезную модель 118495, МПК H04L 7/02, 2012.

17. Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. - М.: Сов. радио, 1965.

18. Сикарев А.А., Лебедев О.Н. Микроэлектронные устройства формирования и обработки сложных сигналов. - М.: Радио и связь, 1983.

19. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - 25 М.: «Вильямс», 2007.

20. Divsalar D., Simon M. K. Multiple-symbol differential detection of MPSK // IEEE Trans. Commun, 1990. №3.

30 (57) Формула изобретения

Автокорреляционный демодулятор псевдослучайных сигналов с относительной фазовой модуляцией, состоящий из ветви приема, содержащей последовательно соединенные первый перемножитель и интегратор, при этом первый вход первого перемножителя является входом устройства и подключен через первый элемент задержки
35 к его второму входу, отличающийся тем, что введены подключенные к выходу интегратора последовательно соединенные второй перемножитель и инвертор, вторая и третья параллельные ветви приема, каждая из которых содержит последовательно соединенные первые перемножители, интеграторы, вторые перемножители и инверторы, подключенный ко входу устройства блок синхронизации с генератором псевдослучайной
40 последовательности, выход которого соединен со вторым входом второго перемножителя первой ветви приема непосредственно, со вторым входом второго перемножителя третьей ветви приема через третий элемент задержки, выход которого дополнительно подключен ко второму входу второго перемножителя второй ветви приема через третий перемножитель, второй вход которого соединен с выходом
45 генератора псевдослучайной последовательности, при этом выход второго перемножителя первой ветви приема соединен с первыми входами первого и третьего сумматоров и через инвертор с первыми входами второго и четвертого сумматоров, выход второго перемножителя второй ветви приема соединен со вторыми входами

первого и второго сумматоров и через инвертор со вторыми входами третьего и четвертого сумматоров, выход второго перемножителя третьей ветви приема соединен с третьими входами первого и четвертого сумматоров и через инвертор с третьими входами второго и третьего сумматоров, кроме того, вход устройства соединен с первым входом первого перемножителя второй ветви приема, а выход первого элемента задержки дополнительно подключен ко второму входу первого перемножителя третьей ветви приема непосредственно и через второй элемент задержки ко второму входу первого перемножителя второй ветви приема и к первому входу первого перемножителя третьей ветви приема, при этом выходы первого, второго, третьего и четвертого сумматоров параллельно подключены к блоку выбора максимального сигнала, выход которого через суммирующий накопитель соединен с решающим блоком, выход которого является выходом устройства.

15

20

25

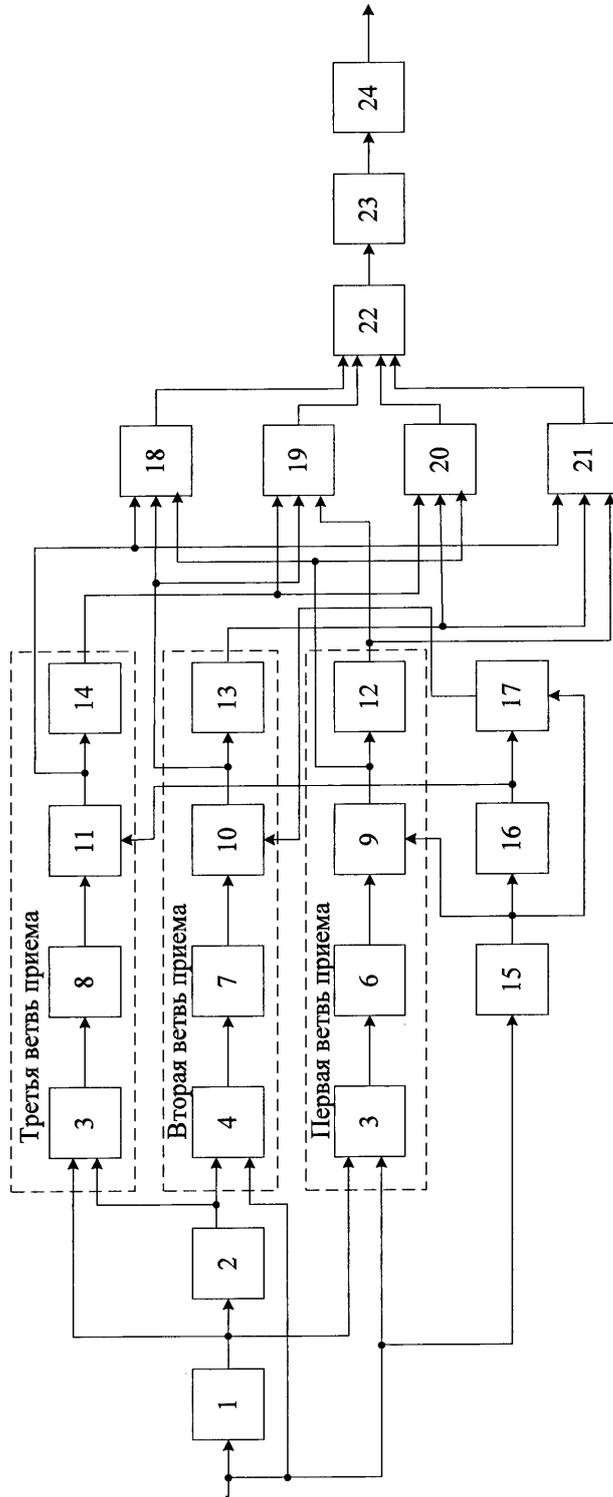
30

35

40

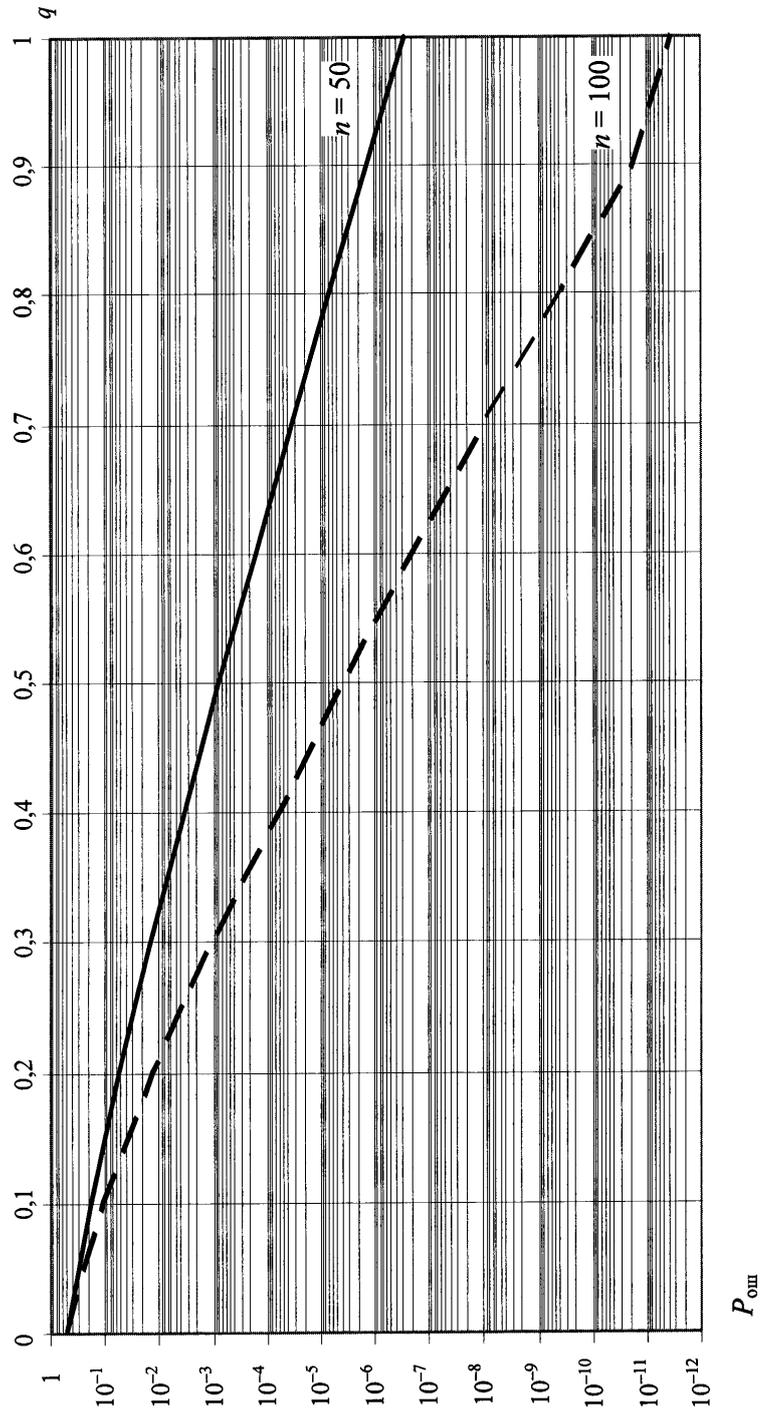
45

Структурная электрическая схема автокорреляционного демодулятора
псевдослучайных сигналов с относительной фазовой модуляцией



Фиг. 1

Графические зависимости вероятности ошибочного приема $P_{\text{ош}}$ от соотношения сигнал/помеха q демодулятора псевдослучайных сигналов с относительной фазовой модуляцией при значениях базы псевдослучайного сигнала $n = 50$ и $n = 100$



Фиг. 2