

HSA (Hücreyel Sinir Ağı)-Tabanlı Otonom Olmayan MLC Devresinin Donanımsal Gerçekleştirimleri Hardware Implementations for CNN (Cellular Neural Network)- Based Nonautonomous MLC Circuit

Fatma Yıldırım Dalkıran¹, Enis Günay², Recai Kılıç²

¹Sivil Havacılık Yüksekokulu
Erciyes Üniversitesi
fatmay@erciyes.edu.tr

²Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi
egunay@erciyes.edu.tr, kilic@erciyes.edu.tr

Özet

Hücreyel Sinir Ağı (HSA)-tabanlı kaos üreteçleri, büyük bir ilgi uyandırmış ve bu üreteçlerle ilgili çok sayıda teorik ve deneysel çalışma literatüre sunulmuştur. Alternatif donanım çözümleri, HSA-tabanlı kaos üreteçlerinin tasarımı ve gerçekleştirimi için önemlidir. Bu çalışmada, HSA-tabanlı otonom olmayan MLC sistemi tanıtılmış ve bu sistem için iki farklı donanımsal gerçekleştirimi sunulmuştur. Birinci donanım çözümü, klasik analog devre tasarımı şeklinde iken ikincisi programlanabilir ve yeniden yapılandırılabilir tümdevre tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, yapılan tasarımı ve gerçekleştirimi doğrulamaktadır.

Abstract

Cellular Neural Network (CNN)-based chaos generators have attracted considerable interest, and many theoretical and experimental studies related to these generators have been presented in the literature. Alternative hardware solutions are important for design and implementation of CNN-based chaos generators. In this paper, CNN-based nonautonomous MLC system, is introduced and two different hardware implementations are proposed for this system. While the first hardware solution use the classical analog circuitry design, the other one consists of programmable and reconfigurable IC technique. Experimental results verify the design and implementation issues.

1. Giriş

Doğrusal olmayan osilatörler arasında otonom kaotik osilatörler, minimum üç adet doğrusal olmayan diferansiyel denklemden oluşan bir sisteme gereksinim duyarken otonom olmayan kaotik osilatörlerdeki kaotik değişimler, uyarım olarak bilinen ve zamana bağlı periyodik işaretlerle sürülen ikinci dereceden doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerden gözlemlenebilir. Sinüzoidal uyarım tabanlı otonom olmayan kaotik devrelerde sinüs işaretinin hem genliği hem de frekansı, kaotik dinamiklerin karakteristiklerinde rol oynamaktadır. Otonom olmayan kaotik

devreler üzerine yapılan çalışmalar arasında Murali-Lakshmanan-Chua devresi (MLC), büyük ilgi görmüştür [1].

Diğer taraftan Hücreyel Sinir Ağı (HSA), doğrusal olmayan sistemlerin uygulama alanlarından birisidir [2] ve HSA' lar ile ilgili literatürde birçok teorik ve deneysel çalışma bulunmaktadır [3]. Bu çalışmalardan birinde Arena ve arkadaşları, üç adet genelleştirilmiş HSA hücresinin uygun bir bağlantı ile Chua devresinin dinamiklerini üretebileceğini rapor etmişlerdir [4]. Daha sonraları bu HSA-tabanlı devre, HSA-tabanlı güvenilir haberleşme uygulamalarında kaos üretici olarak kullanılmıştır [5-7].

Bu çalışmada HSA-tabanlı otonom olmayan MLC sistemi tanıtılmış ve bu sistem için iki farklı donanım gerçekleştirimi sunulmuştur. Hazırlanan bu çalışma aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır: 2. bölümde HSA-tabanlı MLC devre modeli tanıtılmaktadır. Sunulan devrenin klasik analog devre tasarımı ve programlanabilir donanım gerçekleştirimi, deneysel sonuçlar ile beraber Bölüm 3' de verilmektedir. Son olarak Bölüm 4' de elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

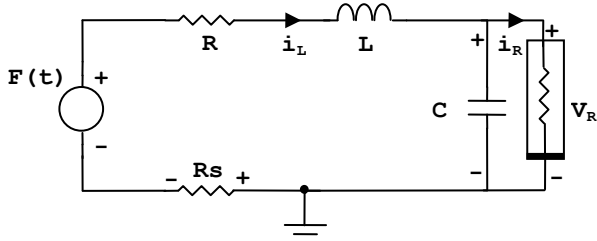
2. HSA-Tabanlı Otonom Olmayan MLC Devresi

MLC devresinin devre şeması, Şekil 1' de verilmiştir. Şekil 1' den görüldüğü gibi MLC devresi, bir adet doğrusal dirençten, 1 adet doğrusal indüktörden, 1 adet doğrusal kapasitörden, bir adet sinüzoidal voltaj kaynağından ve bir adet doğrusal olmayan dirençten oluşmaktadır. Bu doğrusal olmayan direnç, Chua devresindeki doğrusal olmayan direncin üç bölgeyi parçalı doğrusal karakteristiğine sahiptir. MLC devresinin iki adet birinci dereceden otonom olmayan diferansiyel denklemleri ise Denklem 1' de verilmektedir. [8].

$$C \frac{dv_R}{dt} = i_L - f(v_R)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -Ri_L - R_s i_L - v_R + F \sin(\Omega t) \quad (1)$$

$$f(v_R) = G_b v_R + 0.5(G_a - G_b) x(|v_R + B_p| - |v_R - B_p|)$$



Şekil 1: MLC devresi.

Burada G_a ve G_b , sırasıyla iç ve dış bölgelerdeki eğimlerdir ve $\pm B_p$ ise, kırılma noktalarını sembolize etmektedir. $F \sin(\Omega t)$ ' de, Ω , açısal frekansı ve F , harici periyodik işaretin genliğini göstermektedir. $v_R = x B_p$, $i_L = G y B_p$, $G = 1/R$, $w = \Omega C/G$ ve $t = \tau C/G$ eşitlikleri kullanıldığında ve τ t olarak yeniden tanımlandığında MLC devresinin boyutsuz formu aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= y - h(x) \\ \dot{y} &= -\beta y - \beta v y - \beta x + f \sin(\omega t) \\ h(x) &= b x + 0.5(a - b)[|x + 1| - |x - 1|] \end{aligned} \quad (2)$$

burada $(\cdot = d/d\tau)$, $\beta = C/LG^2$, $v = GR_s$, $f = F\beta/B_p$, $a = G_a/G$, $b = G_b/G$ dir.

Diğer taraftan DK-HSA (Durum Kontrollü Hücresel Sinir Ağı), aşağıdaki boyutsuz doğrusal olmayan durum denklemleri ile genelleştirilebilir [4]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_j &= -x_j + a_j y_j + G_0 + G_s + i_j \\ y_j &= 0.5 \times (|x_j + 1| - |x_j - 1|) \end{aligned} \quad (3)$$

Denklem 3' deki j , hücre indeksi, x_j ve y_j , sırasıyla durum değişkeni ve hücre çıkışıdır. a_j , Denklem 3' deki sabit bir parametreyi gösterirken i_j , eşik değeridir. Denklem 3' deki G_0 , çıkışlar olup G_s , birbirine bağlanan hücrelerin durum değişkenleridir. Denklem 3' e göre iki adet genelleştirilmiş HSA hücresinin dinamik modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + a_1 y_1 + a_{12} y_2 + \sum_{k=1}^2 s_{1k} x_k + i_1 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + a_2 y_1 + a_2 y_2 + \sum_{k=1}^2 s_{2k} x_k + i_2 \end{aligned} \quad (4)$$

Denklem 2 ile tanımlanan MLC devresi, aşağıdaki varsayımlar yapılarak Denklem 4' ten türetilebilir:

$$\begin{aligned} x &= x_1; \quad y = x_2; \quad a_1 = b - a; \quad a_{12} = a_{21} = a_2 = 0; \quad s_{11} = 1 - b; \\ s_{12} &= 1; \quad s_{21} = -\beta; \quad s_{22} = 1 - \beta(1 + v); \quad f \sin(\omega t) = f \sin(\omega t) \end{aligned}$$

Yukarıdaki varsayımlarla birlikte Denklem 4 kullanılarak DK-HSA tabanlı MLC modeli aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

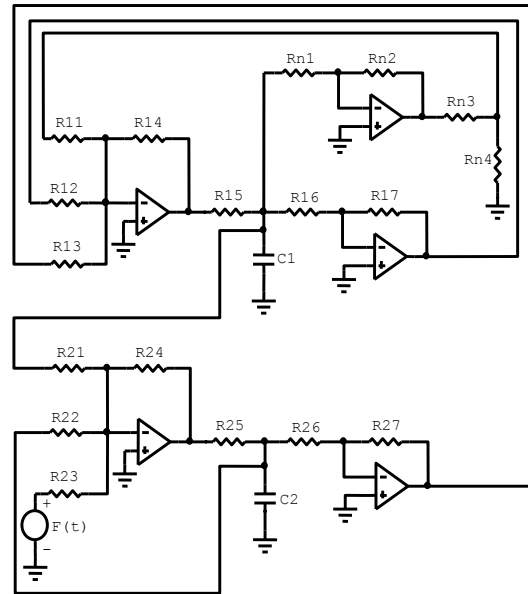
$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + a_1 y_1 + s_{11} x_1 + s_{12} x_2 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + s_{21} x_1 + s_{22} x_2 + f \sin(\omega t) \\ y_1 &= 0.5 \times (|x_1 + 1| - |x_1 - 1|) \end{aligned} \quad (5)$$

MLC modelin deneysel devre parametreleri, $\beta=1$, $v=0.015$, $a=-1.02$, $b=-0.55$ ve $w=0.75$ olarak seçilmiştir [1]. Bu parametre değerleri için DK-HSA parametreleri, $a_1=0.47$, $s_{11}=1.55$, $s_{12}=1$, $s_{21}=-1$, $s_{22}=-0.015$ seçilmiştir.

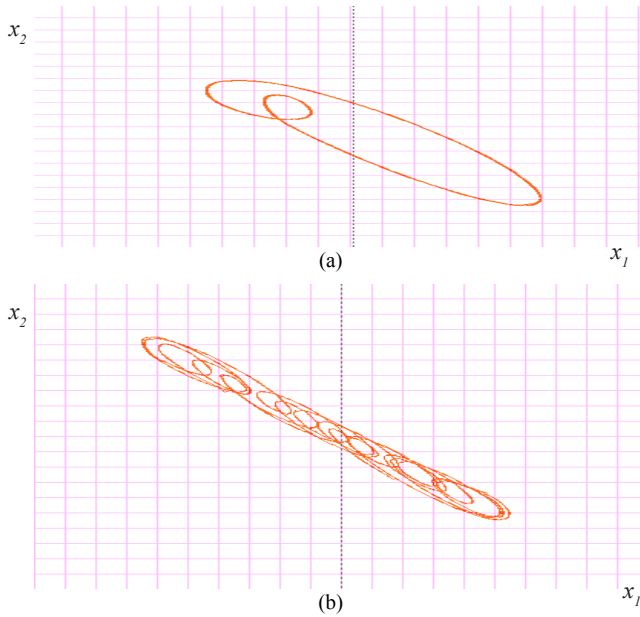
3. HSA-Tabanlı MLC Devresinin Donanım Gerçekleştirmeleri

Bu bölümde önceki bölümde tanımlanan HSA-tabanlı MLC devre modelinin iki farklı donanım gerçekleştirimi incelenmiştir. Birinci gerçekleştirim, klasik analog devre tasarımından oluşmaktadır. Bu tasarımın devre gerçekleştirimi Şekil 2' de gösterilmiş olup hücre elemanlarının değerleri: $R_{11}=207K\Omega$; $R_{12}=66K\Omega$; $R_{13}=100K\Omega$; $R_{14}=100K\Omega$; $R_{15}=1K\Omega$; $R_{16}=100K\Omega$; $R_{17}=100K\Omega$; $R_{N1}=220K\Omega$; $R_{N2}=3M\Omega$; $R_{N3}=180K\Omega$; $R_{N4}=16K\Omega$; $R_{21}=100K\Omega$; $R_{22}=6666.6K\Omega$; $R_{23}=100K\Omega$; $R_{24}=100K\Omega$; $R_{25}=1K\Omega$; $R_{26}=100K\Omega$; $R_{27}=100K\Omega$; $C_1=10nF$; $C_2=10nF$ dir; ve bu tasarımda aktif eleman olarak $\pm 15V$ kutuplamalı AD712 tipi voltaj modlu op-amp kullanılmıştır. Harici uygulanan işaretin f genliği, HSA-tabanlı modelin dinamiklerini elde etmek için kullanılmıştır. f genliği sıfırdan üst sınıra kadar artırıldığında dallanma dizisi, periyodik işareten kaosa kadar uzanan bir davranış sergiler. Harici işaretin frekansı, 8890Hz' de sabittir. Sunulan devrenin dallanma ve çift bantlı kaos davranışı Şekil 3' de gösterilmiştir.

İkinci donanım gerçekleştirimi, FPAA (Field Programmable Analog Array)-tabanlı yeniden yapılandırılabilir tasarım yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. FPAA, programlanabilir bir tümdevredir ve yeniden yapılandırma özelliği sayesinde analog fonksiyonları içeren çeşitli sistemler, kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Bunun anlamı, yeni bir tasarım veya var olan tasarım üzerinde bir modifikasyon, FPAA' ya kolayca gönderilebilir. Bunlara ek olarak FPAA' lar, analog sistem tasarımı için artan güvenilirlikle birlikte daha küçük bir kırkım alanında daha etkili ve ekonomik çözümler sunar [9-11].



Şekil 2: HSA-tabanlı MLC devresi.



Şekil 3: HSA-tabanlı MLC devresinin x_1 - x_2 düzlemindeki doğrusal olmayan davranışı, (a) $f=0.050V$, periyot-2, (b) $f=0.100V$, çift bantlı kaos.


FPAA' da kullanılarak tasarlanan bir sistem, FPAA üzerinde gerçekleştirilmeden önce numerik analiz yapılarak, test edilir. FPAA elemanı, $\pm 2V$ saturasyon seviyesine sahip olduğu için numerik analiz sonucuna göre sistem, ölçeklendirme işlemine tabii tutulabilir. Ölçeklendirme işleminden sonra sistem modellenir ve seri port aracılığıyla FPAA uygulama kartına gönderilir. FPAA uygulama kartından alınan deneysel sonuçlar, numerik analiz sonuçları ile karşılaştırılır. Eğer bu sonuçlar birbirlerine uyarsa gerçekleştirim tamamlanmış olur. Eğer uymazsa FPAA üzerindeki model, sonuçlar uyuşana kadar modifiye edilir [12].


Denklem 5 ile tanımlanan HSA-tabanlı MLC devre modelinin, FPAA-tabanlı gerçekleştiriminden önce SIMULINK gibi numerik analiz programı ile test işlemi yapılmıştır ve MLC devresinin orijinal kaotik dinamiklerini elde etmek için Denklem 5' deki devre parametreleri, numerik analiz sonuçlarına göre modifiye edilmiştir. Modifiye edilen devre modeli, aşağıdaki durum denklemleri ile tanımlanmıştır:

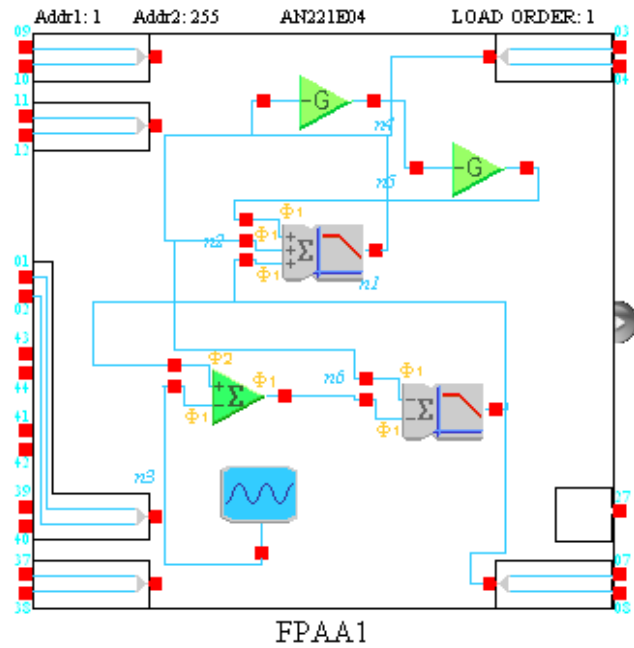
$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + 0.47y_1 + 1.55x_1 + x_2 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 - x_1 + \alpha(-0.0935x_2 + f \sin(\omega t)) \\ y_1 &= 0.5 \times (|x_1 + 1| - |x_1 - 1|) \end{aligned} \quad (6)$$

burada (f) ve (ω) , 0.15 ve 0.6 olarak belirlenmiştir.


HSA-tabanlı MLC devresinin FPAA gerçekleştirim şeması Şekil 4' de gösterilmiştir. x_1 ve x_2 durum değişkenleri,


SUMFILTER [] blokların çıkışlarından elde edilmiştir. Devre kazançları, *SUMFILTER* blokların ve

SUMDIFF [] bloğun blok kazançları ayarlanarak



Şekil 4: HSA-tabanlı MLC devresinin FPAA gerçekleştirim şeması.

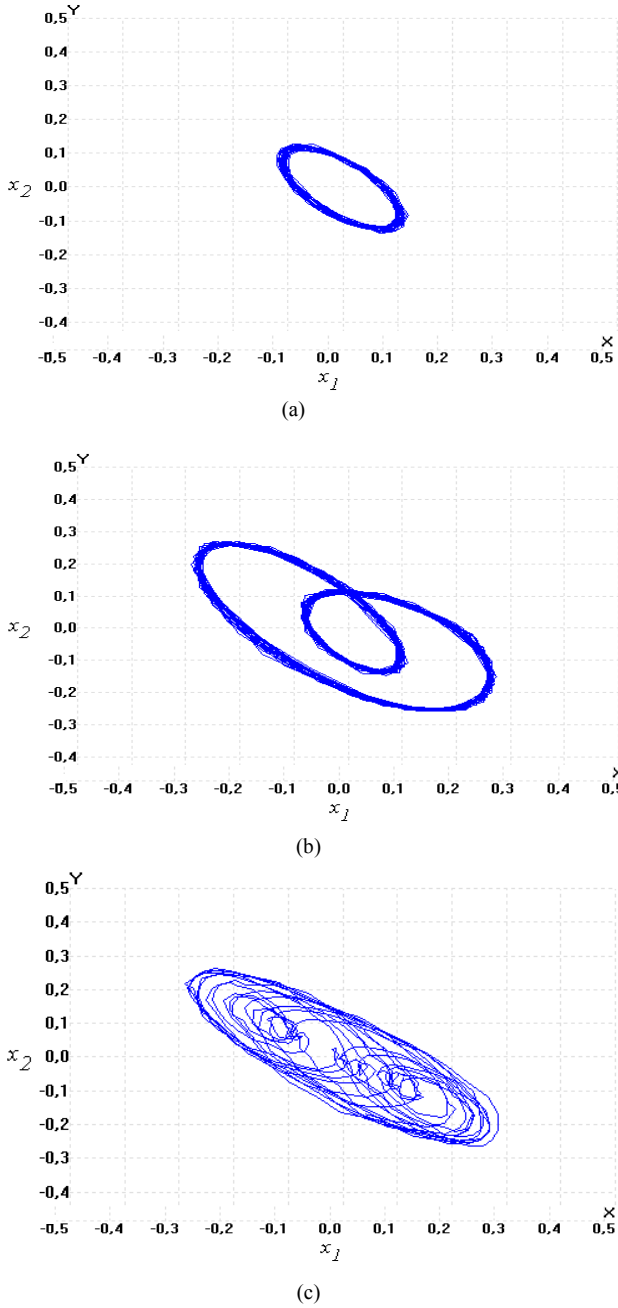
sağlanmıştır. *OSCILLATORSINE* [] bloğu, sinüs dalga işaret kaynağı olarak kullanılmıştır. FPAA-tabanlı MLC devre modelinin gerçekleştiriminde *INVERTING GAIN*

STAGES [] blokları, doğrusal olmayan çıkış fonksiyonu $y_1 = f(x_1)$ gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Bu blok, eviren bir kazanç katı oluşturur.

FPAA' nın yazılım aracında devre gerçekleştirimi modellendikten sonra bu model, Şekil 5' de gösterildiği gibi FPAA uygulama kartına gönderilmiştir. Deneysel ölçümler, FPAA uygulama kartının giriş/çıkış terminalleri kullanılarak yapılmıştır. Zaman domeninde ve X-Y modunda kaotik dinamikleri görüntülemek için sanal ölçüm sistemi kullanılmıştır. Bu sistem, herhangi bir elektronik devreden alınan elektriksel işaretlerin bilgisayar ekranında görüntülenmesine ve numerik değerler dizisi şeklinde kaydedilmesine imkan sağlamaktadır.



Şekil 5: FPAA-tabanlı gerçekleştirim için deneysel kurulum. Bu kurulumda Anadigm firmasının AN221E04 tipi FPAA uygulama kartı kullanılmıştır [9].



Şekil 6: FPAA kullanılarak gerçekleştirilen HSA-tabanlı MLC devre modelinin (α) parametresinin farklı değerlerine göre deneylerden elde edilen çeker gösterimleri, (a) 2.7-periyot 1; (b) 1.7-periyot 2; (c) 1.0-çift bantlı kaotik davranış.

Sunulan HSA-tabanlı MLC devresinin FPAA gerçekleştiriminde (α) parametresinin farklı değerleri için deneysel çalışmalardan elde edilen kaotik çeker gösterimleri, Şekil 6' da gösterilmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada HSA-tabanlı otonom olmayan MLC devresinin farklı donanım gerçekleştirmeleri tanıtılmıştır. Bu gerçekleştirmeler, RC tabanlı devre tasarımı ve programlanabilir analog tasarım tekniği ile beraber indüktörsüz gerçekleştirmeler sunmaktadır. Özellikle FPAA

elemanından yararlanılarak gerçekleştirilen programlanabilir donanım çözümleri, bazı avantajlara sahiptir. Sunulan sistemin sistem kontrolleri ve ayarlamaları, FPAA elemanının programlanabilme özelliği sayesinde esnek şekilde yapılabilmektedir. Programlanabilir tasarım yaklaşımı, HSA-tabanlı diğer otonom ve otonom olmayan kaos üreteçlerinin tasarımlarında çok kullanışlı olabilir. Ayrıca bu gerçekleştirmenin kaotik kontrol ve kaotik haberleşme sistem tasarımında kullanılması avantajlı olacaktır.

5. Kaynaklar

- [1] Lakshmanan, M., ve Murali, K., *Chaos in Nonlinear Oscillators, Controlling and Synchronization*, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A- Vol. 13, 1996.
- [2] Chua, L.O., ve Yang, L., "Cellular Neural Networks: Theory", *IEEE Trans. Circuits&Syst.*, 35, pp.732-745, 1998.
- [3] Chua, L.O., *CNN: A Paradigm for Complexity*, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A- Vol. 31, 1998.
- [4] Arena, P., Baglio, S., Fortuna, L., ve Manganaro, G., "Chua's Circuit Can Be Generated by CNN Cells", *IEEE Trans. Circuits&Syst. -I*, Vol. 42, (2), pp.123-125, 1995.
- [5] Caponetto, R., Lavorgna, M., ve Occhipinti, L., "Cellular Neural Networks in Secure Transmission Applications", *Proc. of CNNA'96*, pp. 411-416, 1996.
- [6] Kılıç, R., Alçı, M., ve Günay, E., "A SC-CNN-Based Chaotic Masking System with Feedback", *Int. Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol.14, No.1, p.245-256, 2004.
- [7] Günay, E., ve Alçı, M., "n -Double Scrolls In SC-CNN Circuit via Diode-Based Pwl Function", *Int. J. Bifurcation & Chaos*, Vol. 16, No. 4, 2006.
- [8] Chua, L.O., Wu, C.W., Huang, A., ve Zhong, G.A., "Universal Circuit for Studying and Generating Chaos", *IEEE Trans. Circuits&Syst.*, CAS-40, (10), pp.732-745, 1993.
- [9] Anadigm: www.anadigm.com
- [10] Caponetto, R., Mauro, A.D., Fortuna, L., ve Frasca, M., "Field Programmable Analog Array to Implement a Programmable Chua's Circuit", *Int. Journal of Bifurcation and Chaos*, 15, pp.1829-1836, 2005.
- [11] Kılıç, R., ve Dalkıran, F.Y., "Reconfigurable Implementations of Chua's Circuit", *Int. Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol.19, No.4, pp.1339-1350, 2009.
- [12] Kılıç, R., *A Practical Guide for Studying Chua's Circuits*, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A-Vol.71, 2010.