

# Realizácia Chua obvodu

*R. Liška, R. Matoušek*

Fakulta Strojního Inženýrství, Ústav Automatizace a Informatiky, Vysoké Učení Technické v Brně  
Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká Republika

y73010@stud.fme.vutbr.cz, matousek@fme.vutbr.cz

## Abstrakt

**Chaotické chovanie je jedným z najbežnejších javov vyskytujúcich sa v prírode. Chaotické systémy sú deterministické a neobsahujú prvky náhodného chovania či výberu, ako sa na prvý pohľad zdá. S veľkou obľubou a nadšením sa prvky chaosu začali využívať v reálnych aplikáciách a v priemysle, konkrétne v informačnom a telekomunikačnom odvetví, biológii, medicíne a v neposlednom rade i elektroinžinierskom odvetví, kde vo väčšine prípadov dosahujú omnoho lepšie výsledky ako súčasné systémy. Tento článok je zaradený do elektrotechnického smeru a pojednáva o realizácii Chua Obvodu, čo je vo svojej podstate najjednoduchší typ elektronického obvodu z hľadiska náročnosti na zhotovenie, vykazujúci chaotické chovanie.**

## Úvod

Aplikácie chaosu v priemysle a jeho využitie na konkrétne príklady sú veľmi dôležitou súčasťou výskumu. Oblasť záujmu sa konkrétne týka najmä oblasti teórie riadenia, kryptografie, chémie, biológie, fyziky a energetických systémov v optimalizačných úlohách, pri ktorých aplikovanie chaotických sekvencií čísel miesto náhodných vedie k lepším výsledkom [1]. V neposlednom rade sa týka i elektroniky. Vo všeobecnosti je chaos charakteristiký hlavne citlivosťou počiatočných podmienok určenými najmä Lyapunovými exponentami pri nastavení systému [2-4]. Vďaka veľmi malej zmene počiatočného stavu systému, dochádza k markantnej zmene chovania sa pri jeho vývoji. Ďalším znakom chaosu je stochasticita a ergodičnosť. Elektronické obvody boli ako prvé skúmané za účelom poznania a objavovania chaotického chovania v praktických ukázkach a experimentoch. Práca sa zaoberá realizáciou spojitého autonómneho obvodu - Chua Obvodu.

## Formulácia problému:

Chua obvod je najjednoduchší elektronický obvod, ktorý vykazuje chaos a bifurkačný fenomén [5], ktorý bol overený teoretickou analýzou, [6] počítačovou simuláciou [7] a experimentálnymi meraniami [8]. Chua obvod bol vynájdený v roku 1983 [9] a je zobrazený na obrázku č. 1. Tento obvod pozostáva z piatich komponentov, konkrétne štyroch pasívnych: cievka, odpor a dva kondenzátory a jedného aktívneho prvku – Chua dióda. Chua dióda je charakterizovaná sčasti lineárnou symetrickou charakteristikou, v mnohých prípadoch je realizovaná elektronickými komponentmi, ktoré budú spomenuté neskôr. Chua obvod vykazuje množstvo zreteľných chaotických trás a chaotický atraktor, taktiež známy ako Dvojitý atraktor.

Obvod vynášiel Leon Chua v roku 1983 v laboratórií profesora T. Matsumota na univerzite Waseda v Japonsku. T. Matsumoto vytvoril prvý elektronický obvod založený na Lorencových diferenciálnych rovniciach. Tento obvod vykazoval známky chaotického chovania a obsahoval radu nastavení. Jedinou nevýhodou obvodu bola komplikovanosť, množstvo súčiastok, a čo viac, súčiastky museli spĺňať isté špecifické kritéria aby boli použiteľné, inými slovami - mali príliš malú toleranciu a vysokú presnosť. Koncom októbra 1983 Leon Chua objavil mechanizmus a spojitosť medzi Rosslerovými a Lorenzovými rovnicami. Jedná sa o výskyt najmenej dvoch nestabilných equilibríí, konkrétne 3 pre Lorenzové rovnice a 2 pre Rosslerove rovnice. Na základe tohto faktu L. Chua prepočítal pomocou teórie nelineárnych obvodov oba obvody a vytvoril obvod vykazujúci

chaotické chovanie. Z praktického hľadiska, ponúkol robustnejší a zároveň jednoduchší dizajn na jeho zhotovenie.

Stavové rovnice obvodu sú

$$C_1 = \frac{dv_{C_1}}{dt} = G(v_{C_2} - v_{C_1}) - f(v_{C_1})$$

$$C_2 = \frac{dv_{C_2}}{dt} = G(v_{C_1} - v_{C_2}) + i_L$$

$$L \frac{di_L}{dt} - v_{C_2}$$

Kde,

$$G = 1/R$$

$v_{C_1}$  je napätie na kondenzátore 1

$v_{C_2}$  je napätie na kondenzátore 2

$i_L$  je prúd cievky

$f(\cdot)$  je sčasti lineárna funkcia definovaná ako

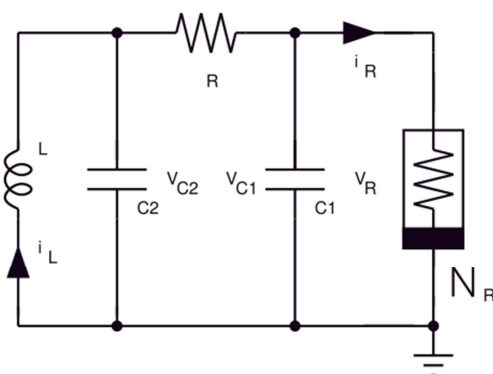
$$f(v_R) = m_o v_R + \frac{1}{2}(m_i - m_o)[|v_R + B_p| - |v_R - B_p|]$$

Kde,

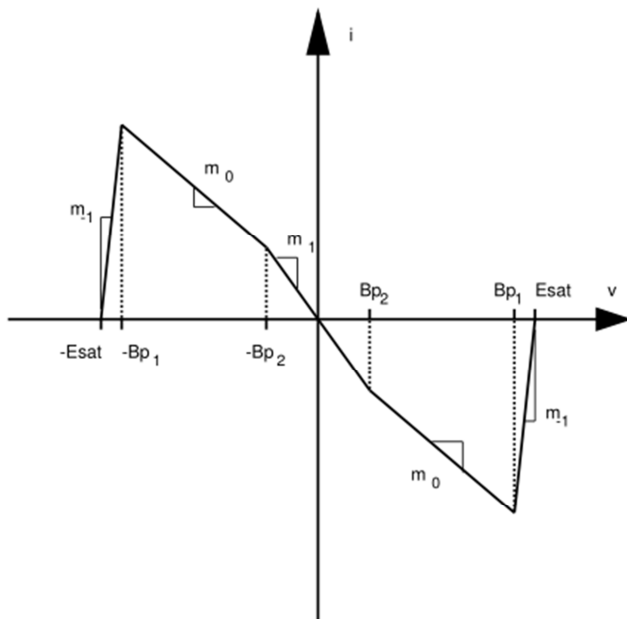
$m_o, m_i$  reprezentujú vonkajší a vnútorný sklon priamky

$\pm B_p$  sú zlomové body

Charakteristika tejto funkcie je zobrazená na obrázku č. 2. Nelineárny rezistor  $N_R$  označovaný ako napäťovo riadený prvok, pretože prúd na tomto prvku je funkciou napätia na svorkách.



Obrázok č. 1 Chua Obvod s nelineárnym rezistorom



Obrázok č. 2 Päť segmentová charakteristika vzniknutá zložením dvoch nelineárnych diod

## Realizácia experimentu

V tejto práci som realizoval Chua obvod pomocou operačných zosilovačov (OZ). Chua dióda pozostáva z 2 OZ a tým som dosiahol požadovaného tvaru V-I charakteristiky. Postup výpočtu je nasledovný:

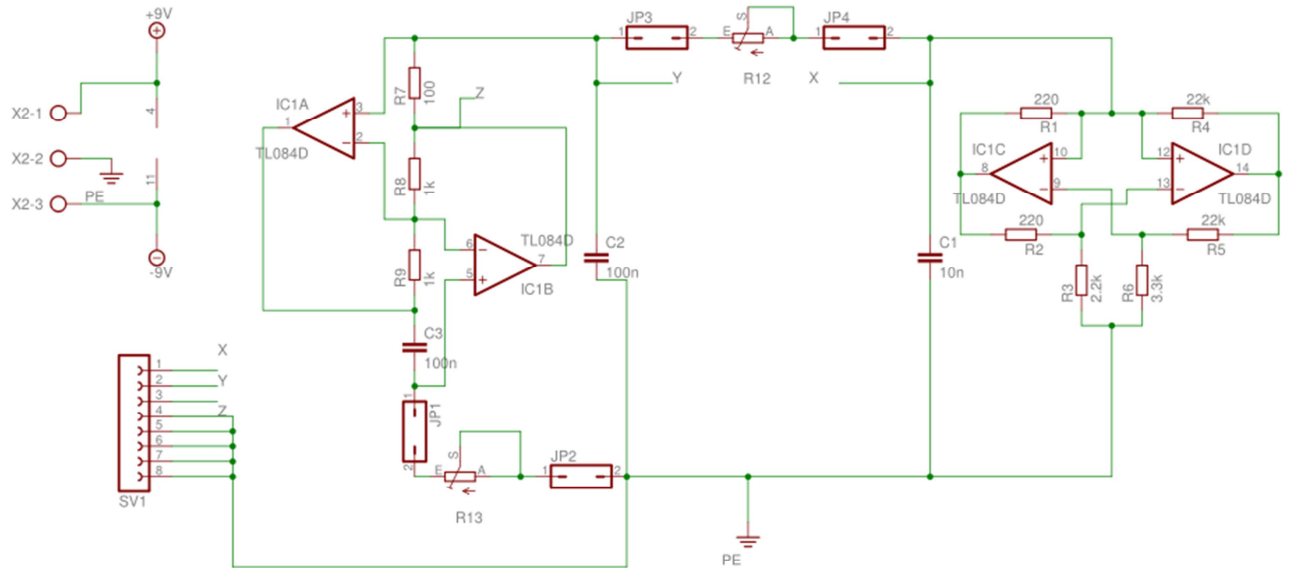
$E_{sat}$  je závislé na veľkosti napájacieho napätia pre jednotlivé OZ. Túto hodnotu nemusíme dopredu striktno vedieť, ale môžeme ju zmerať. Tvar žiadanej charakteristiky určuje  $B_{p2}$ ,  $m_0$  a  $m_1$ . Máme možnosť výberu  $B_{p1}$  alebo  $m_{-1}$ .

- Vyberieme  $R_1$  tak, aby jeho hodnota bola dostatočne veľká na to aby príliš nezaťažovala OZ.

Vypočítajme  $B_{p1}$  podľa  $B_{p1} = \left[ \frac{1}{1-m_1R_1} \right] E_{sat}$ , ak  $B_{p1}$  nie je dostatočne veľké, dynamika atraktoru zostane v negatívnej odporovej oblasti. Potom znížime hodnotu  $R_1$  a postup opakujeme. Vybraný rezistor je vždy pomer medzi veľkosťou  $R_1$  a dĺžkou zápornej odporovej oblasti.

- Vyberieme  $R_2 = R_1$
- Vypočítame  $R_3 = \frac{E_{sat}}{(B_{p2}-E_{sat})m_0-B_{p2}m_1}$
- Vypočítame  $R_4 = \frac{E_{sat}}{B_{p2}(m_0-m_1)}$
- $R_5 = R_4$
- Vypočítame  $R_6 = \frac{E_{sat}}{(E_{sat}-B_{p2})(m_0-m_1)}$
- (nepovinný) vypočítame hodnotu gyrátora pomocou  $L = (R_7R_9R_{10}C)/R_8$

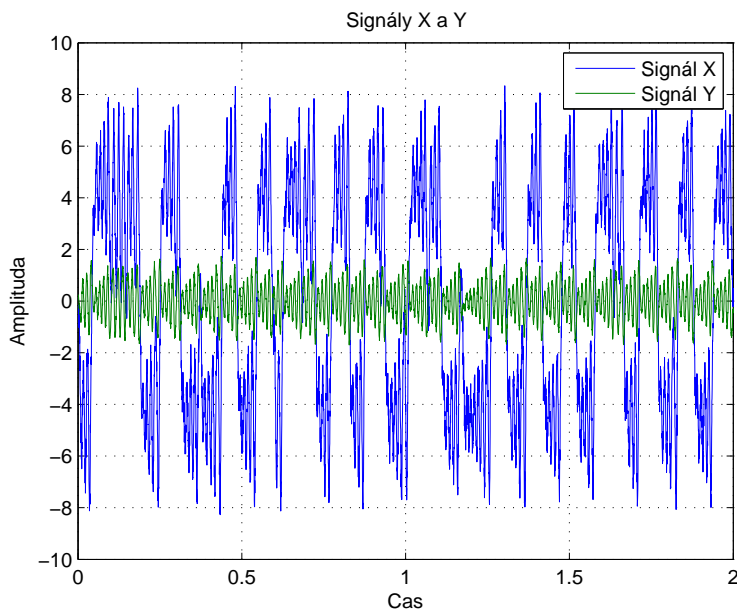
Pri použití symetrického  $\pm 9V$  napájania som zmeral  $E_{sat} = 8.5V$ . Žiadaná nelineárna charakteristika je daná bodmi:  $m_0 = -0.409mS$ ,  $m_1 = -0.825mS$  a  $B_{p2} = 1.1V$ . Celkové zostavenie obvodu je možné vidieť na obrázku č.3



Obrázok č. 3 Praktická realizácia Chua Obvodu

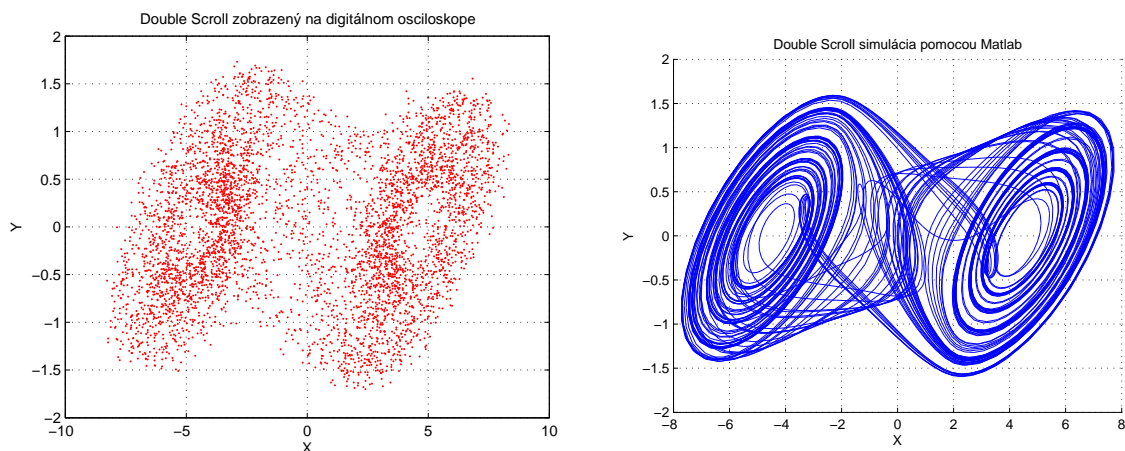
## Výsledky

Porovnanie signálov X (napätie na kondenzátore 1) a Y (napätie na kondenzátore 2) je zobrazený na obrázku č.4



Obrázok č. 4 Zobrazenie signálov X a Y

Atraktor vzniknutý zložením signálov X a Y je možné vidieť na obrázku č.5.



Obrázok č. 5 Dvojitý Atraktor zobrazený na digitálnom osciloskope (naľavo) a simulácia obvodu (vpravo)

## Záver

V tejto práci som sa zaoberal výrobou a simuláciou elektronického obvodu demonštrujúceho chaotické chovanie – výskyt atraktora. Za týmto účelom bol vyrobený Chua obvod. Článok opisuje základný princíp fungovania Chua obvodu, zhotovenie Chua diódy pomocou operačných zosilovačov a nahradenie cievky v obvode za nastaviteľnú cievku – gyrátor. Dosiahnuté ciele sú zobrazené a prezentované v kapitole „ Výsledky “ .

Výsledkom práce je zhotovený obvod a demonštrovaný atraktor, pomocou vhodnej voľby parametrov. Ako možné vylepšenie obvodu by bolo vhodné nahradiť obyčajné keramické kondenzátory za presnejšie, typu mylar. Použité potenciometre sa tiež neukázali ako vhodní kandidáti, pretože obsahovali veľkú toleranciu a rozptyl.

## Referencie

- [1] M.S. Tavazoei, M. Haeri, Comparison of different one-dimensional maps as chaotic search pattern in chaos optimization algorithms, *Applied Mathematics and Computation* 187 (2) (2007) 1076–1085.
- [2] S.H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Perseus Publishing, Massachusetts, 2000.
- [3] R. Caponetto, L. Fortuna, S. Fazzino, M.G. Xibilia, Chaotic sequences to improve the performance of evolutionary algorithms, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 7 (3) (2003) 289–304.
- [4] Wu, Z. Chen, *Introduction of Chaos Theory*, Shanghai Science and Technology, Bibliographic Publishing House, 1996.
- [5] Chua, L.O. (2007) Chua circuit. *Scholarpedia*, 2, 1488, [http://www.scholarpedia.org/article/Chua\\_circuit](http://www.scholarpedia.org/article/Chua_circuit).
- [6] Chua, L.O., Komuro, M., and Matsumoto, T. (1986) The double scroll family. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 33, 1072–1118.

[7] Matsumoto, T. (1984) A chaotic attractor from Chua's circuit. IEEE Transaction on Circuits and Systems, 31, 1055–1058.

[8] Zhong, G.Q. and Ayrom, F. (1985) Experimental confirmation of chaos from Chua's circuit. International Journal of Circuit Theory and Applications, 13, 93–98.

[9] Chua, L.O. (1992) The Genesis of Chua's Circuit. Archiv fur Elektronik und Ubertragung-technik, 46, 250–257.