

2-Sarmallı Skala Edilmiş Lu-Chen 2003 Kaotik Sistemi ve Elektronik Osilatörü

İhsan Pehlivan¹, Akif Akgül¹, Ersin Kurt², Aziz Başaran²

¹ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, SAKARYA Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

² Mekatronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, SAKARYA Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

Özet

Kaotik sistemler ve sinyaller gürültü benzeri geniş güç spektrumları ve rasgele davranış özellikleri nedeniyle çok farklı teknoloji ve mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, potansiyel kaotik sinyal üreteç devrelerini çeşitlendirmek amacıyla; 2 sarmallı Lu-Chen 2003 sistemi sakala edilerek önce bilgisayar ortamında elektronik osilatör devresi tasarlanmış, daha sonra gerçek elektronik devresi kurulmuştur. Sunulan karşılaştırmalı simülasyon ve osilaskop çıktıları başarılı bir tasarımın yapıldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaos, kaotik sistem, Lu-Chen 2003 sistemi, kaotik osilatör, kaotik devre

Abstract

A concise and factual abstract of 100-150 words is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the approach used, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Key words: Chaos, chaotic system, Lu-Chen 2003 system, chaotic oscillator, chaotic circuit

1. Giriş

Kaotik sistemler, başlangıç şartlarına aşırı duyarlı, periyodik olmayan, gürültü benzeri geniş bant genişliğine sahip sistemlerdir. Bu nedenle rastlantısal sanılan bir çok sistemi kavramada yardımcı olmaktadır. Evrende lineer olmayan bir çok yapı bulunmaktadır. Bunların incelenmesinde de kaotik yapıların önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Kaos bilimi, 1963 yılında Edward Lorenz'in öncülüğünde gelişmeye başlamıştır[1]. Daha sonra Rössler, Chua gibi araştırmacılar ile hızlı ilerlemeler kaydetmiş [2-3] ve günümüzde de halen fizik ve matematik gibi temel alanlarda çok geniş bir şekilde incelenerek gelişmesine devam etmektedir. Kaos bilimi, hava tahmininden sigara dumanının havada yayılışına, nüfus biliminden tek hücreli organizmaların yaşayışına kadar birçok araştırma konusunda kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir.

Elektronik olarak kaotik bir sistem, ilgili dinamik denklemleri sağlayan devrelerin gerçekleştirilmesiyle elde edilebilir. Kaos olayı ile ilgili ilk basit elektronik devreyi Chua gerçekleştirmiştir[4]. Geliştirilen bu devre, daha sonraları kaos üretici olarak birçok alanda kullanılmıştır. İlerleyen zamanlarda basit RLC, RC devreleri [5- 9], osilatörler [10, 11], güç devreleri [12-14], sayısal filtreler [15-17] ve kapasitör devreleri gibi kaotik davranış gösteren birçok elektronik devre uygulaması geliştirilmiştir. Son yıllarda ise birçok alanda kullanılmak üzere farklı yapıda Pratik uygulama potansiyeline sahip elektronik devre gerçeklemeleri yapılmış yeni kaotik sistemler literature sunulmuştur[17-26].

Bu çalışmada, giriş bölümünün ardından ikinci bölümde elektronik devre gerçekleştirilmesi yapılan kaotik Lu-Chen 2003 sisteminin tanıtımı, tanıtılan kaotik sisteme yönelik açıklamalar ve yapılan skala işleminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde kaotik sistemin elektronik devre tasarım modellemesi analizlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra dördüncü bölümde devre modeli elde edilen kaotik sistemin OrCAD-PSpice simülasyon sonuçları ile gerçek ortam devre uygulamasına ait osiloskop çıktıları sunulmuştur. Son kısımda ise sonuç ve değerlendirmeler verilmiştir.

2. Lu-Chen 2003 Kaotik Sistemi ve Skala İşlemi

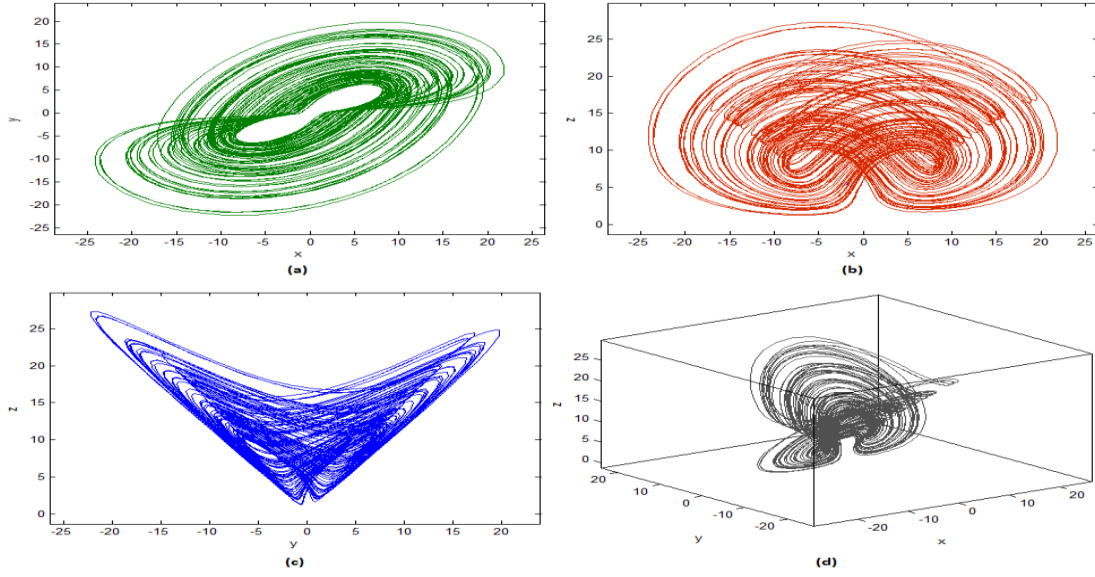
Jinhu Lü, ve Guanrong Chen tarafından 2003 yılında tanıtılan[27] Denklem (1)'deki doğrusal olmayan denklem sistemi, Lü-Chen 2003 kaotik sistemi olarak bilinmektedir.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= a \cdot x + d_1 \cdot y \cdot z \\ \dot{y} &= b \cdot y + d_2 \cdot x \cdot z \\ \dot{z} &= c \cdot z + d_3 \cdot x \cdot y \end{aligned} \quad (1)$$

Kaotik sisteme ait tipik parametre ve başlangıç şartı değerleri şu şekildedir;

$$d_1 = -1, d_2 = 1, d_3 = 1, a = 5, b = -10, c = -3.4, x_0 = -3, y_0 = 0, z_0 = 3$$

Tipik parametre ve başlangıç şartı değerleri kullanılarak Matlab programında elde edilen kompleks 2-sarmallı çekiciler Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Lü-Chen 2003 sisteminin (a) x-y, (b) x-z, (c) y-z, (d) x-y-z kaotik çekicileri.

Lü-Chen 2003 sisteminin dinamik sınırları güç kaynağının sınırlarını aştığı için x, y, z değişkenlerinin skala edilmesi gerekmektedir. Pehlivan'ın yaptığı skala işlemine [28] benzer olarak sistemin yeni değişkenleri $u = x/5$, $v = y/5$ ve $w = z/5$ olarak tanımlanmıştır. Bu skala faktörleriyle birlikte Lü-Chen 2003 denklemlerinin skala edilmesine ait ara adımlar Denklem (2) – (4) arasında, en son elde edilen skala edilmiş denklemler ise Denklem (5)'te görülmektedir.

$$x = 5 \cdot u \rightarrow \dot{x} = 5 \cdot \dot{u}$$

$$y = 5 \cdot v \rightarrow \dot{y} = 5 \cdot \dot{v}$$

$$z = 5 \cdot w \rightarrow \dot{z} = 5 \cdot \dot{w}$$

(2)

$$\beta \cdot \dot{u} = \beta \cdot a \cdot u + \beta \cdot 5 \cdot d_1 \cdot v \cdot w$$

$$\beta \cdot \dot{v} = \beta \cdot b \cdot v + \beta \cdot 5 \cdot d_2 \cdot u \cdot w$$

$$\beta \cdot \dot{w} = \beta \cdot c \cdot w + \beta \cdot 5 \cdot d_3 \cdot u \cdot v$$

(3)

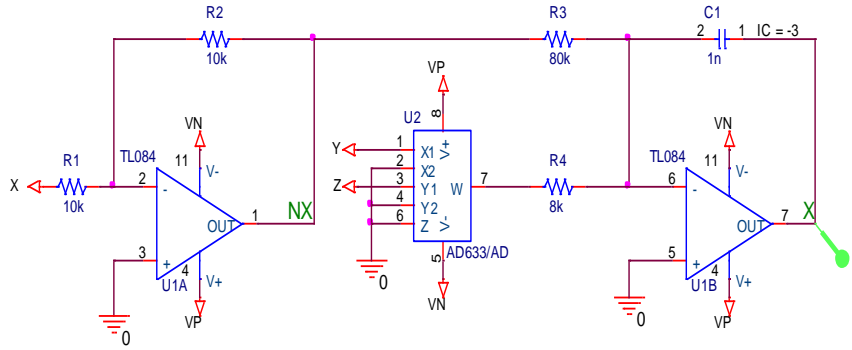
$$\begin{aligned} \dot{u} &= a \cdot u + 5 \cdot d_1 \cdot v \cdot w \\ \dot{v} &= a \cdot u + 5 \cdot d_1 \cdot u \cdot w \\ \dot{w} &= a \cdot u + 5 \cdot d_1 \cdot u \cdot v \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \dot{x} &= a \cdot x + 5 \cdot d_1 \cdot y \cdot z \\ \dot{y} &= b \cdot y + 5 \cdot d_2 \cdot x \cdot z \\ \dot{z} &= c \cdot z + 5 \cdot d_3 \cdot x \cdot y \end{aligned} \quad (5)$$

3. Devre Tasarımı

Tasarlanan skala edilmiş Lu-Chen 2003 kaotik sistemin elektronik devresi 3 aşamada analiz edilecektir. Sırasıyla x, y, z denklemlerine ait hesaplama devreleri ve analizleri aşağıda verilmiştir.

3.1. X Hesaplama Devresi ve Analizi



Şekil 2. Lü - Chen 2003 osilatörünün x hesaplama devresi

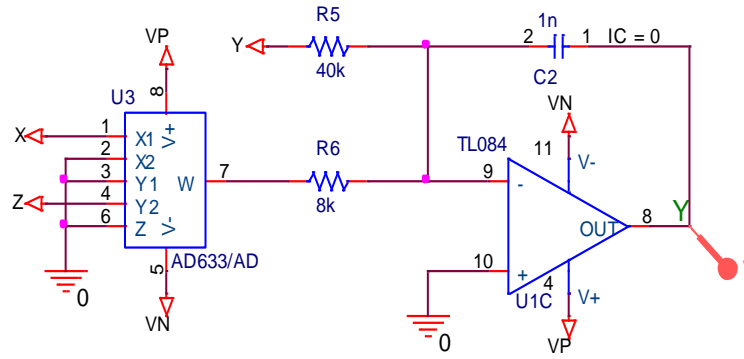
Şekil 2. deki devre analiz edilirse;

$$x = -x \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{-1 / j \cdot \omega \cdot C_1}{R_3} + y \cdot z \cdot \frac{-1 / j \cdot \omega \cdot C_1}{R_4}, \text{ buradan}$$

$$x = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{x}{C_1 \cdot R_3} \cdot \frac{1}{s} + \frac{y \cdot z}{C_1 \cdot R_4} \cdot \frac{1}{s} \quad \text{ve } R_1 = R_2 \text{ olduğundan}$$

$$\dot{x} = \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{x}{R_3} - \frac{y \cdot z}{R_4} \right) \text{ elde edilir.}$$

3.2. Y Hesaplama Devresi ve Analizi



Şekil 3. Lü - Chen 2003 osilatörünün y hesaplama devresi

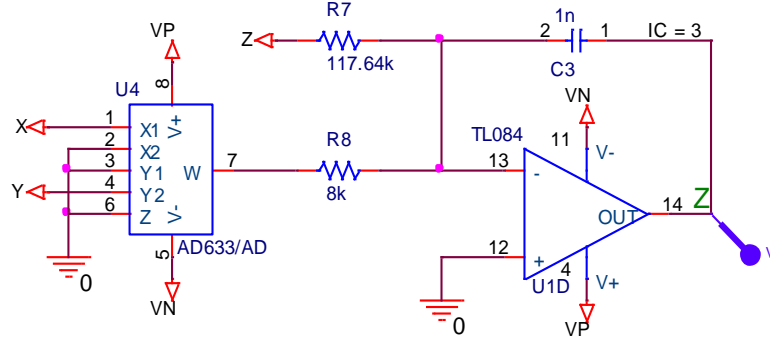
Şekil 3. deki devre analiz edilirse;

$$y = y \cdot \frac{-1 / j \cdot \omega \cdot C_2}{R_5} + \frac{-1 / j \cdot \omega \cdot C_2}{R_6} \cdot (-x \cdot z)$$

$$y = \frac{y}{C_2 \cdot R_5} \cdot \frac{1}{s} - \frac{x \cdot z}{C_2 \cdot R_6} \cdot \frac{1}{s}, \text{ Buradan da}$$

$$\dot{y} = \frac{1}{C_2} \cdot \left(-\frac{y}{R_5} + \frac{x \cdot z}{R_6} \right) \text{ elde edilir.}$$

3.3. Z Hesaplama Devresi ve Analizi



Şekil 4. Lü - Chen 2003 osilatörünün z hesaplama devresi

Şekil 4. deki devre analiz edilirse;

$$z = z \cdot \frac{-1 / j \cdot \omega \cdot C_3}{R_7} + \frac{-1 / j \cdot \omega \cdot C_3}{R_8} \cdot (-x \cdot y)$$

$$z = \frac{z}{C_3 \cdot R_7} \cdot \frac{1}{s} - \frac{x \cdot y}{C_3 \cdot R_8} \cdot \frac{1}{s}, \text{ Buradan da}$$

$$\dot{z} = \frac{1}{C_3} \cdot \left(-\frac{z}{R_7} + \frac{x \cdot y}{R_8} \right) \text{ elde edilir.}$$

Elde edilen \dot{x} , \dot{y} , \dot{z} ifadeleri birleştirilirse;

$$\dot{x} = \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{x}{R_3} - \frac{y \cdot z}{R_4} \right)$$

$$\dot{y} = \frac{1}{C_2} \cdot \left(-\frac{y}{R_5} + \frac{x \cdot z}{R_6} \right)$$

$$\dot{z} = \frac{1}{C_3} \cdot \left(-\frac{z}{R_7} + \frac{x \cdot y}{R_8} \right)$$

(6)

3.4 Zaman Skalasının Belirlenmesi

Kapasitörlerin değerleri devrenin zamanlama skalasını belirlemektedir. Cuomo ile Oppenheim'in çalışmaları neticesinde [29] 2505 olarak zamanlama skalasını hesaplamışlardır. Charlesworth [30], yaptığı hesaplamalar da problemin çözümünün fiziksel zamanıyla (problem zamanı), analog bilgisayardaki hesaplama zamanının farklı olduğunu göstermiştir. Bu sebeple zamanlama skalasının gerekliliğini göstermiştir. Charlesworth'a göre

t = problem zamanı, τ = hesaplama zamanı (devre) ve β = zaman skalama faktörü olmak üzere $\tau = \beta \cdot t$ dir. Burada da devre hesaplamalarında aynı şekilde zaman skalalama faktörü kullanılmıştır. Denklem (5)'teki sistemi, Denklem (6)'daki sistemi ile karşılaştırarak ve zaman skalalaması uygulayarak, a, b ve c parametrelerinin matematiksel karşılıkları elde edilir.

a ve d_1 için:

$$\dot{x} = a \cdot x + 5 \cdot d_1 \cdot y \cdot z = \frac{1}{C_1} \cdot \left(\frac{x}{R_3} - \frac{y \cdot z}{R_4} \right) \text{ dir.}$$

$$a = \frac{1}{C_1 \cdot R_3} \text{ ve } d_1 = -\frac{1}{5 \cdot C_1 \cdot R_4} \text{ olur.}$$

Zaman skalalaması uygulanırsa aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$a = \frac{1}{2505 \cdot C_1 \cdot R_3} \text{ ve } d_1 = -\frac{1}{2505 \cdot 5 \cdot C_1 \cdot R_4} \text{ olur.}$$

b ve d_2 için:

$$\dot{y} = b \cdot y + 5 \cdot d_2 \cdot x \cdot z = \frac{1}{C_2} \cdot \left(-\frac{y}{R_5} + \frac{x \cdot z}{R_6} \right) \text{ dir.}$$

$$b = -\frac{1}{2505 \cdot C_2 \cdot R_5} \text{ ve } d_2 = \frac{1}{2505 \cdot 5 \cdot C_2 \cdot R_6} \text{ olur.}$$

c ve d_3 için:

$$\dot{z} = c \cdot z + 5 \cdot d_3 \cdot x \cdot y = \frac{1}{C_3} \cdot \left(-\frac{z}{R_7} + \frac{x \cdot y}{R_8} \right) \text{ dir.}$$

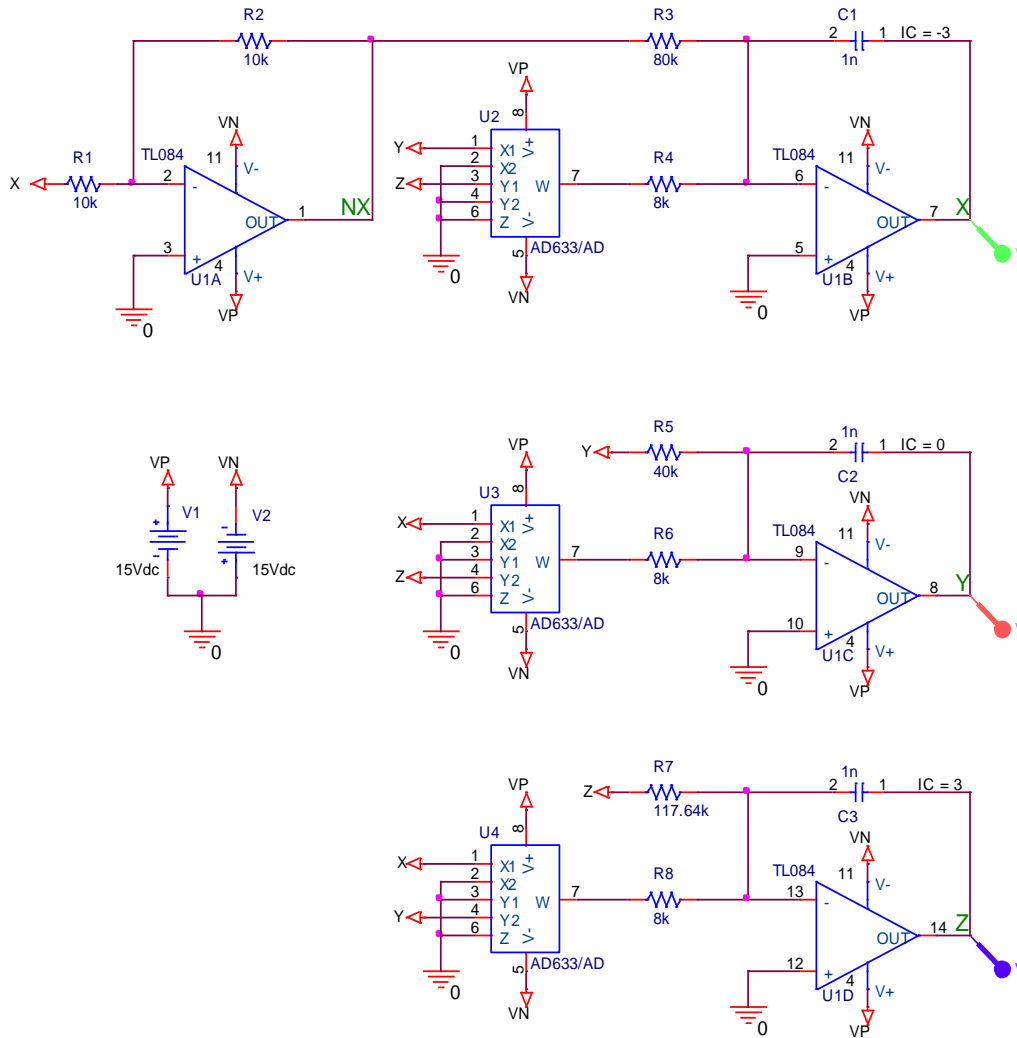
$$c = -\frac{1}{2505 \cdot C_3 \cdot R_7} \text{ ve } d_3 = \frac{1}{2505 \cdot 5 \cdot C_3 \cdot R_8} \text{ olur.}$$

Devre dirençlerinin hesabı için örneğin z denklemini ele alalım. $c = -3.4$ olduğu ve devrede $C_3 = 1 \text{ nF}$ alındığı düşünülürse buradan $R_7 = 117.64 \text{ K}$ olur. R_3 direnci için $d_3 = 1$ olduğundan ve AD633 çarpma entegresi girişlerine uygulanan sinyalleri çarpıp sonucu 10'a böldüğü için $R_8 = 8 \text{ K}$ olarak hesaplanır.

Bulunan bu direnç ve kondansatör değerleri ile aynı şekilde diğerleri de hesaplanırsa;

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ K}, R_3 = 80 \text{ K}, R_4 = R_6 = R_8 = 8 \text{ K}, R_5 = 40 \text{ K}, R_7 = 117.64 \text{ K} \text{ olarak elde edilir.}$$

Devrede $C_1 = C_2 = C_3 = 1 \text{ nF}$ 'dir. Tasarlanan devre şeması Şekil 5.'de gösterilmektedir.



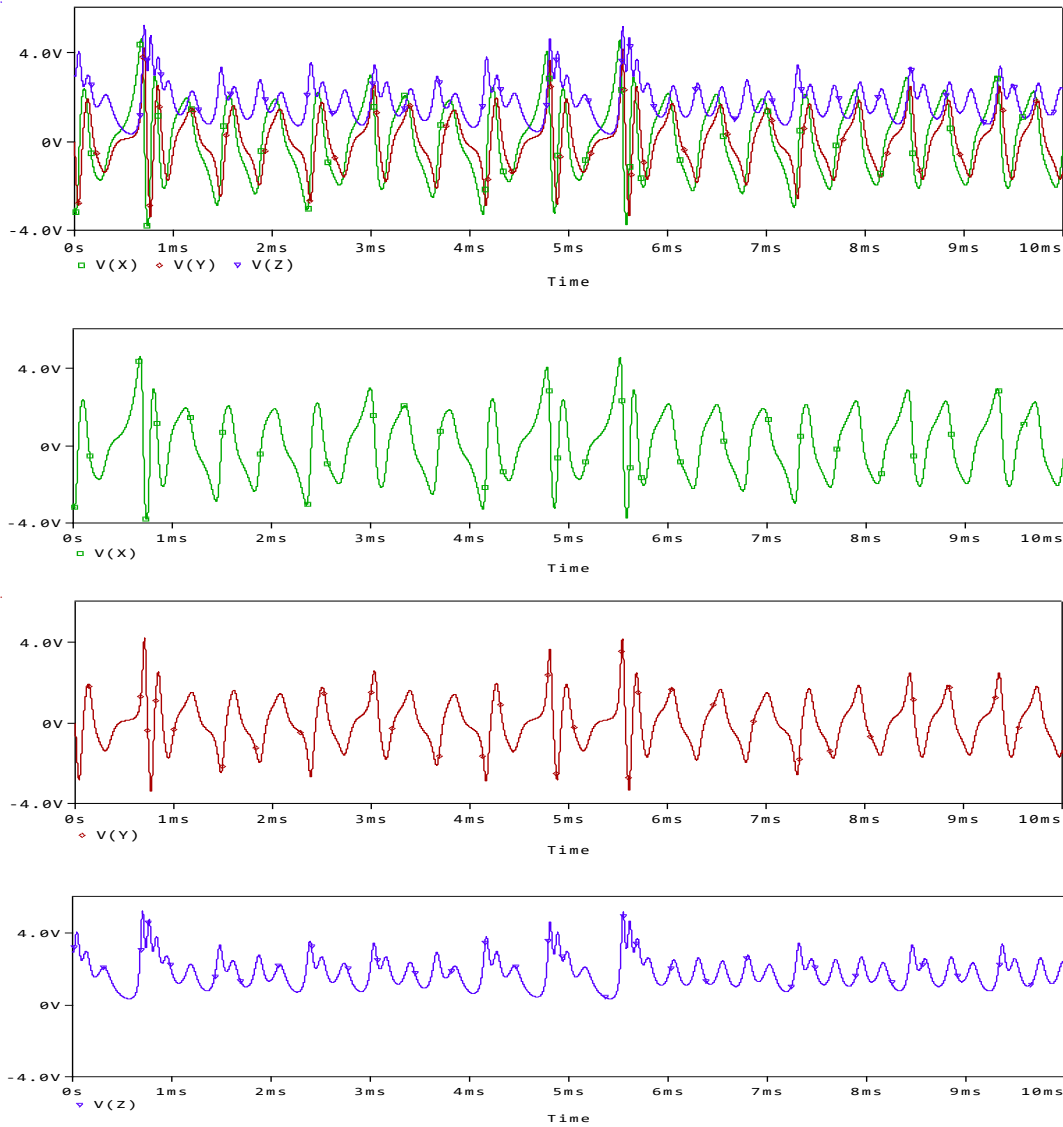
Şekil 5. Lü - Chen 2003 Sistemi'nin tasarlanan elektronik osilatörüne ait devre şeması

4. Lü - Chen 2003 Osilatörünün Pspice Simülasyonu ve Gerçek Ortam Uygulaması

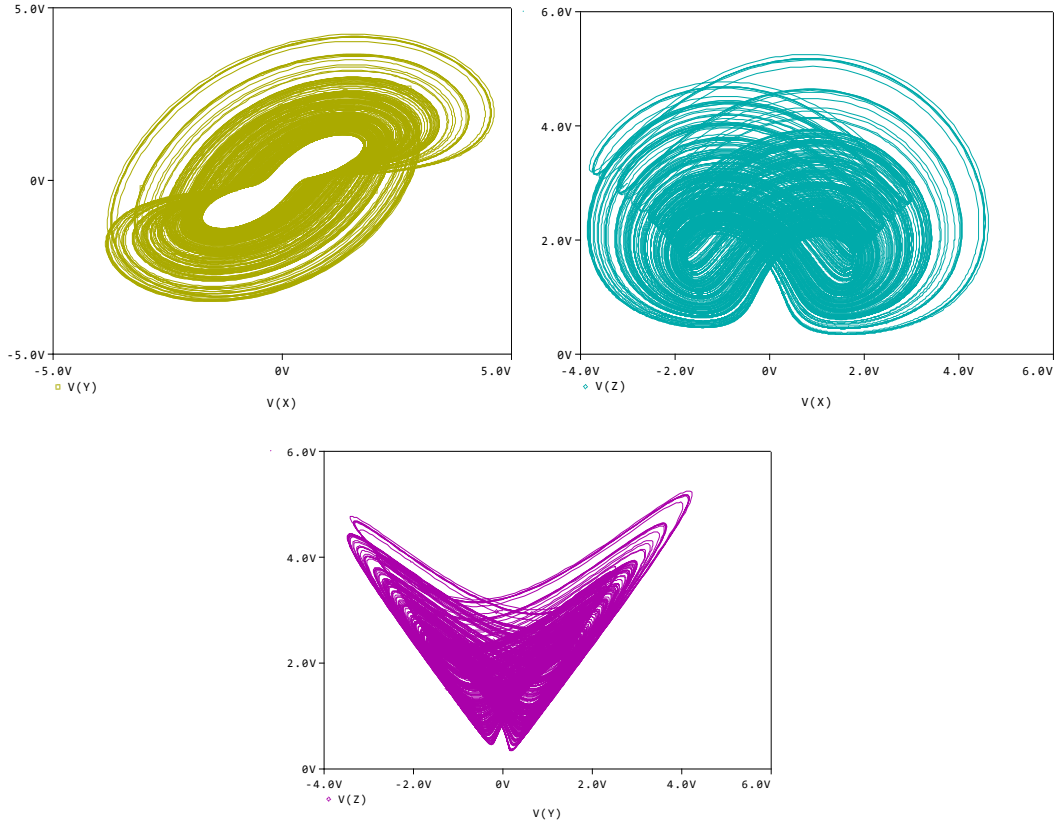
4.1. OrCAD-PSpice Simülasyonu

Bu bölümde, modellenen Lü-Chen 2003 kaotik osilatörüne ait ORCAD-PSpice simülasyon sonuçları ve gerçek ortam devresine ait osiloskop çıkışları verilmiştir.

Şekil 5’de verilen Lü-Chen kaotik sistemine ait elektronik devre öncelikle OrCAD-PSpice programında simüle edilmiştir. Simülasyon sonucu x, y ve z çıkışlarına ait sinyaller ve x-y, x-z ve y-z için elde edilen faz portre çıktıları sırasıyla Şekil 6. ve Şekil 7.’de görülmektedir.



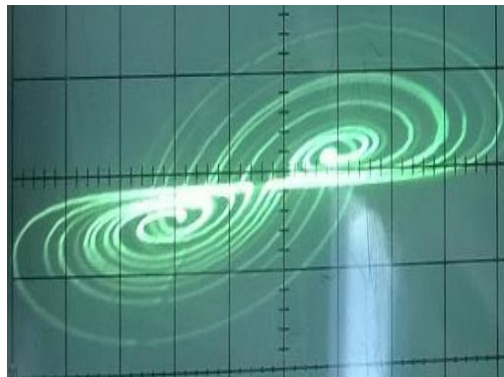
Şekil 6. Lü – Chen 2003 osilatörünün PSpice simülasyonundan elde edilen x-y-z sinyalleri



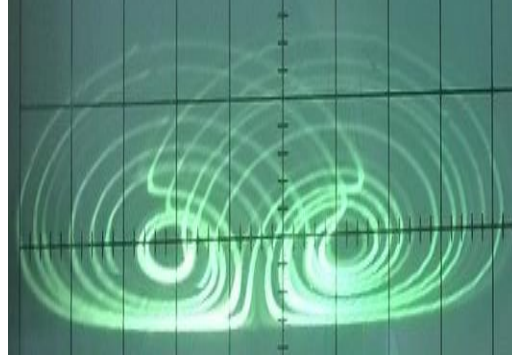
Şekil 7. Lü - Chen 2003 osilatörünün PSpice simülasyonundan elde edilen x-y, x-z, y-z kaotik sinyalleri

4.2. Gerçek Ortam Uygulaması

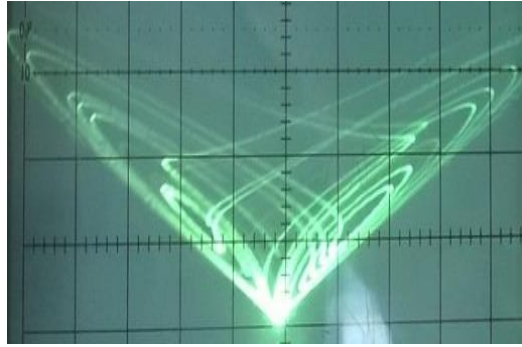
Modellenen Lü - Chen 2003 osilatörüne ait Şekil 5'deki elektronik devrenin, OrCAD-PSpice programında simüle edilmesinden sonra gerçek ortamdaki elektronik devresi kurulmuştur. Gerçek ortam uygulaması sonucunda osiloskop ekranında elde edilen x-y, x-z ve y-z faz portrelerine ait çıktılar Şekil 8. – 10.'da görülmektedir.



Şekil 8. x-y faz portresi: CH1(X) Volts/Div: 1V, CH2(Y) Volts/Div: 2V



Şekil 9. x-z faz portresi: CH1(X) Volts/Div: 1V, CH2(Z) Volts/Div: 2V



Şekil 10. y-z faz portresi: CH1(Y) Volts/Div: 0.5V, CH2(Z) Volts/Div: 1V

6. Sonuçlar

Özellikle fizik, matematik, elektrik-elektronik alanlarında çalışan bilim insanları, mühendisler ve araştırmacılar, karmaşık ve farklı dinamik davranışlar içeren yeni kaotik sistemleri araştırırken, bu denklemlerin modellenmesine ve elektronik devrelerinin kurulmasına ihtiyaç duyabilmektedirler. Bazı kaotik sistemlerin elektronik devrelerinin fiziksel olarak gerçekleşmesi nisbeten daha zor ve karmaşık olabilmektedir. Örneğin kaotik sistemlerin elektronik devre simülasyonlarında, çıkış genlik değerleri problem teşkil etmemekte, fakat gerçek devre uygulamalarında durum değişkenlerinin alabileceği değerlerin kullanılan opamp veya benzeri işlemsel elemanın besleme voltaj değerlerini (+15V, -15V gibi) aşmaması gerekmektedir.

Bu çalışmada, diferansiyel denklemler üzerinde skala işlemi gereken bu tip sistemlere örnek olması açısından, 2-sarmallı Lu-Chen 2003 kaotik sistemi skala edilmiş, elektronik devre simülasyonları ve fiziksel devre gerçeklemeleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. 2 sarmallı skala edilmiş Lu-Chen 2003 kaotik sistemine ait karşılaştırmalı simülasyon ve osiloskop çıktıları, başarılı bir skala işleminin ve elektronik devre tasarımının yapıldığını göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Lorenz, EN., “Deterministic Nonperiodic Flow”, J. Atmos. Sci., 20: 130-141, 1963.
- [2] Rössler, OE., “An equation for continuous chaos”, Phys. Lett. A, 57(5):397-398, 1976.
- [3] Lakshmanan, M. and Murali, K., “Chaos in Nonlinear Oscillators, Controlling and Synchronization”, World Scientific, 1996.
- [4] Chua, LO., Wu, C.W., Huang, A. and Zhong, G., “A Universal Circuit for Studying and Generating Chaos-Part I: Routes to Chaos”, IEEE Trans. Circuits&Systems-I, 40:732-761, 1993.
- [5] Cascais, J., Dialo, N. and Costa, AN., “Chaos and Reverse Bifurcation in a RCL Circuit”, Physics Letters, 93A:213-216, 1983.
- [6] Nakagawa, S. and Saito, T., “An RC OTA Hysteresis Chaos Generator”, IEEE Trans. Circuits&Systems-I, 43:1019-1011, 1996.
- [7] Tamasevicius, A., Namajunas, A. And Cenys, A., “Simple 4D Chaotic Oscillator” Electronic Letters, 32:957-958, 1996
- [8] Ogorzalek, MJ., “Order and Chaos in a Third Order RC Ladder Network with Nonlinear Feedback”, IEEE Trans. Circuits&Systems, CA5-36:1221-1230, 1989.
- [9] Matsumoto, T., Chua, LO. and Tanama, S., “Simplest Chaotic Nonautonomous Circuit”, Physical Rev. A, 30:1155-1157, 1984.
- [10] Kawakami, H., “Bifurcation of Periodic Responses in Forced Dynamic Nonlinear Circuits: Computation of Bifurcation Values of the System Parameters”, IEEE Trans. Circuits&Systems., CAS-31:248-260, 1984.
- [11] Saito, T., “Chaotic Phenomena in a Coupled Oscillators”, European Conf. on Circuit Theory and Design, 275-280, 1987.
- [12] Hamill, DC. and Jeffries, DJ., “Subharmonics and Chaos in a Controlled Switch-Mode Power Converters”, IEEE Trans. Circuits&Systems, CAS-35:1059-1061, 1988.
- [13] Poddar, G., Chakrabarty, K. and Banerjee S., “Control of Chaos in the Boost Converter”, Electronics Letters, 31: 841-842, 1995.
- [14] TSE, CK., “Flip Bifurcation and Chaos in Three-State Boost Switching Regulators”, IEEE Trans. Circuits&Systems-I, 41:16-23, 1994.
- [15] Deschamps DD., “Some Chaotic Consequences of Quantization in Digital Filters and Digital Systems”, ISCAS '89 International Conference on Circuits and Systems, 602-605, 1989.
- [16] Chua, LO. and Lin, T., “Chaos and Fractals from Third-Order Digital Filters”, Int. J. of Circuit Theory and Appl, 18:241-256., 1990.
- [17] Chua, LO. and Lin, T., “Fractal Pattern of Second-Order Nonlinear Digital Filters: A Symbolic Analysis”, Int. Journl. of Circuit Theory and Appl., 18:541-550, 1990.
- [18] Li C., Pehlivan I., Sprott J.C. and Akgul A, “A novel four-wing strange attractor born in bistability”, IEICE Electronics Express, 12(4):1-12, 2015.
- [19] Akgul A., Moroz I., Pehlivan I. and Sundarapandian V., “A new four-scroll chaotic attractor and its engineering applications”, International Journal for Light and Electron Optics, 127(13): 5491-5499, 2016.

- [20] Akgul A., Shafqat H. and Pehlivan I., “A new three-dimensional chaotic system, its dynamical analysis and electronic circuit applications”, *International Journal for Light and Electron Optics (OPTIK)*, 127(18):7062–7071, 2016.
- [21] Akgul A. and Pehlivan I., “A New Three-Dimensional Chaotic System without equilibrium Points, Its Dynamical Analyses And Electronic Circuit Application”, *Technical Gazette*, 23(1): 209-214, 2016.
- [22] Sundarapandian V. and Pehlivan I., “Analysis, control, synchronization and circuit design of a novel chaotic system”, *Mathematical and Computer Modelling*, 55(7-8):1904–1915, 2012.
- [23] Pehlivan I., Moroz I. and Sundarapandian V., “Analysis, synchronization and circuit design of a novel butterfly attractor”, *Journal of Sound and Vibration*, 333(20): 5077-5096, 2014.
- [24] I.Pehlivan., “Four-scroll stellate new chaotic system”, *Optoelectronics and Advanced Materials–Rapid Communications*, 5(9): 1003-1006, 2011.
- [25] Li C. Pehlivan I. and Sprott J.C., “Amplitude-phase control of a novel chaotic attractor”, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24: 1-11, 2016.
- [26] Kacar S., “Analog Circuit and Microcontroller Based RNG Application of a New Easy Realizable 4D Chaotic System”, *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.07.044>, 2016.
- [27] Chen G. and Lu J., “Dynamical Analysis, Control and Synchronization of the Generalized Lorenz Systems Family”, (in Chinese) Science Press, Beijing, 2003.
- [28] Pehlivan I., “Yeni Kaotik Sistemler: Elektronik Devre Gerçeklemeleri, Senkronizasyon ve Güvenli Haberleşme Uygulamaları”, Sakarya Üniv. Doktora Tezi, 2007.
- [29] Cuomo KM. and Oppenheim AV., “Circuit Implementation of Synchronized Chaos with applications to Communication”, *Phys. Rev. Lett.*, 71:65-68, 1993.
- [30] Charlesworth AS. and Fletcher JR., “Systematic Analogue Computer Programming, 2nd edition”, Unwin Brothers Limited, 1974.