

©2011 р. О.В. Гресь, І.Г. Мотовилець, П.М. Шпатар

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці

СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ХАОТИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЮФІНГА

Представлено систему зв'язку на основі хаотичного генератора Дюфінга. Синхронізація передавача і приймача здійснюється з допомогою методу інверсної системи. Інформаційний сигнал передається методом прямої хаотичної модуляції.

Ключові слова: система зв'язку, хаотична модуляція, синхронізація.

Представлена система зв'язку на основі хаотичного генератора Дюфінга. Синхронізація передавача і приймача здійснюється з допомогою методу інверсної системи. Інформаційний сигнал передається методом прямої хаотичної модуляції.

Ключевые слова: система зв'язку, хаотична модуляція, синхронізація.

The article presents a communication system based on chaotic Duffing oscillator. Synchronization of transmitter and receiver by using the method of inverse systems. The information signal is transmitted using a chaotic modulation.

Keywords: communication, chaotic modulation, synchronization.

Вступ

Одним з перспективних напрямків створення джерел ширококутових хаотичних сигналів є дослідження умов хаотизації автоколивальних систем. Існування хаотичних режимів зі складною внутрішньою динамікою у таких системах є чітко установленим фактом, однак, питання вибору виду нелінійності в аналізі впливу її параметрів на властивості хаотичних автоколивальних систем потребують детального вивчення [1]. Отже, основний інтерес при дослідженні автоколивальних систем у режимі генерації динамічного хаосу полягає в розгляді впливу параметрів нелінійного елемента на характеристики автоколивальних режимів.

Важливою проблемою при проектуванні систем зв'язку на основі хаотичних систем є синхронізація передавальної і приймальної частин. Сьогодні відомі три основні методи синхронізації хаотичних систем: синхронізація з розділенням на підсистеми; синхронізація через зворотний зв'язок і синхронізація з допомогою інверсної системи. Остання дає можливість забезпечити режим автосинхронізації при застосуванні хаотичних генераторів Дюфінга.

Метою роботи є дослідження властивостей хаотичного генератора Дюфінга, що може бути використаний для захищеної системи зв'язку.

Результати дослідження

Динамічна система, що генерує хаос – це специфічне джерело повідомлень. Якщо діяти сигналом однієї хаотичної системи на іншу з ідентичними параметрами, то може виникнути синхронізація другої системи по відношенню до першої [2]. Специфіка хаотичного джерела повідомлень заключається в тому, що швидкість генерації інформації в ньому кінцева і при цьому сигнал відображається неперервною множиною значень. Функціональна схема системи зв'язку на основі хаотичного генератора Дюфінга наведена на рис. 1.

У якості хаотичного генератора передавача використано генератор Дюфінга з незалежним збудженням, що описується диференціальним рівнянням [3]:

$$\ddot{x} + 2d\dot{x} + \omega_0 x + x^3 = z(t), \quad (1)$$

або

$$\ddot{x} + 2d\dot{x} + \omega_0 x = -x^3 + z(t). \quad (2)$$

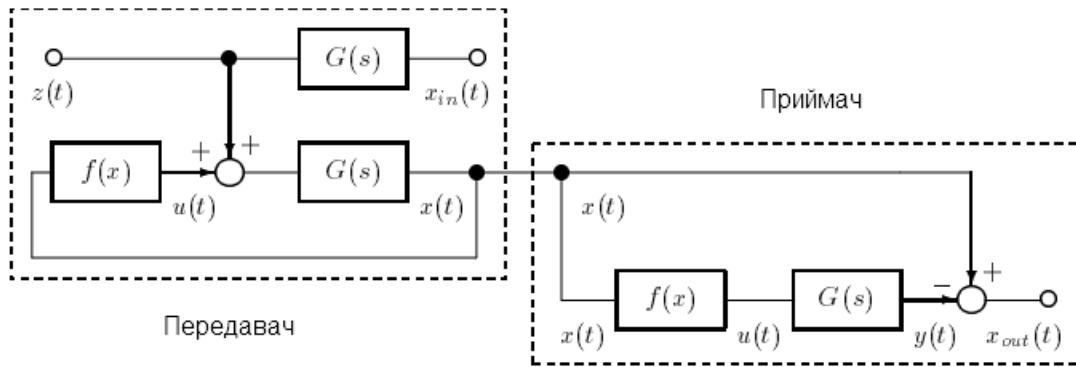


Рис. 1. Функціональна схема системи зв'язку на основі хаотичного генератора Дюфінга.

Передаточна функція $G(s)$ лінійної підсистеми (рис.1) отримується перетворенням рівняння Дюфінга (2), тобто

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 2ds + \omega_0^2}. \quad (3)$$

Із рівняння (3) слідує, що передаточна функція є затухаючим гармонічним осцилятором. Нелінійність рівняння Дюфінга визначається кубічною функцією:

$$f(x) = -x^3. \quad (4)$$

Синусоїдальне збудження генератора Дюфінга описується виразом:

$$z(t) = A \sin(\omega_e t + (\pi/2)i(t)), \quad (5)$$

де $(\pi/2)i(t)$ – зміна фази: $+90^\circ$ при передачі біта $i=1$. При передачі біта $i=0$. $i(t)$ – бінарна інформація, що передається.

Гармонічне коливання $z(t)$ є фазомодульованим. Так як змінюється тільки один параметр (фаза) хаотичного генератора, то для передачі повідомлення використовується метод прямої хаотичної модуляції [2].

Приймальна частина системи є повністю інверсною до передавача. Детальніше покажемо, що отриманий сигнал $x_{out}(t)$ ідентичний сигналу $x_{in}(t)$ передавача. Для цього застосуємо перетворення Лапласа відповідних сигналів, тобто $X(s) = L\{x(t)\}$. Далі позначимо $u(t) = f(x(t))$. Згідно функціональної схеми рис.1, отримаємо:

$$X(s) = G(s)[Z(s) + U(s)] = G(s)Z(s) + G(s)U(s), \quad (6)$$

$$Y(s) = G(s)U(s). \quad (7)$$

При цьому справедливе співвідношення:

$$\begin{aligned} X_{out}(s) &= X(s) - Y(s) = \\ &= G(s)Z(s) + G(s)U(s) - \\ &- G(s)U(s) = G(s)Z(s) = X_{in}(s). \end{aligned} \quad (8)$$

Це означає, що між приймачем і передавачем забезпечується режим постійної синхронізації.

У випадку різних підсистем передавача і приймача, режим синхронізації зберігається, так як передаточна функція $G(s)$ є стійкою.

Згідно функціональної схеми (рис.1), $x_{in}(t)$ визначається формулою (9)

$$\ddot{x}_{in} + 2d\dot{x}_{in} + \omega_0 x_{in} = z(t), \quad (9)$$

а $x(t)$ формулою (10)

$$\ddot{x} + 2d\dot{x} + \omega_0 x = -x^3 + z(t). \quad (10)$$

Відповідні сигнали приймача описуються виразами (11) і (12).

$$\ddot{y} + 2d\dot{y} + \omega_0 y = -y^3, \quad (11)$$

$$x_{out} = x - y. \quad (12)$$

З рівнянь (10) і (11) для вихідного сигналу отримаємо:

$$\ddot{x}_{out} + 2d\dot{x}_{out} + \omega_0 x_{out} = z(t). \quad (13)$$

Для оцінки помилки процесу передачі використаємо вирази (9) і (13) і отримаємо:

$$\ddot{e} + 2d\dot{e} + \omega_0 e = 0, \quad (14)$$

де $e = x_{out} - x_{in}$.

Через те, що генератор Дюфінга є затухаючим гармонічним осцилятором, то для помилки передачі отримаємо:

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} |x_{out}(t) - x_{in}(t)| = 0. \quad (15)$$

Враховуючи співвідношення (14) і (15),

можна визначити параметри синхронізації передавача і приймача.

Для виділення бітової інформації використовуються інверсні фільтри з системами фазового автоматичного підналагоджування частоти (ФАПЧ) [3].

Аналіз результатів комп'ютерного моделювання

На рис.2 наведено реалізацію системи зв'язку в середовищі *Matlab/Simulink*. У якості бінарної інформації $i(t)$ використано послідовність нулів та одиниць, тобто 1,0,1,0,1,0,1,...

Із допомогою двох генераторів синусоїдальних коливань і одного генератора імпульсів здійснюється фазова маніпуляція бітової послідовності. Сигнал $z(t)$ є збу-

джуючим для генератора Дюфінга. Отже, відбувається закриття бітового сигналу. Далі сигнал передається в приймальну систему, де внаслідок самосинхронізації, відбувається відновлення сигналу $x_{in}(t)$.

Завдяки застосуванню інверсного фільтра сигнал $x_{out}(t)$ перетворюється спочатку в зсунутий по фазі сигнал $z_r(t)$. З сигналу $z_r(t)$ за допомогою системи ФАПЧ і релейної системи здійснюється відновлення сигналу $i_r(t)$. Передаточна функція інверсного фільтра є взаємною до рівняння (3) і визначається (16)

$$G_{TR}(s) = \frac{1}{r_1 s + 1}, \quad (16)$$

де $r_1 = 0,1$ с.

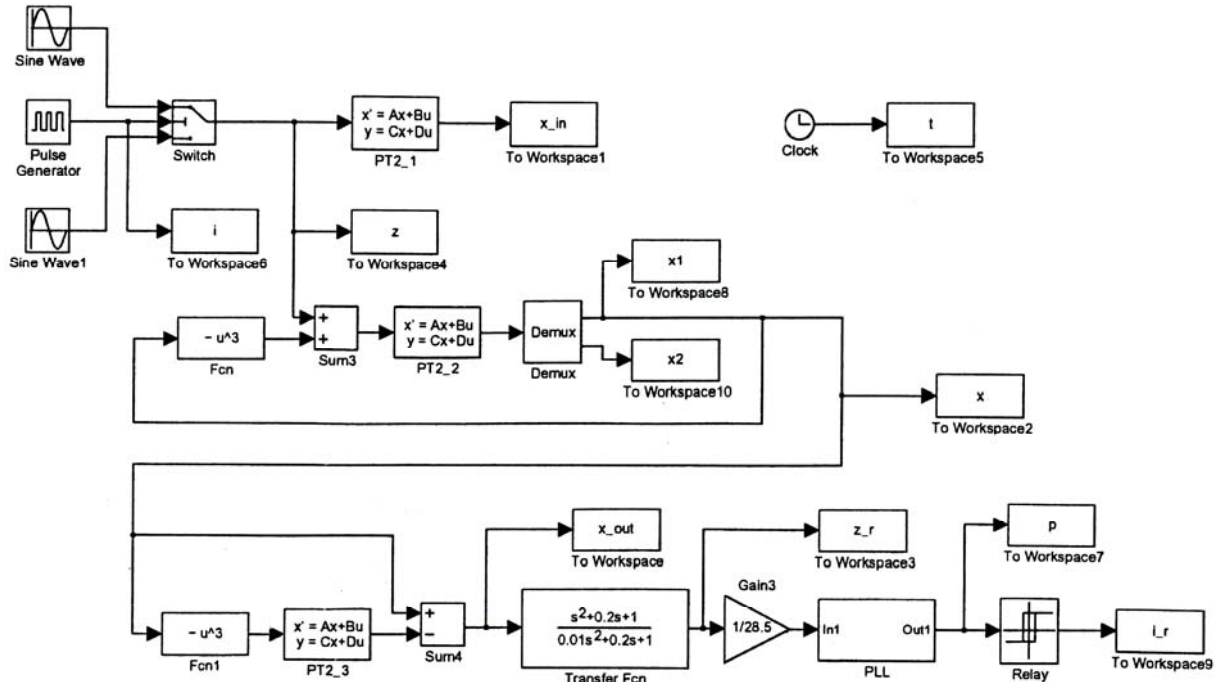


Рис. 2. Моделювання системи зв'язку в середовищі *Matlab/Simulink*.

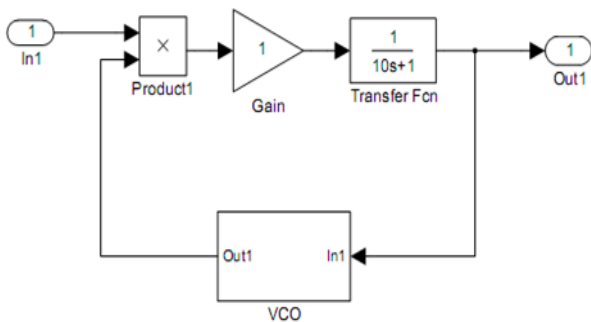


Рис. 3. Блок-схема системи ФАПЧ.

Узагальнена передаточна функція всіх фільтрів визначається співвідношенням

$$G_{IF}(s) = (s^2 + 0,2s + 1) \frac{1}{0,1s + 1} \cdot \frac{1}{0,1s + 1} = \frac{s^2 + 0,2s + 1}{0,01s^2 + 0,2s + 1} \quad (17)$$

Блок-схема системи ФАПЧ приймальної частини наведена на рис.3.

Керований напругою генератор (VCO на рис.3) реалізований на основі гармонічного осцилятора із змінною, що знаходиться за межами власної частоти.

На рис.4 наведені реалізації сигналів згідно схеми моделювання рис.2.

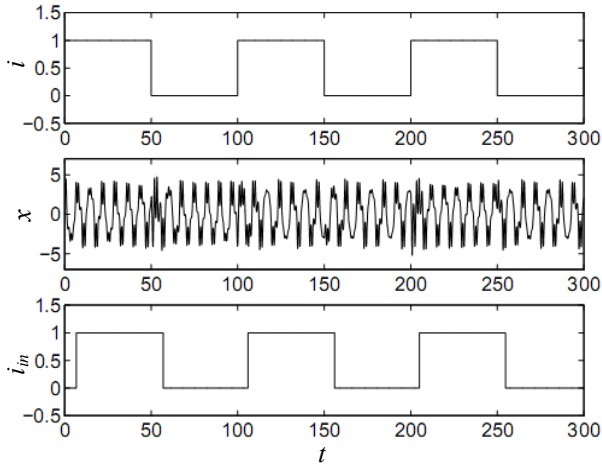


Рис. 4. Сигнали $i(t)$, $x(t)$ і $i_{in}(t)$.

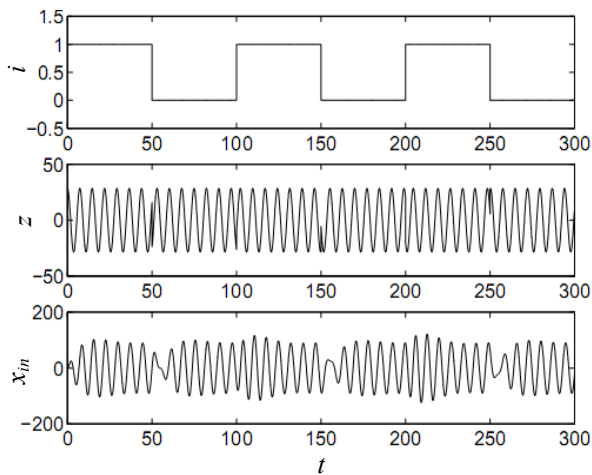


Рис. 5. Сигнали $i(t)$, $z(t)$ і $x_{in}(t)$ передавальної системи.

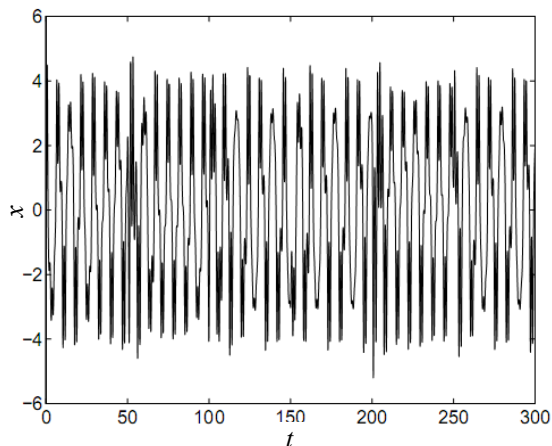


Рис. 6. Хаотичний сигнал $x(t)$.

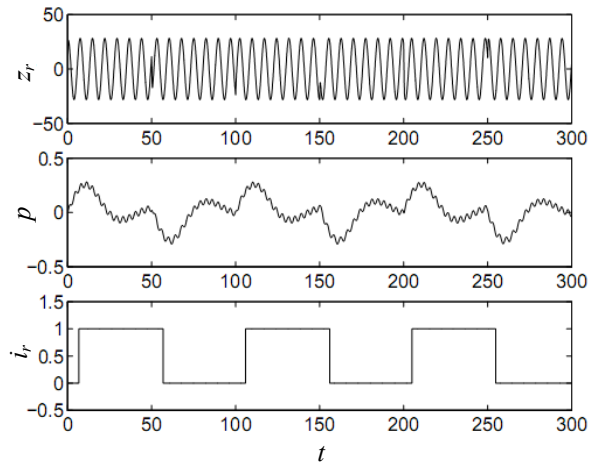


Рис. 7. Сигнали $z_r(t)$, $p(t)$ і $i_r(t)$ приймальної системи.

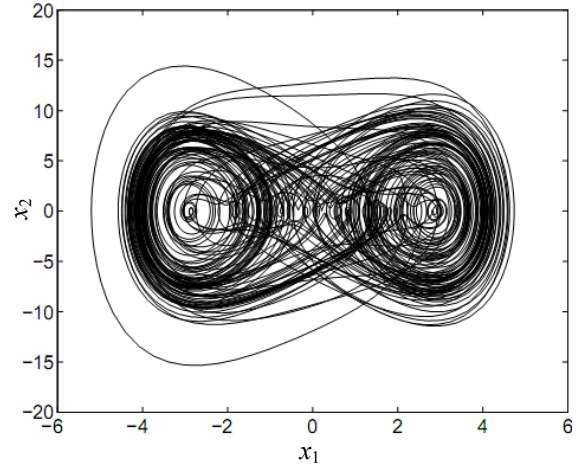


Рис. 8. Фазовий портрет передавальної системи.

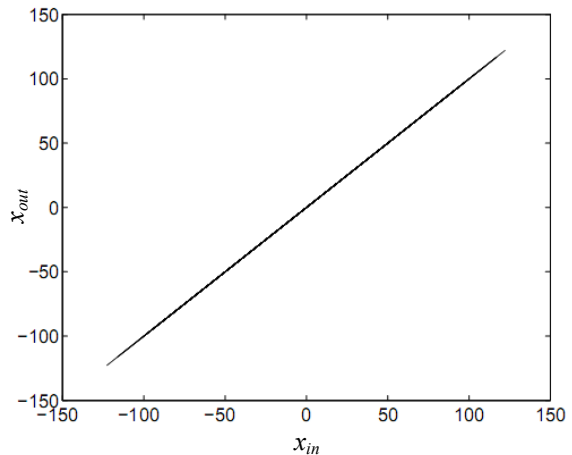


Рис. 9. Залежність вихідного сигналу приймальної системи від вхідного сигналу передавальної системи.

На рис.5 наведено сигнали передавальної частини: $i(t)$ – бінарна інформація, $z(t)$ – фазомодульоване збудження хаотичного генератора Дюфінга, $x_{in}(t)$ – опорний сигнал, в якому відображені стрибкоподібні фазові

переходи сигналу $z(t)$. На рис.6 наведено хаотичний сигнал $x(t)$, що передається по лінії зв'язку в приймальну частину.

На рис.7 зображені сигнали приймальної системи: $z_r(t)$, $p(t)$ – вихідний сигнал системи ФАПЧ і $i_r(t)$.

Із сигналу $p(t)$ з допомогою релейної системи (елемент з гістерезисом) здійснюється відновлення бінарного сигналу $i_r(t) = i(t)$. Характеристики релейної системи (вхід u , вихід v) повинні узгоджуватися з системою ФАПЧ, тобто

$$v = \begin{cases} 1, & \text{якщо} \begin{cases} +0,2 < u \\ -0,2 \leq u \leq +0,2, & v^- = 1 \end{cases} \\ 0, & \text{якщо} \begin{cases} -0,2 \leq u \leq +0,2, & v^- = 0 \\ u < -0,2 \end{cases} \end{cases} \quad (18)$$

де v^- вказує на останній стан перемикачів релейної системи.

На рис.8 наведено фазовий портрет змінних x_1 і x_2 лінійної передавальної підсистеми.

Залежність на рис. 9 вказує на синхронізацію передавальної та приймальної систем.

Висновки

Отримані результати вказують на можливість створення системи передавання інформації з використанням хаотичного генератора Дюфінга. Використання інверсної приймальної частини забезпечує режим постійної синхронізації. Моделювання системи зв'язку в середовищі *Matlab/Simulink* вказує на достовірність відновлення інформаційного сигналу в приймальній системі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Дмитриев А.С., Кислов В.Я.* Стохастические колебания в радиофизике и электронике. – М.: Наука, 1989. – 107 с.
2. *Rosenblum M.G., Pikovsky A., Kurths.* Phase synchronization of chaotic oscillations// Phys. Rev. Lett. – 1996. – 76(11). – P.1804-1807.
3. *Anishchenko V.S., Vadivasova T.E., Strelkova G.I.* Instantaneous phase method in studying chaotic and stochastic oscillations and its limitations // Fluctuation and Noise Letters. – 2004. – 4(1). – P. L219-L229.