

Імітаційна модель для дослідження хаотичної синхронізації нелінійних динамічних систем

Ковбасовська Н.В., Грищенко В. Ю.

Науковий керівник: к.т.н. доц. Пивовар О.С.

Хмельницький національний університет

До недавнього часу в рамках дослідження синхронізації розглядалися в основному процеси взаємного впливу гармонічних осциляторів. Із розвитком теорії динамічного хаосу (ДХ) було знайдено велику кількість нелінійних динамічних систем (НДС) що демонструють хаотичну синхронну поведінку у зв'язаних системах – хаотичну синхронізацію (ХС) [1].

Особливу роль під час дослідження ХС відіграють діючі на систему шуми – стохастичні завади. В класичних системах шум відіграє деструктивну роль та приводить до втрат інформації, а базовий спосіб боротьби з такою завадою – кореляційна обробка. В НДС шум може відігравати не тільки деструктивну, але і конструктивну роль, наприклад, загальний шум може призвести до ХС НДС систем, що слабо взаємодіють між собою. Такий різновид називають ХС, індукованою шумом.

Під час розгляду ХС також вживають термін «хаотичний синхронний відгук», що застосовується для хаотичних осциляторів (ХО) які можуть бути представлені у вигляді кільцевої структури (рисунок 1), де кільце зворотного зв'язку веденого ХО розривається і в певній пропорції додається сигнал ведучого ХО. При цьому виділяють ряд режимів ХС: повну, лаг, узагальнену, частотну, фазову, часткову, масштабування (рисунок 1) [2].

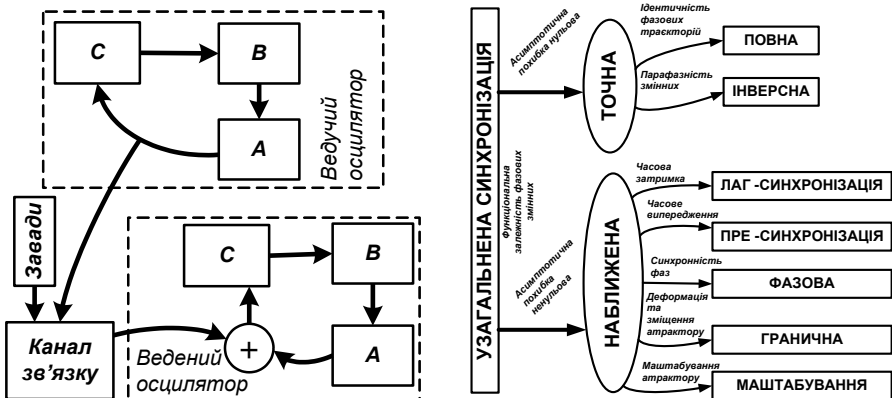


Рисунок 1 – Декомпозиція хаотичних генераторів для отримання хаотичного синхронного відгуку (ліворуч) та класифікаційні ознаки та варіанти узагальної хаотичної синхронізації

Режим узагальненої синхронізації означає, що після завершення перехідних процесів між станами ведучої та веденої НДС в режимі генерації хаотичних сигналів між ними встановлюється певний чіткий аналітичних зв'язок, виявити який іноді досить важко, а іноді зв'язок може бути і фрактальним. Із загальної точки зору всі різновиди ХС зводяться до узагальненої ХС, в залежності від того, в якому аспекті розглядати функціональну залежність між фазовими змінними ведучої та веденої НДС.

Якщо розглядати функцію в узагальненій ХС в аспекті забезпечення асимптотичної точності синхронізації в реальних ділянках часу, то всі різновиди ХС можливо поділити на точні та наближені (рисунок 1). Для практичного втілення найбільш часто застосовують режим повної синхронізації, що забезпечує тотожність змінних ГДХ на обох боках системи (одинична функція зв'язку).

Діагностувати наявність узагальненої ХС можливо способом допоміжної системи [3], імітаційна модель якої розроблена авторами в середовищі Simulink (рисунок 2). Для реалізації такого способу ідентифікації наявності повної ХС між двома ХО застосовують дві НДС із однаковими операторами еволюції та початковими параметрами, що називають веденими ХО із декомпозицією (рисунок 1), сигнал на які від ведучого ХО подається одночасно та в однаковій пропорції із власним сигналом зворотного зв'язку.

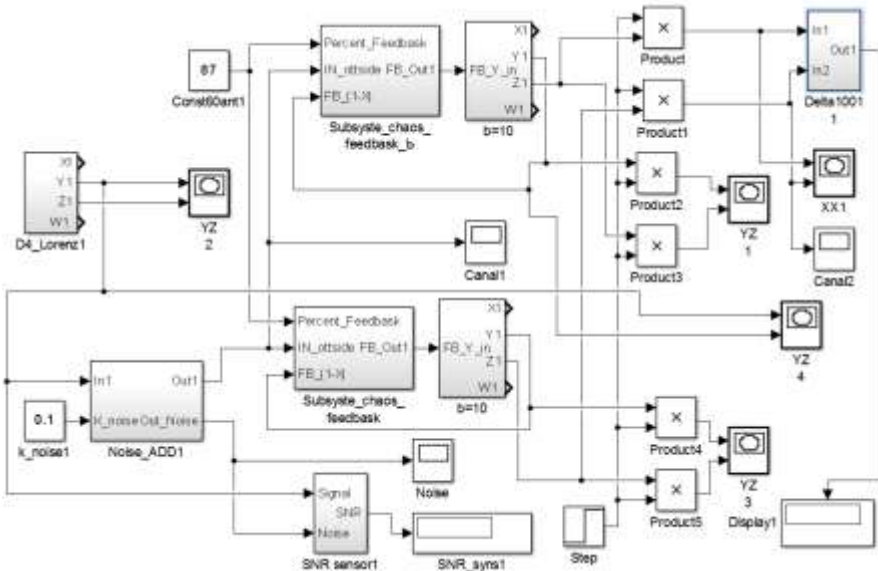


Рисунок 2 - Модель Simulink для дослідження способів хаотичної синхронізації генераторів високої розмірності

З точки зору математичної моделі без впливу шуму, під час запуску динаміки, обидва ведені ХО мають демонструвати ідентичну хаотичну поведінку. На практиці ж ми маємо ситуацію неможливості забезпечення однаковості функціонального опису та початкових параметрів ХО і під час відсутності сигналу синхронізації фазові траєкторії ведених ХО розбігаються, що призводить до декореляції їх часових залежностей.

Для фіксації рівня розбіжності фазових траєкторій можливо застосувати міру [2]: метричної або абсолютної відстані, фазового співпадіння, об'єму атратора, Ляпунова, модифікованої системи, тощо. В переважній більшості в практичних схемах ХС застосовують міру середньоквадратичного відхилення однієї фазової змінної.

Ідентифікація режиму ХС в імітаційній моделі може відбуватись на основі аналізу часового ряду однієї фазової змінної, а синхронізація відбуватись по іншій фазовій змінній. Не виключена можливість також роботи по якійсь одній фазовій змінній, або паралельна як синхронізація та аналіз по декільком фазовим змінним.

Імітаційна модель (рисунок 2) має у своєму складі субмодулі, що забезпечують: формування типу каналу зв'язку, генерацію завад певного типу, вимірювання відношення сигнал-завада, підключення ХО із різними операторами еволюції та використання різних алгоритмів встановлення режиму хаотичної синхронізації.

Розроблена імітаційна модель під час використання дозволила зробити ряд висновків та рекомендацій щодо процесу ХС для НДС, що описуються системою диференційних рівнянь:

1. Чутливість появи ХС до зміни біфуркаційних параметрів різко зростає із зростанням кількості рівнянь в системі від 5% для системи 3-го порядку до 0,1% для системи 4 порядку.
2. Чутливість появи ХС зростає із зростанням порядку нелінійності для НДС із поліноміальною нелінійністю.
3. Поява ХС індукованої шумом для НДС високого порядку різко обмежує можливість застосування методу допоміжної системи для виявлення ХС.
4. Під час використання ХО із великою кількістю біфуркаційних параметрів, найбільш доцільно для встановлення ХС застосовувати одночасну варіацію декількох параметрів.

Перелік посилань

1. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях : монографія / Ю. Я. Бобало, С. Д. Галюк, М. М. Климаш, Р. Л. Політанський; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". – Львів; Дрогобич : Коло, 2015. – 184 с.
2. Boccaletti S. The synchronization of chaotic systems / S. Boccaletti, J. Kurths, G. Osipov, D. L. Valladares, and C. S. Zhou // Physics Report. – 2002. – Vol. 366. – № 1–2. – P. 1–101.