

# HİPERKAOS ÖZELLİĞİ GÖSTEREN DEĞİŞTİRİLMİŞ KANONİK CHUA DEVRESİNİN FTFN TABANLI OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE YÜKSEK FREKANS PERFORMANSININ İNCELENMESİ

<sup>1</sup>Esmâ UZUNHİSARCIKLI

<sup>2</sup>Mustafa ALÇI

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi Kayseri M. Y. O Elektronik Böl., 38039, Kayseri

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

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

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

Anahtar Sözcükler: Hiperkaos, Chua Devresi, FTFN

## ÖZET

Son yıllarda yüksek frekanslı kaotik devre tasarımı ve gerçekleştirilmesinde iyi avantajlara sahip olmalarından dolayı dört terminalli değişken nullor (FTFN-Four Terminal Floating Nullor) bilinen gerilim modlu işlemsel kuvvetlendiricilere (VOA-Voltage Mode Operational Amplifier) tercih edilmektedir. Bu çalışmada, dördüncü dereceden hiperkaos sergileyen kanonik Chua devresinin FTFN tabanlı olarak gerçekleştirilmesi ve gerçekleştirilen devrenin yüksek frekans performansının incelenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan PSpice benzetimleri sonucunda FTFN-tabanlı değiştirilmiş Chua devresinin, yüksek frekanslarda çok iyi performans sergilediği gösterilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda kaotik davranış sergileyen çeşitli elektronik devreler literatürde tanıtılmıştır [1,2]. Bunlar arasında otonom kaotik devrelerle ilgili çalışmalardan üç boyutlu (3D) [3] ve dört boyutlu (4D) olanlar [4] hayli ilgi çekici olurken, son zamanlarda daha yüksek boyutlu sistemlerin incelenmesine de başlanmıştır [5]. Dört ve daha büyük boyutlu sistemler hiperkaosu (hyperchaos) meydana getirebilirler [6]. Bu şekildeki hiperkaos devrelerinin analizi ve sentezi mühendislik uygulamalarından; yayılı spektrum haberleşmesinde, kaos kontrolünde ve yapay sinir ağlarında hafıza araştırmalarında kullanılabilirler [7,8]. Ayrıca basit kaotik sistemler bilginin maskelenmesinde her zaman güvenli değildirler. Oysa yüksek boyutlu hiperkaotik sistemler daha yüksek rastgelelik ve tahmin edilemezlik derecesine sahip olduklarından dolayı daha yüksek kaliteli senkronizasyon sağlayarak güvenli iletişimi temin edebilmektedirler [9].

Bugüne kadar tasarlanan kaotik devreler arasında Chua devresinin [3] özel bir yeri vardır. Basit bir devre yapısına sahip olması ve kaotik davranış

sergilemesi dolayısıyla Chua devresi, kaos ve kaotik işaret uygulamalarında model devre olarak kabul edilmektedir. Chua devresinin bir türü olan kanonik Chua devresi ise Şekil-1'de gösterilmekte olup [10], üç adet enerji depolayıcı eleman ( $L_1$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ), bir adet doğrusal direnç ( $R$ ) ve doğrusal negatif kondüktans ( $G_1$ ) ile doğrusal olmayan direnç ( $N_R$ )'ten oluşmaktadır. Ancak bu devre sınırlandırılmış boyutundan dolayı hiperkaos sergileyememektedir. Hiperkaosu oluşturabilmek için en azından dört boyutlu olması gerekmektedir. Bundan dolayı negatif kondüktans elemanına ( $G_1$ ) paralel olarak  $L_2$  bobininin ilave edilmesiyle Şekil-2'de gösterilen dördüncü dereceden hiperkaos sergileyen değiştirilmiş kanonik Chua devresi elde edilir [9]. Bu devre aşağıdaki durum denklemleri ile tanımlanır:

$$C_1 \frac{dv_1}{dt} = iL_1 - g(v_1) \quad (1)$$

$$C_2 \frac{dv_2}{dt} = G_1 v_2 - iL_1 - iL_2 \quad (2)$$

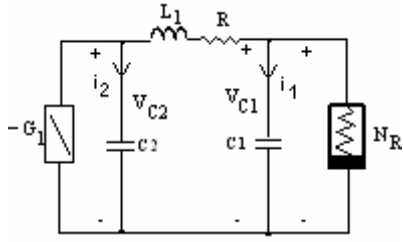
$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v_2 - v_1 - Ri_{L1} \quad (3)$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = v_2 \quad (4)$$

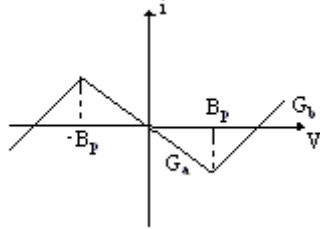
Şekil-1(b)'de grafiksel olarak gösterilen  $f(V_R)$ , parçalı doğrusal bir fonksiyon olup,

$$g(v_1) = G_b v_1 + 0.5(G_a - G_b) \left[ |v_1 + B_p| + |v_1 - B_p| \right] \quad (5)$$

ile tanımlanır. Burada  $G_a$  ve  $G_b$ , sırasıyla iç ve dış bölgelerdeki eğimler olup  $\pm B_p$ , kırılma noktalarını belirtmektedir.

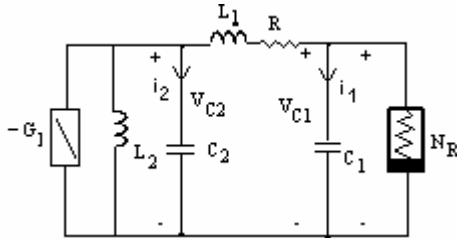


(a)



(b)

Şekil-1. (a) Orijinal kanonik Chua devresi (b) Devredeki doğrusal olmayan direncin üç bölümlü parçalı doğrusal karakteristiği.



Şekil-2. Hiperkaos gösteren değiştirilmiş kanonik Chua Devresi.

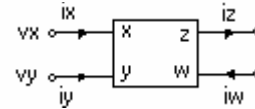
Literatürde kanonik Chua devresinin doğrusal olmayan direncini ( $N_R$ ) ve negatif kondüktansını ( $G_1$ ) gerçekleştirmek için, gerilim modlu işlemsel yükselteçler (VOA) aktif elemanlar olarak kullanılmıştır [9]. Genellikle VOA-tabanlı doğrusal olmayan direnç yapıları, VOA-tabanlı indüktans simülatörleri ve VOA-tabanlı RC yapıları, Chua devresinin gerçekleştirimi için önerilmiştir [11]. VOA'nın ideal olmama ve sınırlı frekans cevap özellikleri VOA ile gerçekleştirilen Chua devre yapılarının çalışma frekansını sınırlamaktadır. Dolayısıyla ilk gerçekleştirilen gerilim modlu işlemsel yükselteç (VOA) tabanlı Chua devrelerinin yüksek frekans performansları iyi olmamıştır. Bu yüzden literatürde yer alan yeni tasarım düşünceleri, Chua devresinin gerçekleştirimini iyileştirmeyi amaçlamıştır [12].

Bu çalışmada, doğrusal olmayan direnç elemanı ve doğrusal negatif kondüktans elemanının yerine FTFN-tabanlı devre topolojileri kullanılmakta ve devrenin yüksek frekans performansı da benzetim sonuçlarıyla gösterilmektedir. Hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki

bölümlerden oluşmaktadır: 2. bölümde FTFN tabanlı değiştirilmiş kanonik Chua devre yapısı tanıtılmaktadır. 3. bölümde FTFN tabanlı bu devrenin tasarımı ve yüksek frekans performansı, benzetim sonuçları ile verilmektedir. 4. bölümde, elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

## 2. FTFN TABANLI DEĞİŞTİRİLMİŞ KANONİK CHUA DEVRESİNİN GERŞEKLEŞTİRİMİ

Şekil-3'de sembolik gösterimi ve Denk.(6)'da tanım bağıntısı verilen FTFN'in gerilim modlu işlemsel yükselteçlere göre daha iyi avantajlar sunmasından ve özellikle yüksek frekans performansından dolayı son zamanlarda kullanımı artmıştır [13,14]. Bu çalışmada hiperkaos özelliği gösteren değiştirilmiş kanonik Chua devresinde, doğrusal negatif kondüktans ( $G_1$ ) ile doğrusal olmayan direnç ( $N_R$ ) yerine FTFN tabanlı eşdeğerleri konularak Şekil-4'deki FTFN tabanlı kanonik Chua devresi oluşturulmuştur. Şekil-4' deki devrenin tüm bilgisayar benzetim çalışmasında aşağıdaki parametre değerleri sabit alınmıştır:  $R=250 \Omega$ ,  $R_{N1}=R_{N2}=2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{N3}=2.2 \text{ k}\Omega$  ve  $R_{N4}=220 \Omega$ ,  $R_{N5}=1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{N6}=19 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{N7}=4.1 \text{ k}\Omega$ . Farklı frekans sahalarında özellikle de yüksek frekanslarda devrenin çalışmasını göstermek için devrenin geri kalan parametreleri olan  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  üç grupta toplanmıştır. Bu dört parametre grubuna göre incelenen devrenin yüksek frekans performansı ile ilgili benzetim sonuçları bir sonraki bölümde verilmektedir.

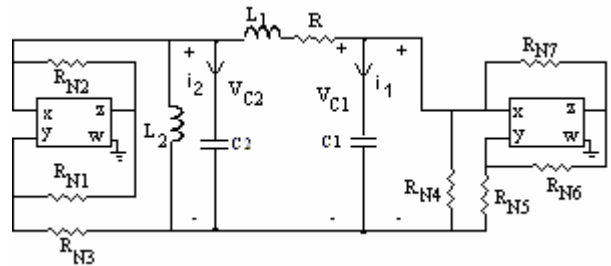


Şekil-3. FTFN'nin sembolik gösterimi.

$$i_x = i_y = 0$$

$$i_z = \frac{1}{s} i_w \quad (6)$$

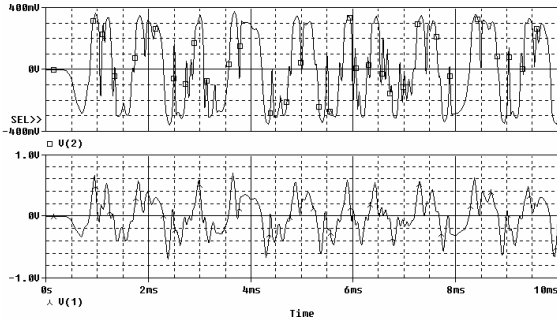
$$v_x = v_y$$



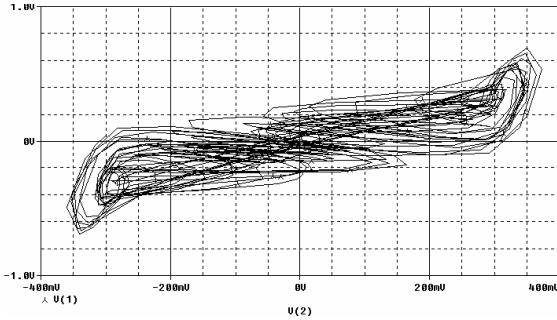
Şekil-4. FTFN tabanlı değiştirilmiş kanonik Chua devresi.

### 3. FTFN TABANLI DEĞİŞTİRİLMİŞ KANONİK CHUA DEVRESİNİN BENZETİM SONUÇLARI

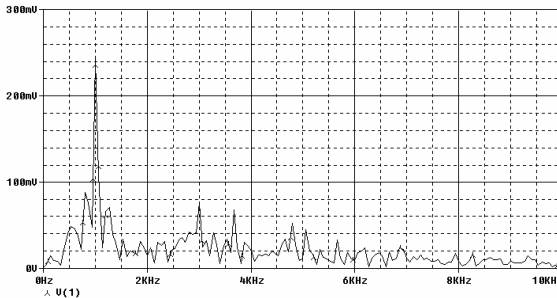
Şekil-4 ' deki devrede ilk parametre grubu olarak  $L_1=31$  mH,  $L_2=795$  mH,  $C_1=7$  nF,  $C_2=15$  nF alınarak yapılan benzetim çalışmasında FTFN tabanlı değiştirilmiş kanonik Chua devresinin  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ , devre dinamikleri Şekil-5(a)' da, çift çeker yapısı Şekil-5 (b)' de gösterilirken, 1KHz civarında bir temel frekans bileşenine sahip olduğu kaotik frekans spektrumu da Şekil-5(c)' de gösterilmektedir. FTFN tabanlı devrenin yüksek frekanslarda çok iyi performans sergilediğini göstermek amacıyla çalışma frekansını genişletmek için bobinlerin ve kapasitörlerin değerlerinin küçültüldüğü ikinci ve üçüncü parametre grupları kullanılarak devre incelenmiştir. İkinci parametre grubunda 100' lük bir çarpım faktörüyle bobinlerin ve kapasitörlerin değerlerinin küçültülmesi için Şekil-4' deki devre parametreleri  $L_1=31$  mH,  $L_2=7.95$  mH,  $C_1=.07$  nF,  $C_2=.15$  nF olarak



(a)



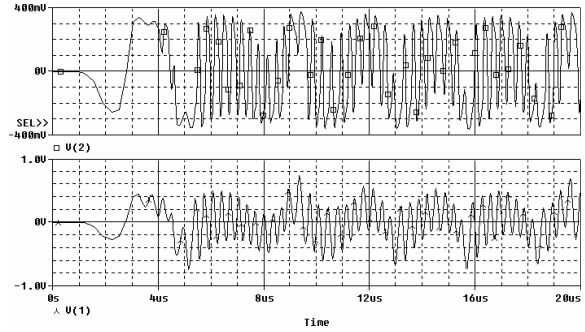
(b)



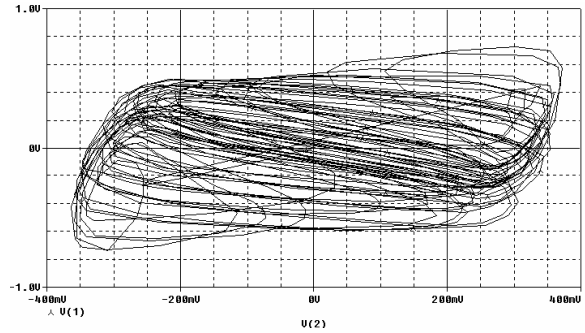
(c)

Şekil-5. İlk parametre grubu için, (a) Devrenin kaotik  $V_{C1}(t)$ ,  $V_{C2}(t)$ , devre dinamikleri, (b) Çift çeker yapısı, (c) Kaotik frekans spektrumu.

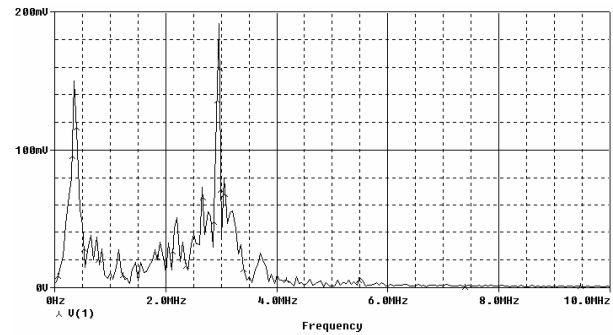
belirlenmiştir. Bu çalışma modu için yapılan benzetim sonucunda devrenin 100 kHz civarında bir frekans bileşenine sahip olduğu görülmüştür. Son parametre grubunda 350' lik bir çarpım faktörüyle bobinlerin ve kapasitörlerin değerlerinin küçültülerek Şekil-4' deki devre parametreleri  $L_1=0.088$  mH,  $L_2=2.27$  mH,  $C_1=0.02$  nF,  $C_2=0.043$  nF olarak belirlenmiştir. Bu yüksek frekans sahasındaki çalışma için  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  devre dinamikleri, çift çeker yapısı, kaotik frekans spektrumu sırasıyla Şekil-6(a), 6(b) ve 6(c)' de gösterilmektedir. Şekil-6(c)'deki kaotik frekans spektrumunda temel frekansın 2.97 MHz'e kadar uzandığı görülmüştür. FTFN tabanlı değiştirilmiş kanonik Chua devresinin yüksek frekans performansını gösteren bu üç parametre gruplarına ait benzetim sonuçları ayrıca Tablo-1'de özetlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil-6. Son parametre grubu için, (a) Devrenin kaotik  $V_{C1}(t)$ ,  $V_{C2}(t)$ , devre dinamikleri, (b) Çift çeker yapısı, (c) Kaotik frekans spektrumu.

Tablo-1. FTFN tabanlı değiştirilmiş kaotik Chua devresinin farklı çalışma gruplarına göre kaotik çalışma frekansları.

Çalışma Grubu	L <sub>1</sub> mH	L <sub>2</sub> mH	C <sub>1</sub> nF	C <sub>2</sub> nF	Kaotik Çalışma Frekansı
1. Grup	31	795	7	15	1 kHz
2. Grup	.31	7.95	.07	.15	100 kHz
3. Grup	.088	2.27	.02	.043	2.97MHz

Şekil-4'deki devrenin literatürde yer alan VOA tabanlı eşdeğer devresinde kapasitör ve bobin değerlerinin düşürülmesiyle 1.5 kHz'den büyük çalışma frekansında orijinal kaotik dinamik bozulmuştur.

VOA tabanlı devrenin benzetiminde  $\pm 12$  V olarak kutuplandırılmış AD712 VOA tümdevresi kullanılmıştır. FTFN tabanlı devrenin benzetimi sırasında ise hesaplama zamanını kısaltan doğru ve basit bir FTFN makromodeli kullanılmıştır [15].

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada literatürde yer alan değiştirilmiş kanonik Chua devresinin doğrusal olmayan direnç ve doğrusal negatif kondüktans elemanları yerine FTFN tabanlı devre topolojileri kullanılarak onların avantajlı özellikleri birleştirilmiştir. Böylece FTFN tabanlı devrenin hem zaman hem de frekans domeninde gösterilen benzetim sonuçları ile değiştirilmiş kanonik Chua devresinin orijinal kaotik osilasyonlarını üretebildiği ve yüksek frekanslarda çok iyi performans sergilediği doğrulanmıştır. Bu çalışma kanonik Chua devresiyle ve yüksek frekanslı kaotik osilasyonlarla çalışan araştırmacılar için alternatif bir çözüm oluşturmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Abuel'matti M.T., Aiyad M.K., Chaos in An Autonomous Active-R Circuit, IEEE TRANS. CIRCUITS&SYST-I, Vol 42, pp 1-5, 1995.
- [2] Elwakil A.S., Kennedy M.P., Construction of Classes of Circuit-Independent Chaotic Oscillators Using Passive-Only Nonlinear Devices, IEEE TRANS. CIRCUITS&SYST-I, Vol 48, pp 289-306, 2001.
- [3] Chua L.O., Wu C.W., Huang A., Zhong G.A., Universal Circuit for Studying and Generating Chaos, IEEE TRANS. CIRCUITS&SYST, CAS-40, pp 732-745, 1993.
- [4] Varrientos J.E., Sanchez-Sinencio E., A 4-D Chaotic Oscillator Based on a Differential Hysteresis Comparator, IEEE TRANS. CIRCUITS&SYST-I, Vol 45, pp 3-10, 1998.
- [5] Zhong G., C Wu.W., Chua L.O., Torus-Doubling Bifurcations in Four Mutually Coupled Chua's

Circuits, IEEE TRANS. CIRCUITS&SYST-I, Vol 45, pp 186-193, 1998

- [6] Miller D.A., Grassi G., Experimental Realization of Observer Based-Hyperchaos Synchronization, IEEE TRANS. CIRCUITS&SYST-I, Vol 48, pp 366-374, 2001.
- [7] Halle K.S., Wu C.W., Itoh M., Chua L.O., Spread Spectrum Communication Through Modulation of Chaos, INT. JOURNAL BIFURCATION AND CHAOS, Vol 3, pp 469-477, 1993
- [8] Nara S., P Davis., Totsuji H., Memory Search Using Coplex Dynamics in A Recurrent Neural Network Model, NEURAL NETWORK, Vol 6, pp 963-973, 1993
- [9] Thamilmaran K., Lakshmanan M., Hyperchaos in a Modified Canonical Chua's Circuit, INT. JOURNAL OF BIFURCATION AND CHAOS, Vol 14, pp 221-243, 2004.
- [10] Chua L.O., Lin G. N., Canaonical Realization of Chua's Circuits Family, IEEE TRANS. CIRCUITS&SYST. Vol 38, pp 510-520, 1990.
- [11] Kennedy, M.P., Robust Op-Amp realization of Chua's circuit, Frequenz, Vol 46, pp 66-80, 1992.
- [12] Elwakil, A.S., & Kennedy, M.P., Chua's Circuit Decomposition: A Systematic Design Approach for Chaotic Oscillators, J. OF THE FRANKLIN INSTITUTE, Vol 337, pp 251-265, 2000.
- [13] Günay, E., Uzunhisarcıklı, E., Kılıç, R., Alçı, M., A Realization of SC-CNN-Based Circuit Using FTFN, THIRD INT. CONFERENCE ON ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, pp 102-107, 2003, Bursa, Turkey.
- [14] Yıldırım F., Uzunhisarcıklı E., Kılıç R., Alçı M., Experimental Verification of High Frequency Performance of FTFN-based Simple Chaotic Circuit, INT. JOURNAL OF BIFURCATION AND CHAOS, Vol 15, pp 191-205, 2005
- [15] Çam U., Kuntman H., Simple and Accurate Nonlinear Macromodel for Four Terminal Floating Nullors (FTFNs), INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, Vol 88, pp 435-447, 2001.