

# CFOA İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN WIEN KÖPRÜ-TABANLI KAOTİK CHUA DEVRESİNİN YÜKSEK FREKANS PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK DOĞRULANMASI

Fatma YILDIRIM<sup>1</sup>

Mustafa ALÇI<sup>2</sup>

Recai KILIÇ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Y. O., 38039, Kayseri

<sup>2,3</sup> Erciyes Üniversitesi Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Böl., 38039, Kayseri

e-mail: <sup>1</sup> [fatmay@erciyes.edu.tr](mailto:fatmay@erciyes.edu.tr)

<sup>2</sup> [malci@erciyes.edu.tr](mailto:malci@erciyes.edu.tr)

<sup>3</sup> [kilic@erciyes.edu.tr](mailto:kilic@erciyes.edu.tr)

*Anahtar Sözcükler: Chua Devresi, Kaos, CFOA, VOA*

## ABSTRACT

*In this paper, Wien bridge-based chaotic Chua's circuit using voltage mode op-amp (VOA) is modified and the new circuit, Wien bridge-based chaotic Chua's circuit with current feedback op-amp (CFOA) is realized. In addition the high frequency performance of this circuit is also investigated. The results of experimental studies showed that Wien bridge-based chaotic Chua's circuit with CFOA exhibited better performance than Wien bridge-based chaotic Chua's circuit with VOA.*

## 1. GİRİŞ

Basit bir devre yapısına sahip olması ve kaotik davranış sergilemesi dolayısıyla Chua devresi, kaos ve kaotik işaret uygulamalarında model devre olarak kabul edilmektedir [1]. Chua devresinin çok sayıda alternatif tasarım ve gerçekleştirimi literatürde yer almaktadır. Bu tasarım ve gerçekleştirimlerde kullanılan yöntemler, iki grupta incelenebilir. İlk grupta, Chua devresindeki doğrusal olmayan direnci ( $N_R$ ) gerçekleştirmek için çeşitli devre topolojileri geliştirilmiştir. Chua diyodu olarak da adlandırılan doğrusal olmayan direnç ile ilgili yapılan ilk tasarımlarda, diyotlar, op-amp'lar, transistörler ve işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricileri (OTA) gibi devre elemanları kullanılmıştır [2]. VOA'ların ideal olmama ve sınırlı frekans cevabı özelliklerinden dolayı VOA ile gerçekleştirilen Chua devre yapılarının çalışma frekansı sınırlanmaktadır. Bu yüzden son zamanlarda CFOA ile gerçekleştirilen Chua diyodu kullanılmaya başlanmıştır. İkinci grupta ise, Chua devresinin indüktörsüz olarak gerçekleştirimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, değişik indüktör benzetimleri ve RC yapıları, Chua devresindeki indüktörün ve LC resonatörünün yerine kullanılmıştır. Gerçekleştirimlerin bir çoğunda kullanılan indüktör benzetimleri, genel olarak op-amp ve OTA-tabanlıdır [3-6]. Son zamanlarda indüktörsüz

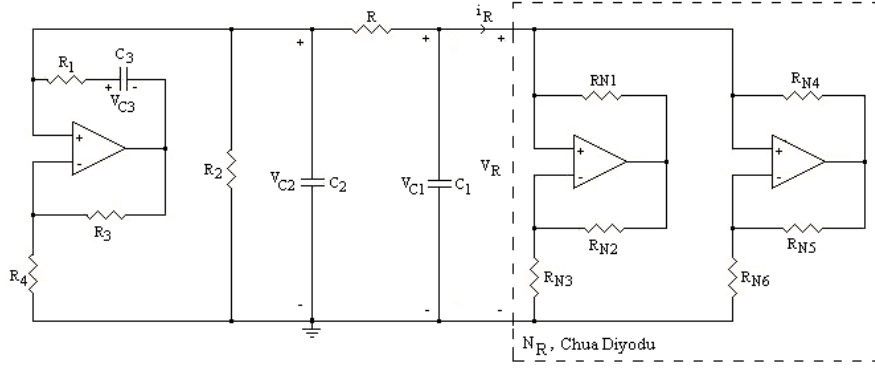
Chua devresi ve diğer kaotik devrelerin gerçekleştiriminde CFOA-tabanlı indüktör benzetimleri ve dört terminalli değişken nullor (FTFN)-tabanlı indüktör benzetimleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1, 7, 8].

Bu çalışmada, Chua devresinde yer alan VOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı yapının ve doğrusal olmayan direnç elemanının yerine CFOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı yapı ve doğrusal olmayan direnç elemanı kullanılmıştır. CFOA-tabanlı devre topolojilerinin kullanıldığı bu devre, deneysel olarak gerçekleştirilmiş olup devrenin yüksek frekans performansı incelenmiştir. Hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır: 2. bölümde VOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı kaotik Chua devresi tanıtılmaktadır. 3. bölümde CFOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı kaotik Chua devresinin yüksek frekans performansı, deneysel sonuçlarla verilmektedir. 4. bölümde, elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

## 2. VOA İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN WIEN KÖPRÜ-TABANLI CHUA DEVRESİ

Şekil 1' de gösterilen Wien köprü-tabanlı RC yapı, Chua devresinin indüktörsüz gerçekleştiriminde kullanılmıştır [9]. Şekilden de görüldüğü gibi bu tasarım, paralel iki adet voltaj kontrollü negatif impedans dönüştürücülerin (NIC) bağlanmasıyla oluşan VOA-tabanlı doğrusal olmayan direnci ve VOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı yapıyı içermektedir. Wien köprü-tabanlı Chua devresi aşağıdaki durum denklemleriyle tanımlanır:

$$\frac{dV_{C1}}{dt} = -\frac{V_{C1}}{RC_1} + \frac{V_{C2}}{RC_1} - \frac{f(V_R)}{C_1} \quad (1)$$



Şekil 1. VOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı Chua devresi.

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{V_{C1}}{RC_2} - \frac{V_{C2}}{R_x C_2} + \frac{V_{C3}}{R_1 C_2} \quad (2)$$

$$\frac{dV_{C3}}{dt} = -\frac{R_3 V_{C2}}{R_1 R_4 C_3} - \frac{V_{C3}}{R_1 C_3} \quad (3)$$

burada  $f(V_R)$ , parçalı doğrusal bir fonksiyon olup,

$$i_R = f(V_R) = G_b V_R + \frac{1}{2} (G_a - G_b) \times (|V_R + B_p| - |V_R - B_p|) \quad (4)$$

ile tanımlanır. Burada  $G_a$  ve  $G_b$ , sırasıyla iç ve dış bölgelerdeki eğimler olup  $\pm B_p$ , kırılma noktalarını belirtmektedir. Bu gerçekleştirimde VOA-tabanlı doğrusal olmayan direnç yapısı kullanılmıştır [10]. (2) bağıntısındaki  $R_x$  parametresi, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$R_x = \frac{R R_1 R_2 R_4}{R(R_1 R_4 - R_2 R_3) + R_1 R_2 R_4} \quad (5)$$

Şekildeki devrenin PSpice benzetim çalışması süresince doğrusal olmayan direnç parametre değerleri aşağıdaki gibi sabit alınmıştır:  $R_{N1}=R_{N2}=220 \Omega$ ,  $R_{N3}=2.2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{N4}=R_{N5}=22 \text{ k}\Omega$  ve  $R_{N6}=3.3 \text{ k}\Omega$ . Aktif eleman olarak da  $\pm 9 \text{ V}$  ile kutuplanan LF351 tipi VOA kullanılmıştır. Devrenin geri kalan parametreleri ise  $R_1=R_2=R_4=100 \Omega$ ,  $R_3=204 \Omega$ ,  $R=1631 \Omega$ ,  $C_1=2.2 \text{ nF}$  ve  $C_2=C_3=220 \text{ nF}$  olarak belirlenmiştir. Devre dinamikleri Şekil 2(a)' da, çift çeker yapısı, Şekil 2(b)' de gösterilirken, kaotik frekans spektrumu da Şekil 2(c)' de gösterilmektedir. Şekil 2(c)' den de görüldüğü gibi Wien köprü-tabanlı Chua devresinin kaotik spektrumunun temel frekans bileşeninin yaklaşık  $6.17 \text{ kHz}$  civarında olduğu tespit edilmiştir.

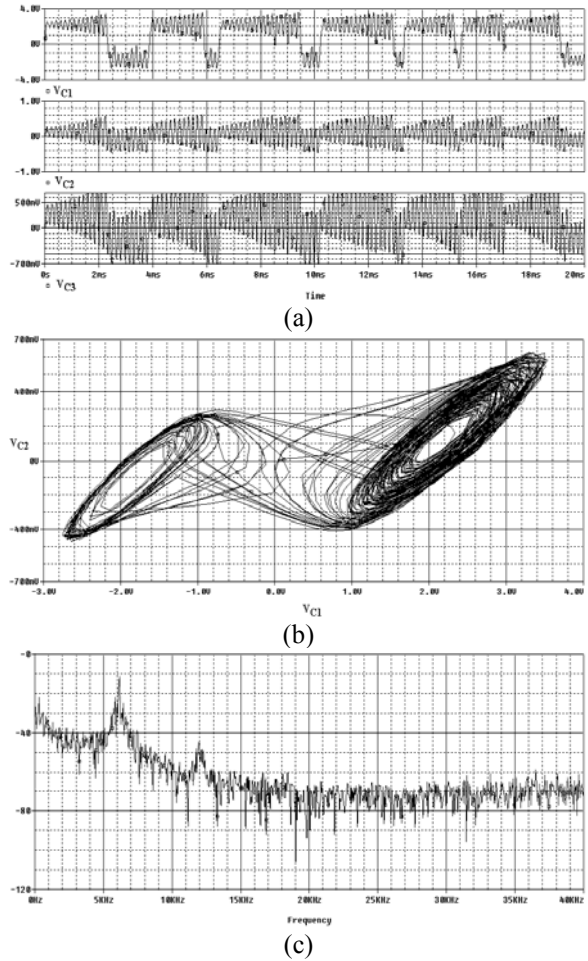
### 3. CFOA İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN WIEN KÖPRÜ-TABANLI CHUA DEVRESİ

Son yıllarda CFOA, özellikle yüksek frekanslarda çalışmak için VOA-tabanlı devrelere göre daha fazla tercih edilmektedirler.

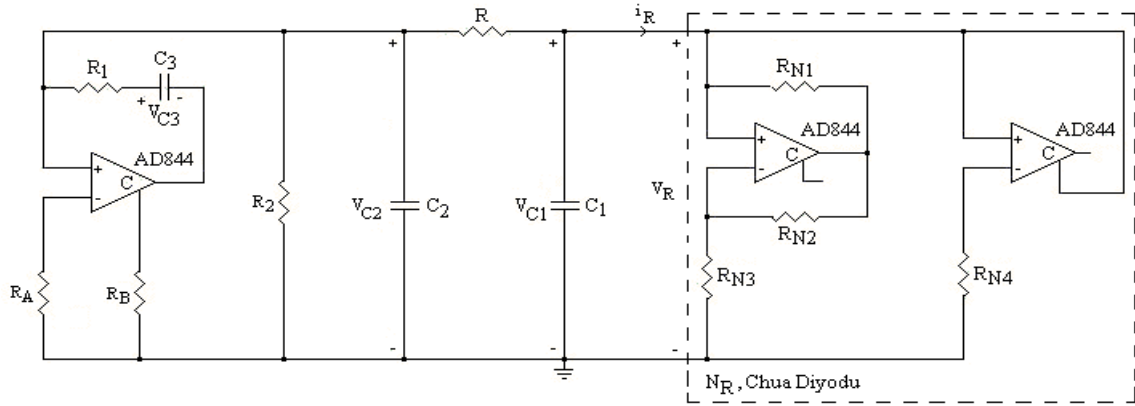
Şekil 3' de verilen devrenin, yüksek frekanslara cevap vermesi için devrede kullanılan Chua diyodu ve Wien

köprü-tabanlı yapı AD844 tipi CFOA' lar ile gerçekleştirilmiştir. Wien köprü-tabanlı yapı için VOA' dan CFOA' ya dönüşüm işlemi devre elemanlarında ve elemanların parametre değerlerinde hiçbir değişiklik yapılmaksızın sadece VOA' daki geri besleme elemanı CFOA' nın kompanze ucuna yerleştirilmiştir.

Devredeki Chua diyodunu gerçekleştirmek için  $\pm 9 \text{ V}$  ile kutuplanmış iki adet AD844 tipi CFOA ve dört



Şekil 2. Wien köprü-tabanlı Chua devresinin, (a) Kaotik  $V_{C1}(t)$ ,  $V_{C2}(t)$ ,  $V_{C3}(t)$  devre dinamikleri, (b) Çift çeker yapısı, (c)  $V_{C2}(t)$  kaotik frekans spektrumu.



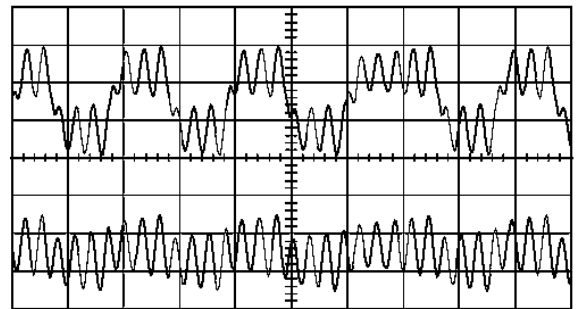
Şekil 3. CFOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı Chua devresi.

adet direnç kullanılmış olup Wien köprü-tabanlı yapıyı gerçekleştirmek için de  $\pm 9$  V ile kutuplanmış bir adet AD844 tipi CFOA, üç adet direnç ve bir adet kapasitör kullanılmıştır.

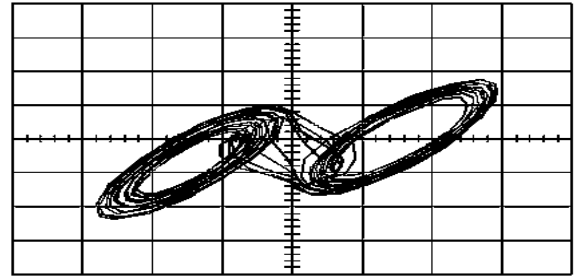
Tüm deneysel çalışmalarda doğrusal olmayan direncin parametre değerleri aşağıdaki gibi sabit alınmıştır:  $R_{N1}=R_{N2}=22$  k $\Omega$ ,  $R_{N3}=2$  k $\Omega$  pot. ve  $R_{N4}=2.2$  k $\Omega$  [1]. Farklı frekans sahalarında özellikle de yüksek frekanslarda devrenin çalışmasını göstermek için devrenin geri kalan parametreleri üç grupta toplanmıştır. İlk parametre grubunda Şekil 3' deki devre için  $C_1=44$  pF,  $C_2=C_3=4.4$  nF,  $R_1=R_2=200$   $\Omega$ ,  $R_A=1$  k $\Omega$ ,  $R_B=5$  k $\Omega$  pot. ve  $R=2$  k $\Omega$  pot. olarak belirlenmiştir. Bu çalışma modu için devre dinamikleri ve çeker yapıları Şekil 4(a) ve (b)' de gösterilirken, kaotik frekans spektrumu, Şekil 5(c)' de verilmektedir. Bu çalışma modunda devrenin spektrum analizör cihazı ile ölçülen frekansı, yaklaşık 187.5 kHz civarındadır.

İkinci ve üçüncü parametre gruplarında devrenin yüksek frekanslarda çok iyi performans sergilediğini göstermek ve çalışma frekans sahasını genişletmek amacıyla kapasitörlerin değerlerinin küçültülmüştür. İkinci parametre grubunda kapasitörlerin değerlerinin 2 kat küçültüldüğü Şekil 3' deki devre parametreleri  $C_1=22$  pF,  $C_2=C_3=2.2$  nF,  $R_1=R_2=200$   $\Omega$ ,  $R_A=1$  k $\Omega$ ,  $R_B=5$  k $\Omega$  pot. ve  $R=2$  k $\Omega$  pot. olarak belirlenmiştir. Bu çalışma modu için kaotik spektrumun temel frekans bileşeninin yaklaşık 325 kHz civarında olduğu tespit edilmiştir.

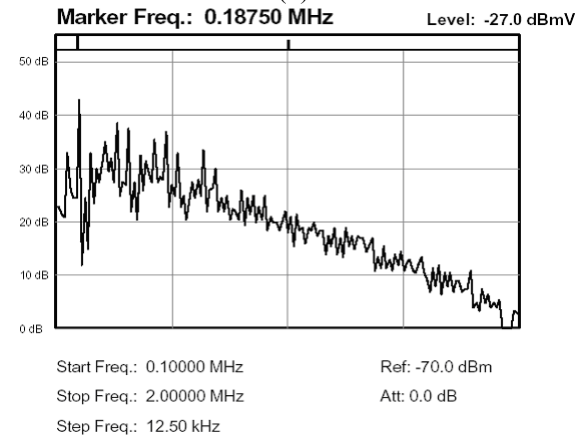
Kapasitörlerin değerlerinin 20 kat küçültüldüğü üçüncü parametre grubunda Şekil 3' deki devre parametreleri  $C_1=2.2$  pF,  $C_2=C_3=220$  pF,  $R_1=R_2=200$   $\Omega$ ,  $R_A=1$  k $\Omega$ ,  $R_B=5$  k $\Omega$  pot. ve  $R=2$  k $\Omega$  pot. olarak belirlenmiştir. Bu çok yüksek frekans sahasındaki çalışma için devre dinamikleri, Şekil 5(a)' da, çift çeker yapısı ise Şekil 5(b)' de ve kaotik frekans spektrumu, Şekil 5(c)' de verilmiştir. Şekil 5(c)' de gösterildiği gibi çalışma frekans sahası, yüksek frekans sahası için genişlemiştir ve kaotik spektrumun temel frekans bileşeninin yaklaşık 850 kHz civarında olduğu tespit edilmiştir.



(a)

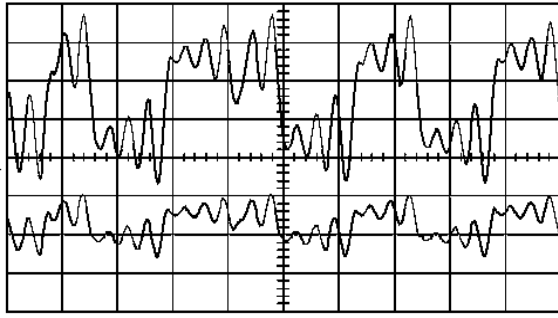


(b)

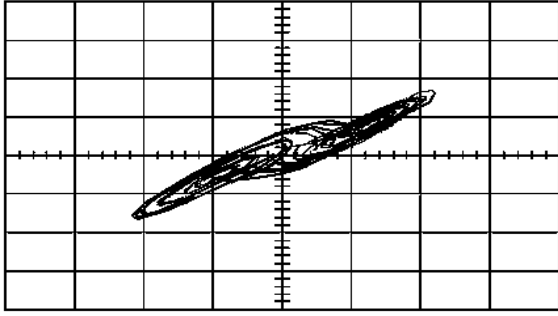


(c)

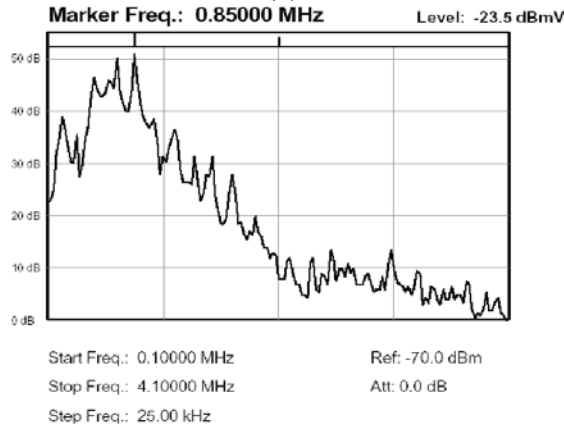
Şekil 4. CFOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı Chua devresinin ilk parametre grubu için, (a) Kaotik devre dinamikleri: Üstteki işaret  $V_{C1}$  (2 V/div), alttaki işaret  $V_{C2}$  (1 V/div), time/div:20  $\mu$ s/div, (b) ( $V_{C2}-V_{C1}$ ) düzlemindeki çift çeker yapısı, x-ekseni: 1 V, y-ekseni: 500 mV, (c)  $V_{C2}(t)$ ' nin kaotik frekans spektrumu.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. CFOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı Chua devresinin üçüncü parametre grubu için,  
 (a) Kaotik devre dinamikleri: Üstteki işaret  $V_{C1}$  (500 mV/div), alttaki işaret  $V_{C2}$  (1 V/div), time/div:5  $\mu$ s/div,  
 (b)  $(V_{C2}-V_{C1})$  düzlemindeki çift çeker yapısı, x-ekseni: 500 mV, y-ekseni: 500 mV,  
 (c)  $V_{C2}(t)$ 'nin kaotik frekans spektrumu.

#### 4. SONUÇ

CFOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı kaotik Chua devresinin yüksek frekans performansı deneysel sonuçlarla sunulmuştur. Bu sonuçlar, CFOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı kaotik devrenin VOA ile gerçekleştirilen Wien köprü-tabanlı versiyonuna göre daha iyi frekans performansı

sergilediğini doğrulamaktadır. Sunulan bu çalışmanın, yüksek frekanslı kaotik devre uygulamalarında kullanılabilecek alternatif bir yapı oluşturduğu görülmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan AD844 akım modlu op-amp'lar, Analog Devices firması tarafından sağlanmıştır. Yazarlar, Analog Devices Firması'na ve Türkiye distribütörü **Elektro Elektronik San. ve Tic. A.Ş'**ne teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

- [1] Kılıç, R., Yıldırım, F., CFOA-Tabanlı Kaotik Chua Devresinin Tasarımı ve Yüksek Frekans Performansının Deneysel Olarak Doğrulanması, 11. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı-SIU 2003, 357-360, 2003.
- [2] Kılıç, R., A Comparative Study on Realization of Chua's Circuit: Hybrid Realizations of Chua's Circuit Combining the Circuit Topologies Proposed for Chua's Diode and Inductor Elements, Int. Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 13, 6, 1475-1493, 2003.
- [3] Cruz, J.M., Chua, L.O., A CMOS IC Chip of Chua's Circuit, IEEE Trans. Circuits and Syst-I, Vol. 40, No. 10, 614-625, 1993.
- [4] Kennedy, M.P., Robust Op-Amp Realization of Chua's Circuit, Frequenz, Vol. 46, 66-80, 1992.
- [5] Zhong, G.O., Ayrom, F., Experimental Confirmation of Chaos from Chua's Circuit, Int.J. Circuit Theory and Appl., Vol. 13, No. 11, 93-98, 1985.
- [6] Elwakil, A.S., Kennedy, M.P., Chua's Circuit Decomposition: A Systematic Design Approach for Chaotic Oscillators, J. of the Franklin Institute, Vol. 337, 251-265, 2000.
- [7] Senani, R., Gupta, S.S., Implementation of Chua's Chaotic Circuit Using Current Feedback Op-Amps, Electronic Lett., Vol. 34, No. 9, 829-830, 1998.
- [8] Çam U., Inductorless Realization of Mixed-Mode Chaotic Circuit Using Current-Feedback Operational Amplifiers, The 10<sup>th</sup> Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems-NDES 2002, 69-72, 2002.
- [9] Morgül, Ö., An RC Realization of Chua's Circuit Family, IEEE Trans. Circuits and Syst-I., Vol. 47, No. 9, 1424-1430, 2000.
- [10] Kennedy, M.P., Robust Op-Amp Realization of Chua's Circuit, Frequenz, Vol. 46, 66-80, 1992.