

УДК 621.391.01

БАГАТО-КОРИСТУВАЛЬНИЦЬКА СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ХАОТИЧНОЇ ЧАСТОТНОЇ МОДУЛЯЦІЇ

В статті розглядається використання хаотичної частотної модуляції (ХЧМ, chaotic frequency modulation – CFM) в багатокористувальницькій комунікації. В даній схемі базова станція посилає сигнал з хаотичною змінною частоти. Користувачі використовують його для генерування їх власного інформаційного ХЧМ сигналу

Ключові слова: хаос, базова станція, аттрактор

В статье рассматривается использование хаотической частотной модуляции (ХЧМ, chaotic frequency modulation - CFM) в многопользовательской коммуникации. В данной схеме базовая станция посылает сигнал с хаотическим изменением частоты. Пользователи используют его для генерирования собственного информационного ХЧМ сигнала

Ключевые слова: хаос, базовая станция, аттрактор

The use of chaotic frequency modulation (chaotic frequency modulation – CFM) in multiuser communication is studied in the article. In the given scheme the base station gives a signal with chaotic frequency variable quantity. Users use this signal to generate their own CFM signal

Key words: chaos, base station, attractor

Л.Ф. Політанський

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: (037) 224-24-36

E-mail: politanskyu@chnu.cv.ua

М.Я. Кушнір

Кандидат фізико-математичних наук, доцент*

Контактний тел.: 050-677-22-02

E-mail: kushnirnik@gmail.com

Р.Л. Політанський

Кандидат фізико-математичних наук, старший викладач

Чернівецький Торговельно-економічний Інститут

Київський Національний Торговельно-економічний

університет

Центральна площа, 7, м. Чернівці, Україна, 58002

Контактний тел.: (037) 226-18-61

E-mail: polyr@mail.ru

О.М. Еліяшів*

Контактний тел.: 063-326-77-60

E-mail: melyart111@ukr.net

О.О. Невельський*

Контактний тел.: 099-208-53-23

E-mail: phoenixcv29@mail.ru

С.В. Величко*

Контактний тел.: 066-660-35-16

E-mail: bencv@mail.ru

*Кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки

Чернівецький національний університет

імені Ю. Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012

1. Вступ

На сучасному етапі розвитку комунікаційних технологій виникає необхідність у створенні нових систем передачі інформації, що володіють високою завадостійкістю і забезпечують високу захищеність. В останні п'ятнадцять років інтенсивно розвивається

напрямок побудови систем зв'язку, в основі яких лежить явище синхронізації генераторів динамічного хаосу [3]. Активне дослідження в цій області було розпочате Пекорою (L.M. Pecora) та Кероллом (T.L. Carroll), які перші представили принцип синхронізації одного хаотичного коливання іншим. Як відомо, динамічним хаосом називають складні неперіодичні коливання,

породжувани нелінійними системами. Дані коливання мають ряд властивостей, що притаманні звичайним випадковим процесам, наприклад, непередбачуваність на великих інтервалах часу. В той же час вид цих коливань повністю визначається параметрами динамічної системи, її початковими умовами. Спочатку ці коливання були отримані як розв'язки динамічних систем, що описують зовсім не радіотехнічні системи, наприклад системи Лоренца або Реслера, що описують хімічні реакції.

В статті розглядається метод, при якому хаотичний генератор використовується для моделювання та реалізації властивостей носіїв ХЧМ. Цей метод узагальнює загальновідомий метод стрибаючої частоти (СЧ, frequency hopping - FH), що широко використовується в сучасних комунікаціях з розширенням спектру. Як правило, в методі СЧ використовується керований дискретний псевдовипадковий стрибаючий код. Зрозуміло, що приймач і передавач повинні працювати з тим самим кодом і підтримувати точну кодову синхронізацію, щоб забезпечувати стійке детектування. Інформація зазвичай кодується як частота відносно номінального сигналу СЧ. Однак дискретна стрибаюча частота може викликати неоптимальну продуктивність роботи системи через спектральні сплески і часові невідповідності між приймачем і передавачем [4].

Розглянемо метод ХЧМ як можливий спосіб реалізувати неперервні зміни частотно-модульованого (ЧМ, FM) носія сигналу. Сигнал від фазової петлі оберненого зв'язку (phase-lock loop - PLL) використовується для синхронізації генератора хаосу в передавачі та генератора хаосу в приймачі. Реалізується стабільність синхронізованого стану і крім того, низька чутливість відносно сигналів завад.

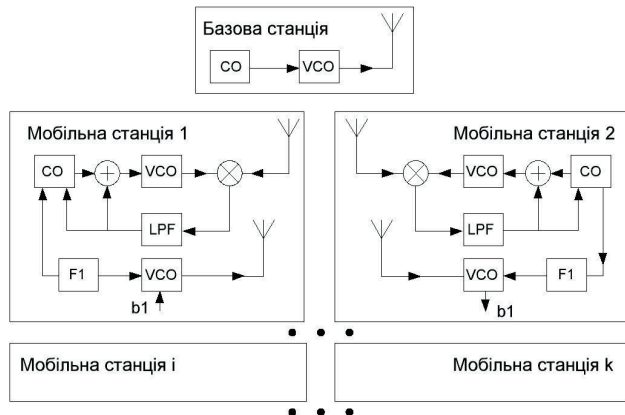


Рис. 1. Блок-діаграма багатокористувальницької ХЧМ комунікації

Розглянемо більш детально метод ХЧМ для багатокористувальницького зв'язку. За основу візьмемо наступну загальну схему (рис.1) [1]. У базовій станції BS (Base station) і у всіх приймачах є генератор хаосу CO (Chaotic oscillator) з близько підібраними значеннями параметрів. Базова станція використовує свій генератор для ХЧМ сигналу, що передається нею до всіх мобільних одиниць.

Кожен приймач отримує цей сигнал і використовує його для синхронізації свого власного генератора з

генератором хаосу базової станції. Якщо всі генератори хаосу в секції синхронізовані то користувач і може передати інформацію до користувача **k**, який використовує цю хаотичну хвилю, щоб виробити власний інформаційно-несучий ХЧМ сигнал. З метою уникнення впливу завад кожен передавач формує власне унікальне перетворення F_i перед генеруванням власної несучої ХЧМ.

Розглянемо перший канал синхронізації. В подальшому позначатимемо змінні, що відповідають основній станції індексом **b** і відповідним мобільним одиницям індексом **u**.

Генератор хаосу основної станції CO_b описується наступним рівнянням.

$$\tau \dot{x}_b = F(x_b), \tag{1}$$

де x - вектор зміни стану, F - нелінійний вектор цільової функції, τ - часова константа генератора хаосу.

Одна із змінних хаотичної системи на базовій станції x_b використовується для управління частотою VCO_b , що генерує відповідний ХЧМ сигнал. Рівняння для миттєвої фази ХЧМ сигналу має наступний вигляд

$$\dot{\phi}_b = \omega_b = \omega_0(1 + m x_b), \tag{2}$$

де ω_0 – власна частота VCO_b , m - коефіцієнт підсилення модуляції.

Миттєва фаза ХЧМ сигналу виробленого VCO_u , тобто ϕ_u описана подібним рівнянням

$$\dot{\phi}_u = \omega_u = \omega_0(1 + m x_u). \tag{3}$$

Сигнал x_u , генерований хаотичним генератором користувача, описаний наступним рівнянням:

$$\tau \dot{x}_u = F(x_u) + a v. \tag{4}$$

Генератор хаосу керується сигналом v від оберненої петлі фази, що є комбінацією дискримінатора фази і низькочастотного фільтра (LPF) і описується рівнянням:

$$T \dot{v} = \Phi(\phi_u - \phi_b) - v, \tag{5}$$

де, $\Phi(x) = \sin(x)$, у випадку що детектор фази ввімкнений як помножувач, а несучі мають синусоїдальну форму хвилі.

Ми припускаємо, що частотний діапазон інформаційної передачі не перекривається з частотним діапазоном сигналів синхронізації, тобто, інформаційний сигнал не перетинається з сигналом синхронізації. Аналіз процесу синхронізації між основною станцією і мобільною одиницею для цього випадку описаний в [5]. Якщо часова константа генераторів хаосу τ є набагато більша, ніж ω_0^{-1} , то має місце діапазон параметрів T , m_b , m_u , для якого синхронізаційний розв'язок рівнянь (1) - (5) є стабільним:

$$\begin{aligned} x_b &= x_u; \\ \phi_u &= \phi_b; \\ v &= 0. \end{aligned} \tag{6}$$

Повернемось до процесу передавання інформації між мобільними одиницями. Як тільки генератори хаосу CO_S мобільних одиниць синхронізуються на генератор хаосу основної станції, вони можуть використовуватись для продукування ХЧМ сигналу для передавання інформації. Фаза інформаційного сигналу, переданого мобільною одиницею i , описується наступним рівнянням:

$$\dot{\phi}_k \equiv \omega_k = \omega_1(1 + m_1 f_1(x_k) + m_3 v_k), \quad (8)$$

$$T \dot{v}_k = \sum_{i=1, i \neq k}^N \Phi(\phi_k - \phi_i) - v_k. \quad (9)$$

У випадку, що тільки i -та одиниця є передавачем ($N=1$), а в каналі немає шуму та спотворень, розв'язки рівнянь (8)-(9) є ідеально синхронізованими, а приймач k може визначити переданий біт b_n без помилок:

$$u_k = m_u^{-1} m_v b_n^i, \quad (10)$$

$$\phi_k - \phi_i = \Phi^{-1} u_k. \quad (11)$$

В багатоканальній системі інші одиниці, крім i , передають сигнал з інформацією в тому ж самому частотному діапазоні біля ω_1 , що може призвести до виникнення сигналу завад в k -тому приймачі, і, як наслідок, до певних бітових помилок.

2. Експеримент та моделювання

Для дослідження нами був обраний генератор хаосу, побудований згідно моделі [2], що описується наступною системою диференціальних рівнянь[2]:

$$\begin{cases} \dot{x} = yz \\ \dot{y} = x - y \\ \dot{z} = 1 - xy \end{cases} \quad (12)$$

Досліджувана система рівнянь була реалізована електронним колом з використанням квадрупольного операційного підсилювача TL084N та двох помножувачів AD633, схема якого приведена на рис. 2. Це коло використовує квадрупольний операційний підсилювач.

Експериментальні і змодельовані хаотичні атрактори даної системи приведені на рис. 3, рис. 4. При комп'ютерному моделюванні генератора хаосу часова константа становила 30ms.

Експериментально досліджувалась система з однією базовою станцією і двома комунікативними одиницями (рис. 1). Схемотехнічне рішення основної станції та мобільних одиниць виконані з використанням стандартної мікросхеми 74НС4046. Номінальна частота f_0 VCO_S становила 1.8 МГц. Зв'язок основної станції та мобільних одиниць виконувався за допомогою провідників.

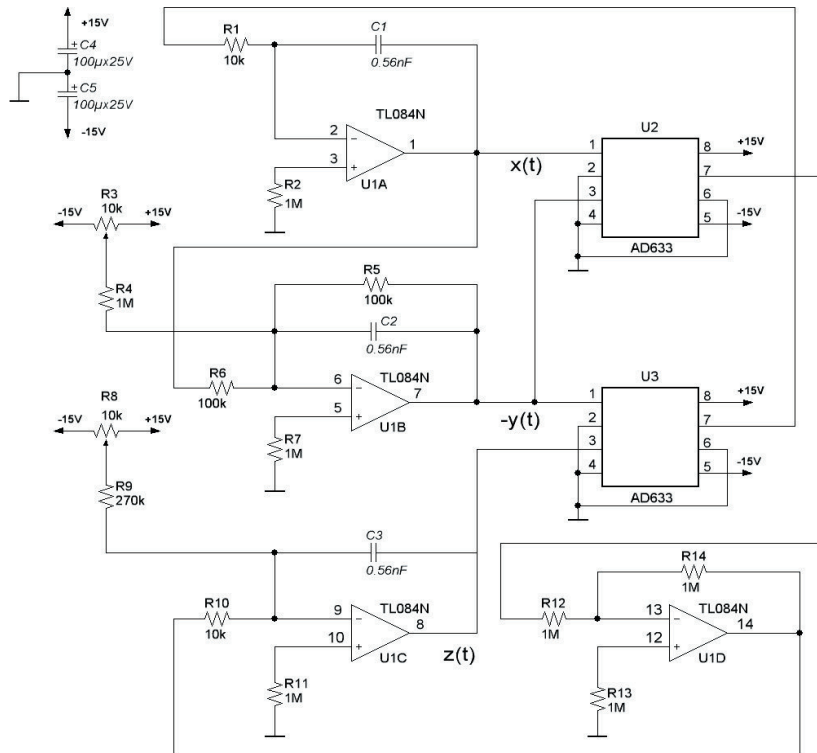
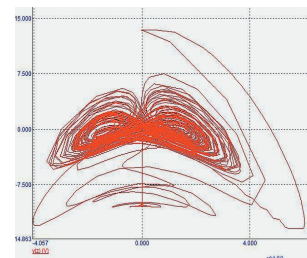
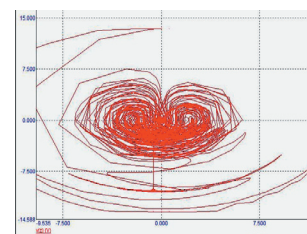


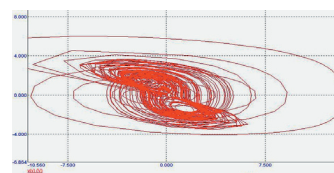
Рис. 2. Схема хаотичного генератора, яка була використана для моделювання та експериментальних досліджень



а)



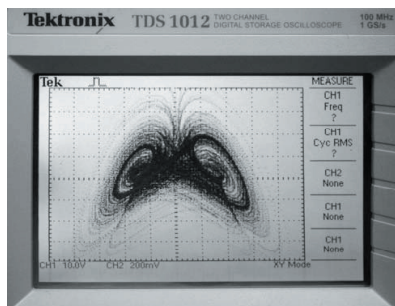
б)



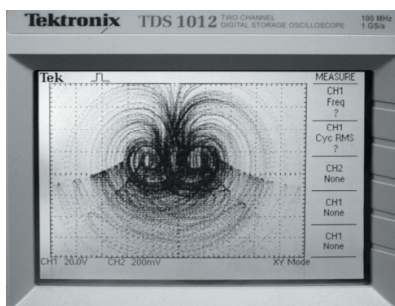
в)

Рис. 3. Хаотичні атрактори генератора хаосу отримані при комп'ютерному моделюванні: а) атрактор в площині ZY, рис б) атрактор в площині ZX, рис в) атрактор в площині XY

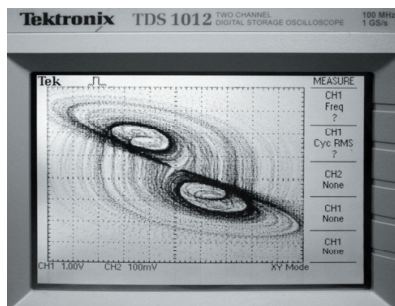
Результати комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень роботи генератора приведені на рис.3 та рис.4 відповідно. Отримані результати вказують на задовільну кореляцію результатів моделювання та експериментальних досліджень.



а)



б)



в)

Рис. 4. Хаотичні аттрактори генератора хаосу отримані при експериментальних дослідженнях: а) аттрактор в площині ZY, б) аттрактор в площині ZX, в) аттрактор в площині XY

3. Висновки

1. В роботі проведений аналіз ХЧМ методу для багатокористувальницької комунікаційної апаратури. Мобільні одиниці синхронізовані основною станцією, яка виробляє ХЧМ сигнал. Всі мобільні одиниці системи синхронізовані з базовою станцією з використанням вихідного сигналу фазової петлі як керуючого сигналу зворотнього зв'язку.

2. Незважаючи на те, що всі одиниці секції використовують один частотний діапазон для передавання інформації, кожна з них продукує власний ХЧМ носій. Запропонований метод забезпечує достатню селективність, надійну роботу багатокористувальної системи та дозволяє ефективно використовувати спектральну смугу пропускання.

3. Експериментальні дослідження та моделювання генератора хаосу в системі MicroCar дають можливість зробити висновок щодо задовільної кореляції отриманих результатів та можливості керування поведінкою хаотичних аттракторів в достатньо широкому діапазоні.

Література

1. R. Volkovskii, S.C.Young, L.S.Tsimring, and N.F.Rulkov "Multi-User Communication using Chaotic Frequency Modulation".
2. J.C.Sprott, «Some simple chaotic flows», Physical Review E, vol. 50(2), pp.R647-650, 1994.
3. L. M. Pecora and T. L. Carroll. Synchronization in chaotic systems. Phys. Rev. Lett., vol.64, pp.821-824, 1990.
4. Дмитриев А. С. Передача сообщений с использованием хаоса и классическая теория информации / А. С. Дмитриев, С. О. Старков // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. - 1998. - С.37-41.
5. A.R.Volkovskii and L.S.Tsimring, 'Synchronization an communication using chaotic frequency modulation», Int. J. Circ. Theor. Appl., vol.27, pp.569-576, 1999.
6. N. M. Filiol, C. Plett, T. Riley, and M. A. Copeland, An Interpolated Frequency-Hopping Spread Spectrum Transceiver», IEEE Trans. Circuits Syst, 45, pp. 3-12, (1998).