

## FENÔMENOS COMPLEXOS EM SISTEMAS DINÂMICOS NÃO-LINEARES

Mauro Murara Filho<sup>1</sup>, Vinicius Fabricio Romancini Antunes<sup>2</sup>, Holokx Abreu Albuquerque<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção e Sistemas CCT – UDESC bolsista PROBIC/UDESC

<sup>2</sup> Acadêmico do Curso de Mestrado em Física CCT – UDESC.

<sup>3</sup> Orientador, Departamento de Física CCT-UDESC – holokx.albuquerque@udesc.br

Palavras-chave: Caos experimental, Computação Analógica, Sistema de Chua HiperCaótico.

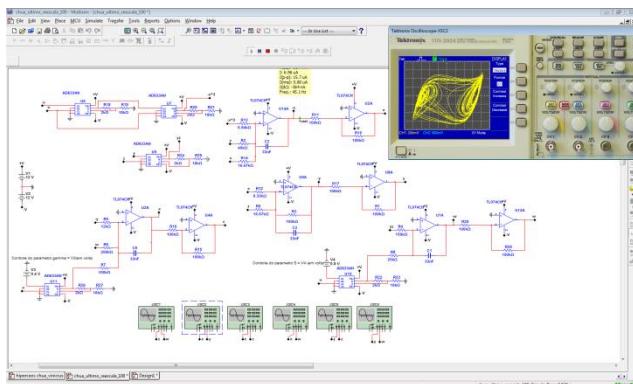
O objetivo do trabalho foi a construção de circuitos osciladores baseado em eletrônica analógica, com auxílio dos amplificadores operacionais na configuração integradora. Com isso, foi possível executar a computação analógica, ou seja, a resolução do sistema de equações diferenciais de primeira ordem acopladas, no tempo. Tais equações que se encontram na Ref. [1], estão listadas abaixo:

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= \alpha(y - ax^3 - (1 + c)x), \\
 \dot{y} &= x - y + z, \\
 \dot{z} &= -\beta y - \gamma z + w, \\
 \dot{w} &= -sx + yz,
 \end{aligned} \tag{1}$$

O sistema possui quatro graus de liberdade, sendo que, cada grau corresponde a uma variável dinâmica do sistema de Chua hipercaótico, quatro parâmetros (“ $\alpha$ ”, “ $\beta$ ”, “ $\gamma$ ” e “ $s$ ”) disponíveis para varredura do espaço de parâmetros, como segue na Ref. [2]. Foi fixado as constantes  $a = 0.03$ ,  $c = -1.2$ , os parâmetros  $\alpha = 30$ ,  $\beta = 50$ ; sendo o foco a varredura do espaço de parâmetros ao longo dos parâmetros “ $\gamma$ ” por “ $s$ ”.

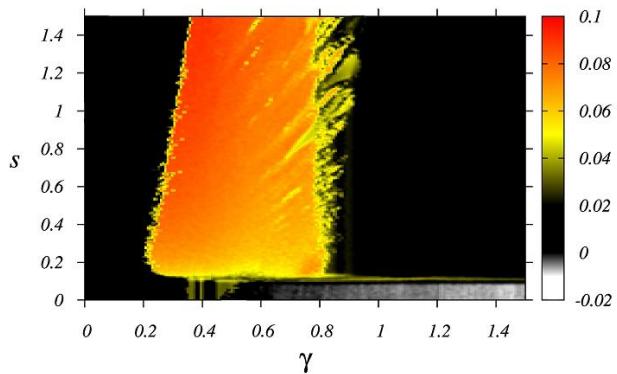
Usando topologias conhecidas de amplificadores operacionais [3], construímos um computador analógico e projetamos os primeiros testes experimentais com o auxílio do software NI MULTISIM. Foi necessário reescalar o circuito [4], fazendo uma mudança de variáveis ( $x' = x/4$ ;  $y' = y/3$ ,  $z' = z/2$ ,  $w' = w$ ) pois as tensões nas saídas dos circuitos integrados multiplicadores AD633JN [5], e dos circuitos integrados responsáveis pelos amplificadores operacionais TL074CN [6], excediam as tensões prescritas em seus respectivos datasheets. Além disso, foi utilizado para reescala os valores da resistência de base  $R_b = 100k$  ohms e capacitância de base  $C_b = 33nF$ .

Segue na Fig. 2 o esquema elétrico do circuito de Chua hipercaótico com a reescala implementado no software NI MULTISIM.



**Fig.2** Esquema elétrico do circuito de Chua hipercaótico e o atrator associado caótico double scroll no espaço de fases ao longo do plano “x” por “y” no osciloscópio, para os parâmetros  $\gamma = 0.4$  V e  $s = 0.8$  V.

Experimentalmente o circuito foi montado via protoboard para os testes de bancada. As séries temporais foram coletadas via software Python em uma resolução de 40.000 pontos (200x200 ao longo dos parâmetros “ $\gamma$ ” por “ $s$ ”) para aquisição experimental dos atratores. Também via Python foi calculado os expoentes de Lyapunov dos atratores experimentais, tendo em vista o ajuste das flags  $k = 100$  e  $d = 5$ . Por fim, o espaço de parâmetros experimental do circuito de Chua hipercaótico foi plotado via software Gnuplot. Segue abaixo na figura 3:



**Fig. 3** Espaço de parâmetros experimental do maior expoente de Lyapunov para o circuito de Chua hipercaótico em  $(\gamma, s)$ .

#### Referências Bibliográficas:

- [1] A HYPERCHAOTIC CHUA SYSTEM, PAULO C. RECH AND HOLOKX A. ALBUQUERQUE.
- [2] Lyapunov exponent diagrams of a 4-dimensional Chua system, Cristiane Stegemann, Holokx A. Albuquerque, Rero M. Rubinger, and Paulo C. Rech.
- [3] DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS; ROBERT BOYLESTAD, LOUIS NASHESKY.
- [4] CONTROLE DE PARÂMETROS VIA TENSÃO CONTÍNUA: UMA APLICAÇÃO EM DINAMICA NÃO LINEAR, DAVID WILLIAM CORDEIRO MARCONDES.
- [5] Low Cost Analog Multiplier, AD633, ANALOG DEVICES, datasheet.
- [6] Low Noise, JFET Input Operational Amplifiers, TL074CN, MOTOROLA, datasheet.