

УДК 621.391.01

АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ ХАОТИЧНОГО МАСКУВАННЯ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

В роботі запропоновано схему передавання цифрової інформації з допомогою хаотичного маскування. Визначено значення параметрів керування взаємодіючих систем, при яких встановлюється режим хаотичного синхронного відгуку. Досліджені спектри носійного коливання та сигналу у каналі зв'язку при адитивному додаванні до нього гармонічного сигналу, показані їх часові діаграми. Визначено умови відновлення інформації у передавачі

Ключові слова: хаотичне маскування, цифровий сигнал, гармонічний сигнал, спектр потужності, схема Чуа

В работе предложена схема передачи цифровой информации с помощью хаотической маскировки. Определены значения управляющих параметров взаимодействующих систем, при которых устанавливается режим хаотического синхронного отклика. Исследованы спектры несущих колебания и сигнала в канале связи при аддитивном добавлении к нему гармонического сигнала, показаны их временные диаграммы. Определены условия восстановления информации в передатчике

Ключевые слова: хаотическая маскировка, цифровой сигнал, гармонический сигнал, спектр мощности, схема Чуа

Д. А. Вовчук*

E-mail: dimavovchuk@gmail.com

С. Д. Галюк

Кандидат технічних наук, асистент*

E-mail: galiuk@inbox.ru

Л. Ф. Політанський

Доктор технічних наук, професор*

*Кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки
Чернівецький національний університет
ім. Ю. Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58000

1. Вступ

Детермінований хаос дедалі частіше досліджується з метою використання у телекомунікаційних системах та мережах для прихованого передавання даних. Це обумовлено із тим, що вихідні сигнали динамічних генераторів є неперіодичними, але в силу детермінованості їх стан можна передбачити в будь-який момент часу за допомогою математичної моделі, що представляє собою систему нелінійних диференціальних рівнянь. Чим складнішою є ця система, тим подібнішими є коливання, що вона описує, до випадкових процесів. Спектральні характеристики хаотичних сигналів є подібним до спектральних характеристик кольорового шуму. Це зумовлює високий рівень прихованості та конфідентційності даних, що передаються з їх використанням.

На сьогоднішній день існує досить багато схематехнічних реалізацій генераторів неперервних хаотичних сигналів (схема Чуа, кільцевий генератор, системи Лоренца, Ресслера, Спротта та ін.) [1]. Розроблено велику кількість методів введення інформаційного сигналу в хаотичний (хаотичне маскування, нелінійне підмішування інформаційного сигналу до хаотичного, перемикування хаотичних режимів, модуляція параметрів керування генератора передавання інформаційним сигналом та ін.) [2, 3, 4]. Більшість із названих методів запропоновано для прихованого передавання аналогової інформації [3, 5, 6]. Проте розвиток телекомунікацій та мереж вимагає розро-

блення цифрових систем зв'язку, тому адаптація аналогових хаотичних систем передавання інформації для передавання цифрових сигналів є актуальною задачею.

Метою даної роботи є адаптація системи передавання аналогової інформації з хаотичним адитивним маскуванням для прихованого передавання цифрових сигналів на основі діагностики режиму хаотичного синхронного відгуку веденої системи на синхросигнал ведучої при їх однонаправленому з'єднанні.

2. Хаотичний синхронний відгук веденого генератора

Основною властивістю детермінованих хаотичних систем є можливість встановлення режиму синхронізації чи хаотичного синхронного відгуку між ними [7, 8, 9]. Якість синхронізації/синхронного відгуку залежить від значення параметрів керування систем, що взаємодіють. При певних значеннях цих параметрів, навіть незначне їх розлаштування, призводить до десинхронізації. Присвоївши стану ведучої системи символ «1» («0») для синхронної поведінки ведучої і веденої систем та «0» («1») в протилежному випадку, можна використовувати маніпуляцію режимами роботи веденої системи для передавання цифрової інформації.

Для дослідження явища хаотичного синхронного відгуку в якості ведучого генератора використовувалась схема Чуа, а в якості веденого – її декомпозиція,

суть якої полягає в тому, що при відсутності синхро-сигналу на її вході, ведена система залишається в стані стійкої рівноваги, а при встановленні режиму синхронізації – повторює поведінку ведучої системи [10].

Схема імітаційного моделювання у середовищі MultiSim приведена на рис. 1. У якості параметра керування було вибрано величину опору резисто-

ра R_1 . При $R_1 = 1480$ Ом та при $R_{21} = R_{22}$ вектори станів двох систем є рівними, про що свідчить пря-молінійна залежність V_{C11} від V_{C21} з кутом нахилу 45° (рис. 2а).

При зміні величини опору R_1 на 20 Ом має місце неспівпадання векторів стану взаємодіючих систем (рис. 2б).

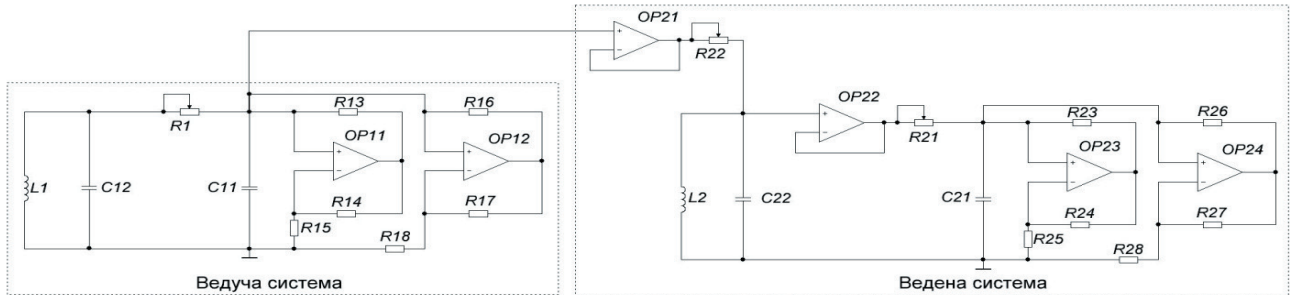


Рис. 1. Схема дослідження хаотичного синхронного відгуку однонаправлено зв'язаних схем Чуа

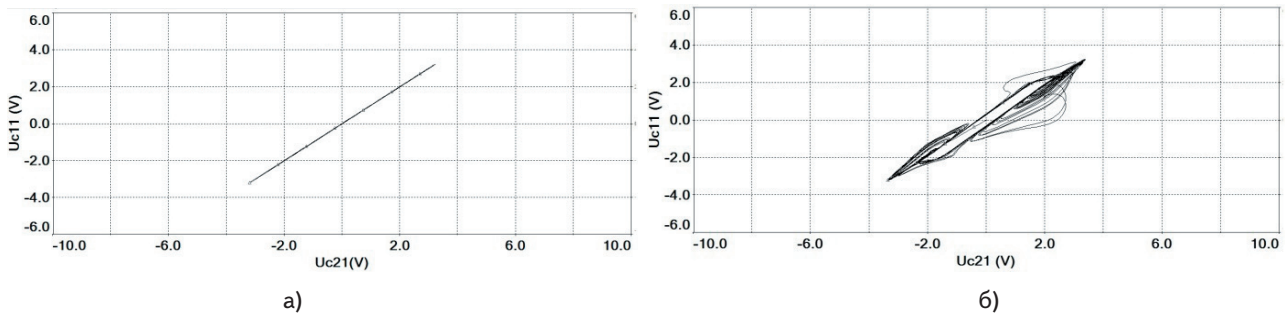


Рис. 2. Залежність амплітуд сигналів V_{C11} та V_{C21} при значенні $R_1 = 1480$ Ом (а) та $R_1 = 1500$ Ом (б) при синхронізації сигналом V_{C11}

3. Схема хаотичного маскуванню інформаційного сигналу для прихованого передавання цифрових даних

У [5] проведено дослідження системи передавання аналогової інформації з її маскуванню, шляхом адитивного додавання інформаційного сигналу до хао-

тичного. В результаті моделювання було встановлено, що при використанні даного методу маскуванню для передавання бінарними бітами (рис. 3а), результуючий сигнал в каналі зв'язку буде подібним до зашумленого цифрового сигналу (рис. 3в), а отже, прихованість інформації буде низькою.

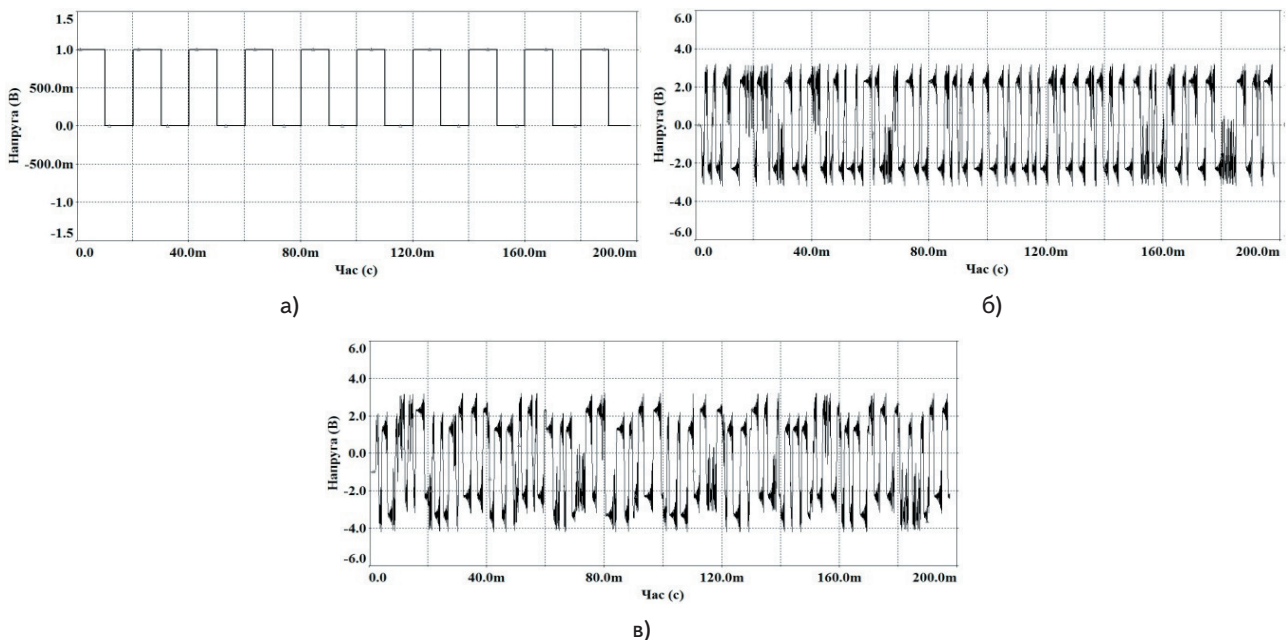


Рис. 3. Залежність амплітуди сигналів від часу при прихованому передаванні інформації з допомогою відомої схеми хаотичного маскуванню: а - інформаційний сигнал; б - сигнал на виході ведучого генератора; в - сигнал у каналі зв'язку

Для підвищення прихованості інформації нами запропоновано попередньо модулювати інформаційний сигнал гармонічним або шумовим чи хаотичним сигналом зі спектром та статистичними характеристиками подібними до спектру носійного хаотичного коливання (рис. 4).

ймача та вихідного сигналу веденого генератора $v(t) = S(t) - u(t)$.

4. Дослідження прихованості гармонічного сигналу при хаотичному маскуванні

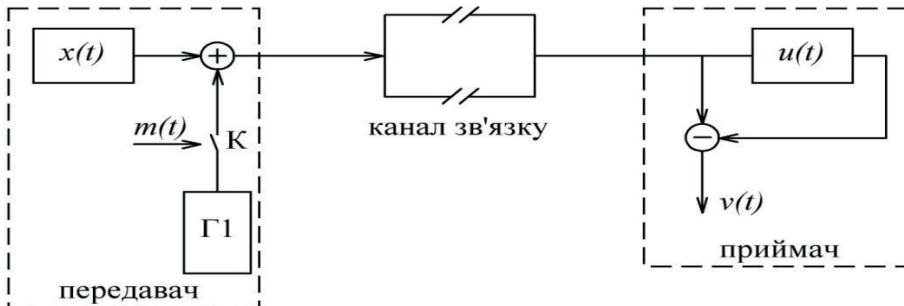


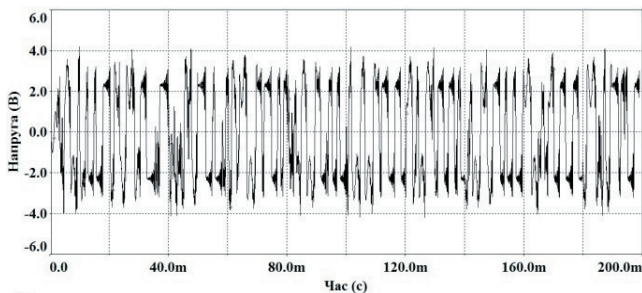
Рис. 4. Цифрова схема прихованого передавання інформації за допомогою хаотичного маскування: $x(t)$ – ведучий генератор; $\Gamma 1$ – генератор гармонічних коливань; $m(t)$ – цифровий інформаційний сигнал; $u(t)$ – ведений генератор; $v(t)$ – відновлений сигнал

В якості генератора $\Gamma 1$ (рис. 4) був вибраний генератор синусоїдальних коливань. На рис. 5 а,б приведені часові діаграми хаотичних сигналів у каналі зв'язку при адитивному додаванні до них гармонічного сигналу амплітудою 1В з частотою 500 Гц та 1 кГц відповідно. В такому разі потужність носійного сигналу перевищує потужність інформаційного на 7,6 дБ. Порівнюючи ці часові діаграми із часовою діаграмою вихідного сигналу ведучого генератора (рис. 3а), амплітуда сигналу зростає до

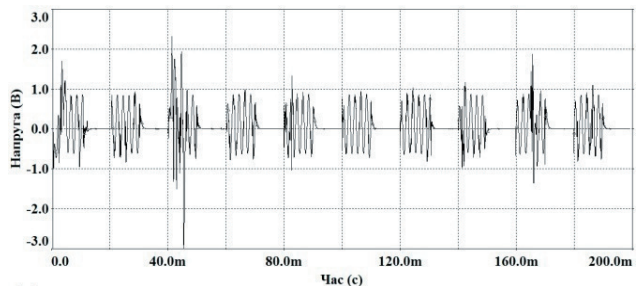
При цьому у випадку значення інформаційного біта «0» (ключ розімкнений) сигнал у каналі зв'язку $S(t)$ дорівнюватиме сигналу на виході ведучого генератора $x(t)$, що зумовлює встановлення синхронного хаотичного відгуку. У випадку значення інформаційного біта «1» (ключ замкнений) сигнал у каналі зв'язку дорівнюватиме $S(t) = x(t) + \Gamma 1(t)$, йому відповідає встановлення режиму десинхронізації. Відновлення корисного сигналу на приймальній стороні здійснюється на основі сигналу десинхронізації, що дорівнює різниці вхідного сигналу при-

4В. При зменшенні амплітуди сигналу така відмінність втрачається. На рис. 5 в,г приведені часові залежності сигналів у каналі зв'язку при значеннях амплітуди інформаційного сигналу 300 мВ і частотою 3 та 5 кГц відповідно, коли потужність носійного сигналу перевищує потужність інформаційного на 18 дБ.

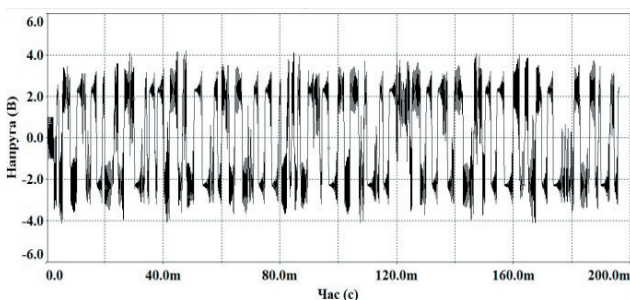
Із часових залежностей відновленого сигналу (рис. 5а1, б1, в1, г1) слідує, що зменшення амплітуди гармонічного сигналу призводить до зменшення часу перехідних процесів при перемиканні станів, що підвищує якість розпізнавання бітів.



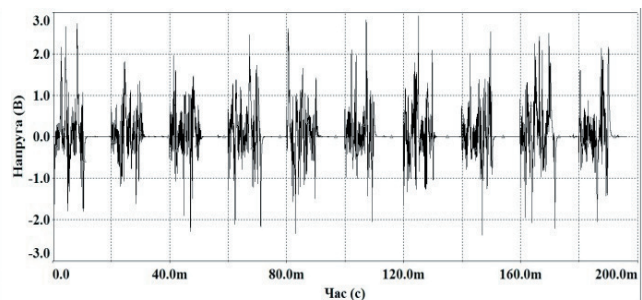
а)



а1)



б)



б1)

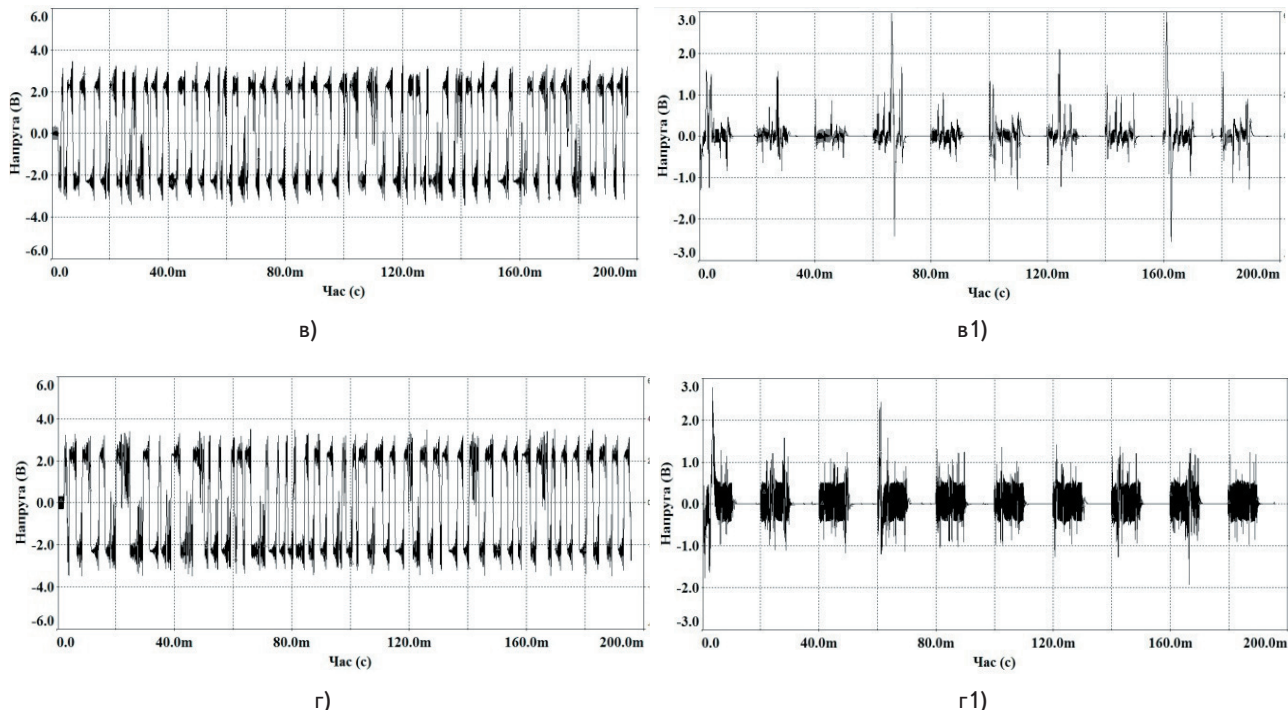


Рис. 5. Залежність амплітуди сигналів у каналі зв'язку від часу при значенні амплітуди гармонічного сигналу 1 В та частоті 500 Гц (а) і 1 кГц (б); при значенні амплітуди 300 мВ та частоті 3 кГц (в) і 5 кГц (г) та часові діаграми відновлених приймальною стороною сигналів (а1, б1, в1, г1) відповідно

Прихованість інформаційного сигналу залежатиме від можливості виявлення гармонічної складової у спектрі носійного колювання (рис. 6а). Ефективна ширина спектру носійного колювання за критерієм 95% потужності становить 4 кГц, тобто частота гармонічного сигналу, що додається, повинна знаходитись в межах спектру хаотичного сигналу. При значенні частоти гармонічного сигналу, що знаходиться поза смугою частот носійного сигналу і дорівнює 5 кГц

та значенні амплітуди 1В у спектрі сигналу $S(t)$ чітко проглядається гармонічна складова (рис. 6г). При зменшенні амплітуди гармонічного сигналу до 300мВ гармонічна складова у спектрі носійного сигналу не проглядається. Якщо частоту генератора Г1 зменшити до 3 кГц, то вона знаходитиметься у межах спектру частот хаотичного сигналу (рис. 6б), але при значенні амплітуди 1В буде також проглядатись.

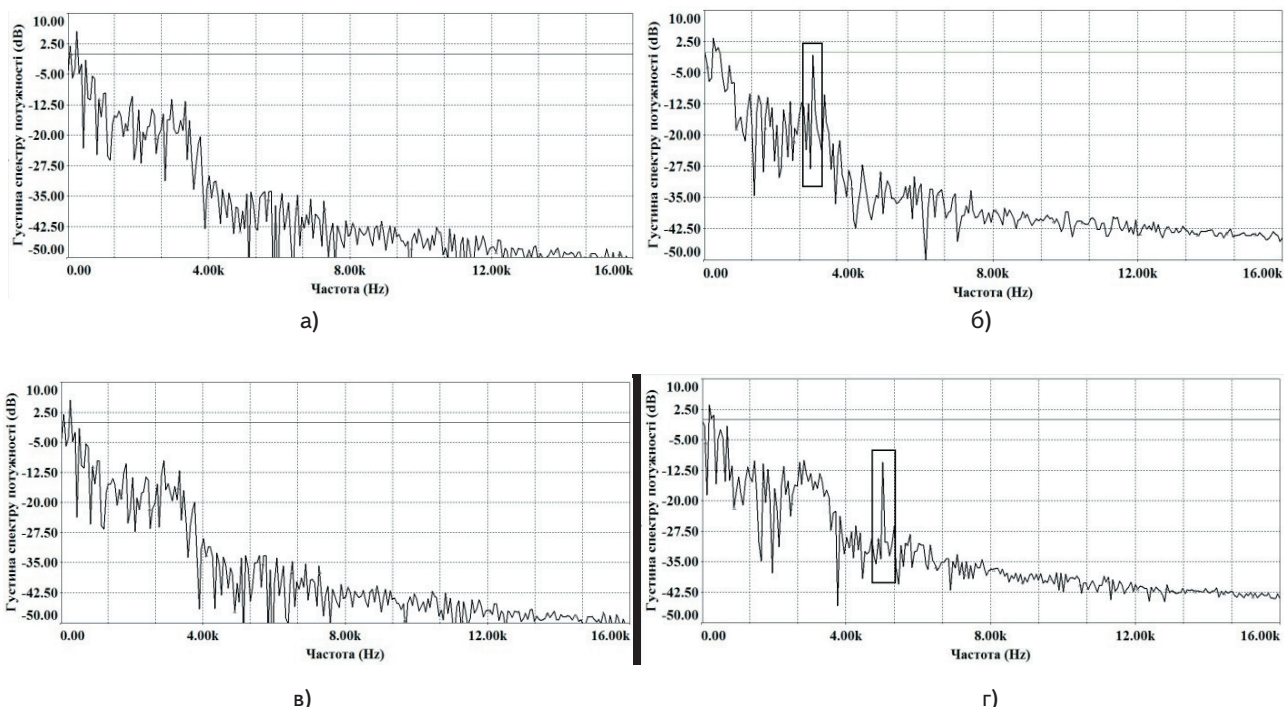


Рис. 6. Спектральні характеристики сигналів на виході ведучого генератора (а), у каналі зв'язку при амплітуді гармонічного сигналу 1В та частотах 3 кГц (б) і 5кГц (г) та при частоті 3 кГц і амплітуді 300 мВ (в)

При зменшенні амплітуди гармонічного сигналу до 300мВ спектри сигналів $x(t)$ та $S(t)$ будуть подібними, а гармонічне колювання буде прихованим у хаотичному (рис. 6в).

Отже, прихованість інформаційного сигналу в каналі зв'язку з хаотичним маскуванням залежить від його частоти та амплітуди. При збільшенні амплітуди гармонічного сигналу його прихованість зменшується. Проте зменшення амплітуди гармонічного сигналу призводить до зменшення потужності сигналу десинхронізації ведучої і веденої систем і, як наслідок, до зменшення завадостійкості передавання інформації в цілому. Таким чином для надійної роботи системи з хаотичним маскуванням необхідний вибір компромісу між значенням хаотичного та гармонічного сигналів.

Для дослідження впливу потужності гармонічного сигналу на значення потужності сигналу десинхронізації проведено математичне моделювання роботи системи в середовищі MatLab.

Аналітично схема на рис. 4 в безрозмірних змінних описується системою нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \alpha(y_1 - x_1 - f(x_1)) \\ \dot{y}_1 = x_1 - y_1 + z_1 \\ \dot{z}_1 = -\beta y_1 \\ \dot{x}_2 = \alpha(y_2 - x_2 - f(x_2)) \\ \dot{y}_2 = x_1 + A \sin(\omega t) - y_2 + z_2 \\ \dot{z}_2 = -\beta y_2 \end{cases}, \quad (1)$$

де $\alpha = 10$; $\beta = 14,6$ – параметри системи; $f(x)$ – нелінійна характеристика; $A \sin(\omega t)$ – сигнал додаткового генератора Г1. Частота колювань ω , що описується в математичній моделі системи, пов'язана з частотою схеми

$$f \text{ Гц} = \frac{\omega}{2\pi RC_2},$$

де $R = 1480 \text{ Ом}$, $C_2 = 100 \text{ нФ}$.

У процесі моделювання змінювалась амплітуда A та частота гармонічного сигналу ω . Сімейство кривих залежності $\frac{P_{\text{ДЕСИН}}}{P_x} \left(\frac{P_{\text{ГАРМ}}}{P_x} \right)$, де $P_{\text{ДЕСИН}} = P_{S(t)} - P_{u(t)}$ – потужність сигналу десинхронізації; P_x – потужність носійного колювання; $P_{\text{ГАРМ}}$ – потужність інформаційного сигналу, приведено на рис. 7. З рисунка видно, що зі збільшенням величини амплітуди інформаційного сигналу зростає значення потужності сигналу десинхронізації. При значеннях частот гармонічного сигналу до 1кГц (на рис. 7 - f_1, f_2, f_3) така залежність є практично лінійною. В досліджуваному діапазоні зміни амплітуди гармонічного сигналу потужність сигналу десинхронізації не перевищувала 20% потужності хаотичного сигналу. Зі збільшенням значення частоти інформаційного сигналу приведена залежність ускладнюється. При частотах близьких до верхньої границі частот хаотичного сигналу $f_7 = 3,2 \text{ кГц}$ при $\frac{P_{\text{ИНФ}}}{P_x} > 0,04$ потужність сигналу десинхронізації практично не залежить від амплітуди гармонічного сигналу і становить 80÷90% потужності хаотичного сигналу. Якщо частота гармонічного сигналу виходить за межі спектру хаотичного сигналу ($f_8 = 5 \text{ кГц}$), то залежність $\frac{P_{\text{ДЕСИН}}}{P_x} \left(\frac{P_{\text{ГАРМ}}}{P_x} \right)$ ускладнюється ще більше, при значенні $\frac{P_{\text{ГАРМ}}}{P_x} > 0,12$ потужність сигналу десинхронізації зростає.

Отже, для підвищення якості відновлення інформації доцільно використовувати гармонічний сигнал з частотою близькою до верхньої частоти хаотичного сигналу.

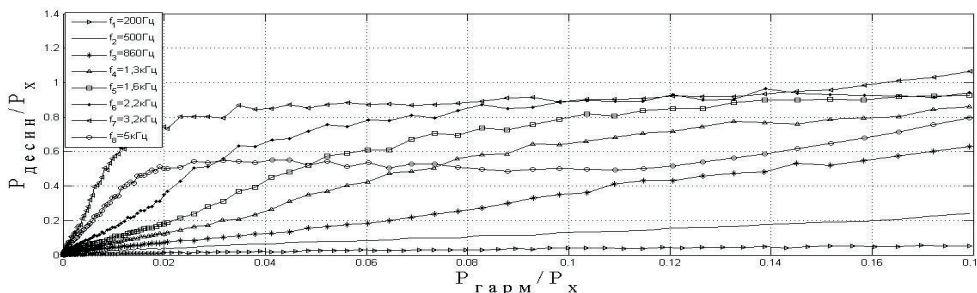


Рис. 7. Залежність нормованої потужності сигналу десинхронізації від нормованої потужності гармонічного сигналу при зміні значень амплітуди та частоти гармонічного сигналу

5. Висновки

Запропонована схема може бути використана для прихованого передавання інформації. Результати схемотехнічного моделювання підтвердили пра-

цездатність системи, а за допомогою математичного моделювання встановлено область значень частоти та амплітуди адитивного гармонічного інформаційного сигналу, в якій можливе відновлення інформації.

Література

1. Владимирский, Э. И. Синергетические методы управления хаотическими системами [Текст] / Владимирский Э. И., Исмаилов Б. И. – Баку, «ELM» 2011. – 240 с.

2. Політанський, Л. Ф. Багатокористувальницька система зв'язку з використанням хаотичної частотної модуляції [Текст] / Л. Ф. Політанський, М. Я. Кушнір, Р. Л. Політанський, О. М. Еліяшів // Східно-Європейський журнал передових технологій – 2010. – № 1/5(43). – С. 44-47.
3. Дмитриев, А. С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи [Текст] / А. С. Дмитриев, А. И. Панас. – М.: Издательство Физико-математической литературы. – 2002. – 252с.
4. Короновский, А. А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации [Текст] / А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов // ЖТФ. – 2009. – т. 179. - № 12. – с. 1282-1310.
5. Иванюк, П. В. Хаотическое маскирование информационных сигналов с использованием генератора на базе системы Лю [Текст] / П. В. Иванюк, Л. Ф. Політанський, О. В. Політанський, О. М. Еліяшів // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – №3. – С. 11-17.
6. Політанський, Л. Ф. Система передавання даних з використанням генераторів хаосу [Текст] / С. Д. Галюк, Л. Ф. Політанський, О. В. Гресь, Р. Л. Політанський // Радиотехника. – 2011. – №164. – С. 66-71.
7. Галюк, С. Д. Особливості синхронізації хаотичних систем (огляд) [Текст] / С. Д. Галюк, Л. Ф. Політанський, М. Я. Кушнір, Р. Л. Політанський // Складні системи і процеси. – 2011. – №2. – С. 3-29.
8. М. Роземблюм, А. Пиковский, Ю. Куртс Синхронизация: Фундаментальное нелинейное явление.
9. Pecora L.M. Synchronization in chaotic systems [Текст] / L. M. Pecora, T. L. Carroll // Phys. Rev. Lett. - 1990. - Vol. 64. - № 8. - P. 821-824.
10. Стасев Ю. В. Інформаційні системи на основі динамічного хаосу [Текст] / Стасев Ю. В., Васюта К. С., Женжера С. В. – Системи озброєння і військова техніка, 2009. – №1(17). – С. 134-138.

Використання широкопasmових сигналів та удосконалених методів їхньої обробки в системах висвітлення підводної обстановки підвищує ефективність роботи ГАС. Досліджений вплив використання накопичення попарних кореляційних функцій з використанням когерентного подавлення перешкода на вихідне відношення сигнал/перешкода «внутрикласного» корелятора мультиплікативної антени ГАС

Ключові слова: гідроакустична станція, сигнал/перешкода, кореляційна функція, фазування, антенна решітка, ЛЧМ-сигнал

Использование широкополосных сигналов и усовершенствованных методов их обработки в системах освещения подводной обстановки повышает эффективность работы ГАС. Исследовано влияние использования накопления попарных корреляционных функций с использованием когерентного подавления помех на выходное отношение сигнал/помеха «внутрикласного» корелятора мультиплікативной антенны ГАС

Ключевые слова: гидроакустическая станция, сигнал/помеха, корреляционная функция, фазирование, антенная решетка, ЛЧМ-сигнал

УДК 621.391.81

ВПЛИВ НАКОПИЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ НА ВИХІДНЕ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ПЕРЕШКОДА «ВНУТРИКЛАСНОГО» КОРЕЛЯТОРА

А. М. Захаров

Старший науковий співробітник
Науково-дослідна лабораторія
наукового центру ВМС

Академія ВМС ім. П.С.Нахімова

вул. Дибенко, 1А, м. Севастополь, Україна,
99028

E-mail: zakharoff_an@rambler.ru

1. Вступ

Для виявлення об'єктів у гідроакустичних системах виявлення, особливо в стаціонарних, широко використовуються активні і пасивні ГАС з багатоканальними антенними решітками (АР). В активній гідролокації компенсація часових затримок між гідрофонами в напрямку огляду простору (фазування АР) звичайно виконується шляхом вирівнювання фронту акустичної хвилі в на-

прямку огляду простору з формуванням вибірки сумарного сигналу, який обробляють у кореляційному пристрої з опорним сигналом. Однак при проходженні зондируючого сигналу через підводне середовище останній набуває значних змін, у тому числі мультиплікативних, в результаті чого статистичний зв'язок між опорним та прийнятим сигналом суттєво зменшується. При цьому дані пристрої знижують свою ефективність та відповідно зменшується відношення сигнал/перешкода на виході корелятора.