

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA LỰC KÍCH THÍCH TRÊN MẠCH CHUA SỬ DỤNG GIẢ CUỘN CẢM

STUDY THE EFFECT OF EXTERNAL PERIODIC EXCITATION ON THE CHUA'S CIRCUIT USING THE GYRATOR

Nguyễn Xuân Huy,
Đông Minh Long,
Nguyễn Văn Bình,
Đặng Văn Liệt

DH Khoa học Tự nhiên

TÓM TẮT

Trong bài này chúng tôi tác động một lực kích thích tuần hoàn bên ngoài lên mạch điện Chua sử dụng giả cuộn cảm nhằm khảo sát tính hỗn loạn của mạch điện này. Các kết quả đạt được bao gồm sơ đồ rẽ nhánh, vòng giới hạn và sự tồn tại của nhiều tâm hút, chu kỳ bổ sung, hiện tượng tựa tuần hoàn, hiện tượng gián đoạn và sự chia đôi chu kỳ bằng nhau. Kết quả đạt được khá phong phú so với các kết quả trước đây.. Việc khảo sát được thực hiện bằng mô phỏng và bằng thực nghiệm.

ABSTRACT

In this paper we studied the chaotic behaviours of the Chua's circuit using the gyrator with the external periodic excitation by the simulation and experiment. The results included of the bifurcation's diagram, period-adding scenario, limit cycle and coexistence of multiple attractors, quasi-periodic and intermittent behaviors and equal periodic bifurcation. These results are more plentiful to compare with the previous ones.

I. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, việc nghiên cứu các mạch điện phi tuyến được nhiều tác giả quan tâm và mạch Chua là một mạch điện phi tuyến đơn giản, dễ cấu tạo nên đã có nhiều nghiên cứu về lý thuyết và thực nghiệm với sự thay đổi các trị số của linh kiện cấu thành mạch [3], [4]. Ngoài ra, một số tác giả đã khảo sát các đặc tính của mạch Chua dưới tác dụng của một lực kích thích bên ngoài và thu được một số các kết quả đáng chú ý [5].

Năm 2009, B. Muthuswamy, T. Blain và K. Sundqvist [6] đã sử dụng giả cuộn cảm (gyrator) [7] thay thế cuộn cảm trong mạch Chua để tạo hiện tượng tự dao động và khảo sát hiện tượng hỗn loạn cho trường hợp này, kết quả thu được tương tự như trường hợp mạch sử dụng cuộn cảm thông thường.

Tại Việt Nam, một số tác giả [1], [2] đã khảo

sát hiện tượng hỗn loạn của mạch Chua tự dao động bằng mô phỏng và bằng thực nghiệm.

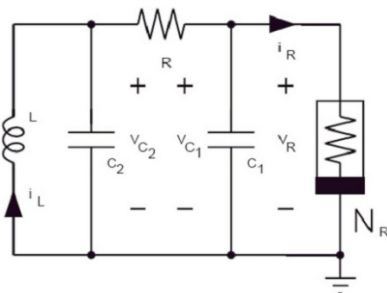
Trong bài này, chúng tôi sử dụng lực kích thích bên ngoài để khảo sát hiện tượng hỗn loạn của mạch Chua sử dụng giả cuộn cảm; việc khảo sát được tiến hành bằng mô phỏng và thực nghiệm.

II. TÓM TẮT LÝ THUYẾT

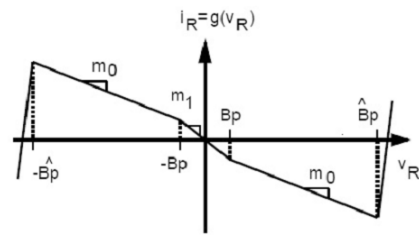
II.1. Mạch Chua

Mạch Chua được giới thiệu như trong hình 1, gồm hai thành phần:

- Thành phần tuyến tính: L , R , C_1 và C_2 .
- Thành phần điện trở phi tuyến N_R hay còn gọi là diod Chua, với đường đặc tuyến V-I như trong hình 2.



Hình 1: Mạch điện Chua



Hình 2: Đặc tuyến I-V của điện trở phi tuyến NR

Phương trình trạng thái của mạch Chua được cho bởi:

$$\begin{cases} C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = \frac{v_{C2} - v_{C1}}{R} - i_R \\ C_2 \frac{dv_{C2}}{dt} = \frac{v_{C1} - v_{C2}}{R} + i_L \\ L \frac{di_L}{dt} = -v_{C2} \end{cases} \quad \begin{cases} C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = \frac{v_{C2} - v_{C1}}{R} - i_R \\ C_2 \frac{dv_{C2}}{dt} = \frac{v_{C1} - v_{C2}}{R} + i_L \\ L \frac{di_L}{dt} = -v_{C2} \end{cases} \quad (1)$$

trong (1), v_{C1} , v_{C2} lần lượt là điện áp hai đầu C_1 và C_2 ; $i_R = g(v_R) = g(v_{C1})$ là cường độ dòng điện qua thành phần phi tuyến NR, trong đó $g(v_R)$ có dạng:

$$g(v_R) = m_0 v_R + \frac{1}{2} (m_1 - m_0) \cdot [|v_R + B_p| - |v_R - B_p|] \quad (2)$$

trong (2), các tham số m_1 và m_0 là hai hệ số góc và B_p và $-B_p$ là giá trị v_R tại điểm gãy của của đặc tuyến I-V ở hình 2 [3].

Trong các thành phần của mạch Chua thì cuộn cảm (L) có kích thước công kênh, khó tích hợp; vì thế B. Muthuswamy và ccs. đã đề nghị sử dụng mạch giả cuộn cảm thay cho cuộn cảm (L) [6].

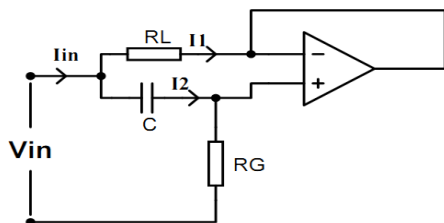
II.2. Mạch giả cuộn cảm

Sơ đồ nguyên lý của mạch giả cuộn cảm được trình bày trong hình 3.

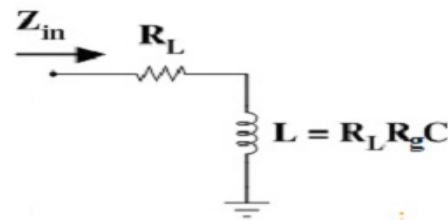
Trở kháng của cuộn cảm cho bởi:

$$Z_L = R_L + jL\omega \quad Z_L = R_L + jL\omega \quad (3)$$

với, R_L là giá trị điện trở cuộn cảm.



Hình 3: Mạch điện giả cuộn cảm (inductor gyrator)



Hình 4: Mạch tương đương của mạch giả cuộn cảm

Từ sơ đồ mạch trong hình 3, có phương trình:

$$Z_{in} = \frac{j\omega V_{in}}{j\omega I_{in}} = \frac{j\omega V_{in}}{j\omega(I_1 + I_2)} \quad Z_{in} = \frac{j\omega V_{in}}{j\omega I_{in}} = \frac{j\omega V_{in}}{j\omega(I_1 + I_2)} \quad (4)$$

Theo tính chất của opamp:

$$V_+ = V_- V_+ = V_- \tag{5}$$

Thay (5) vào (4) và áp dụng định luật Ohm:

$$Z_{in} = \frac{R_L}{1 - \frac{R_g}{R_g + \frac{1}{j\omega C}} + \frac{R_L}{R_g + \frac{1}{j\omega C}}} \quad Z_{in} = \frac{R_L}{1 - \frac{R_g}{R_g + \frac{1}{j\omega C}} + \frac{R_L}{R_g + \frac{1}{j\omega C}}} \tag{6}$$

Trong (6), nếu chọn $R_L \approx 10^{-4}R_g$ hay $R_L \ll R_g$, khi đó (6) sẽ có được rút về dạng:

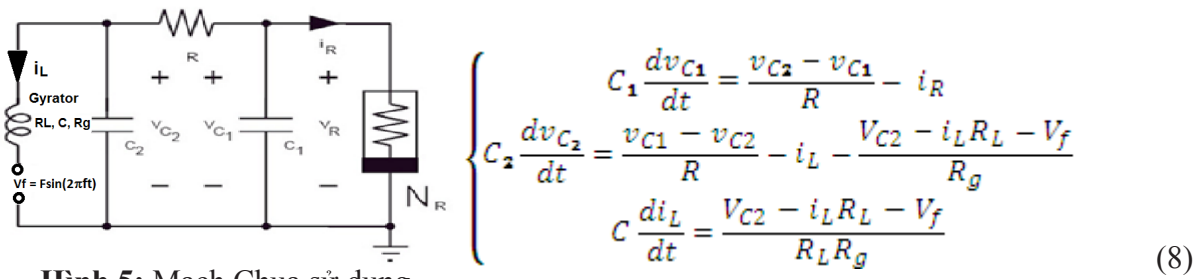
$$Z_{in} = R_L + j\omega R_L R_g C \quad Z_{in} = R_L + j\omega R_L R_g C \tag{7}$$

So sánh (3) và (7) cho thấy mạch trong hình 3 có thể xem như một cuộn cảm có dạng như hình 4 [7].

III. THỰC NGHIỆM

III.1. Phương trình của mạch Chua sử dụng giả cuộn cảm

Trong bài này, chúng tôi khảo sát dao động của mạch Chua sử dụng mạch giả cuộn cảm (inductor gyrator) với lực kích thích bên ngoài (Hình 5). Lúc này, hệ phương trình mô tả hệ thống được viết:



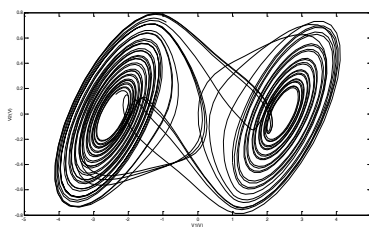
Hình 5: Mạch Chua sử dụng gyrator với lực kích thích bên ngoài

trong (8), $V_f = F \sin(2\pi ft)$ là điện thế kích thích bên ngoài.

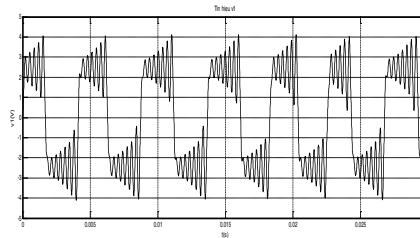
III.2. Kết quả mô phỏng

Sử dụng phần mềm Matlab giải hệ phương trình (8) với các tham số $R_L = 10\Omega$, $R_g = 100k\Omega$, $C = 16nF$, $C_1 = 9,8nF$, $C_2 = 100nF$, $m_1 = -0.756mS$, $m_0 = -0.409mS$, $B_p = 1.08V$. Trong V_p thay đổi F từ 0 đến 2 V với $\Delta F = 50mV$ và f từ 0 đến 9kHz. Kết quả như sau:

- Khi $F = 0$ (không có lực kích thích): Kết quả thu được tương tự với hiện tượng hỗn loạn với tâm hút xoắn đôi quen thuộc của mạch Chua tự dao động (Hình 6).



(a)

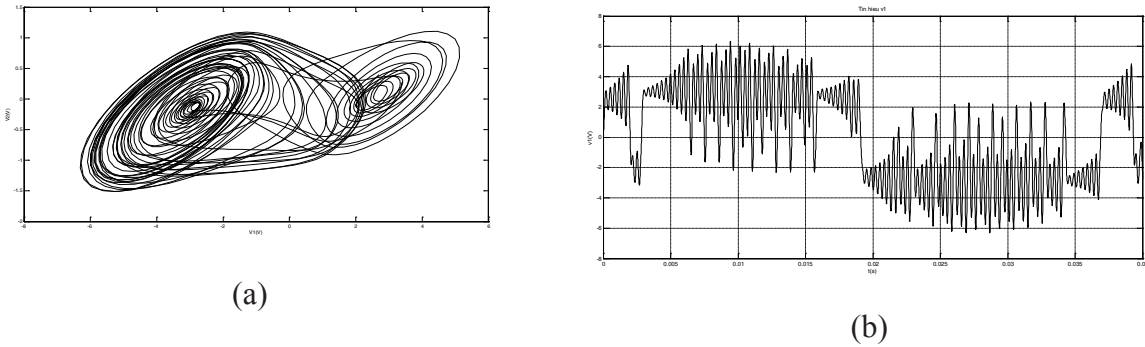


(b)

Hình 6: $F = 0$ (a) Quỹ đạo trong không gian pha ($v_1 - v_2$) với tâm hút xoắn ốc đôi; (b) Tín hiệu v_1 tương ứng.

- Khi $F > 0$ và f từ 0 đến 500Hz: Trạng thái của mạch thể hiện bằng một tâm hút xoắn ốc đôi,

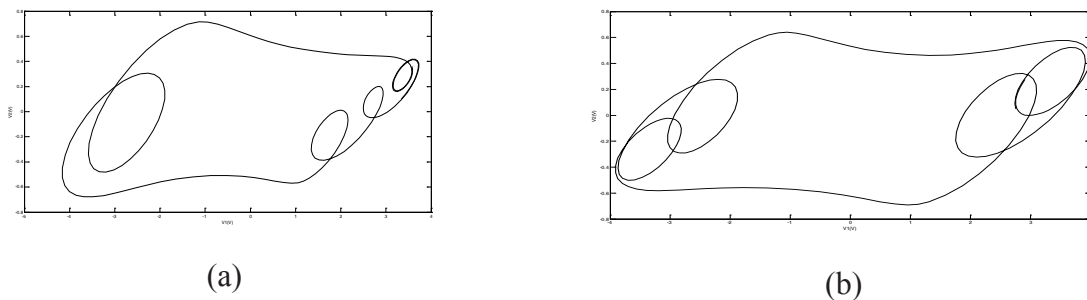
nhưng dáng điệu của quỹ đạo phức tạp hơn; ở $F = 275\text{mV}$ và $f = 27\text{Hz}$ tâm hút xoắn ốc đôi có dạng của hai tâm hút xoắn ốc đơn ngược chiều chồng lên nhau (Hình 7).



Hình 7: $F = 275\text{mV}$, $f = 27\text{Hz}$ (a) Tâm hút xoắn ốc đôi trong không gian pha ($v_1 - v_2$); (b) Tín hiệu v_1 tương ứng

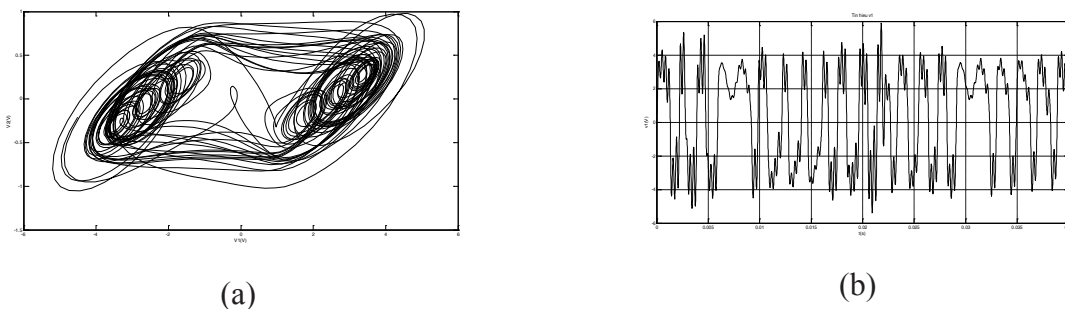
- Khi $F > 0$ và f từ 500 đến dưới 650Hz: Hiện tượng gián đoạn xảy ra liên tục, đó là sự chuyển đổi qua lại giữa các chu kỳ ổn định, không ổn định và trạng thái hỗn loạn.

- Khi f từ 500 đến 580Hz, mỗi lần thay đổi rất nhỏ tần số, trạng thái của hệ thống chuyển đổi qua lại giữa chu kỳ-5 và trạng thái hỗn loạn; trong đó, xuất hiện hai dạng chu kỳ-5, một ở tần số $f = 515\text{Hz}$ và một ở tần số $f = 516\text{Hz}$ (Hình 8).



Hình 8: Không gian pha ($v_1 - v_2$) (a) $F = 275\text{mV}$; $f = 515\text{Hz}$; (b) $F = 275\text{mV}$; $f = 516\text{Hz}$.

- Tiếp tục tăng f , trạng thái của hệ thống dẫn đến hỗn loạn với nhiều tâm hút (Hình 9), dáng điệu khác với dáng điệu của tâm hút xoắn ốc đôi của mạch Chua thông thường.



Hình 9: $F = 275\text{mV}$; $f = 624\text{Hz}$ (a) Hỗn loạn trong không gian pha ($v_1 - v_2$)
(b) Tín hiệu v_1 tương ứng

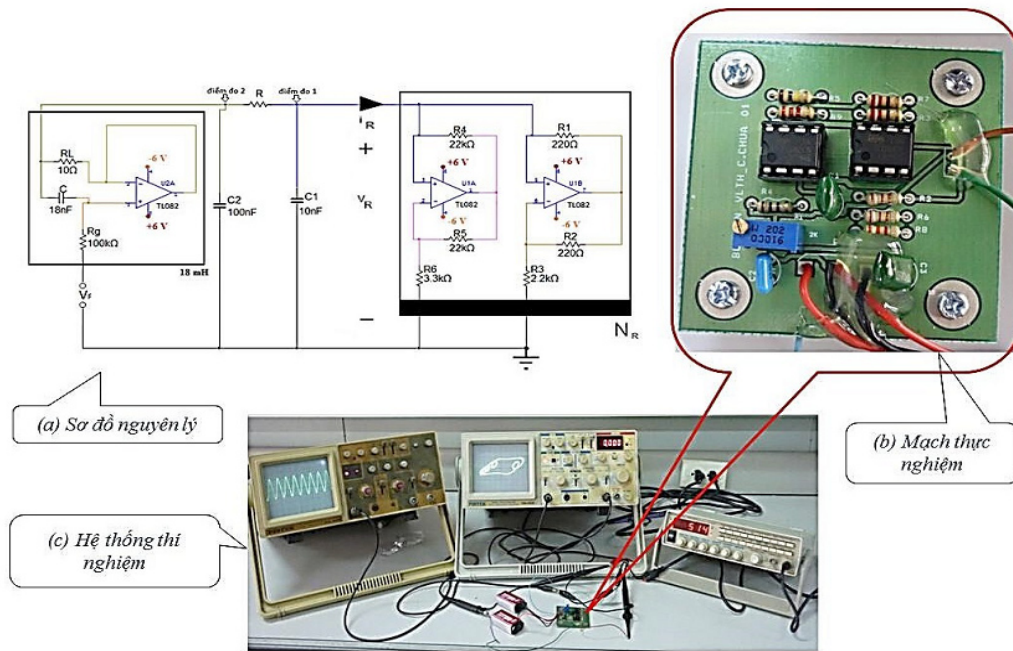
III.3. Thực nghiệm

III.3.1. Mạch điện thực nghiệm

Để kiểm chứng kết quả mô phỏng, chúng tôi thiết kế mạch điện thực nghiệm (Hình 10) theo các sơ đồ lý thuyết đã được trình bày trong hình 3 và hình 5; giá trị của các linh kiện được nêu trong hình 10a. Với mạch điện này khi chưa có điện thế kích thích V_F ($F = 0$) và $R = 1720 \Omega$ thì

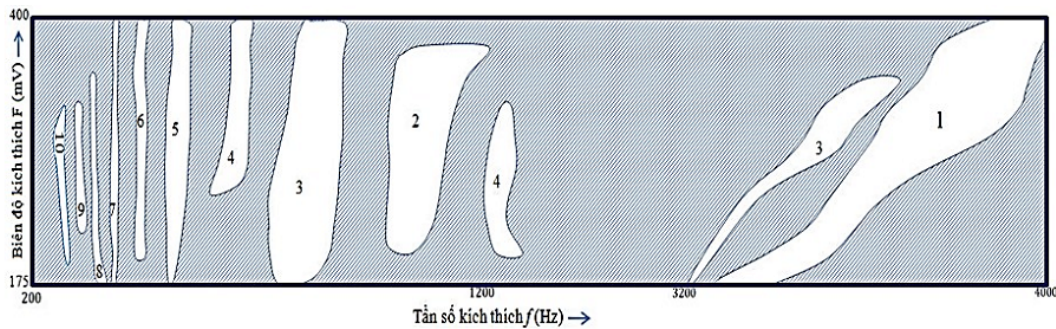
mạch tự hỗn loạn.

Chúng tôi khảo sát mạch điện này với lực kích thích hình sin bên ngoài khi thay đổi giá trị của F từ 25mV đến 400mV với bước nhảy là 25mV và tần số f từ 25Hz đến 9kHz với bước nhảy từ 5Hz đến 20Hz; kết quả đo điện áp ở hai đầu C_1 , C_2 và quan sát trên dao động nghiệm.



Hình 10: Sơ đồ mạch điện thực nghiệm

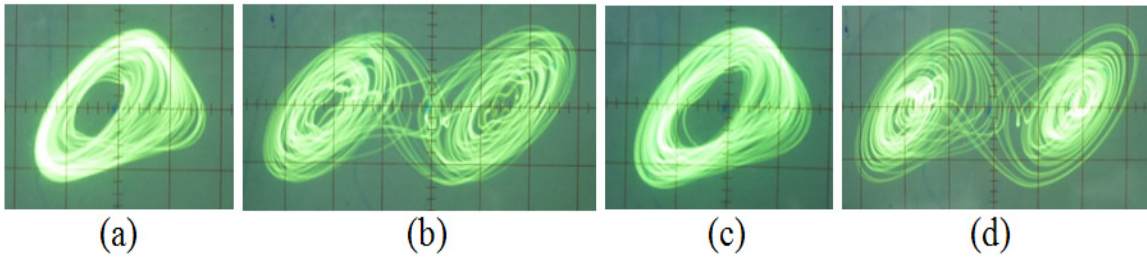
III.3.2. Kết quả thực nghiệm



Hình 11: Sơ đồ rẽ nhánh vẽ theo $f - F$. Giá trị ghi trong phần màu trắng là chu kỳ cộng thêm, phần màu xám là nơi xảy ra hỗn loạn

- *Sơ đồ rẽ nhánh:* Quan sát các hiện tượng trên dao động nghiệm khi f thay đổi trong khoảng 0 - 4000Hz và biên độ F thay đổi từ 175 đến 400 mV cho phép chúng tôi xây dựng sơ đồ rẽ nhánh $f - F$ (Hình 11); sơ đồ này cho thấy sự rẽ nhánh xảy ra liên tục và phức tạp trong miền tần số kích thích nhỏ hơn 1500Hz; phần còn lại thay đổi ít hơn.

- Với $F > 0$ và tần số kích thích $f > 4000$ Hz, hiện tượng hỗn loạn xảy ra liên tục với các hình thái khác nhau như Hình 12.

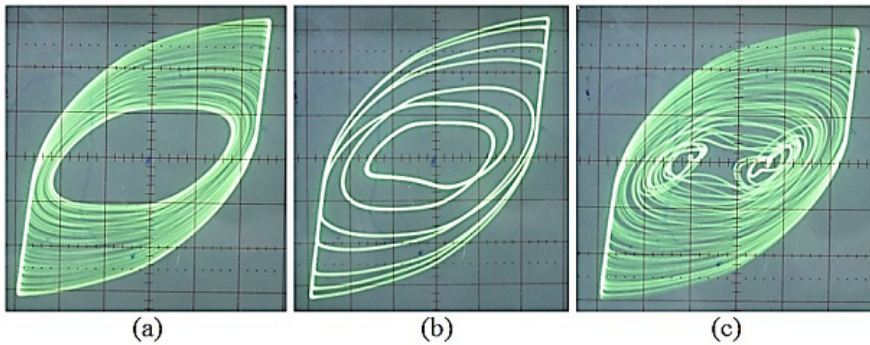


Hình 12: Quan hệ giữa tâm hút xoắn ốc đơn và tâm hút xoắn ốc đôi ở $F = 275\text{mV}$
 8.29kHz; (b) $f = 6.8\text{kHz}$; (c) $f = 6\text{kHz}$; (d) $f = 4.4\text{kHz}$.

(a) $f =$
 Không

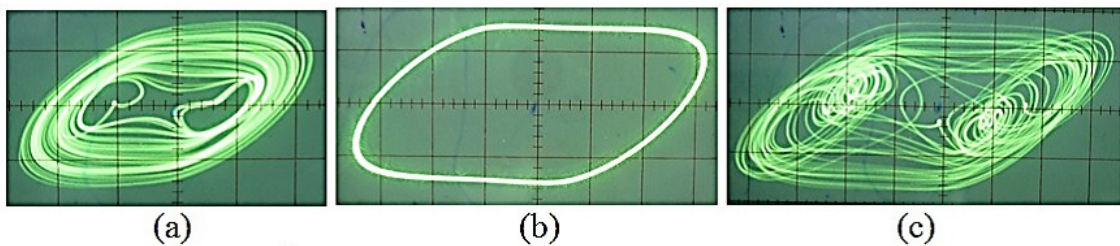
gian ($v_1 - v_2$): trục ngang $1\text{V}/\text{div}$, trục đứng $0.5\text{V}/\text{div}$

- *Vòng giới hạn và sự tồn tại của nhiều tâm hút bên trong vòng giới hạn:* Trong thí nghiệm này, khi thay đổi các giá trị F và f sẽ có nhiều vòng giới hạn cùng tồn tại (Hình 13a); từ giá trị đó, nếu tiếp tục giảm f thì các vòng giới hạn co lại và tạo nên những vòng ổn định (Hình 13b), tiếp tục giảm thêm f , hiện tượng hỗn loạn được bao bởi các vòng giới hạn xảy ra (Hình 13c). Hiện tượng này không thấy trong kết quả của K. Murali và ccs. [5].



Hình 13: $F = 275\text{mV}$ (a) Với $f = 2640\text{Hz}$, tồn tại của nhiều vòng giới hạn; (b) Với $f = 2597\text{Hz}$, một rối loạn xuất hiện; (c) Với $f = 2479\text{Hz}$, hai tâm hút đơn cùng tồn tại với các vòng giới hạn bên ngoài. Không gian pha ($v_1 - v_2$): trục ngang $2\text{V}/\text{div}$, trục đứng $1\text{V}/\text{div}$.

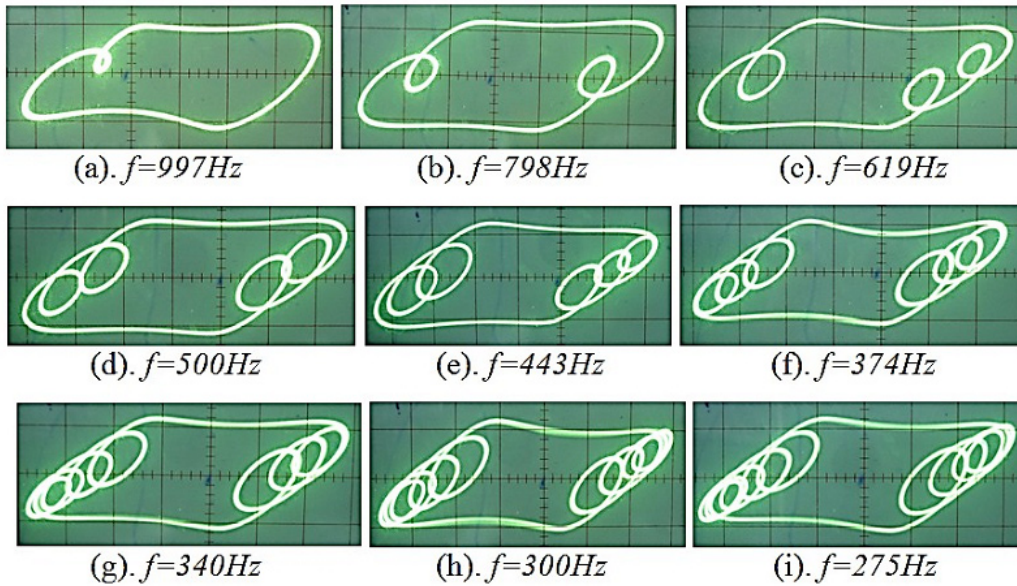
Nếu tiếp tục giảm f , vẫn còn hiện tượng hỗn loạn với các vòng giới hạn thay đổi (Hình 14a); sau đó, hiện tượng hỗn loạn biến mất chỉ còn lại duy nhất một vòng giới hạn ổn định (Hình 14b). Khi giảm thêm tần số kích thích, hiện tượng nhân đôi chu kỳ xuất hiện và tạo nên hỗn loạn có dạng như dạng hỗn loạn của mạch Chua thông thường (Hình 14c).



Hình 14: Quỹ đạo trong không gian pha ($v_1 - v_2$) ở $F = 275\text{mV}$ (a) Với $f = 2008\text{Hz}$, hai tâm hút đơn từ từ biến mất; (b) Với $f = 1749\text{Hz}$, vòng giới hạn ổn định; (c) Với $f = 1310\text{Hz}$, tâm hút xoắn ốc đôi.

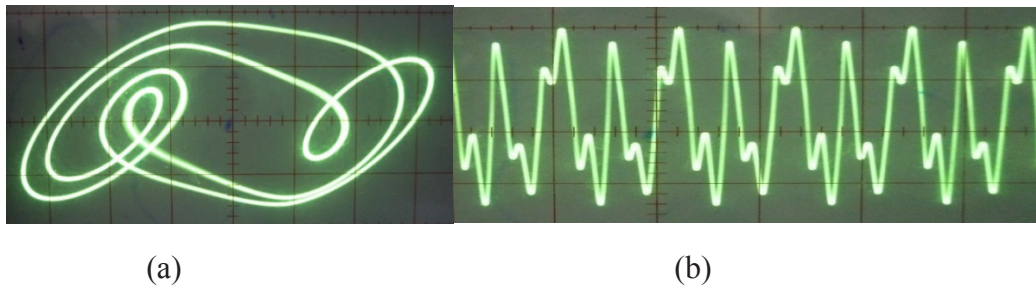
Không gian pha ($v_1 - v_2$): trục ngang $1\text{V}/\text{div}$, trục đứng $0.5\text{V}/\text{div}$.

- *Chu kỳ bổ sung:* Như trình bày trong sơ đồ rẽ nhánh ở hình 11, khi $f < 1500\text{Hz}$ một dãy các chu kỳ bổ sung xuất hiện xen lẫn với trạng thái hỗn loạn; hình dạng của dãy các chu kỳ bổ sung đó được trình bày trong hình 15.



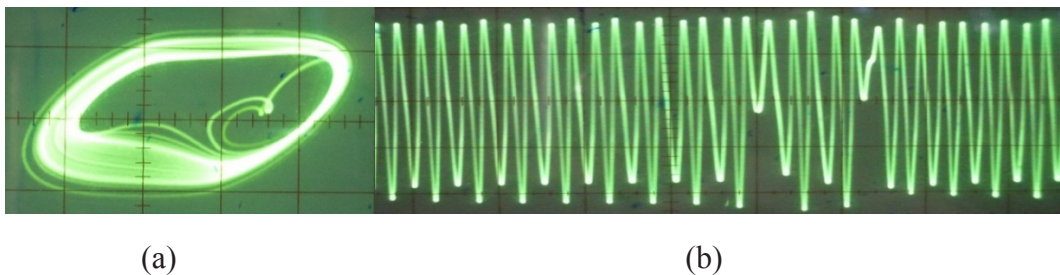
Hình 15: Dãy chu kỳ bổ sung ở $F = 275\text{mV}$: (a) Chu kỳ-2; (b) Chu kỳ-3; (c) Chu kỳ-4; (d) Chu kỳ-5; (e) Chu kỳ-6; (f) Chu kỳ-7; (g) Chu kỳ-8; (h) Chu kỳ-9; (i) Chu kỳ-10. Không gian pha ($v_1 - v_2$): trục ngang 1V/div , trục đứng 0.5V/div .

- *Hiện tượng tựa tuần hoàn:* Hiện tượng tựa tuần hoàn xảy ra ở một vài giá trị của $f < 3000\text{Hz}$ ứng với mỗi giá trị F nhất định. Hình 16 trình bày quỹ đạo trong không gian pha ($v_1 - v_2$) và tín hiệu v_1 ứng với hiện tượng tựa tuần hoàn quan sát được trong thí nghiệm.



Hình 16: Hiện tượng tựa tuần hoàn ở $F = 100\text{mV}$ và $f = 2954\text{Hz}$ (a) Quỹ đạo trong không gian pha; (b) Tín hiệu v_1 . Không gian pha ($v_1 - v_2$): trục ngang 1V/div , trục đứng 0.5V/div

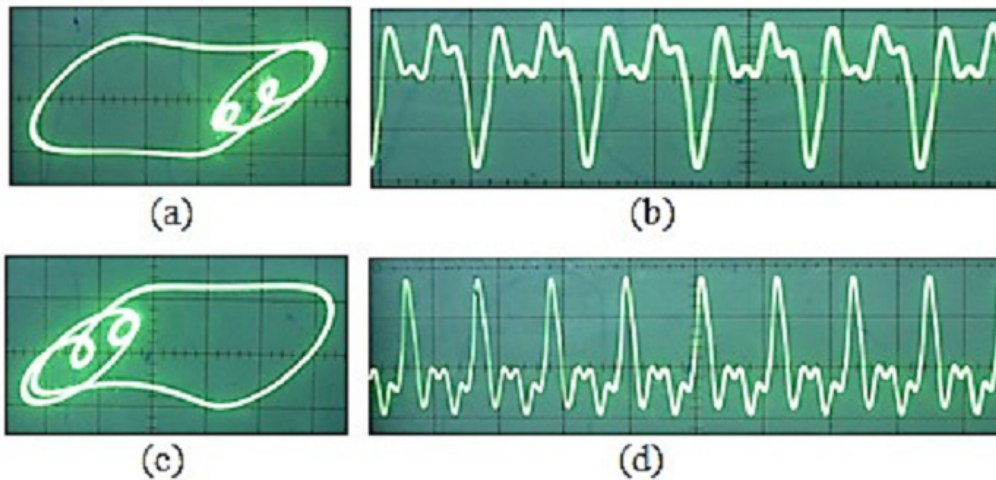
- *Hiện tượng gián đoạn:* Hiện tượng gián đoạn xuất hiện ở miền tần số trên 1000Hz ; theo đó, trong một thời gian dài quỹ đạo là tuần hoàn và đột ngột bị gián đoạn bởi sự xuất hiện của vài trạng thái hỗn loạn; sau đó, hệ thống trở lại trạng thái tuần hoàn. Hình 17 cho thấy không gian pha và tín hiệu tương ứng bị gián đoạn.



Hình 17: Hiện tượng gián đoạn ứng với $F = 275\text{mV}$ và $f = 1731\text{Hz}$ (a) Quỹ đạo trong không gian pha; (b) Tín hiệu v_1 . Không gian pha ($v_1 - v_2$): trục ngang 1V/div , trục đứng 0.5V/div

- *Chia đôi chu kỳ bằng nhau (hay chu kỳ bảo toàn):* Hiện tượng chia đôi chu kỳ rất nhạy với

điều kiện đầu và xảy ra trong vùng có biên độ F từ 225mV đến 375mV và f thay đổi từ 1000Hz đến 1300Hz và chia thành hai vùng theo tần số; vùng thứ nhất ứng với tần số từ 1200Hz đến 1300Hz và vùng thứ hai ứng với tần số từ 1000Hz đến 1200Hz (Hình 18).



Hình 18: Chia đôi chu kỳ bằng nhau (a) Quỹ đạo trong không gian (v_1-v_2) ở $F = 225\text{mV}$, $f = 1235\text{Hz}$; (b) Tín hiệu v_1 tương ứng với (a); (c) Quỹ đạo trong không gian (v_1-v_2) ở $F = 225\text{mV}$, $f = 1199\text{Hz}$; (d) Tín hiệu v_1 tương ứng với (c)
Không gian pha
 $(v_1 - v_2)$: trục ngang 1V/div, trục đứng 0.5V/div

IV. KẾT LUẬN

Trong bài này, chúng tôi đã khảo sát ảnh hưởng của lực ngoài kích thích tuần hoàn bên ngoài trên mạch Chua sử dụng giả cuộn cảm. Kết quả cho thấy, khi không có lực kích thích bên ngoài, các hiện tượng xảy ra tương tự như các hiện tượng xảy ra của mạch Chua thông thường; điều này cho thấy có thể sử dụng giả cuộn cảm (gyrator) để thay thế cuộn cảm trong mạch Chua. Khi có lực kích thích bên ngoài trên mạch Chua sử dụng giả cuộn cảm, chúng tôi đã thành lập được sơ đồ rẽ nhánh (f - F), nó cho thấy sự phân chia các miền hỗn loạn và ổn định trong suốt quá trình thực nghiệm ứng với miền tần số $f < 4000$ Hz. Ngoài ra, chúng tôi đã quan sát được nhiều hiện tượng khác như sự chia đôi chu kỳ, chu kỳ cộng thêm, hiện tượng tựa tuần hoàn và hiện tượng gián đoạn, sự chia đôi chu kỳ bằng nhau và nhiều hình thái hỗn loạn khác trong không gian pha. Phần lớn các kết quả đạt được trên mạch Chua sử dụng giả cuộn cảm khi có lực kích thích bên ngoài tương tự như các kết quả của K. Murali và ccs [5]; tuy nhiên, trong công trình này các tác giả đã sử dụng lực kích thích bên ngoài trên mạch Chua với *hai cuộn cảm*. Ngoài ra, với mạch Chua sử dụng giả cuộn cảm còn cho thấy hiện tượng vòng giới hạn và sự tồn tại của nhiều tâm hút bên trong vòng giới hạn, hiện tượng này không thấy ở công trình vừa nêu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nhan Văn Khoa (2009), *Ứng dụng hỗn loạn trong điều khiển tự động*, Luận văn Thạc Sĩ Vật lý, Đại học Cần Thơ.
- [2] Lê Bá Luân (2008), *Tìm hiểu về hỗn loạn trong điều khiển tự động*, Khóa luận tốt nghiệp Đại học, Đại học Khoa học Tự nhiên TP. Hồ Chí Minh.
- [3] Leon.U. Chua, Charles A. Desoer, Ernest S. Kuh (1987), *Linear and Nonlinear Circuits*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [4] Leon.U. Chua (1992), *The Genesis of Chua's Circuit*, AEO. Vol. 46, No. 4, pp. 250 – 257.
- [5] K. Murali ,M. Lakshmanan (1992), *Effect of Sinusoidal Excitation on the Chua's Circuit*, IEEE

Transactions on Circuit and System – I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 39, No. 4, pp. 264 - 270.

[6] B. Muthuswamy, T. Blain, K. Sundqvist (2009), *A Synthetic Inductor Implementation of Chua's Circuit*, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California, Berkeley, pp. 1 – 7.

[7] B. D. H. Tellegen (1948), *The Gyrator – A New Electric Network Element*, Philips Res. Rept., 3, pp. 81 - 101.