

WIEN KÖPRÜ TABANLI KARIŞIK MODLU KAOTİK DEVRE MODELİ (W-MMCC)

¹Recai Kılıç, ²Fatma Yıldırım

¹Erciyes Üniversitesi Müh. Fak. Elektronik Müh. Böl., 38039, Kayseri

²Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Y. O., 38039, Kayseri

kilic@erciyes.edu.tr

fatmay@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Wien Köprü Osilatör, Karışık Modlu Kaotik Devre, Kaos

ÖZET

Bu çalışmada, doğrusal ve doğrusal olmayan osilasyonlarla çalışan araştırmacılar, öğrenciler ve bilim adamları için eğitim amaçlı yeni bir devre modeli sunulmuştur. Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre (Wien bridge-based Mixed-Mode Chaotic Circuit, W-MMCC) olarak isimlendirilen devre modeli, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan osilasyonları üreten bir yapıya sahiptir. Bu devre yapısında, Wien köprü devre kısmından dolayı sinüzoidal osilasyonlar gözlemlenmesinin yanı sıra, hem otonom hem de otonom olmayan karışık modlu kaotik osilasyonların elde edilmesi de mümkün olmaktadır. Devre, bu derece karışık dinamikler sergilemesine rağmen donanım olarak basit bir yapıya sahiptir. Devrede tek bir doğrusal olmayan direnç kullanılmıştır. Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin davranışı, PSpice simülasyonları ile doğrulanmıştır.

1. GİRİŞ

Son yirmi yılda araştırmacılar, bilim adamları ve de lisans öğrencileri için doğrusal olmayan sistemlerle özellikle de kaotik yapılarla ilgili literatürde eğitim amaçlı çalışmalar yer almıştır. Kaosun varlığını göstermek ve öğrencilerin kaosu anlamasını kolaylaştırmak için Lonngren [1], bir deneysel düzenek tanımlarken, Hamill [2], PSpice kullanarak simüle edilmiş 10 adet kaotik devrenin koleksiyonunu içeren bir simülasyon çalışması sunmuştur. Bu çalışmaların devamında Aissi [3], lisans öğrencilerine elektronik derslerinde gösterilmesi amacıyla kaotik devreler içeren eğitim amaçlı bir çalışma sunmuştur.

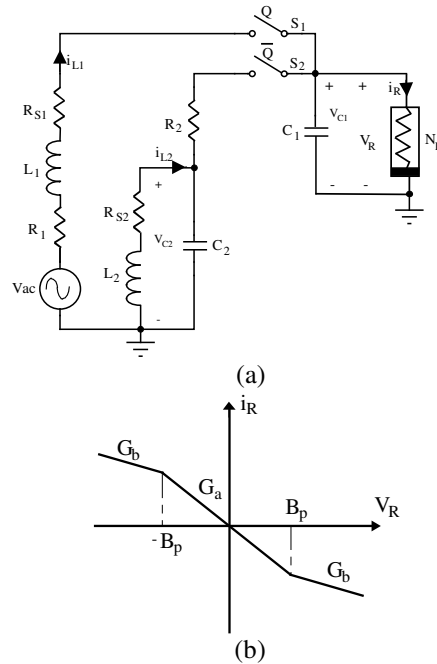
Literatürde yer alan ve yukarıda bahsedilen eğitim amaçlı çalışmalara ek olarak bu bildiride, doğrusal ve doğrusal olmayan osilasyonlarla ilgilenen bilim adamları, öğrenciler ve araştırmacılar için yeni bir eğitim amaçlı devre modeli sunulmaktadır. Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre (W-MMCC) olarak isimlendirilen devre modeli, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan osilasyonlar üreten bir yapıya sahiptir ve bu devre, hem otonom hem de otonom olmayan kaotik dinamikleri incelemek için eğitim amaçlı çok iyi bir modeldir. Hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır: 2. bölümde,

Karışık Modlu Kaotik Devre ve bu devrenin kaotik dinamikleri tanıtılmıştır. 3. bölümde, Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre olarak adlandırılan eğitim amaçlı modelin devre yapısı ve davranışı simülasyon sonuçlarıyla birlikte tanımlanmıştır. Son olarak 4. bölümde elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. KARIŞIK MODLU KAOTİK DEVRE MODELİ ve KAOTİK DİNAMİKLERİ

Orijinal karışık modlu kaotik devre yapısı, Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Karışık modlu kaotik devre modeli, hem otonom hem de otonom olmayan kaotik dinamikler sergilemektedir. Karışık modlu kaotik devrenin tasarımında otonom Chua devresinin [4] ve otonom olmayan MLC devresinin [5] ortak dinamikleri, bir anahtarlama metodu [6] kullanarak birleştirilmiştir.

Anahtarların durumlarına bağlı olarak karışık modlu kaotik devre, ya otonom kaotik davranış ya da otonom



Şekil 1. (a) Karışık modlu kaotik devre, (b) Karışık modlu kaotik devredeki doğrusal olmayan direncin üç bölgeye parçalı doğrusal karakteristiği.

olmayan kaotik davranış sergilemektedir. Anahtarların durumları, S1-ON ve S2-OFF olduğunda karışık modlu kaotik devre modeli, otonom olmayan kaotik MLC devre yapısına [5] dönüşür. Bu durumda devre, iki adet birinci dereceden otonom olmayan diferansiyel denklem takımı ile tanımlanmaktadır:

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = i_{L1} - f(V_R) \quad (1)$$

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = -i_{L1} (R_1 + R_{S1}) - V_{C1} + A \sin(\omega t) \quad (2)$$

Burada (A), Şekil 1(a)'daki V_{ac} harici periyodik işaretin genliğini ve (ω) da açılmal frekansını temsil etmektedir. Harici işaretin genliği (A), kaotik değişim (bifurcation) parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu genlik değerinin sıfırdan yukarıya doğru artırılmasıyla sistem, değişik dallanma ve kaos olayı sergilemektedir.

Şekil 1(a)'daki devrede anahtarların durumları S1-OFF ve S2-ON olduğunda devre, otonom Chua devresine dönüşmektedir [4]. Bu durumda devre, üç adet birinci dereceden otonom diferansiyel denklem takımı ile tanımlanmaktadır:

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = -V_{C2} - i_{L2} \cdot R_{S2} \quad (3)$$

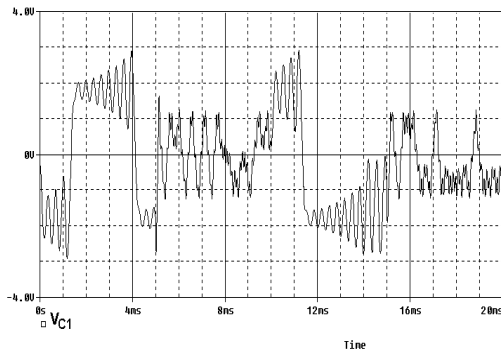
$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = i_{L2} - \frac{1}{R_2} (V_{C2} - V_{C1}) \quad (4)$$

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{R_2} (V_{C2} - V_{C1}) - f(V_R) \quad (5)$$

Şekil 1(a)'daki devrede R_2 direnç değeri kaotik değişim parametresidir ve bu direnç değerinin 2000 Ω 'dan 0 Ω 'a doğru azaltılmasıyla devre, değişik dallanma ve kaos olayı sergilemektedir. Burada, (1) ve (5) bağıntısında verilen $f(V_R)$ ifadesi, parçalı doğrusal bir fonksiyondur ve Şekil 1(b)'de grafiksel olarak gösterilmiş olup aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$i_R = f(V_R) = G_b V_R + 0.5(G_a - G_b) \times (|V_R + B_p| - |V_R - B_p|) \quad (6)$$

Burada, G_a ve G_b , sırasıyla iç ve dış bölgelerdeki eğimler olup, $\pm B_p$ kırılma noktalarını belirtmektedir. Doğrusal olmayan direnç, $G_a = -0.76$ mS, $G_b = -0.41$ mS ve $\pm B_p = \pm 1.0$ V parametrelerini verecek şekilde [7]'deki devre topolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Şekil 1(a)'daki karışık modlu kaotik devrenin kaotik davranışı.

Karışık modlu kaotik devre modelinin yukarıdaki statik çalışmasına ek olarak Şekil 1(a)'daki S1 ve S2 analog anahtarların girişlerine iki eşlenik Q ve \bar{Q} kontrol işaretleri sürekli uygulanarak, karışık modlu kaotik devrenin kaotik dinamiği elde edilmektedir. Karışık modlu kaotik devrede kontrol işareti olarak periyodik işaretler kullanılabilir gibi periyodik olmayan işaretler de kullanılabilir. Dinamik çalışma modu için karışık modlu kaotik devrenin davranışı Şekil 2' de gösterilmektedir. Burada, darbe süreleri 5 msn olan Q ve \bar{Q} kontrol işaretleri kullanılmıştır.

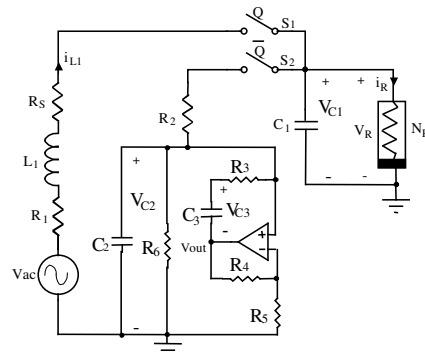
3. WIEN KÖPRÜ TABANLI KARIŞIK MODLU KAOTİK DEVRE MODELİ

Eğitim amaçlı olarak düşünülen karışık modlu kaotik devrenin yeni gerçekleştiriminde, Şekil 1(a)'daki devrenin pasif LC rezonatörü, aktif Wien köprü tabanlı RC konfigürasyonu ile değiştirilmiştir. Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre, Şekil 3' de gösterilmiştir. İlk olarak, statik anahtarlama kullanılarak devrenin statik performansı gösterilecek ve doğrulanacaktır. Anahtarların durumları, S1-ON ve S2-OFF olduğunda orijinal karışık modlu kaotik devre yapısındaki otonom olmayan aynı kaotik devre kısmı elde edilir. Bundan dolayı bu durumda devre, orijinal karışık modlu kaotik devredeki gibi iki adet birinci dereceden otonom olmayan diferansiyel denklem takımı ile tanımlanmaktadır:

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = i_{L1} - f(V_R) \quad (7)$$

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = -i_{L1} (R_1 + R_S) - V_{C1} + A \sin(\omega t) \quad (8)$$

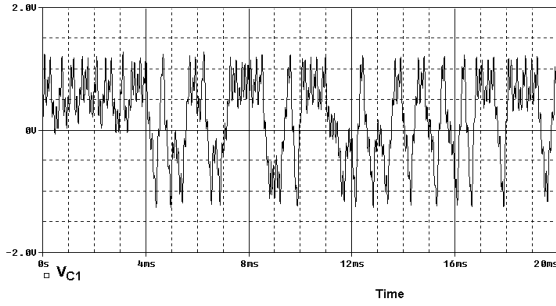
Burada (A), Şekil 1(a)'daki V_{ac} harici periyodik işaretin genliğini ve (ω) da açılmal frekansını temsil etmektedir. Harici işaretin genliği (A), kaotik değişim (bifurcation) parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu genlik değerinin sıfırdan yukarıya doğru artırılmasıyla sistem değişik dallanma ve kaos olayı sergilemektedir. Bu otonom olmayan devre kısmı için devre parametreleri, $C_1 = 10$ nF, $L_1 = 18$ mH, $R_1 = 1340$ Ω , $R_S = 12.5$ Ω , $A = 0.15$ V ve harici işaret kaynağının frekansı 8890 Hz olarak belirlenmiştir. Bu çalışma modunda Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin otonom olmayan kaotik davranışı, Wien



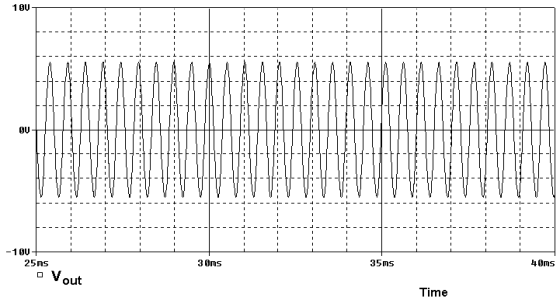
Şekil 3. Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre.

köprü devresinin sinüzoidal formdaki çıkış osilasyonu ve kaotik çift çeker yapısı, sırasıyla Şekil 4(a), 4(b) ve 4(c)' de gösterilmektedir. Bu anahtarlama modunda, C_1 kapasitörü üzerindeki voltaj otonom olmayan kaotik osilasyon olarak gözlenirken, Wien köprü çıkış düğümünde sinüzoidal osilasyonlar gözlemlenmektedir. Bundan dolayı hem kaotik hem de periyodik osilasyonlar, bu osilatör yapısında eş zamanlı olarak gözlemlenebilmektedir. Anahtarların durumları, S1-OFF ve S2-ON olduğunda kaotik çift çeker yapısını sergileyen otonom Wien köprü tabanlı Chua devresi [8] elde edilmektedir. Burada Op-Amp (VOA) kullanılarak gerçekleştirilen Wien köprü osilatörünün kazancı, $K = \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right)$ ' dir. Bu durumda

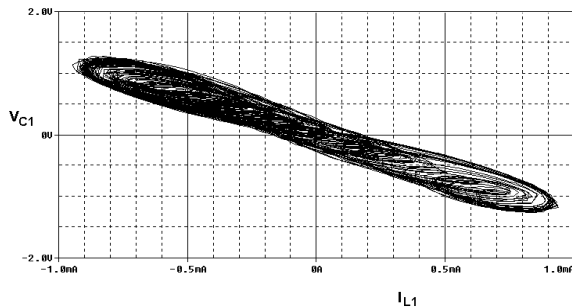
devre, üç adet birinci dereceden otonom diferansiyel denklem takımı ile tanımlanmaktadır:



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Otonom olmayan çalışma modunda Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin simülasyon sonuçları, (a) Otonom olmayan kaotik dinamik, (b) Wien köprü devresinin çıkış osilasyonu, (c) $(V_{C1}-I_{L1})$ düzleminde kaotik çift çeker gösterimi.

$$C_3 \frac{dV_{C3}}{dt} = -\frac{R_4}{R_3 R_5} V_{C2} - \frac{1}{R_3} V_{C3} \quad (9)$$

$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{1}{R_2} V_{C1} - \frac{1}{R_X} V_{C2} + \frac{1}{R_3} V_{C3} \quad (10)$$

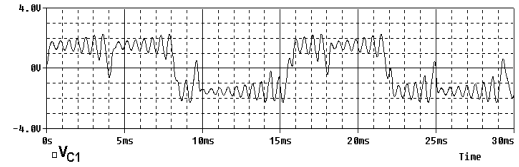
$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{R_2} (V_{C2} - V_{C1}) - f(V_R) \quad (11)$$

Burada $f(V_R)$, (6) bağıntısındaki gibi tanımlanmaktadır ve,

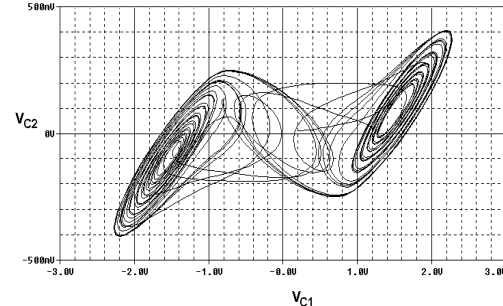
$$R_X = \frac{R_2 R_3 R_6 R_5}{R_2 (R_3 R_5 - R_6 R_4) + R_3 R_6 R_5} \quad (12)$$

olarak ifade edilmektedir.

C_1 kapasitörü ve N_R doğrusal olmayan direnci, otonom ve otonom olmayan çalışma modları için karışık modlu kaotik devrede ortak elemanlar olduğundan bu elemanların parametre değerlerine göre Wien köprü tabanlı RC konfigürasyonunun devre parametreleri belirlenmektedir. Devrenin çift çeker yapısını sergilemesi için devre parametreleri, $C_1=10$ nF, $C_2=C_3=800$ nF, $R_3=R_5=R_6=100$ Ω , $R_4=207$ Ω ve $R_2=1.525$ Ω olarak belirlenmiştir. C değerleri ve R değerleri eşit seçilerek ($C_2=C_3=C_0$, $R_3=R_6=R_0$), Wien köprü osilatörde osilasyonların başlaması için devrenin voltaj kazancı K, nominal değerinin ($K=3$) biraz üzerinde seçilmiştir ($K=3.07$). Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin otonom kaotik dalga formu ve kaotik çift çeker yapısı sırasıyla Şekil 5(a) ve 5(b)' de gösterilmiştir. Bu çalışma modunda tasarlanan devre, R_2 değişim parametresinin 1250 Ω -1850 Ω değerleri arasında farklı periyodik ve kaotik davranışlar sergileyebilmektedir.

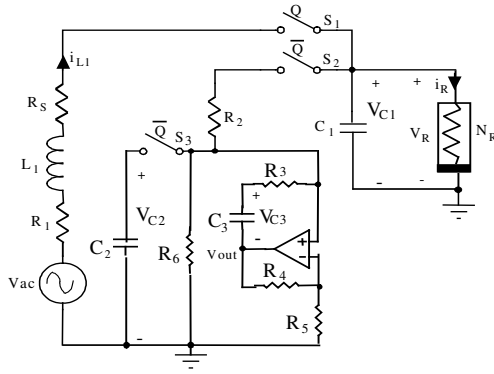


(a)



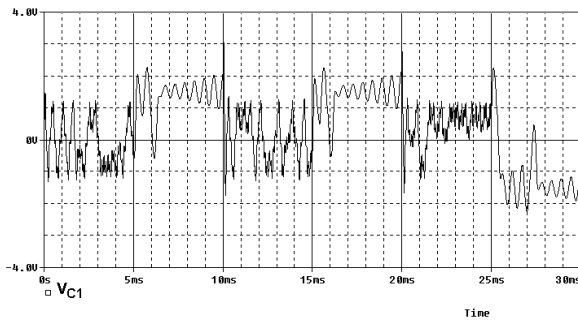
(b)

Şekil 5. Otonom çalışma modunda Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin simülasyon sonuçları, (a) C_1 kapasitörü üzerindeki voltajın kaotik dalga formu, (c) $(V_{C1}-V_{C2})$ düzleminde kaotik çift çekerli yapının gösterimi.



Şekil 6. S_3 anahtarı ilave edilerek modifiye edilen Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre.

Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin dinamik performansını değerlendirmek amacıyla statik performans gösterildikten sonra iki eşlenik kare dalga, Q ve \bar{Q} , orijinal karışık modlu kaotik devredeki gibi anahtarlama işleminin sürekli olarak devam etmesi için, Şekil 3'deki S_1 ve S_2 analog anahtarlarının girişlerine uygulanmalıdır. Her bir kare dalganın darbe genişliği ve periyodu sırasıyla 5 msn ve 10 msn olarak seçilmiştir. Bu dinamik çalışma modunda orijinal karışık modlu kaotik devrenin davranışına benzer bir karışık modlu kaotik dinamik gözlemlemek amacıyla, S_2 anahtarı ile eş zamanlı olarak çalışan analog S_3 anahtarı, Şekil 6'da gösterildiği gibi Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devreye eklenmiştir. Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre, S_3 anahtarı olmaksızın otonom olmayan aynı kaotik davranışı sergilerken otonom olmayan moddan otonom moda geçiş sırasında Wien köprü devresinin osilasyonundan dolayı Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre, otonom kaotik davranışı sergilememektedir. Bu yüzden, otonom olmayan modda S_2 anahtarı ile eş zamanlı olarak çalışan S_3 anahtarı, Wien köprü devresinin çıkış osilasyonunu önlemektedir. Önerilen Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin karışık modlu kaotik dalga formu, Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devrenin kaotik davranışı.

4. SONUÇ

Bu çalışmada eğitim amaçlı yeni bir Wien köprü tabanlı karışık modlu kaotik devre modeli önerilmiştir. PSpice simülasyon sonuçları, Wien köprü tabanlı RC konfigürasyonu kullanılarak gerçekleştirilen karışık modlu kaotik devrenin, orijinal karışık modlu kaotik devrenin kaotik davranışları sergilediğini doğrulamaktadır. Karışık modlu kaotik devrenin bu yeni gerçekleştirimi, doğrusal ve doğrusal olmayan osilasyonlarla çalışmak için iyi bir prototip oluşturmaktadır.

Karışık modlu kaotik devrede, Wien köprü devresinin kullanımı, mevcut parametrelere ek olarak yeni devre parametre değişimleri içermektedir. Bu yüzden, karışık modlu kaotik devrenin bu yapıdaki gerçekleştirimi, sadece basit bir tasarıma sahip olmakla kalmayıp aynı zamanda olası kaotik haberleşme uygulamalarında geniş parametre değişiklikleri ile daha fazla güvenilirlik sağlama potansiyeline sahiptir. Ayrıca karışık modlu kaotik devrede Wien köprü tabanlı RC konfigürasyonu kullanılarak indüktör sayısı azaltılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Lonngren K.E., Notes to accompany a student laboratory experiment on chaos, IEEE Trans. on Education, 34, (1), 1991.
- [2] Hamill D.C., Learning about chaotic circuits with SPICE, IEEE Trans. on Education, 36, (1), pp.123-128, 1993.
- [3] Aissi C., Introducing chaotic circuits in an undergraduate electronic course, Proceedings of the 2002 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference, Lafayette, USA, 2002.
- [4] Chua L.O., Wu C.W., Huang A., and Zhong G.A., Universal circuit for studying and generating chaos, IEEE Trans. Circuits&Syst., CAS-40, (10), pp.732-745, 1993.
- [5] Murali K., Lakshmanan M., and Chua L.O., Bifurcation and chaos in the simplest dissipative non-autonomous circuit, Int. J. of Bifurcations&Chaos, 4, (6), pp.1511-1524, 1994.
- [6] Kılıç R., Alçı M. and Tokmakçı M., Mixed-mode chaotic circuit, Electronic Lett., 36, (2), pp.103-104, 2000.
- [7] Kennedy M.P., Robust Op-Amp realization of Chua's circuit, Frequenz, 46, pp.66-80, 1992.
- [8] Morgül Ö., An RC Realization of Chua's circuit family, IEEE Trans. Circuits& Syst-I., 47, (9), pp.1424-1430, 2000.