



УКРАЇНА

(19) UA (11) 71675 (13) C2
(51) 7 H04K1/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ

1

(21) 2003010653

(22) 27.07.2000

(24) 15.12.2004

(86) PCT/RU00/00313, 27.07.2000

(46) 15.12.2004, Бюл. № 12, 2004 р.

(72) Дмитрієв Александр Сергєєвич, RU, Панас
Андрей Іванович, RU, Старков Сергей Олегович,
RU, Андрєєв Юрій Веніамінович, RU, Кузьмін Лев
Вікторович, RU, Кяргінскій Борис Єгорович, RU,
Максїмов Николай Андрєєвич, RU

(73) Дмитрієв Александр Сергєєвич, RU

(56) US 5291555, 01.03.1994

WO 9859458, 30.12.1998

US 5680462, 21.09.1997

US 5402334, 28.03.1995

(57) 1. Спосіб передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів, який полягає в тому, що на передавальній стороні формують широкосмуговий носій інформації в наперед заданій смузі частот передачі інформації, модулюють носій інформації інформаційним сигналом, передають промодульований носій інформації по каналу зв'язку з передавальної сторони на приймальну сторону, на приймальній стороні демодулюють прийнятий носій інформації для виділення інформаційного сигналу; який **відрізняється** тим, що згадане формування широкосмугового носія інформації здійснюють за допомогою хаотичної динамічної системи, структуру якої попередньо синтезують наперед заданими характеристиками згаданого широкосмугового носія інформації, при синтезуванні згаданої хаотичної динамічної системи виявляють області її параметрів, що забезпечують однотипну поведінку згаданої хаотичної динамічної системи, на основі згаданих виявлених областей параметрів вибирають для даної хаотичної динамічної системи значення параметрів, які забезпечують формування згаданого широкосмугового носія інформації у вигляді хаотичного носія інформації з необхідними щонайменше спектральними характеристиками, згадану модуляцію здійснюють шляхом формування у відповідності з інформаційним сигналом хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів заданої тривалості з заданими часовими інтервалами між цими імпульсами, після чого і передають промодульований носій інформації по каналу зв'язку, згадані прийом і демодуляцію на приймальній стороні здійснюють за допомогою динамічної

2

системи, узгодженої за своєю поведінкою зі згаданою хаотичною динамічною системою передавальної сторони.

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що як згадану хаотичну динамічну систему використовують динамічну автоколивальну систему з щонайменше одним активним елементом і додатковою частотно-вибірковою структурою для формування згаданого широкосмугового носія інформації.

3. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що згадану динамічну автоколивальну систему доповнюють регулюючими елементами для вибору режиму формування згаданого широкосмугового носія інформації і/чи формування згаданих хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів та інтервалів між ними.

4. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що згадане формування радіо- чи оптичних імпульсів та інтервалів між ними здійснюють у ланцюзі додаткового зворотного зв'язку в згаданій динамічній автоколивальній системі.

5. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що згадане формування хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів заданої тривалості і часових інтервалів між ними здійснюють шляхом керування поведінкою згаданої хаотичної динамічної системи.

6. Спосіб за п.5, який **відрізняється** тим, що згадане керування поведінкою хаотичної динамічної системи здійснюють шляхом керування зміною параметрів згаданої хаотичної динамічної системи.

7. Спосіб за п.5, який **відрізняється** тим, що згадане керування поведінкою хаотичної динамічної системи здійснюють шляхом керування траєкторією зображувальної точки у фазовому просторі станів даної хаотичної динамічної системи.

8. Спосіб за п.7, який **відрізняється** тим, що згадане керування траєкторією здійснюють шляхом зміни початкових умов запуску даної хаотичної динамічної системи.

9. Спосіб за п.7, який **відрізняється** тим, що згадане керування траєкторією здійснюють шляхом утримання траєкторії зображувальної точки у фазовому просторі станів даної хаотичної динамічної системи в заданій області згаданого фазового простору станів протягом заданого часу.

10. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що тривалості згаданих хаотичних радіо- чи оптичних

(13) C2

(11) 71675

(19) UA

імпульсів і/або інтервалів між ними формують за допомогою хаотичних відліків, що породжуються додатковою хаотичною динамічною системою, та інформації, що вводиться і підлягає передачі.

11. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що згадані прийом і демодуляцію на приймальній стороні здійснюють за допомогою хаотичної динамічної системи, поведінка якої щонайменше частково синхронізована з хаотичним сигналом згаданої

хаотичної динамічної системи на передавальній стороні.

12. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що згадані прийом і демодуляцію на приймальній стороні здійснюють за допомогою згаданої динамічної системи, вихідний сигнал якої узгоджений з обвідною сигналу згаданої хаотичної динамічної системи на передавальній стороні.

В теперішній час відомо, що хаотичні сигнали, які генеруються нелінійними детермінованими динамічними системами, так званий динамічний хаос, мають цілу низку властивостей, що сприяють застосуванню цих сигналів для передачі інформації. Зокрема, показана перспективність використання хаотичних сигналів, в якості несучих коливань чи коливань, що модулюються (А.С.Дмитриев, А.И.Панас, С.О.Старков. Динамический хаос как парадигма современных систем связи // Успехи современной радиоэлектроники, 1997, №10, стр.4; М.Хаслер. Достижения в области передачи информации с использованием хаоса // Успехи современной радиоэлектроники, 1998, №11, стр.33). Запропоновано ряд конкретних схем передачі інформації, що використовують динамічний хаос, зокрема, схема хаотичного маскування інформаційного сигналу (L.Kocarev, K.S.Halle, K.Eckert, L.Chua, U.Parlitz. Experimental demonstration of secure communications via chaotic synchronization // Int. J. Bifurcation and Chaos, 1992, v.2, №3, p.709), схема з переключенням хаотичних режимів (H.Dedieu, M.Kennedy, M.Hasler. Chaos shift keying: Modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits // IEEE Trans. Circuits and Systems, October 1993, v.CAS-40, №10, p.634), схеми з нелінійним підмішуванням інформаційного сигналу в хаотичний (А.Р.Волковский, Н.В.Рулков. Синхронный хаотический отклик нелинейной системы передачи информации с хаотической несущей // Письма в ЖТФ, 1993, т.19, №3, с.71; А.С.Дмитриев, А.Панас, С.Старков. Experiments on speech and music signals transmission using chaos // Int. Journal of Bifurcation and Chaos, 1995, v.5, №3, p.371) та ін. Обговорюються можливості створення прямохаотичних систем зв'язку, в яких хаотичні коливання виступають в якості носія інформації, що генерується безпосередньо в області частот, де відбувається передача інформації. Наприклад, в області надвисоких частот (А.С.Дмитриев, Б.Е.Кяргинский, Н.А.Максимов, А.И.Панас, С.О.Старков. Перспективы создания прямо хаотических систем связи в радио- и СВЧ-диапазонах // Радиотехника, 2000, №3, стр.9).

Існує два різновиди способів передачі інформації з розширенням спектра. Перший з цих різновидів використовує вузькосмуговий носій інформації. Прикладами є системи МДКР - багатокористувачького доступу з кодовим розподілом каналів, а також системи з частотною модуляцією, в яких смуга частот інформації, що передається, суттєво менше смуги частот сигналу, що

передається. В іншому різновиді передачі інформації з розширенням спектра використовується принципово широкосмуговий носій, смуга частот якого ширше смуги частот інформації, що передається (патент США №16097, H04K1/00, March 18, 1960). До цього ж типу слід віднести системи з розширенням спектра за рахунок перескоку частоти несучого сигналу (J.Proakis. Digital Communication. McGraw Hill, Inc., New York, 1995, p.741).

Найближчим аналогом способу по даному винаходу є спосіб передачі інформації, що ґрунтується на розширенні спектра несучого сигналу за рахунок перескоків частоти, в якому на передачій стороні формують широкосмуговий носій інформації в наперед заданій смузі частот передачі інформації, модулюють носій інформації інформаційним сигналом, передають промодульований носій інформації по каналу зв'язку з передаючої сторони на приймальну сторону, а на приймальній стороні демодулюють прийнятий носій інформації для виділення інформаційного сигналу (див. вищезгадану монографію J.Proakis).

На відміну від цього, в запропонованому винаході формування широкосмугового носія інформації здійснюється за допомогою хаотичної динамічної системи, що генерує хаотичні сигнали безпосередньо по всій області частот передачі інформації (наприклад, в області надвисоких частот - СВЧ). Для того, щоб використовувати зазначені сигнали в якості широкосмугового носія, необхідно вирішити проблеми генерації хаотичних коливань у потрібній області частот електромагнітного спектра, а також розробити ефективні методи введення інформації в хаотичний сигнал на передачій стороні і виділення інформації із зазначеного сигналу на приймальній стороні. До тепер намічені лише напрямки створення таких систем, що працюють на подібному принципі, але не конкретні їх реалізації СВЧ (див. вищезгадану статтю А.С.Дмитрієва в журналі «Радиотехника»).

Таким чином, задачею даного винаходу є розробка способу передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів, який забезпечує в якості технічного результату реалізацію систем зв'язку, в яких інформація вводиться в хаотичний сигнал, що генерується безпосередньо в діапазоні передачі інформації, названих далі прямохаотичними системами зв'язку.

Для розв'язання зазначеної задачі із досягненням згаданого технічного результату в способі передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів, який полягає в тому, що на передачій сто-

роні формують широкопasmовий носій інформації в попередньо заданій smузi частот передачі інформації, модулюють носій інформації інформаційним сигналом, передають промодульований носій інформації по каналу зв'язку з передаючої сторони на приймальну сторону, а на приймальній стороні демодулюють прийнятий носій інформації для виділення інформаційного сигналу, - відповідно до даного винаходу, згадане формування широкопasmового носія інформації здійснюють за допомогою хаотичної динамічної системи, структуру якої попередньо синтезують за наперед заданими характеристиками згаданого широкопasmового носія інформації, при синтезуванні згаданої хаотичної динамічної системи виявляють області її параметрів, що забезпечують однотипну поведінку згаданої хаотичної динамічної системи, на основі згаданих виявлених областей параметрів вибирають для даної хаотичної динамічної системи значення параметрів, що забезпечують формування згаданого широкопasmового носія інформації у вигляді хаотичного носія інформації з необхідними щонайменше спектральними характеристиками, згадану модуляцію здійснюють шляхом формування відповідно з інформаційним сигналом хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів заданої тривалості з заданими часовими інтервалами між цими імпульсами, після чого і передають промодульований носій інформації по каналу зв'язку, згадані прийом і демодуляцію на приймальній стороні здійснюють за допомогою динамічної системи, узгодженої за своєю поведінкою зі згаданою хаотичною динамічною системою передаючої сторони.

Часткова відмінність даного способу полягає в тому, що в якості хаотичної динамічної системи використовують динамічну автоколивальну систему з щонайменше одним активним елементом і додатковою частотно-вибірковою структурою для формування широкопasmового носія інформації.

При цьому динамічну автоколивальну систему доповнюють регулюючими елементами для вибору режиму формування широкопasmового носія інформації і/або для формування радіо- чи оптичних імпульсів і інтервалів між ними, або формування радіо- чи оптичних імпульсів і інтервалів між ними здійснюють у ланцюгу додаткового зворотного зв'язку на передаючій стороні.

Ще одна часткова відмінність даного способу полягає в тому, що формування хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів заданої тривалості часових інтервалів між ними здійснюють шляхом керування поведінкою хаотичної динамічної системи.

При цьому керування поведінкою хаотичної динамічної системи здійснюють шляхом керування змінами її параметрів або шляхом керування траєкторією зображуючої точки у фазовому просторі станів даної хаотичної динамічної системи.

Керування ж траєкторією здійснюють шляхом зміни початкових умов запуску даної хаотичної динамічної системи або шляхом утримання траєкторії зображуючої точки у фазовому просторі станів даної хаотичної динамічної системи в заданій області згаданого фазового простору станів протягом заданого часу.

Ще одна часткова відмінність даного способу полягає в тому, що тривалості хаотичних радіо- чи

оптичних імпульсів і/або інтервалів між ними формують за допомогою хаотичних відліків, породжуваних додатковою хаотичною динамічною системою, та інформацією, що вводиться і підлягає передачі.

Ще одна часткова відмінність даного способу полягає в тому, що прийом і демодуляцію на приймальній стороні можуть здійснювати за допомогою хаотичної динамічної системи, поведінка якої щонайменше частково синхронізована з хаотичним сигналом згаданої хаотичної динамічної системи на передаючій стороні.

Нарешті, ще одна часткова відмінність даного способу полягає в тому, що прийом і демодуляцію на приймальній стороні можуть здійснювати за допомогою динамічної системи, вихідний сигнал якої узгоджений з обвідною сигналу хаотичної динамічної системи на передаючій стороні.

З існуючого рівня техніки невідомі джерела інформації, в яких була б описана вся сукупність суттєвих ознак даного способу, що дозволяє вважати його новим.

З існуючого рівня техніки невідомі також джерела інформації, в яких була б описана сукупність відмінних ознак даного способу, що дозволяє вважати його таким, що має винахідницький рівень.

Можливі виконання даного способу проілюстровані в описі кресленнями, поданими для більш повного розуміння запропонованого винаходу.

На Фіг.1 подана схема генератора хаотичних коливань з використанням тунельного діода.

На Фіг.2 зображена схема генератора хаотичних сигналів у вигляді ланцюга Чуа.

На Фіг.3 приведена схема кільцевого автогенератора хаотичних коливань з півтора ступенями свободи.

На Фіг.4 показана загальна функціональна схема системи передачі інформації для реалізації способу по даному винаходу та епюри сигналів у різних вузлах схеми.

На Фіг.5 представлений вид хаотичного радіо- чи оптичного імпульсу.

На Фіг.6 показаний вид хаотичних імпульсів при їх формуванні за допомогою інформаційного бінарного сигналу.

Фіг.7 ілюструє формування потоку хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів із використанням додаткової хаотичної динамічної системи.

На Фіг.8 представлений зовнішній вигляд і схема можливого виконання динамічної автоколивальної системи для реалізації способу по даному винаходу.

На Фіг.9 зображений типовий спектр потужності хаотичних сигналів, що генеруються хаотичною автоколивальною системою по Фіг.8.

На Фіг.10 зображена можлива схема для здійснення некогерентного прийому у відповідності з даним винаходом та епюри сигналів у різних вузлах схеми.

На Фіг.11 показана можлива схема прийому із синхронізацією хаотичних динамічних систем для способу по даному винаходу.

На Фіг.12 приведені осцилограми хаотичних радіоімпульсів в каналі зв'язку та їх обвідної, виділеної на приймальній стороні.

Перш, ніж перейти до опису можливих вико-

нань даного винаходу, зупинимось на особливостях динамічного (чи детермінованого) хаосу, що лежить в його основі.

Під детермінованим хаосом розуміється складний неперіодичний рух, що породжується нелінійними динамічними системами. Цей рух може виникати при повній відсутності зовнішніх шумів і повністю визначається властивостями самої детермінованої динамічної системи. Динамічний хаос має багато властивостей випадкових процесів, - наприклад, суцільним спектром потужності, експоненціально спадаючою кореляційною функцією, непередбачуваністю на великі інтервали часу.

При описі поведінки динамічних систем використовується поняття фазового простору, в якому стан системи зображується точкою, а зміна цього стану в часі - фазовою траєкторією, вздовж якої переміщується зображуюча точка. Системи з детермінованим хаосом мають у фазовому просторі притягуючу множину, де фазові траєкторії ніби збираються в єдине русло. Ця притягуюча множина називається дивним атрактором.

До теперішнього часу запропонована і досліджена значна кількість динамічних систем, що генерують хаотичні сигнали. Найпростішою динамічною системою, що породжує хаос є дискретна динамічна система, - так зване логістичне відображення

$$x(k+1) = \mu x(k) (1 - x(k)) \quad (1)$$

У певних областях значень параметру μ рівняння (1) породжує неперіодичну безкінечну послідовність відліків $x(k)$

Найпростіші хаотичні системи з неперервним часом описуються всього трьома звичайними диференціальними рівняннями і, щонайменше, частина з них являє собою генератори, побудовані шляхом додавання одного чи декількох елементів у стандартні генератори регулярних коливань. Інші джерела хаосу не так просто зв'язати із традиційними електронними генераторами, однак вони також можуть бути реалізовані за допомогою сучасної елементної бази. Типовими прикладами джерел хаосу з півтора ступенями свободи є наступні системи.

Генератор з тунельним діодом (А.С.Пиковский, М.И.Рабинович. Простой автогенератор со стохастическим поведением // ДАН СССР, 1978, т.239, №1-2, с.301). Рівняння генератора в безрозмірній формі мають вид:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= y - \delta z \\ \dot{y} &= -x + 2\gamma y + \alpha z + \beta, \\ \mu \dot{z} &= x - f(z) \end{aligned} \quad (2)$$

де $f(z)$ - нелінійна характеристика тунельного діода; α, β, γ і δ - параметри. Схема генератора показана на Фіг.1.

Ланцюг Чуа (T.Matsumoto. A chaotic attractor from Chua circuit // IEEE Trans. Circuits and Syst. 1984, v.CAS-31, №12, p.1055). Електрична схема ланцюга показана на Фіг.2. Рівняння, що описують ланцюг, мають у безрозмірній формі вид:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \alpha(y - x - h(x)) \\ \dot{y} &= x - y + z, \\ \dot{z} &= -\beta y - \gamma z \end{aligned} \quad (3)$$

де α, β і γ - параметри. Характеристика нелінійного елемента в системі (3) приймається кусоч-

но-лінійною

$$h(x) = m_1 x + 0,5(m_0 - m_1)\{|x+1| - |x-1|\} \quad (4)$$

В (4) m_0 і m_1 означають нахили нормалізованої кусочно-лінійної функції.

Кільцевий автогенератор (А.С.Дмитриев, В.Я.Кислов. Стохастические колебания в автогенераторе с инерционным запаздыванием первого порядка // Радиотехника и электроника, 1984, т.29, №12, с.2389). Рівняння моделі такого генератора в безрозмірній формі мають вид:

$$\begin{aligned} \dot{T}x &= -x + Mf(z) \\ y &= x - z, \\ \dot{z} &= -y - \alpha z \end{aligned} \quad (5)$$

де T, M, α - параметри, $f(z)$ - характеристика нелінійного елемента. Блок-схема такого генератора показана на Фіг.3, де НЭ - позначає нелінійний елемент, а Φ_1 і Φ_2 - фільтри нижніх частот, відповідно першого і другого порядків.

Траєкторії хаотичних систем надзвичайно чутливі до початкових умов. У той же час самі коливальні режими джерел хаосу демонструють багатство різноманітності при зміні параметрів системи. Причому, якщо кількість суттєвих параметрів у системі наростає, то це, як правило, приводить до збільшення різноманітності динамічних режимів. Типовим прикладом є система Чуа. Різноманітність хаотичних режимів може зростати також із збільшенням розмірності динамічної системи.

Велика кількість різних коливальних мод із різними спектральними характеристиками в одній і тій же системі означає, що зміна режиму відбувається при малій зміні параметрів системи. Ця властивість дозволяє керувати хаотичними системами на рівні потужностей набагато нижчих, ніж потужність самого хаотичного сигналу, що безсумнівно корисно для досить потужних джерел хаосу. Ця ж властивість при інших рівних умовах може забезпечити більш високу швидкість модуляції хаотичних коливань порівняно зі швидкістю модуляції в класичних системах. В цілому, за рахунок можливості керування хаотичними режимами шляхом малих змін параметрів системи можна очікувати поліпшення енергетичної ефективності комунікаційних систем зв'язку з хаосом порівняно з традиційними системами.

За своєю природою хаотичні сигнали мають суцільний спектр, що простягається в широкий смузі частот. Сучасні методи модуляції дозволяють в принципі забезпечити смугу сигналу, що передається, до 10-20% до частоти несучого коливання. Однак це досягається за рахунок спеціальних, досить складних технічних рішень. Хаотичні ж сигнали є широкосмуговими по своїй природі. Це потенційно дозволяє модулювати хаотичний носій широкосмуговим інформаційним сигналом, практично не змінюючи спектральних властивостей цього хаотичного носія. Тим самим з'являється можливість досить просто реалізувати не тільки широкосмугові, але і надширокосмугові системи зв'язку.

Спосіб передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів по даному винаходу може бути реалізований з допомогою системи зв'язку, блок-схема якого приведена на Фіг.4а. В цій системі інформаційний сигнал 1 передаючої сторони подається на формувач 2 хаотичних радіо- чи оптич-

них імпульсів, який виконує в даному випадку функцію модулятора широкосмугового носія інформації, що виробляється з допомогою хаотичної динамічної системи 3. Промодульований сигнал передається по каналу зв'язку 4 на приймальну сторону, де він обробляється динамічною системою 5, в результаті чого виділяється інформаційний сигнал 6. На Фіг.4б зображені епюри сигналів у різних вузлах схеми Фіг.4а.

У способі передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів по даному винаходу використовуються передача інформації сигналами у вигляді хаотичних радіоімпульсів чи хаотичних оптичних імпульсів. У даному описі під хаотичним радіоімпульсом розуміється імпульс із хаотичним заповненням, спектр якого лежить в області радіо- чи надвисоких частот, а під хаотичним оптичним імпульсом розуміється імпульс із хаотичним заповненням, спектр якого лежить хоча б у частині області частот, до якої відносяться інфрачервоне випромінювання, видиме світло й ультрафіолетове випромінювання. При цьому хаотичним називається такий радіо- чи оптичний імпульс, довжина якого перевищує характерний період коливань хаотичного сигналу. Інформація, що передається послідовностями таких імпульсів, може кодуватися місцем розташування імпульсів уздовж тимчасової осі, тривалістю імпульсів, відстанями між імпульсами і т.д.

В основу способу передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів по даному винаходу закладені три основні ідеї, що роблять його практично реалізованим:

1) джерело хаосу генерує хаотичні коливання безпосередньо в заданій смузі височастотного, СВЧ, інфрачервоного, оптичного чи ультрафіолетового діапазону;

2) введення інформаційного сигналу в хаотичний сигнал здійснюється шляхом формування відповідного потоку хаотичних радіо-чи оптичних імпульсів;

3) для виділення інформації використовується динамічна система, узгоджена за своєю поведінкою з хаотичною динамічною системою передаючої сторони.

Як вже зазначено, хаотичний радіо- чи оптичний імпульс являє собою фрагмент хаотичного сигналу з тривалістю, що перевищує його характерний період. Смуга частот хаотичного радіо- чи оптичного імпульсу визначається смугою частот вихідного хаотичного сигналу, що генерується джерелом хаосу, і в широких межах не залежить від тривалості імпульсу (Фіг.5). Це суттєво відрізняє хаотичний радіо- чи оптичний імпульс від класичного радіоімпульсу, заповненого фрагментом періодичної несучої, смуга частот якого Δf визначається його довжиною T :

$$\Delta f = 1/T \quad (6)$$

Властивість збереження смуги імпульсу при зміні його тривалості дозволяє реалізовувати гнучкі схеми модуляції потоку імпульсів при фіксованих частотних параметрах вихідних ланцюгів передавача і вхідних ланцюгів приймача. Наприклад, при зміні тривалості імпульсів не потрібно змінювати смугу вхідного фільтра і малошумного підсилювача.

Збільшення тривалості хаотичного радіо- чи оптичного імпульсу підвищує перешкодостійкість схеми передачі. При цьому енергія імпульсу зростає, і цей фактор може бути використаний для регулювання дальності роботи апаратури без зміни пікової потужності передавача.

Прямохаотична схема зв'язку для реалізації способу передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів за даним винаходом може використовувати для передачі інформаційного біта як поодинокі імпульси, так і послідовності імпульсів. У будь-якому з цих двох випадків в тимчасовій області формується послідовність хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів.

Тривалість хаотичного радіо- чи оптичного імпульсу і середня шпаруватість між імпульсами є варіюваними параметрами. Це дозволяє гнучко керувати швидкістю передачі даних за рахунок зміни частоти проходження інформаційних імпульсів і середньої потужності сигналу, що передається.

В силу відзначених вище властивостей хаотичного радіо- чи оптичного імпульсу ці маніпуляції не приводять до суттєвої зміни спектральних характеристик сигналу, що передається, стосовно сигналу джерела хаосу. Ніяких додаткових спектральних компонентів у сигналі, що передається не виникає.

Формування інформаційного потоку в способі передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів за даним винаходом може змінюватися за рахунок зміни відстані між імпульсами, зміни тривалості імпульсів, зміни середньоквадратичної амплітуди імпульсів, комбінації цих параметрів і т.д. Наприклад, тривалість формованих радіо- чи оптичних імпульсів може мінятися від значення $T \sim 1/\Delta f$ до значення $T > \infty$, де Δf - смуга частот, формованих джерелом хаосу.

Формування потоку радіо- чи оптичних імпульсів може здійснюватися при фіксованій частоті проходження імпульсів і при фіксованій тривалості імпульсів. При цьому наявності імпульсу на заданій позиції у потоці відповідає символ «1», що передається, а відсутності імпульсу - символ «0» (див. Фіг.6). У приймачі здійснюється фіксація прийнятих імпульсів, визначення їхніх параметрів і місця розташування в потоці, виділення корисної інформації із сигналу.

Формування потоку хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів може здійснюватися також при фіксованій тривалості імпульсів і хаотичних інтервалах проходження імпульсів ΔT_i , що визначаються динамікою додаткової хаотичної динамічної системи 10 (Фіг.7а), що описується рівнянням:

$$\Delta T_{i+1} = F(\Delta T_i) \quad (7)$$

При цьому наявності хаотичного радіо- чи оптичного імпульсу на заданій позиції у потоці відповідає символ «1», що передається, а відсутності імпульсу - символ «0» (Фіг.7б). На приймальній стороні за допомогою копії додаткової динамічної системи 10 визначають очікувані тимчасові позиції приходу хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів, фіксують наявність чи відсутність імпульсу на очікуваній позиції і здійснюють виділення корисної інформації.

Формування широкосмугового носія, як уже

відзначалося, відбувається в джерелі хаосу, в якості якого використовується динамічна хаотична система 3 (Фіг.4). Структура цієї хаотичної динамічної системи 3 попередньо синтезується по поперед заданих характеристиках широкосмугового носія інформації. В процесі синтезування такої хаотичної динамічної системи виявляються області її параметрів, що забезпечують однотипну поведінку цієї хаотичної динамічної системи, необхідну для генерації хаотичного сигналу з необхідними щонайменше спектральними характеристиками. Ця обставина відмічена на Фіг.4 блоком 7. На основі таких виявлених областей для даної хаотичної динамічної системи вибираються значення її параметрів, що забезпечують формування необхідного широкосмугового носія інформації у виді хаотичного носія інформації з необхідними щонайменше спектральними характеристиками, за допомогою яких і забезпечується передача інформації з розширенням спектра. Цей факт відмічений на Фіг.4 блоком 8.

Крім того, на Фіг.4 показано керуючий елемент 9, за допомогою якого і здійснюється регулювання хаотичної динамічної системи 3. В окремому випадку ця хаотична динамічна система 3 може бути реалізована у вигляді динамічної автоколивальної системи, в якій є хоча б один активний елемент і додаткова частотно-виборча структура для формування широкосмугового носія інформації, керування параметрами яких і здійснюється керуючим елементом 9 на Фіг.4.

Конкретне виконання динамічної автоколивальної системи 3 описано, наприклад, у згаданій статті (А.С.Дмитриев, Б.Е.Кяргинский, Н.А.Максимов, А.И.Панас, С.О.Старков. Перспективы создания прямо хаотических систем связи в радио- и СВЧ-диапазонах // Радиотехника, 2000, №3, стр.9). Зовнішній вигляд системи показаний на Фіг.8а. Ця динамічна автоколивальна система генерує хаотичні коливання у СВЧ-діапазоні і виконана (див. Фіг.8б) по трьохточковій схемі на одному транзисторі, між колектором і емітером якого включено резонансний елемент (РЭ), функції якого виконує резонатор на зв'язаних смужкових лініях. Характеристики останнього змінюються за допомогою реактивного елемента - в даному випадку, конденсатора C_3 , а настройка режимів схеми провадиться ще й перемінними конденсаторами C_1 і C_2 і зміною напруг V_E і V_C . Еквівалентна схема динамічної хаотичної системи приведена Фіг.8в.

Взагалі, класичні однотранзисторні трьохточкові схеми призначені для генерації періодичних сигналів. Однак, вони можуть також генерувати і хаотичні коливання як у низькочастотному діапазоні, так і в діапазонах радіо- і надвисоких частот. Особливістю хаотичних режимів такого генератора є надширокосмужність збуджуваних у ньому коливань: спектр потужності коливань простягається як в область дуже низьких частот, так і в область високих частот, які у багато разів перевищують основну частоту f_0 генерації. Для отримання хаотичного сигналу в смузі Δf частот у схему такого генератора і введений вищезгаданий резонансний елемент РЭ, який забезпечує необхідні частотно-виборчі властивості і тим самим створює умови

для генерації коливань переважно в смузі пропускання резонансного елемента РЭ. Спектр потужності хаотичного сигналу, що генерується, представлений на Фіг.9. Цей принцип формування хаотичних коливань із заданим спектром потужності запропонований і досліджений у наступних роботах (Ю.Л.Вельский, А.С.Дмитриев, А.И.Панас, С.О.Старков. Синтез полосовых хаотических сигналов в автоколебательных системах // Радиотехника и электроника, 1992, т.37, №4. С.660; A.S.Dmitriev, A.I.Panas, S.O.Starkov. Ring oscillating systems and their application to the synthesis of chaos generating //Int. Journal Bifurcation and Chaos, 1996, v.6, №5, p.851).

Зміна параметрів хаотичної динамічної системи 3 (Фіг.4) за допомогою керуючого елемента 9 (резонансного елемента РЭ на Фіг.8б) приводить до керування поведінкою хаотичної динамічної системи 3. Іншим методом керування поведінкою хаотичної динамічної системи 3 є керування траєкторією зображуючої точки у фазовому просторі станів даної хаотичної динамічної системи 3 (див., наприклад, A.L.Fradkov, A.Yu.Pogromsky. Introduction to control of oscillations and chaos // World Scientific Publishing, World Scientific Series Nonlinear Science, Series A, v.35, 1998).

Таким чином, побудована хаотична динамічна система 3 виробляє на своєму виході хаотичні коливання заданого спектра потужності, які являють собою широкосмуговий носій інформації. Для передачі інформації з його допомогою він має бути в той або інший спосіб промодульований. Така модуляція широкосмугового носія інформації тією інформацією, що підлягає передачі, може здійснюватися як після формування самого широкосмугового носія, так і в процесі цього формування. У першому випадку формувач 2 хаотичних імпульсів (Фіг.4) являє собою, наприклад, ключовий елемент, що формує з хаотичних коливань системи 3 хаотичні радіо- чи оптичні імпульси необхідної тривалості та з необхідними інтервалами між цими імпульсами, а в другому випадку формувач 2 складає частину хаотичної динамічної системи 3, - наприклад, це можуть бути конденсатори C_1 чи C_2 , зміна величини ємності яких може приводити до збудження чи зриву генерації в схемі Фіг.8б.

Сформований на передаючій стороні хаотичний сигнал передається в канал зв'язу 4 (Фіг.4а).

Виділення корисної інформації на приймальній стороні з хаотичного сигналу здійснюється шляхом інтегрування потужності прийнятих імпульсів у межах їхньої тривалості. Тобто у цьому випадку в системі зв'язу, яка реалізує спосіб по даному винаходу, здійснюється некогерентний прийом послідовності хаотичних радіо- чи оптичних імпульсів. Цей некогерентний прийом являє собою демодуляцію прийнятого сигналу, коли формується вихідний сигнал узгоджений з обвідною сигналу, що формується хаотичною динамічною системою на передаючій стороні. Можлива схема некогерентного прийому приведена на Фіг.10а, де цифрами позначені наступні елементи: 11 - антена, на яку поступає потік хаотичних радіоімпульсів; 12 - фільтр, настроєний на смугу частот хаотичного сигналу, що передається; 13 - підсилювач; 14 - детектор, наприклад квадратичний; 15 - інтегратор

з часом інтегрування, характерним для тривалості хаотичного радіоімпульсу; 16 - пороговий прилад; 17 - декодер, що співставляє "1" позиціям, які зайняті хаотичними радіоімпульсами, "0" - позиціям, в яких немає радіоімпульсів. На Фіг.10б зображені епюри сигналів у різних точках схеми (Фіг.10а).

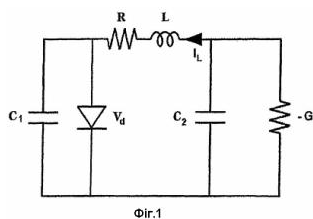
У запропонованій системі зв'язку можливий також і когерентний прийом. Для цього прийом і демодуляцію на приймаючій стороні здійснюють за допомогою хаотичної динамічної системи, поведінка якої щонайменше частково синхронізована з хаотичним сигналом хаотичної динамічної системи 3 на передаючій стороні. Можлива схема, яка реалізує такий прийом, приведена на Фіг.11 де цифрами позначені наступні елементи: 11 - антена, на яку поступає потік хаотичних радіоімпульсів; 12 - фільтр, настроєний на смугу частот хаотичного сигналу, що передається; 13 - підсилювач; 18 - хаотична динамічна система, ідентична хаотичній динамічній системі передаючої сторони; 15 - інтегратор з часом інтегрування, характерним для три-

валості хаотичного радіоімпульсу; 16 - пороговий пристрій; 17 - декодер, що співставляє "1" позиціям, які зайняті хаотичними радіоімпульсами, "0" - вільним від радіоімпульсів позиціям.

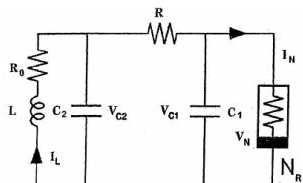
В якості приклада, на Фіг.12а приведена осцилограма хаотичних радіоімпульсів в каналі зв'язку, що формуються за допомогою хаотичної динамічної системи, зображений на Фіг.8. На Фіг.12б зображена обвідна хаотичних радіоімпульсів, яка виділена шляхом некогерентного прийому (Фіг.10а).

Спосіб передачі інформації за допомогою хаотичних сигналів по дійсному винаходу може бути застосований у техніці зв'язку для підвищення швидкості та перешкодостійкості передачі інформації.

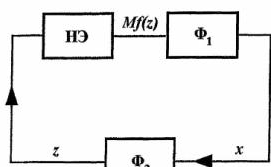
Даний винахід приведений тільки з метою ілюстрації, а не обмеження заявленого способу, обсяг патентних прав якого визначається формулою винаходу, що додається, з урахуванням можливих еквівалентів приведених у ній ознак.



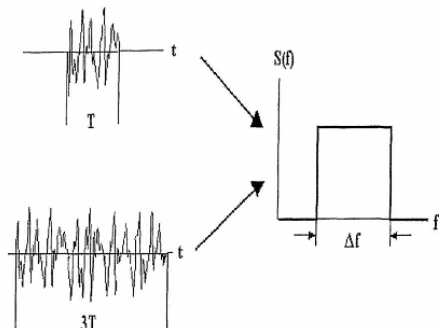
Фіг.1



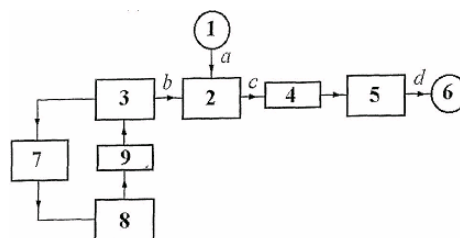
Фіг.2



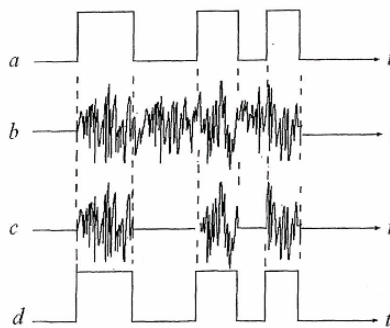
Фіг.3



Фіг.5

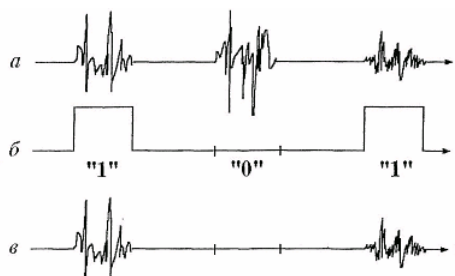


a

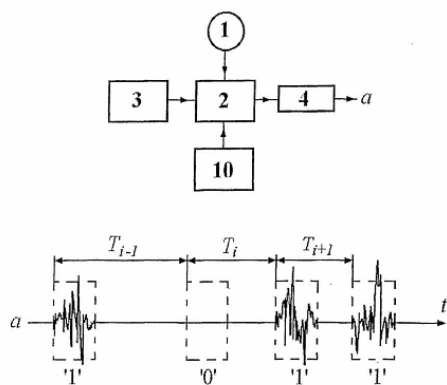


б

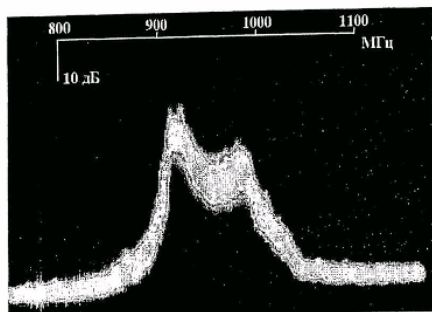
Фіг.4



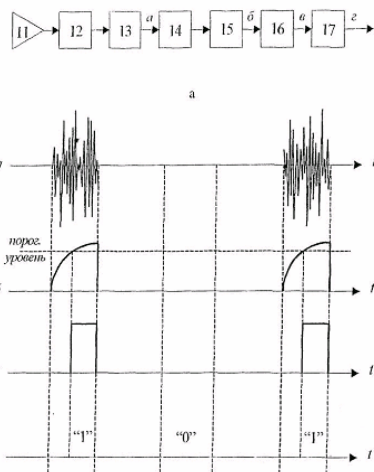
Фіг.6



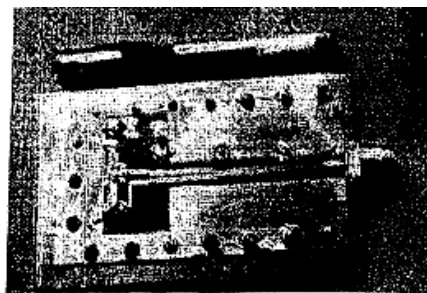
Фиг.7



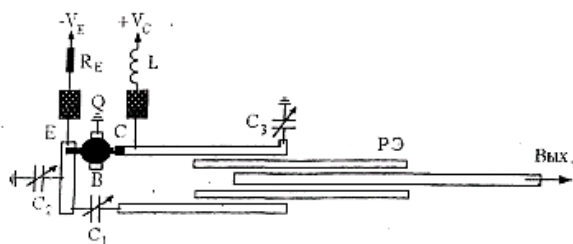
Фиг.9



Фиг.10



а

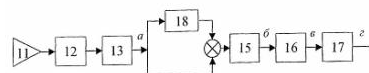


б

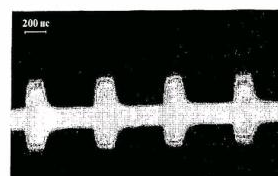


в

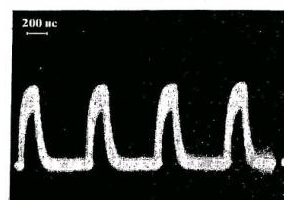
Фиг.8



Фиг.11



а



б

Фиг.12