

Elektronik Olarak Ayarlanabilir Memristör Tabanlı Chua Devresinin Gerçeklenmesi

Abdullah YEŞİL¹

Yunus BABACAN^{2*}

ÖZET: Fiziksel olarak memristörün 2008 yılında gerçekleştirilmesinden sonra, memristörler devre tasarımlarında geniş uygulama alanı bulmuştur. Memristör hafızalı olması, lineer olmayan karakteristik göstermesi ve oldukça yoğun bir yapıya sahip olması gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu çalışmada elektronik olarak ayarlanabilen memristör devresi kullanılarak kaotik devre kurulmuştur. Beklendiği gibi devrenin kaotik davranışı başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Ayrıca, farklı OTA (İşlemsel geçişiletkenliği kuvvetlendiricisi) kuyruk akımlarına göre devrenin kaotik davranışının değişimi de çalışmanın sonlarına doğru analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Memristör, kaotik devre, chua devresi, memristör tabanlı chua devresi.

Implementation of Electronically Controllable Memristor Based Chua Circuit

ABSTRACT: After physical realization of memristor in 2008, memristors are found wide application area in circuit designs. Memristor has superior properties such as to have memory behavior, to show nonlinear characteristics and to have ultra-dense structure. In this study, chaotic circuit is built using electronically controllable memristor circuit. As expected, chaotic behavior of circuit is successfully obtained. Additionally, the change of the chaotic behavior of the circuit according to the different OTA (Operational Transconductance Amplifier) currents is analyzed to the end of the study.

Keywords: Memristor, chaotic circuit, chua circuit, memristor based chua circuit.

¹ Abdullah YEŞİL (Orcid ID: 0000-0002-0607-8226), Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

² Yunus BABACAN (Orcid ID: 0000-0002-6745-0626), Erzincan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Yunus BABACAN, e-mail: ybabacan@erzincan.edu.tr

Geliş tarihi / Received: 29.05.2018
Kabul tarihi / Accepted: 24.09.2018

GİRİŞ

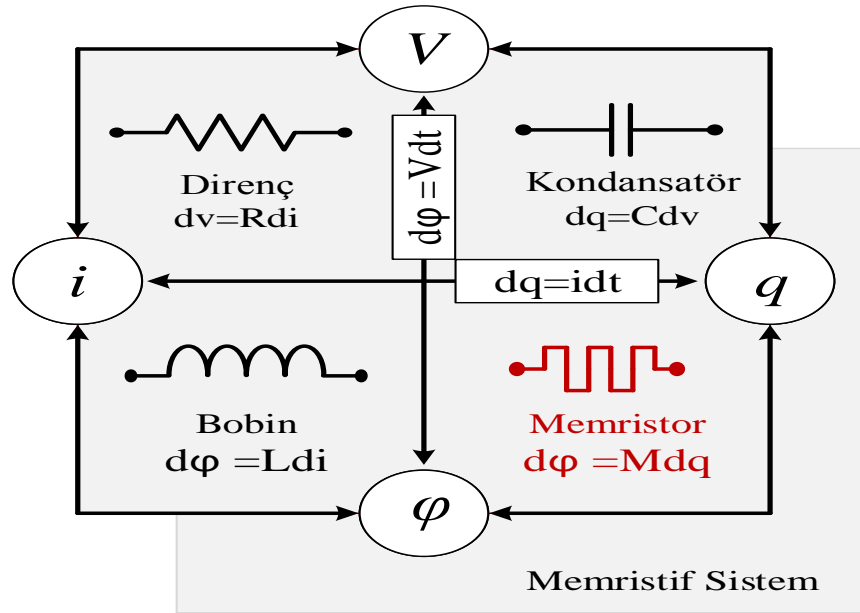
Leon Chua 1971 yılında üç temel pasif devre elemanı olan direnç, kapasitör ve endüktansın dışında dördüncü bir devre elemanının olması gerektiğinden bahsetmiş ve bu elemanı hafızalı direnç anlamında olan memristör olarak isimlendirmiştir (Chua, 1971). Ancak HP firmasının 2008 yılında fiziksel olarak memristörü gerçekleştirinceye kadar bu yeni eleman araştırmacılar tarafından pek ilgi görmemiştir (Williams ve ark., 2008). Fiziksel olarak gerçekleştirilen memristör, araştırmacıların hızlı bir şekilde ilgisini çekmeyi başarmış ancak memristörün ayırık devre elemanı olarak kullanılması gecikmiştir. Bu nedenle araştırmacılar memristör gibi davranan devreler üzerinde çalışarak birçok model ve devreler gerçekleştirmişlerdir (Birolek ve ark., 2009; Radwan ve ark., 2010; Rák ve ark., 2010; Yener ve ark., 2012; Kim ve ark., 2012; Elwakil ve ark., 2013; Abuelma'atti ve ark., 2014; Yu ve ark., 2014; Yesil ve ark., 2014; Sánchez-López ve ark., 2014; Abuelma'atti ve ark., 2015; Minaei ve ark., 2015; Babacan ve ark., 2016; Babacan ve ark., 2016; Sozen ve ark., 2016; Sánchez-López ve ark., 2017; 2017; Babacan ve ark., 2017). Tasarlanan memristör gibi davranan devrelerin kendi aralarında bazı üstün yanları bulunmaktadır. Örneğin bazı devrelerin yapısı oldukça basit olup bu elemanlar tek uçlu yani topraklı eleman gibi davranırken, bazıları ise karmaşık olup tam manasıyla iki ucu yüzen yapıya sahiptirler. Memristörler yapıldığı malzemeye bağlı olarak da farklı özellik göstermektedirler. Bu nedenle bazı memristörler yapıldığı malzemeye göre yüksek frekanslarda çalışırken diğerleri düşük frekans bölgelerinde

çalışmaktadırlar. Dolayısıyla birçok farklı memristör karakteristiği bulunmakta olup devre tasarımcıları farklı özelliklere sahip farklı memristör devreleri gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada daha önceden tasarlanmış ve elektronik olarak kontrol edilebilen OTA tabanlı memristör kullanılarak Chua devresi gerçekleştirilmiştir. Memristör tabanlı Chua devresinin kaotik çıkışı başarılı bir şekilde elde edilmiş ve elektronik olarak kontrol edilebilen memristörün özelliği sayesinde farklı kuyruk akımları için farklı kaotik çıkışlar beklendiği gibi elde edilmiştir.

Memristör

Kapasitör ilk olarak Ewald Georg Von Kleist tarafından 1745 yılında, direnç Georg Simon Ohm tarafından 1827 ve indüktör ise Michael Faraday tarafından 1831 yılında bulunmuştur. Burada kondansatör yük ile gerilim, direnç akım ile gerilim ve bobin ise akı ile akım arasındaki ilişkiyi tanımlayan devre elemanlarıdır. Ancak Şekil 1'den de görüldüğü üzere akı ile yük arasındaki bağlantıyı sağlayacak eleman henüz tanımlanmamıştır. 1971 yılına gelindiğinde Leon Chua bu eksikliği fark etmiş ve yeni bir elemanın olması gerektiğinden bahsetmiştir (Chua, 1971). Ancak bu elemanın önemi HP firmasının araştırma grubu tarafından fiziksel olarak gerçekleştirilinceye kadar araştırmacıların ilgisini pek çekmemiştir (Williams ve ark., 2008). Sonrasında ise memristör ile ilgili yoğun çalışmalar başlamıştır. Genel olarak memristör iki uçlu, pasif, histerisiz akım gerilim eğrisine sahip, enerji depolayamayan, oldukça küçük boyutlu ve lineer olmayan özelliğe sahip devre elemanıdır.



Şekil 1. Dört temel iki uçlu pasif devre elemanları (Williams, 2008).

Memristörün matematiksel denklemleri de ilk olarak yine memristörü fiziksel olarak gerçekleştiren HP ekibi tarafından ortaya konulmuştur. Akım ile gerilim arasındaki ilişki,

$$V(t) = R_{MEM}(x)i(t) \quad (1)$$

Burada memristör direncinin değişimi ifadesi aşağıdaki gibi olur.

$$R_{MEM}(x) = [R_{ON}x + R_{OFF}(1-x)] \quad (2)$$

Memristörler katkılı ve katkısız olarak iki temel bölgeden oluşmaktadırlar. Burada katkılı bölgenin genişliğinin tüm memristör genişliğine oranında x denirse bu oranın değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\mu_v R_{ON}}{D^2} i(t) \quad (3)$$

Memristör denkleminin daha sağlıklı olması için HP ekibi tarafından pencereleme fonksiyonu aşağıdaki şekilde önerilmiştir.

$$f(x) = \frac{x(1-x)}{D} \quad (4)$$

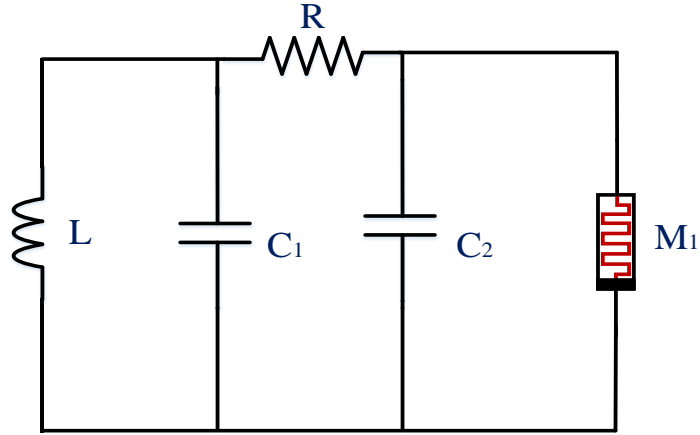
Denklem (4), denklem (3)'e eklenirse katkılı bölgenin tüm bölgeye oranının değişimi aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\mu_v R_{ON}}{D^2} i(t) f(x) \quad (5)$$

MATERYAL VE YÖNTEM

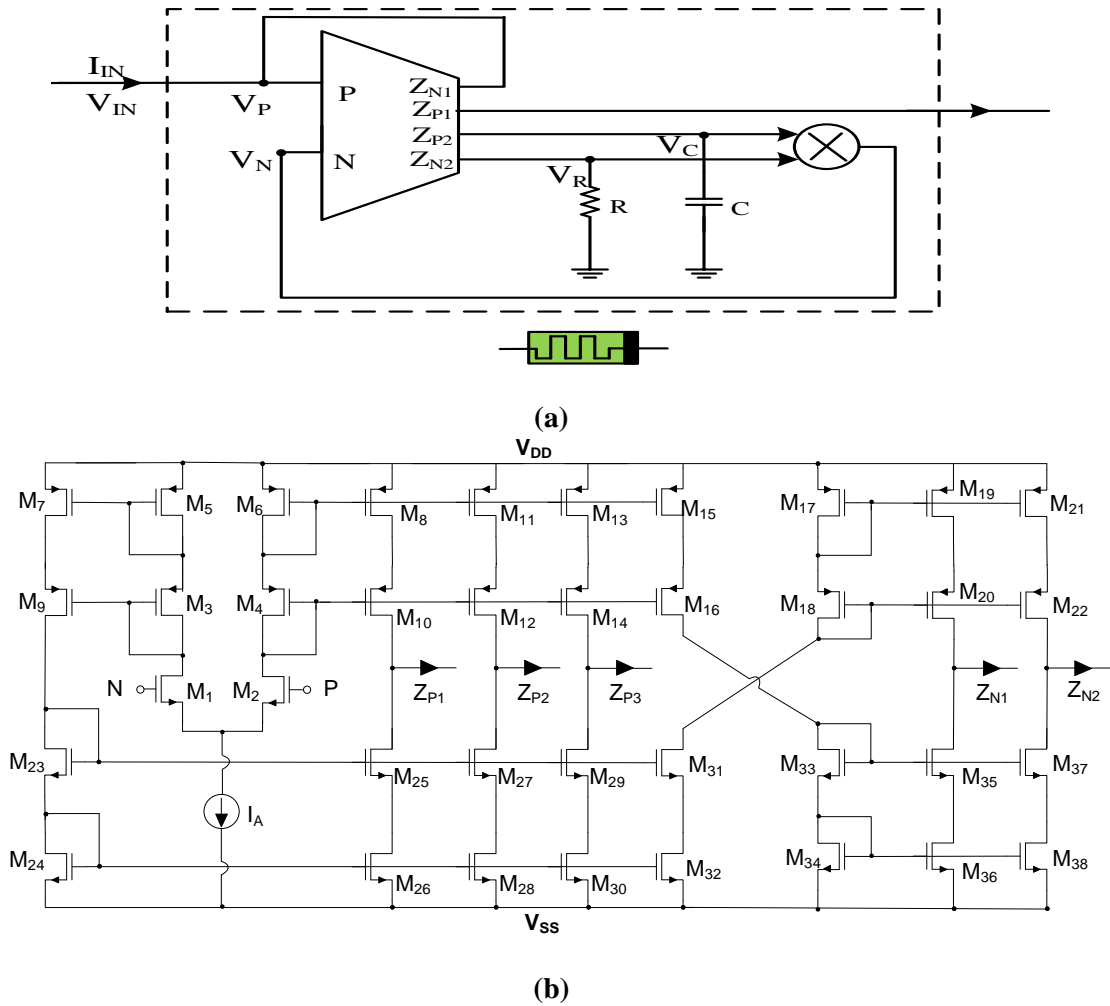
Leon Chua tarafından önerilen ve sadece iki adet kondansatör ve birer adet bobin, direnç ve memristör kullanılan devre Şekil.2.'de görülmektedir. Chua tarafından önerilen kaotik devrede önceleri memristör yerine chua diyotu kullanılmıştır. Bu tür kaotik devre tasarımlarında enerji depolayan elemanlar ile hafıza özelliğine sahip eleman kullanılması kaotik sinyal üretim mantığı düşünüldüğünde zorunlu olmaktadır. Burada enerji depolayan elemanlar bobin ve kondansatör olarak görülmektedir. Hafıza elemanı olarak ise memristör devre elemanı kullanılmıştır. Devre elemanları arasında salınım yapan ve ihmal edilecek kadar küçük olan sinyaller uygun değerler seçilerek yükseltme işlemine tabi tutulurlar ve böylece kaotik sinyal elde edilir (Muthuswamy ve Kokate, 2008).

Bu devrede kaotik sinyalin elde edilebilmesi için en önemli parametre devre elemanlarının değerleridir. Daha önceden tasarlanan ve elektronik olarak kontrol edilebilen memristör devresi (Babacan ve ark., 2017) aşağıdaki devrede kullanılmıştır.



Şekil 2. Memristör tabanlı Chua devresi. Devredeki bulunan eleman değerleri şöyledir. $L=21.4$ mH, $C_1=68$ nF, $C_2=6.8$ nF, $R=2$ k Ω .

Chua devresinde kullanılan memristörün lineer olmama özelliğini sağlayan çarpma devresi bulunmaktadır. Memristör devresi Şekil.3'te yer almaktadır.



Şekil 3. (a) OTA tabanlı azalan memristör emulasyon devresi. $R=1$ k Ω , $C=30$ μ F (b) OTA devre elemanının MOS transistör yapısı (Babacan ve ark., 2017).

OTA devre elemanının pozitif girişi memristör girişi olarak kullanılmıştır. Kondansatör ve direnç üzerindeki gerilimler ise çarpılarak OTA'nın negatif girişine bağlanmıştır. Bu sayede memristörün lineer olmama özelliği elde edilmiştir. Devrede bulunan direnç memristansın değişim aralığını kontrol eder. Diğer bir deyişle, memristörün direncinin hangi değerlerde değişmesi isteniyorsa direnç ona uygun seçilir. Kapasitör ise memristörün hafıza özelliğinin sağlanmasında kullanılır. Kapasitör üzerinde buluna yükler herhangi bir yol üzerinden boşalmazsa kapasitör üzerindeki gerilim sabit olur. Dolayısıyla direnç ve kapasitör üzerindeki gerilimlerin çarpımı sabit kalır ve hafıza özelliği gerçekleştirilmiş olur (Babacan ve ark., 2017).

BULGULAR VE TARTIŞMA

DM'nin Kimyasal Özellikleri

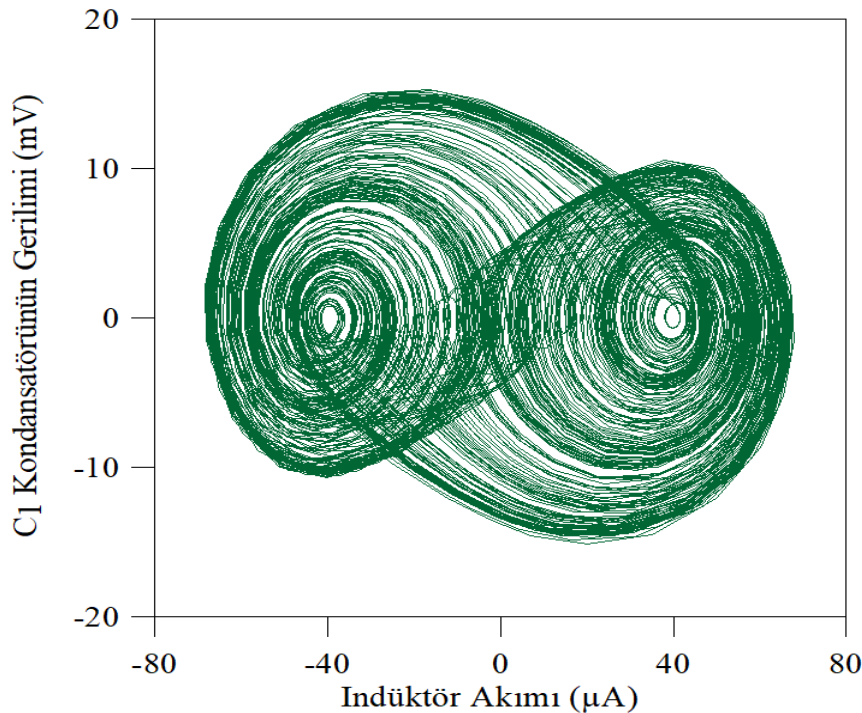
Devre LTSpice benzetim programı yardımıyla kurularak gerekli analizler

yapılmıştır. Burada öncelikle OTA devre elemanının kuyruk akım değeri $60\mu\text{A}$ olarak ayarlanmış ve Şekil 4.'te yer alan akım-gerilim grafiği elde edilmiştir.

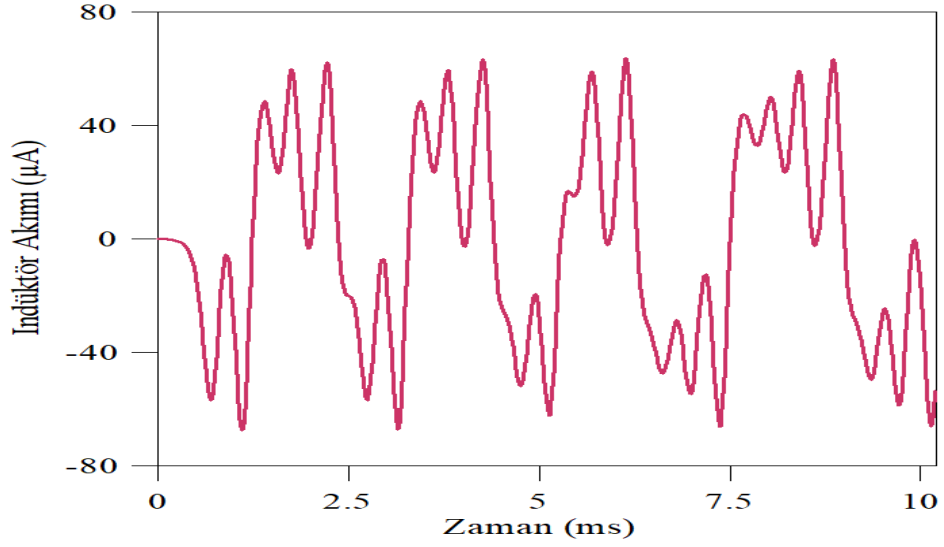
Görüldüğü üzere kaotik sinyal başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Burada eğer indüktör üzerindeki akımın zamana göre değişimi ifade edilecek olursa Şekil.5.'te görüldüğü gibi elde edilmiştir.

OTA devre elemanına ait kuyruk akımı değiştirildiğinde memristörün özelliği de değişecektir. Yani memristör elektronik olarak kontrol edilebilmektedir. Bu amaçla kuyruk akımının değiştirilerek kaotik sinyalin değişimi incelenmiştir.

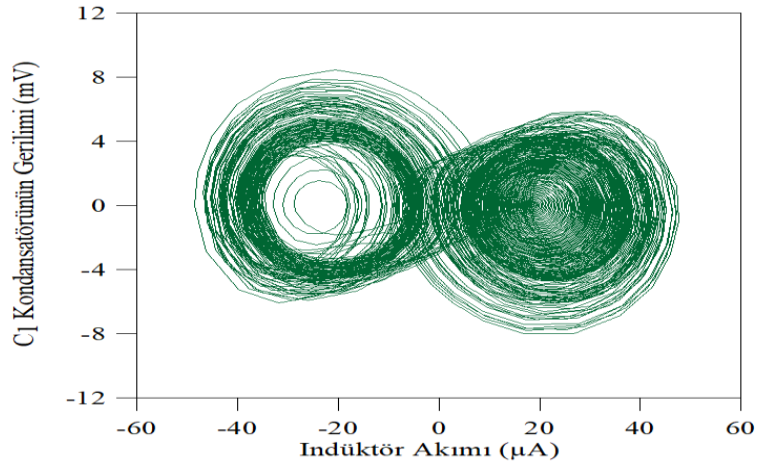
Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi OTA'nın kuyruk akımı arttıkça kaotik sinyalin değeri de artmaktadır. Kaotik davranış devre elemanlarının değerlerine fazlasıyla duyarlı oldukları için akım değeri daha da artırıldığında kaotik sinyalin yok olduğu görülecektir.



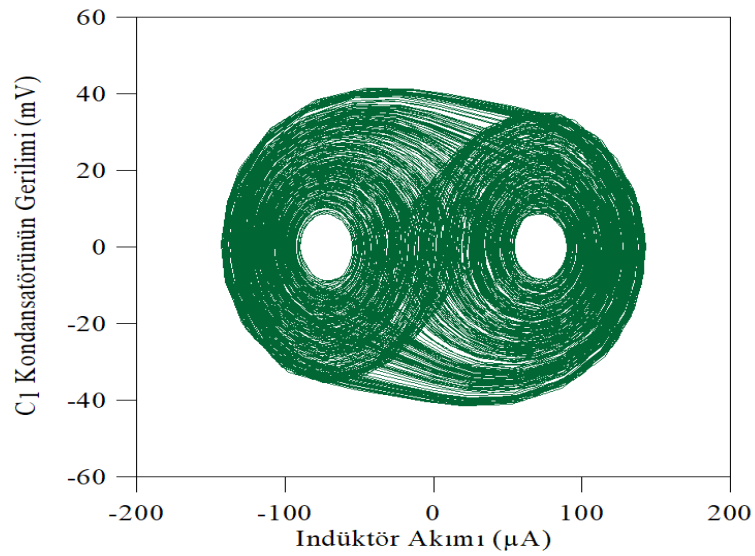
Şekil 4. Memristör tabanlı Chua devresinde indüktör akımı ile kapasite gerilimi arasındaki ilişki.



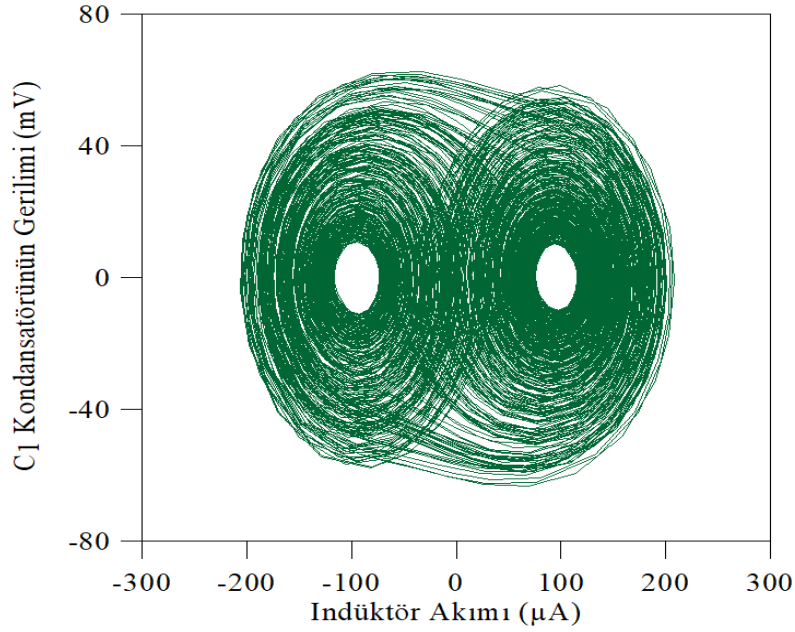
Şekil 5. Memristör tabanlı Chua devresinde indüktör akımı ile kapasite gerilimi arasındaki ilişki.



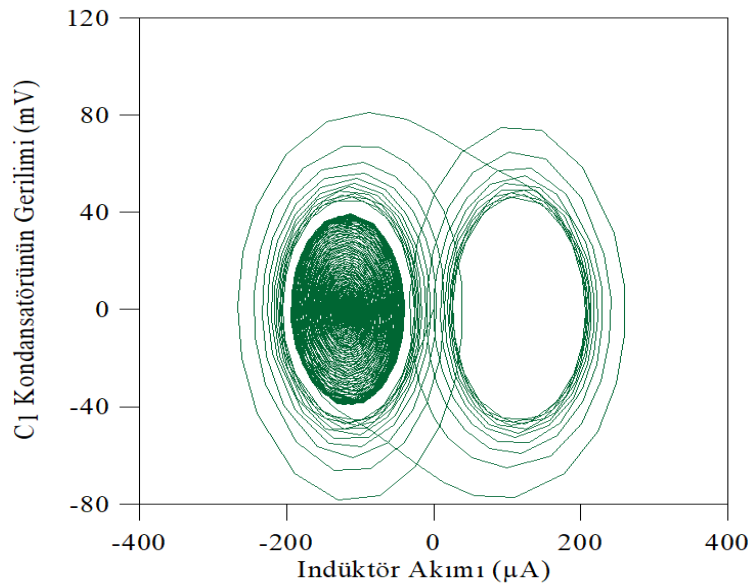
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6. Memristör tabanlı Chua devresinde farklı kuyruk akımlarına göre indüktör akımı ile kapasite gerilimi arasındaki ilişki (a) $I_A=55 \mu\text{A}$ (b) $I_A=80 \mu\text{A}$ (c) $I_A=100 \mu\text{A}$ (d) $I_A=120 \mu\text{A}$.

SONUÇ

Memristörler sahip oldukları özellikler sayesinde çok kısa bir süre içerisinde kendilerine çok farklı alanlarda geniş yer bulmuşlardır. Sahip oldukları lineer olmama ve hafıza özellikler memristörü diğer pasif devre elemanlarından farklı kılmaktadır. Bu çalışmada

daha önce tasarımı yapılan elektronik olarak kontrol edilebilen OTA tabanlı memristör kullanılarak Chua devresi gerçekleştirilmiş ve kaotik sinyaller başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Çalışmanın son kısmında ise OTA'nın kuyruk akımı değiştirilerek memristör elektronik olarak kontrol edilmiş ve farklı kuyruk akımlarına göre kaotik sinyalin değişimi elde

edilmiştir. Kaotik sinyallerin çok hassas parametrelere sahip olması ve en ufak değişimlerde aniden kaotik sinyalin yok olup sönümlemenin hemen meydana gelmesi düşünüldüğünde, kaotik sinyallerin başarılı bir şekilde elektronik olarak kontrol edilmesi önemlidir. Kuyruk akımı değiştirilerek kaotik sinyaller rahatlıkla elde edilebilmekte ve farklı sinyal türleri meydana geldiği görülmektedir. Burada görülmüştür ki artan kuyruk akımı ile birlikte kaotik sinyalin büyüklüğü de artmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abuelma'atti MT, Khalifa ZJ, 2014. A new memristor emulator and its application in digital modulation. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 80(3):577-584.
- Abuelma'atti MT, Khalifa ZJ, 2015. A continuous-level memristor emulator and its application in a multivibrator circuit. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 69(4):771-775.
- Babacan Y ve Kacar F, 2016. Floating Memristor Emulator with Subthreshold Region. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 90(2): 471-475.
- Babacan Y, Kacar F, Gurkan K, 2016. A Spiking and Bursting Neuron Circuit Based On Memristor. *Neurocomputing*, 203:86-91.
- Babacan Y, Yesil A ve Kacar F, 2017. Memristor emulator with tunable characteristic and its experimental results. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 81:99-104.
- Biolek Z, Biolek D, Biolkova V, 2009. SPICE model of memristor with nonlinear dopant drift. *Radioengineering*, 18(2):210-214.
- Chua L, 1971. Memristor-The missing circuit element, *IEEE Trans. Circuit Theory*. 18:507-519.
- Elwakil AS, Fouda ME, Radwan AG, 2013. A simple model of double-loop hysteresis behavior in memristive elements. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 60(8):487-491.
- Kim H, Sah MP, Yang C, Cho, S., Chua, L.O., 2012. Memristor emulator for memristor circuit applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 59(10):2422-2431.
- Muthuswamy B, Kokate PP, 2009. Memristor-Based Chaotic Circuits. *IETE Technical Review*, 26(6):417-429.
- Minaei S, Goknar IC, Yıldız M, Yuce E, 2015. Memstor, memstance simulations via a versatile 4-port built with new adder and subtractor circuits. *International Journal of Electronics*, 102(6):911-931.
- Radwan AG, Zidan MA, Salama KN, 2010. On the mathematical modeling of memristors. *International Conference on Microelectronics (ICM)*, 284-287.
- Rák Á, Cserey G, 2010. Macromodeling of the memristor in SPICE. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 29(4):632-636.
- Sánchez-López C, Mendoza-Lopez J, Carrasco-Aguilar MA, & Muñoz-Montero, C., 2014. A floating analog memristor emulator circuit. *Circuits and Systems II: Express Briefs, IEEE Transactions on* 61(5):309-313.
- Sánchez-López C, Carrasco-Aguilar MA, Muñoz-Montero C, 2017. A 16 Hz-160 kHz memristor emulator circuit. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 69:1208-19.
- Sánchez-López C, Aguila-Cuapio LE, 2017. A 860kHz grounded memristor emulator circuit. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 73:23-33.
- Sozen H, Cam U, 2016. Electronically tunable memristor emulator circuit. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 89(3):655-663.

- Strukov DB, Snider GS, Stewart DR, Williams RS, 2008. The missing memristor found. *Nature*. 453: 80–83.
- Yener S, Kuntman H, 2012. Fully CMOS Memristor Based Chaotic Circuit. *Radioengineering*, 23(4):1140-1149
- Yesil A, Babacan Y, Kacar F, 2014. A new DDCC based memristor emulator circuit and its applications. *Microelectronics Journal*,45(3):282-287.
- Yu D, Iu HHC, Fitch AL, Liang Y, 2014. A floating memristor emulator based relaxation oscillator. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 61(10):2888-2896.