

TỔNG BIÊN TẬP
HÀ DUY KHÁNH

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
ĐẠNG VĂN LONG

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

TS. **ĐỖ HỮU HẢO** (Chủ tịch)
GS,TSKH. **BÀNH TIẾN LONG** (P. Chủ tịch)
TSKH. **PHAN XUÂN DŨNG**
PGS,TS. **HÀ MINH HÙNG**
PGS,TS. **TRƯƠNG VIỆT ANH**
GS,TS. **ĐINH VĂN CHIẾN**
GS,TSKH. **PHẠM VĂN LANG**
GS,TS. **CHU VĂN ĐẠT**
PGS,TS. **TRẦN VĂN HÙNG**
PGS,TS. **ĐÀO QUANG KẾ**
PGS,TS. **NGUYỄN VĂN BÀY**
PGS,TS. **ĐÀO DUY TRUNG**
PGS,TS. **LÊ THU QUÝ**
PGS,TS. **BÙI TRUNG THÀNH**
PGS,TS. **LÊ VĂN ĐIỂM**
GS,TS. **LÊ ANH TUẤN**
GS,TS. **NGUYỄN HỮU LỘC**
PGS,TS. **DƯƠNG VĂN TÀI**
TS. **PHAN ĐĂNG PHONG**
TS. **TẠ NGỌC HẢI**
PGS,TS. **TRẦN NGỌC HIỀN**
PGS,TS. **TRƯƠNG HOÀNH SƠN**
TS. **HỒ TRẦN ANH NGỌC**
TS. **NGÔ TRỌNG BÌNH**
PhD. **MIKE PHÙNG**

THIẾT KẾ MỸ THUẬT
NGÂN GIANG

*Tạp chí Cơ khí Việt Nam:
- In tại Công ty Cổ phần In Khoa học Công nghệ Hà Nội
- Khuôn khổ 20,5cm x 28,5cm
- 396 trang
- Xuất bản mỗi tháng một kỳ
- Giá bán 120.000 đồng/quyển Tạp chí

TẠP CHÍ



ISSN 2615 - 9910 (bản in)
ISSN 2815 - 5505 (online)

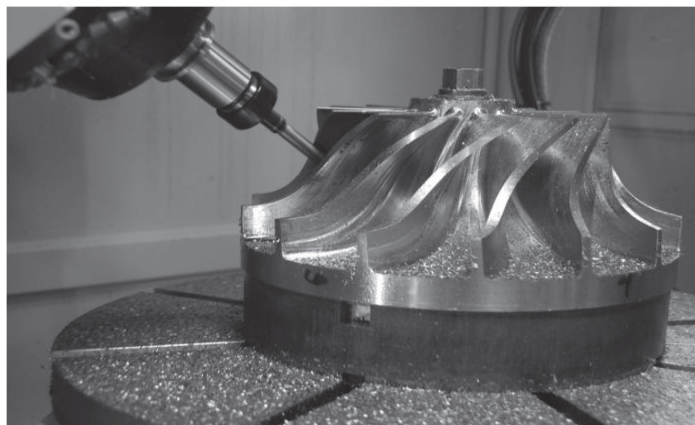
CƠ KHÍ

VIỆT NAM

VIETNAM MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL

CƠ QUAN CỦA TỔNG HỘI CƠ KHÍ VIỆT NAM

• <http://cokhivietnam.vn>



- ❖ Thiết kế khuôn phun ép cho mẫu composite có dùng carbon fiber dạng tấm
- ❖ Nghiên cứu tính toán hiệu suất của loa giảm giạt trên súng đại liên SDL-M24
- ❖ Phân tích ứng dụng hệ thống truyền động khí nén trong lĩnh vực cơ điện tử

Số 331, tháng 8 năm 2025
Tạp chí Cơ khí Việt Nam phát hành ngày 25 tháng 8 năm 2025

TÒA SOẠN TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM

Số 4 Phạm Văn Đồng (trong Viện Nghiên cứu Cơ khí), P. Phú Diễn, TP. Hà Nội

Điện thoại: (024) 3792 0650 **Hotline:** 0985 696 263 - 0982 254 465

Email: tcckvietnam@gmail.com

Website: cokhivietnam.vn

Giấy phép hoạt động Tạp chí in và Tạp chí Điện tử của Bộ Thông tin và Truyền thông
Số 378/GP-BTTTT, ngày 22 tháng 6 năm 2021

Văn bản chấp thuận tăng trang số 1297/BC-QLBC ngày 13 tháng 8 năm 2025 của Cục Báo chí,
Bộ Văn hóa, Thể thao và Du lịch đề xuất bản số 331 tháng 8 năm 2025

Văn phòng đại diện:

1. Tại TP. Hồ Chí Minh:

- PGS,TS. **Bùi Trung Thành**
Phòng T4.0, Nhà T, Trường Đại học Công nghiệp
TP. Hồ Chí Minh
Số 12 Nguyễn Văn Bào, phường Hạnh Thông,
TP. Hồ Chí Minh
Điện thoại: 0913 921 407
Email: tcck tphcm@gmail.com

2. Tại tỉnh Quảng Ninh:

- TS. **Hoàng Minh Thuận**
Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng,
Số 54, khu Liên Phường, phường Yên Tử,
tỉnh Quảng Ninh
Điện thoại: 0904 116 189
Email: minhthuan.tcckvn@gmail.com

3. Tại Thái Nguyên:

- GS,TS. **Vũ Ngọc Pi**
Số 234 tổ Phú Xá 5, phường Tích Lương,
tỉnh Thái Nguyên
Điện thoại: 0974 905 578
Email: vungocpi@tmut.edu.vn

- GS,TS. **Nguyễn Hữu Lộc**
Phòng 205, Nhà B11, Trường Đại học Bách khoa,
Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh,
số 268 Lý Thường Kiệt, phường Diễn Hồng,
TP. Hồ Chí Minh
Điện thoại: 0913 603 264
Email: nhloc@hcmut.edu.vn

Phóng viên thường trú:

1. Tại Hải Phòng:

- Lê Thế Hiệp
Điện thoại: 0913 063 747
Email: daidientcck@gmail.com

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)

NGHIÊN CỨU – TRAO ĐỔI (8 – 389)

1. TS. Trương Công Tiễn , TS. Lê Văn An : Đánh giá độ bền uốn của ống composite bằng lý thuyết phá hủy Tsai-Wu và phương pháp phần tử hữu hạn 3D.....	8
2. TS. Lê Văn An , TS. Trương Công Tiễn : Mô hình hóa hư hỏng theo tiêu chuẩn Hashin của vật liệu tấm hybrid metal/CFRP/metal chịu tải uốn 3 điểm trong môi trường phần tử hữu hạn.....	14
3. ThS. Dương Lê Hùng , ThS. Bùi Chấn Thanh : Tối ưu hóa hướng sợi bằng phương pháp số nhằm nâng cao độ bền uốn của tấm hybrid kim loại/CFRP/kim loại.....	21
4. ThS. Bùi Chấn Thanh , ThS. Dương Lê Hùng : Nghiên cứu số trạng thái uốn 4 điểm tấm hybrid (GB/T700)/CFRP/(GB/T700) sử dụng tiêu chí phá hủy Hashin.....	28
5. Nguyễn Minh Trí : Ứng dụng bộ điều khiển PID cải tiến kết hợp học lặp cho hệ truyền động quay cơ điện thủy lực.....	35
6. Nguyễn Trương Trường Giang , Nguyễn Ngọc Phương , Trần Thanh Thường , Trần Thanh Lam : Thực nghiệm độ bền kéo của mẫu kim loại ép nhiệt.....	41
7. Bùi Thanh Chí Khang , Hồ Ngọc Bốn , Nguyễn Ngọc Phương , Đỗ Văn Đại : Nghiên cứu thiết kế mô hình 3D hàn ống tự động.....	49
8. Bùi Minh Luân , Nguyễn Văn Tú , Huỳnh Đỗ Song Toàn , Vũ Quang Huy : Thiết kế máy uốn ống.....	58
9. Hoàng Trung Kiên , Dương Đăng Danh , Đỗ Văn Hiến , Đỗ Văn Đại : Thiết kế cơ cấu xoay ống cho quá trình tạo ống.....	65
10. Trần Công Hiếu , Nguyễn Hải Hoàn , Đỗ Văn Hiến , Nguyễn Quang Sáng : Thiết kế module đẩy ống cho máy uốn.....	73
11. Phan Hữu Hoàng Ninh , Nguyễn Trọng Hiếu , Trần Quốc Hùng , Nguyễn Trà Kim Quyên : Thiết kế mô hình tạo hình mặt cong bằng phương pháp chấn.....	81
12. Lê Đình Nguyên Huy , Phan Thanh Nhân , Lê Thanh Tùng , Nguyễn Hà : Nghiên cứu chế tạo các mẫu thử độ bền uốn dạng tấm bằng phương pháp in 3D kim loại không bù vật liệu.....	89
13. Huỳnh Trần Minh Chiến , Âu Thị Kim Loan , Hoàng Trọng Nghĩa , Tạ Nguyễn Minh Đức : Thiết kế và chế tạo mẫu thử độ bền kéo của kết cấu dạng lattice.....	98
14. Nguyễn Gia Hưng , Âu Thị Kim Loan , Hoàng Trọng Nghĩa , Tạ Nguyễn Minh Đức : Thử nghiệm độ bền chi tiết chịu biến dạng uốn với các kết cấu dạng lattice.....	107
15. Hoàng Lê Mạnh Tiệp , Nguyễn Đức Tôn , Phạm Quân Anh , Nguyễn Hải Hoàn : Ứng dụng ANSYS CFX trong phân tích phân bố nhiệt độ lòng khuôn âm.....	115
16. Lê Nguyễn Liêm , Trần Ngọc Hào , Âu Thị Kim Loan , Trần Thanh Thường : Mô phỏng phân bố nhiệt của lòng khuôn dương khi dùng hệ thống giải nhiệt dạng lớp (Cooling Layer)...	122
17. Phạm Anh Tú , Võ Minh Tâm : Thiết kế khuôn phun ép cho mẫu composite có dùng carbon fiber dạng tấm.....	129
18. Bành Quốc Nguyên , Trương Phát Đạt : Nghiên cứu tối ưu hóa sản phẩm phun ép nhựa có hỗ trợ nước bằng phần mềm Moldex3D.....	138
19. Phạm Văn Tuấn , Lê Thanh Bình , Lê Xuân Hùng , Trần Đức Việt , Mai Đình Sĩ , Đinh Hoàng Thụy , Trần Văn Nhị , Bùi Quang Toàn : Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống giá súng máy 12,7 mm đa năng kiểu bệ quay.....	144
20. ThS. Nguyễn Thị Thu Hường : Tổng quan ứng dụng công nghệ nano trong dệt may.....	148

21. Nguyễn Văn Cảnh, Ngô Quang Tú: Điều khiển vận tốc in tự thích nghi theo hình học nhằm nâng cao độ chính xác bề mặt trong in 3D FDM.....	155
22. Nguyễn Thanh Tùng: Phân tích uốn tĩnh của tấm composite nhiều lớp trên nền đàn hồi.....	161
23. Cao Hoàng Thông, Trần Thanh Thường, Nguyễn Hà, Huỳnh Quang Duy: Ứng dụng ANSYS trong phân tích kết quả gia nhiệt bằng khí cho lòng khuôn phun ép nhựa.....	168
24. Lê Thái Sơn, Nguyễn Hữu Ngọan: Thiết kế, chế tạo thiết bị gia công lỗ tâm, phục vụ gia công chi tiết dạng trục.....	178
25. Hoàng Thị Kim Dung: Nghiên cứu đặc tính khí động máy bay hai chỗ ngồi.....	182
26. Phạm Trung Kiên, Nguyễn Minh Tiến: Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo giá thử nghiệm động cơ khởi động trên xe xích quân sự hạng trung.....	186
27. Lê Thái Sơn, Lê Phú Cường: Đánh giá chất lượng mối hàn khi hàn ma sát khuấy có hỗ trợ điện áp.....	191
28. Vũ Ngọc Phúc, Bùi Như Nghĩa, Đặng Thái Việt: Chiến lược dẫn đường rô bốt dạng bánh dựa trên giải thuật BIT* và phương pháp học tăng cường.....	196
29. ThS. Nguyễn Thái Sơn, PGS,TS. Nguyễn Chỉ Sáng, PGS,TS. Trần Ngọc Hiền: Nghiên cứu mô phỏng phân bố nhiệt trong công nghệ sản xuất bồi đắp.....	202
30. Hoàng Xuân Lâm: Ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) trong dự đoán ảnh hưởng của lượng chạy dao và tốc độ trục chính đến độ nhám bề mặt khi gia công biên dạng 3D vật liệu nhôm 7075-T6 bằng dao phay cầu trên máy phay CNC.....	209
31. Bùi Mạnh Cường, Dương Thế Tuấn Anh, Nguyễn Bích Ngọc, Vương Anh Tuấn, Phan Văn Trường, Thân Đình Thực, Đặng Minh Chiến, Đỗ Văn Sĩ: So sánh khả năng chống mài mòn của lớp phủ plasma điện phân và lớp mạ crôm trên nền thép dựa trên thực nghiệm.....	215
32. Nguyễn Văn Bình Dương, Phan Hoàng Long, Nguyễn Huy Hùng, Dương Văn Tú, Nguyễn Tấn Tiến: Thiết kế cơ cấu truyền động vây dựa trên cơ cấu bốn khâu không gian....	222
33. Nguyễn Văn Bình Dương, Phan Hoàng Long, Nguyễn Huy Hùng, Dương Văn Tú, Nguyễn Tấn Tiến: Thiết kế và phân tích động lực học cụm màng vây mềm cho robot bơi phỏng sinh học sử dụng chuyển động MPF.....	228
34. Nguyễn Công Nguyên, Lê Thanh Sơn, Phan Hoàng Long, Ngô Nguyên Hồng, Nguyễn Tấn Tiến: Thiết kế và chế tạo máy cuộn lực bình MCLB-2.....	235
35. Phan Hoàng Long, Nguyễn Huy Hùng, Dương Văn Tú, Nguyễn Tấn Tiến: Thiết kế robot bốc xếp kho đặc chủng dùng tay giãn dài và băng tải mô-đun.....	240
36. Vũ Viết Toàn, Lê Thanh Sơn, Phan Hoàng Long, Nguyễn Tấn Tiến: Nghiên cứu cải tiến thiết kế silo chứa nông sản ứng dụng công nghệ bảo quản lạnh.....	247
37. Vũ Viết Toàn, Lê Thanh Sơn, Phan Hoàng Long, Nguyễn Tấn Tiến: Nghiên cứu bảo quản lúa bằng phương pháp thông thoáng lạnh.....	253
38. Hồ Lê Khánh Dy, Nguyễn Hữu Cường Thịnh, Phan Hoàng Long, Nguyễn Tấn Tiến: Thiết kế bộ điều khiển PID và MRAC cho hệ thống waterjet trong USVs cứu hộ.....	259
39. KS. Nguyễn Hoàng Phú, ThS. Mai Văn An, ThS. Tạ Bá Dũng: Nghiên cứu tính toán hiệu suất của loa giảm giạt trên súng đại liên SDL-M24.....	265
40. Phùng Tuấn Anh, Trần Văn Chiến, Nguyễn Trường An, Bùi Công Đoài: Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ tôi cận tới hạn và nhiệt độ ram đến cơ tính và tổ chức tế vi của thép hợp kim thấp 30CrMnSi chế tạo từ sắt xộp.....	270
41. ThS. Bùi Ánh Hưng: Khảo sát vật liệu có bề dày không đồng nhất để tính toán liều chiếu trong quá trình kiểm tra mối hàn.....	278
42. Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Quang Dũng, Nguyễn Văn Khiết: Nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy in 3D resin theo công nghệ LCD.....	283

43. TS. Nguyễn Duy Anh , ThS. Nguyễn Thị Hiếu Thảo : Nghiên cứu tối ưu kiến trúc mạng nơ ron với thuật toán di truyền NSGA-II, ứng dụng trong bài toán dự đoán độ nhám bề mặt sau khi tiện CNC với thép SUM24L.....	291
44. ThS. Nguyễn Tiến Dũng : Ứng dụng thực nghiệm để đánh giá khuyết tật mối hàn thân, vỏ tàu thủy bằng phương pháp siêu âm.....	299
45. Nguyễn Như Hiếu , Phạm Ngọc Chung : Đồng bộ hóa đồng nhất của hệ siêu hỗn loạn bốn chiều sử dụng cách tiếp cận hàm năng lượng Hamiltonian.....	304
46. Phạm Ngọc Chung , Nguyễn Như Hiếu : Một tiêu chuẩn sai số bậc cao tìm nghiệm xấp xỉ cho tần số dao động tự do của hệ phi tuyến có chứa đạo hàm cấp ba.....	311
47. ThS. Hà Trung Tự : Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ bền mỏi động cơ phóng tên lửa A87.....	318
48. TS. Nguyễn Minh Thắng : Nghiên cứu và mô phỏng kiểm tra độ bền ô tô trong trường hợp va chạm xiên bằng phương pháp phần tử hữu hạn.....	322
49. Trần Văn Mạnh : Phân tích giải pháp tối ưu hóa công suất của bộ thu hồi năng lượng piezoelectric xếp lớp tích hợp trên hệ thống treo ô tô.....	329
50. Nguyễn Tiến Dũng : Phân tích ứng dụng hệ thống truyền động khí nén trong lĩnh vực cơ điện tử.....	334
51. Trần Văn Mạnh : Tiềm năng sử dụng nano graphene cải thiện hiệu quả làm việc trong dây chuyền tự động hóa sản xuất ô tô.....	338
52. Trần Quang Phước : Nghiên cứu phát hiện lỗi cho sản phẩm thân nhựa cầu lông dựa trên kỹ thuật Unwarpping.....	344
53. TS. Bùi Văn Phương , TS. Mai Văn Tú , TS. Phạm Quang Hiếu , NCS. Bùi Anh Thức : Nghiên cứu, thiết kế, chế thử liềm phóng động cơ hành trình nhiên liệu rắn cho tên lửa chống tăng.....	352
54. Thái Hoàng Tuyết Nhi , Nguyễn Văn Thành , Dương Công Châu : Ứng dụng mô hình quyết định đa tiêu chí trong lựa chọn công nghệ tái chế chất thải điện tử.....	358
55. Nguyễn Viết Tịnh , Nguyễn Văn Thành , Nguyễn Văn Thuận : Ứng dụng phương pháp CRITIC và TOPSIS trong việc lựa chọn thủy điện xây dựng nhà máy năng lượng mặt trời nổi.....	365
56. Trương Minh Hiếu , Trần Nguyên Duy Phương , Trương Quốc Thanh , Nguyễn Văn Thành , Võ Ngọc Cường : Thiết kế thiết bị hỗ trợ điều trị phục hồi chức năng chi dưới cho bệnh nhân sau đột quỵ não.....	372
57. Tien Dung Nguyen , Ngoc Thai Huynh , Hoang Trong Tran Huy : Hydrodynamic and aerodynamic analysis of offshore wind turbine foundation model using finite element method.....	377
58. Pham Ngoc Thanh , Phung Xuan Son : Vibroacoustic behavior of a clamped double-composite plate filled with an air cavity in thermal environment.....	383

DOANH NGHIỆP – DOANH NHÂN (390 – 392)

- LILAMA 10 tiếp tục khẳng định bản lĩnh và năng lực tại Dự án Thủy điện Hòa Bình mở rộng.....	390
--	-----

ĐỒNG BỘ HÓA ĐỒNG NHẤT CỦA HỆ SIÊU HỖN LOẠN BỐN CHIỀU SỬ DỤNG CÁCH TIẾP CẬN HÀM NĂNG LƯỢNG HAMILTONIAN

IDENTICAL SYNCHRONIZATION OF 4D HYPERCHAOTIC SYSTEMS USING THE HAMILTONIAN ENERGY FUNCTION APPROACH

Nguyễn Như Hiếu^{1,*}, Phạm Ngọc Chung²

¹Khoa Cơ khí - Cơ điện tử, Trường Kỹ thuật Phenikaa, Đại học Phenikaa

²Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất

Email: hieu.nguyennhu@phenikaa-uni.edu.vn;
phamngocchung@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Đồng bộ hóa của hai hệ động lực là quá trình mà ở đó cả hai hệ điều chỉnh trạng thái sao cho chúng có tương quan chặt chẽ với nhau hoặc trở nên có ứng xử giống nhau theo một cách nào đó. Đối với hệ có chuyển động hỗn loạn thường nhạy cảm với điều kiện đầu và do đó ứng xử rất khác nhau với các điều kiện đầu khác nhau, điều đó làm cho chúng tưởng như là không thể đồng bộ hóa. Sự thực là việc đồng bộ hóa hai hệ hỗn loạn là có thể nhưng việc lựa chọn tham số đồng bộ là một trong những khó khăn chính. Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng cách tiếp cận dựa trên hàm năng lượng Hamiltonian để khảo sát sự đồng bộ hóa của hai hệ đồng nhất, tức hai hệ có dạng trường vận tốc giống nhau nhưng khác trạng thái. Hệ được lựa chọn là một hệ Lorenz bốn chiều có đặc điểm chuyển động siêu hỗn loạn, một mức hỗn loạn cao hơn so với hệ Lorenz ba chiều đã biết. Các khảo sát số được tiến hành để khẳng định tính hiệu quả của các tín hiệu đồng bộ hóa.

Từ khóa: Hệ siêu hỗn loạn; Đồng bộ hóa; Năng lượng Hamiltonian; Quỹ đạo pha.

ABSTRACT

Synchronization of two dynamical systems is a process by which both systems adjust their states so that they are closely correlated or become similar in some way. Chaotic systems are often sensitive to initial conditions and therefore behave very differently for different initial conditions, which makes them seem impossible to synchronize. In fact, synchronization of two chaotic systems is possible, but the choice of synchronization parameters is one of the main difficulties. In this study, the authors use a Hamiltonian-based approach to investigate the synchronization of two homogeneous systems, i.e. two systems with the same form of velocity field but different states. The chosen system is a four-dimensional Lorenz system characterized by hyperchaotic motion, a higher level of chaos than the known three-dimensional Lorenz system. Numerical investigations are conducted to confirm the effectiveness of the synchronization signals.

Keywords: Hyperchaotic system; Synchronization; Hamiltonian energy; Phase portrait.

1. GIỚI THIỆU

Đồng bộ hóa của các hệ có chuyển động hỗn loạn là một nội dung hấp dẫn các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực động lực học của các hệ phi tuyến và nhiều lĩnh vực khác, có ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật và công nghệ như truyền thông bảo mật, các hệ cảm biến, các hệ cơ sinh học, robotics và điều khiển [1, 2]. Có một số kiểu đồng bộ hóa phổ biến như đồng bộ hóa đồng nhất, đồng bộ hóa trễ thời gian, đồng bộ hóa pha, đồng bộ hóa tổng quát hóa [3]. Đối với đồng bộ hóa đồng nhất, hai hệ đồng bộ hóa có cùng một dạng biểu diễn véc tơ trường được liên kết với nhau thông qua một số hạng phản hồi tuyến tính hoặc phi tuyến. Đồng bộ hóa trễ thời gian là loại đồng bộ mà hai hệ liên kết với nhau đạt được sự đồng bộ hóa với một khoảng trễ thời gian giữa chúng. Nó có thể xuất hiện trong các ứng dụng truyền tín hiệu qua kênh có độ trễ, trong đó bên nhận tín hiệu (hệ đáp ứng) sẽ bị trễ thời gian so với bên phát tín hiệu (hệ dẫn dắt). Đồng bộ hóa pha là dạng đồng bộ hai hệ mà ở đó chỉ có pha được đồng bộ còn biên độ có thể không nhất thiết giống nhau. Trong các hệ hỗn loạn, tín hiệu thường không có tính chất tuần hoàn và do đó đồng bộ hóa pha cần sử dụng các kỹ thuật đặc biệt [4]. Ở dạng tổng quát trong bài toán đồng bộ hóa, người ta có thể đưa vào các tiêu chuẩn đồng bộ mà ở đó quan hệ giữa hệ dẫn dắt và hệ đồng bộ (bị dẫn dắt) có thể có liên kết với nhau thông qua một biểu diễn hàm [5]. Trong nghiên cứu này, các tác giả tập trung vào vấn đề đồng bộ hóa đồng nhất của hai hệ đồng nhất bốn chiều có chuyển động hỗn loạn. Hai hệ này có cùng dạng biểu diễn trường nhưng có liên kết tuyến tính với nhau. Hệ có chuyển động hỗn loạn có đặc trưng số mũ Lyapunov mang dấu dương. Đối với các hệ có nhiều hơn một số mũ Lyapunov dương, tức là tối thiểu hai số mũ Lyapunov dương được gọi với cái tên siêu hỗn loạn [6]. Các hệ siêu

hỗn loạn có số chiều lớn hơn hoặc bằng bốn. Việc đồng bộ hóa các hệ hỗn loạn ba chiều đã được nghiên cứu trong nhiều tài liệu. Tuy nhiên, đối với các hệ siêu hỗn loạn, việc đồng bộ hóa cũng được quan tâm nghiên cứu. Trong nghiên cứu của Peng và đồng nghiệp [7], hai hệ đồng nhất có chuyển động hỗn loạn được đồng bộ hóa sử dụng một kỹ thuật chọn ma trận trong cấu trúc liên kết giữa hai hệ. Các hệ siêu hỗn loạn còn có thể đạt được đồng bộ hóa trong một nghiên cứu thực nghiệm trên mạch điện được thực hiện bởi Tamasevicius và đồng nghiệp [8]. Tiềm năng của hệ nhiều chiều nói chung và hệ bốn chiều nói riêng, có tính chất chuyển động hỗn loạn là rất lớn trong các ứng dụng kỹ thuật [1, 2, 4]. Một điểm khó khăn trong đồng bộ hóa hệ lớn hơn 3 chiều nằm ở số chiều lớn, dẫn đến tính chất hỗn loạn mạnh hơn so với hệ ba chiều. Điều đó dẫn đến lựa chọn miền hợp lý của tham số liên kết đảm bảo sự đồng bộ hóa là tương đối khó. Trong nghiên cứu này, các tác giả đề xuất xây dựng một phương pháp đồng bộ hóa đồng nhất dựa trên khái niệm năng lượng Hamiltonian cho một hệ siêu hỗn loạn bốn chiều. Đây là cách tiếp cận cho phép tìm miền tham số của hệ số liên kết để hai hệ đồng bộ hóa một cách hiệu quả.

2. THIẾT LẬP ĐỒNG BỘ HÓA ĐỒNG NHẤT CỦA HỆ NHIỀU CHIỀU

Ta xét hệ ô-tô-nôm nhiều chiều tổng quát hóa có dạng sau:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{f}(\mathbf{X}) \quad (1)$$

Trong đó, $\mathbf{X} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T \in \mathbf{R}^n$ là véc tơ trạng thái phụ thuộc thời gian t , $\mathbf{f}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$ là một hàm trơn, phi tuyến n chiều và chỉ phụ thuộc vào véc tơ trạng thái $\mathbf{X}$. Véc tơ $\mathbf{f}$ có ý nghĩa như một trường vận tốc của hệ. Người ta đã chỉ ra rằng, với hệ ô-tô-nôm (1), tồn tại một hàm vô hướng $H = H(\mathbf{X})$ phụ thuộc biến trạng 

thái, gọi là hàm năng lượng Hamiltonian sao cho:

$$\dot{H} = \nabla H^T(\mathbf{X})\mathbf{f}_d(\mathbf{X}) \quad (2.1)$$

$$\nabla H^T(\mathbf{X})\mathbf{f}_c(\mathbf{X}) = 0 \quad (2.2)$$

Trong đó, theo định lý Hemholtz [9], trường véc tơ $\mathbf{f}$ có thể được tách thành hai trường véc tơ $\mathbf{f}_c$ và $\mathbf{f}_d$ với $\mathbf{f}_c = \mathbf{f}_c(\mathbf{X})$ được gọi là trường tự do đối với độ phân kỳ (divergence), tức là không đóng góp vào độ phân kỳ của hệ, còn $\mathbf{f}_d = \mathbf{f}_d(\mathbf{X})$ là trường gradient mang theo toàn bộ độ phân kỳ của hệ. Hệ (1) được gọi là hệ dẫn dắt, là một hệ độc lập, và đầu ra của nó có tác động đến một hệ khác được gọi là hệ đồng bộ hóa, hay hệ bị dẫn dắt. Nếu hai hệ này có dạng trường véc tơ giống nhau, ta gọi là đồng bộ hóa đồng nhất. Giả sử hệ đồng bộ hóa đồng nhất của hệ dẫn dắt (1) có dạng sau đây:

$$\dot{\mathbf{Y}} = \mathbf{f}(\mathbf{Y}) + \mathbf{K}(\mathbf{X} - \mathbf{Y}) \quad (3)$$

Trong đó, ma trận $\mathbf{K}$ được gọi là ma trận liên kết, còn gọi là ma trận phản hồi, chứa các tham số hằng số. Trong nhiều tình huống ma trận $\mathbf{K}$ có thể được lấy là một ma trận đường chéo mà các phần tử của nó là bằng nhau và bằng γ . Gọi $P(\gamma)$ là hàm chi phí năng lượng trung bình để duy trì mức độ đồng bộ hóa của hệ động lực. Mức độ đồng bộ hóa đạt được nếu chuẩn sai số $\|\mathbf{X} - \mathbf{Y}\|$ tiến dần về 0 khi thời gian đủ lớn. Hàm $P(\gamma)$ được xác định như sau [9]:

$$P(\gamma) = -\langle \nabla H^T(\mathbf{X})\mathbf{f}_d(\mathbf{X}) \rangle \quad (4)$$

Trong đó, $\langle \cdot \rangle$ ký hiệu trung bình theo thời gian của hàm. Trong phần sau, ta sẽ sử dụng cách tiếp cận dựa trên hàm năng lượng Hamiltonian ở trên để đồng bộ hóa một hệ bốn chiều, gọi là hệ Lorenz bốn chiều.

3. ĐỒNG BỘ HÓA HỆ LORENZ BỐN CHIỀU DỰA TRÊN HÀM NĂNG LƯỢNG HAMILTONIAN

Xét hệ Lorenz bốn chiều [10], sau đây được chọn là hệ dẫn dắt với biến trạng thái $\mathbf{X} = [x \ y \ z \ w]^T$:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= a(y - x) \\ \dot{y} &= bx - cy - xz + w \\ \dot{z} &= -dz + xy \\ \dot{w} &= -ky - rw \end{aligned} \quad (5)$$

và hệ đồng bộ hóa hay hệ bị dẫn dắt với biến trạng thái $\mathbf{Y} = [x_r \ y_r \ z_r \ w_r]^T$:

$$\begin{aligned} \dot{x}_r &= a(y_r - x_r) + \gamma(x - x_r) \\ \dot{y}_r &= bx_r - cy_r - x_r z_r + w_r + \gamma(y - y_r) \\ \dot{z}_r &= -dz_r + x_r y_r + \gamma(z - z_r) \\ \dot{w}_r &= -ky_r - rw_r + \gamma(w - w_r) \end{aligned} \quad (6)$$

Từ biểu diễn của trường véc tơ, ta có thể chọn các phần tử lấy toàn bộ độ phân kỳ của hệ để thiết lập hàm $\mathbf{f}_d$, tức là ta sẽ chọn ra các số hạng làm cho phân kỳ khác 0 trong từng thành phần của trường. Cụ thể, các thành phần sau được chọn: $[-ax, -cy, -dz, -rw]^T$ có độ phân kỳ tương ứng là tổng của các đạo hàm riêng của từng thành phần của trường theo các biến x, y, z, w tương ứng:

$$\text{div}(\mathbf{f}) = \partial f_1 / \partial x + \partial f_2 / \partial y + \partial f_3 / \partial z + \partial f_4 / \partial w = -a - c - d - r;$$

các phần tử còn lại của trường sẽ thiết lập hàm $\mathbf{f}_c$ là tự do đối với độ phân kỳ:

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_c &= [ay \quad bx - xz + w \quad xy \quad -ky]^T \\ \mathbf{f}_d &= [-ax \quad -cy \quad -dz \quad -rw]^T \end{aligned} \quad (7)$$

Phương trình để xác định hàm Hamiltonian H được tìm dựa vào phương trình (2.2):

$$ay \frac{\partial H}{\partial x} + (bx - xz + w) \frac{\partial H}{\partial y} + xy \frac{\partial H}{\partial z} + (-ky) \frac{\partial H}{\partial w} = 0 \quad (8)$$

Nghiệm H thu được từ (8) có dạng sau đây:

$$H = \frac{1}{2} \left(-\frac{b}{a} x^2 + y^2 + z^2 + \frac{1}{k} w^2 \right) \quad (9)$$

Đạo hàm của hàm năng lượng H dọc theo quỹ đạo của hệ dẫn dắt được tìm là:

$$\dot{H} = bx^2 - cy^2 - dz^2 - \frac{r}{k} w^2 \quad (10)$$

Hàm năng lượng H_r của hệ đồng bộ hóa thu được bằng cách thay véc tơ $X = [x \ y \ z \ w]^T$ bởi véc tơ $Y = [x_r \ y_r \ z_r \ w_r]^T$, tức là:

$$H_r = \frac{1}{2} \left(-\frac{b}{a} x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 + \frac{1}{k} w_r^2 \right) \quad (11)$$

Sự đồng bộ hóa của hai hệ phản ánh rằng hàm năng lượng H của chúng phải tiệm cận đến nhau và do đó sẽ không còn phụ thuộc vào tham số liên kết γ :

$$\lim_{\gamma \rightarrow \infty} (H_r - H) = 0 \quad (12)$$

Năng lượng cần thiết, tức mức hao phí năng lượng cần thiết để duy trì sự đồng bộ hóa là:

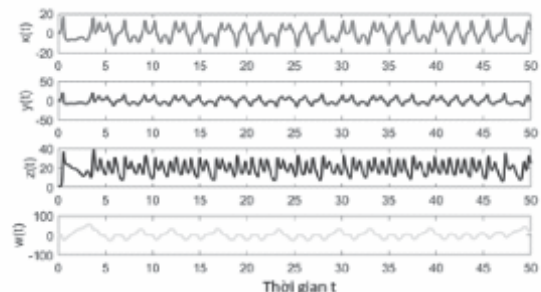
$$P(\gamma) = -\langle \nabla H^T(\mathbf{X}) \mathbf{f}_d(\mathbf{X}) \rangle = bx^2 - cy^2 - dz^2 - \frac{r}{k} w^2 \quad (13)$$

Kết quả đồng bộ hóa dựa trên hàm năng lượng và mức hao phí năng lượng để duy trì sự đồng bộ hóa được minh họa bằng mô phỏng số trong phần dưới đây.

4. KẾT QUẢ SỐ VÀ THẢO LUẬN

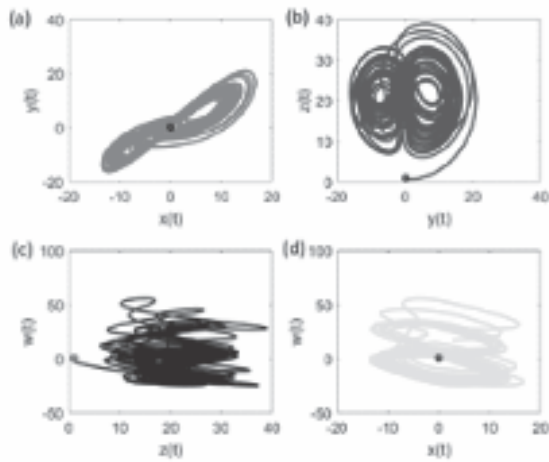
4.1. Chuyển động siêu hỗn loạn của hệ Lorenz bốn chiều

Hệ Lorenz bốn chiều (5) được giải bằng thuật toán số Runge-Kutta bậc bốn, với các tham số $a = 12$, $b = 23$, $c = 1$, $d = 2.1$, $k = 6$, $r = 0.2$. Điều kiện đầu được chọn là $X_0 = [0 \ 0.2 \ 1 \ 1]^T$. Thời gian mô phỏng được lấy là 1000 (đvt: gọi là đơn vị thời gian cho tổng quát), bước thời gian là $\Delta t = 0.01$. Trên Hình 1 hiển thị tiến triển theo thời gian của các nghiệm x , y , z , w của hệ dẫn dắt. Với các tham số được chọn ở trên, hệ được chỉ ra là có tính chất chuyển động siêu hỗn loạn (hyperchaos) bởi vì hệ có hai số mũ Lyapunov dương, một số mũ bằng không và một số mũ âm [10]. Dáng điệu theo thời gian của mỗi đáp ứng không có bất kỳ sự lặp lại nào mà là sự phong phú của các dao động mà ở đó chúng vẫn luôn bị chặn trong một miền dao động nào đó. Để minh họa rõ hơn về sự phong phú của dao động mang tính chất hỗn loạn, biểu diễn trên các mặt phẳng pha x - y , y - z , z - w , x - w của ứng xử hệ được trình bày trên Hình 2.



Hình 1. Tiến triển theo thời gian của đáp ứng x , y , z , w trong hệ Lorenz bốn chiều



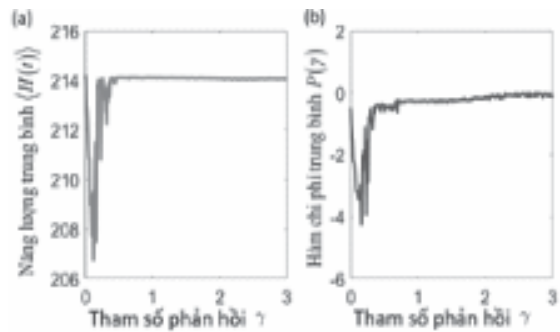


Hình 2. Quỹ đạo pha với chuyển động hỗn loạn của hệ Lorenz bốn chiều trong các mặt phẳng x - y , y - z , z - w , x - w .

Tính chất siêu hỗn loạn của hệ chỉ ra đặc điểm khó đoán định về ứng xử của hệ với các điều kiện đầu vào khác nhau, tức nó thuộc loại nhạy cảm với điều kiện đầu hơn cả đối với hệ hỗn loạn thông thường với chỉ một số mũ Lyapunov dương. Tính chất siêu hỗn loạn dẫn tới việc đồng bộ hóa của hệ là một thách thức hơn so với hệ hỗn loạn thông thường. Tuy nhiên, với cách tiếp cận hàm năng lượng Hamiltonian, ta có thể nhận dạng sự đồng bộ hóa trong miền xác định của tham số liên kết γ .

4.2. Sự đồng bộ hóa

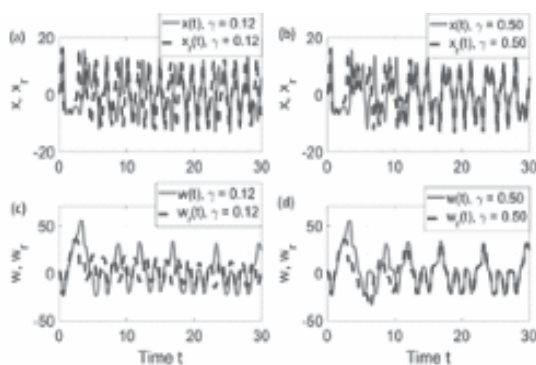
Hệ (6) được đồng bộ hóa với hệ dẫn dất (5) thông qua sự đóng góp của tham số liên kết γ . Tham số này có ý nghĩa là một tham số phản hồi từ tín hiệu nhận được của hệ dẫn dất và truyền dẫn cho hệ bị dẫn dất (6). Tùy vào việc lựa chọn tham số γ mà tính chất đồng bộ hóa có được thực hiện hay không. Điều kiện đầu của hệ bị dẫn dất (6) được lấy là $Y_0 = [0.5 \ 0.4 \ 2 \ 2]^T$. Điều kiện này có sự thay đổi so với điều kiện đầu của hệ dẫn dất.



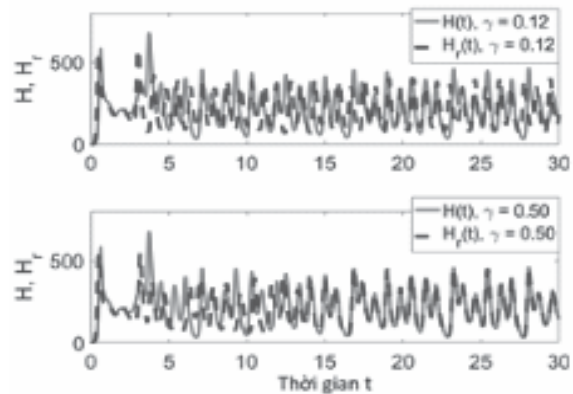
Hình 3. (a) Đồ thị năng lượng trung bình $\langle H(t) \rangle$ và (b) hàm chi phí trung bình theo sự thay đổi của tham số phản hồi γ

Với sự đồng bộ hóa nếu diễn ra thì ứng xử của hai hệ (5) và (6) sẽ tiệm cận nhau khi thời gian t đủ lớn. Hình 3 chỉ ra sự thay đổi của năng lượng trung bình của hệ bị dẫn dất và sự mức hao phí năng lượng cho sự đồng bộ hóa phụ thuộc vào tham số liên kết γ . Miền tham số liên kết được lấy là $[0, 3]$. Rõ ràng từ Hình 3a, bắt đầu từ khoảng giá trị $\gamma = 0.4$ trở đi, năng lượng trung bình theo thời gian $\langle H(t) \rangle$ tiệm cận tới giá trị hằng số. Điều này phản ánh thực tế rằng, quá trình đồng bộ đạt hiệu quả và đồng bộ hoàn toàn khi năng lượng trung bình của chuyển động hỗn loạn đạt trạng thái không đổi và năng lượng này của cả hai hệ đồng bộ và hệ dẫn dất là gần như nhau. Trước khi đạt được sự đồng bộ, năng lượng trung bình $\langle H(t) \rangle$ là nhạy cảm với sự thay đổi của tham số liên kết γ . Giá trị năng lượng đồng bộ rơi khoảng 214 (đơn vị năng lượng) và gần như không đổi trên miền khảo sát của γ . Mặc dù sự đồng bộ hóa diễn ra nhưng sự thực là hệ cần một năng lượng nhất định để duy trì sự đồng bộ hóa đó. Hình 3b phản ánh rằng hàm hao phí năng lượng P sẽ tiệm cận về không khi giá trị của tham số liên kết γ đủ lớn. Để hiểu rõ hơn về việc lựa chọn tham số γ ảnh hưởng như thế nào đến sự đồng bộ hóa, ta chọn hai trường hợp là $\gamma = 0.12$ và $\gamma = 0.5$. Giá trị $\gamma = 0.12$ nằm trong miền mà năng lượng trung bình $\langle H(t) \rangle$ tương đối nhạy cảm, và do đó sự đồng bộ hóa là không diễn ra

cho dù ta mô phỏng hệ với thời gian tương đối lớn. Hình 4a và 4c minh họa rằng với $\gamma = 0.12$, các cặp đáp ứng x, x_r và w, w_r của hệ dẫn dất và bị dẫn dất là không thể đồng bộ; giá trị các đáp ứng là khác xa nhau với các điều kiện đầu khác nhau. Tuy nhiên, trên các Hình 4b và 4c ứng với $\gamma = 0.5$ thì sau một khoảng thời gian đủ lớn, chẳng hạn bắt đầu từ 16 (đvt), thì hai hệ bắt đầu đồng bộ. Trước khoảng thời gian này, hai hệ được lấy hai điều kiện đầu khác nhau nên có ứng xử tương đối khác nhau, và ứng xử đó sẽ có xu hướng gần nhau khi thời gian tăng lên. Tương tự như vậy, ta cũng có quan sát về sự đồng bộ đối với năng lượng H và tốc độ thay đổi năng lượng dH/dt trên Hình 5. Mặc dù năng lượng H và tốc độ dH/dt cũng có sự thay đổi hỗn loạn theo đáp ứng nhưng chúng bắt đầu trùng khớp lên nhau khi thời gian t đủ lớn, bắt đầu từ khoảng 16 (đvt). Kết quả trên phản ánh rằng năng lượng có thể được xem là một tiêu chuẩn nhận diện sự đồng bộ hóa của hệ thay đổi như thế nào với việc thiết kế lựa chọn các tham số liên kết γ khác nhau.



Hình 4. Tiến triển theo thời gian của $x(t)$ trong hệ dẫn dất và $x_r(t)$ trong hệ đáp ứng trong hai trường hợp tham số $\gamma = 0.12$ và $\gamma = 0.50$ trong quá trình đồng bộ hóa.



Hình 5. Tiến triển theo thời gian của hàm năng lượng $H(t)$ của hệ dẫn dất và hàm năng lượng $H_r(t)$ của hệ đáp ứng trong hai trường hợp $\gamma = 0.12$ và $\gamma = 0.50$ trong quá trình đồng bộ hóa

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, dựa vào cách tiếp cận hàm năng lượng Hamiltonian, các tác giả đã thu được các kết quả chính sau đây:

- Đã chỉ ra các chuyển động siêu hỗn loạn của hệ Lorenz bốn chiều thông qua biểu diễn tiến triển theo thời gian và biểu diễn trong các mặt phẳng pha khác nhau.

- Dựa vào việc lựa chọn các hàm gradient và hàm tự do với sự phân kỳ (tức không đóng góp vào sự phân kỳ), một hàm năng lượng Hamiltonian cho hệ Lorenz bốn chiều đã thu được và coi như là một sự mở rộng của hàm Hamiltonian của hệ Lorenz ba chiều đã biết.

- Tính chất của sự đồng bộ hóa được minh họa thông qua tiêu chuẩn về giá trị trung bình năng lượng theo thời gian. Việc chọn giá trị của tham số liên kết có thể dựa vào đường cong năng lượng trung bình. Sự đồng bộ hóa xảy ra khi có một lựa chọn tham số liên kết hợp lý mà ở đó năng lượng trung bình của hai hệ dẫn dất và hệ bị dẫn dất tiệm cận nhau.

- Hàm chi phí biểu diễn mức năng lượng cần thiết để duy trì sự đồng bộ hóa cũng được khảo sát. Kết quả chỉ ra rằng khi đạt đồng bộ hóa hoàn toàn, năng lượng chi phí này sẽ tiệm cận giá trị không.

- Trong các khảo sát sau, các tính chất của năng lượng trung bình sẽ được nghiên cứu kỹ hơn với các tham số khác nhau của hệ siêu hỗn loạn mà ở đó tính chất siêu hỗn loạn biểu hiện rất khác nhau trong từng miền tham số. ❖

Ngày nhận bài: **16/6/2025**

Ngày phản biện: **04/7/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Arkady Pikovsky, Michael Rosenblum, Jürgen Kurths, “*Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences*”. Cambridge University Press (2001).
- [2]. Alexander Balanov, Natalia Janson, Dmitry Postnov, Olga Sosnovtseva, “*Synchronization: From Simple to Complex*”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2009).
- [3]. S. Boccaletti, J. Kurths, G. Osipov, D.L. Valladares, C.S. Zhou, “*The synchronization of chaotic systems*”. Physics Reports, 366, 1-101 (2002).
- [4]. Michael G. Rosenblum, Arkady S. Pikovsky, and Jürgen Kurths, “*Phase synchronization of chaotic oscillators*”. Physical Review Letters, 76, 1804-1807 (1996).
- [5]. J. Liu, G. Chen, X. Zhao, “*Generalized synchronization and parameters identification of different-dimensional chaotic systems in the complex field*”. Fractals, 29, No. 04, 2150081 (2021).
- [6]. Lijuan Chen, Song Tang, Qingdu Li, Shouming Zhong, “*A new 4D hyperchaotic system with high complexity*”. Mathematics and Computers in Simulation, 146, 44-56 (2018).
- [7]. J. H. Peng, E. J. Ding, M. Ding, “*Synchronizing hyperchaos with a scalar transmitted signal*”. Physical Review Letters, 76, 904-907 (1996).
- [8]. A. Tamasevicius, G. Mykolaitis, A. Cenys, “*Synchronization of 4D hyperchaotic oscillators*”. Electron. Lett. 32, 1536-1537 (1996).
- [9]. C. Sarasola, F. J. Torrealdea, A. d'Anjou, A. Moujahid, and M. Grana, “*Energy balance in feedback synchronization of chaotic systems*”. Physical Review E, 69, 011606 (2004).
- [10]. Yuming Chen, Qigui Yang, “*Dynamics of a hyperchaotic Lorenz-type system*”. Nonlinear Dynamics, 77, 569-581, (2014).