

Mikrodenetleyici Tabanlı Programlanabilir Kaotik İşaret Üreteç Tasarımı

Design of Microcontroller-Based Programmable Chaotic Signal Generator

Ümüt Mutlu

Recai Kılıç

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi
kilic@erciyes.edu.tr

Özet

Bu çalışmada mikrodenetleyici tabanlı programlanabilir kaotik işaret üretici tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan programlanabilir kaotik işaret üreteç yapısı hem otonom hem de otonom olmayan kaotik dinamikler üretebilen karışık modlu kaotik devre modeline dayanmaktadır. Mikrodenetleyici tabanlı kontrol ünitesi ile karışık modlu kaotik üreteç devresinin osilasyon mod seçimi ve karışık modlu osilasyonda her bir moda ait osilasyon sürelerinin kontrolü programlanabilir bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Osilasyon süreleri periyodik bir şekilde ayarlanabildiği gibi periyodik olmayan formda rasgele olarak da ayarlanabilmektedir. Teorik ve simülasyon sonuçlarıyla uyumlu olan deneysel sonuçlar tasarım doğruluğunu kanıtlamaktadır. Programlanabilir bir özellik kazanan karışık modlu kaotik devre modelinin bu özelliği ile değişik kaos tabanlı mühendislik uygulamalarında esnek bir kullanıma sahip olacağı düşünülmektedir.

Abstract

In this study, a microcontroller-based programmable chaos generator has been designed and implemented. The proposed programmable chaos generator is based on mixed-mode chaotic circuit which is able to generate both autonomous and nonautonomous chaotic dynamics. The oscillation mode selection of mixed-mode chaotic circuit and oscillation durations of each mode in mixed-mode operation are controlled by microcontroller unit in programmable form. Oscillation durations in mixed-mode operation can be adjusted in two forms as periodical and random. Experimental results agree with the theoretical and simulation results. It is supposed that this programmable chaos generator will have a flexible usage in different engineering applications.

1. Giriş

Kaos tabanlı güvenilir haberleşme sistemleri, iletilecek bildiri işaretlerinin spektrumunu geniş bir sahaya yayabilmeleri, eşzamanlı olarak bildiri işaretlerini kodlayabilmeleri ve bu işlemleri basit ve pahalı olmayan kaotik devre düzenekleriyle gerçekleştirebilmeleri sebebiyle literatürde üzerinde çok çalışılan sistemler arasında yer almışlardır. Son yıllarda kaos tabanlı birçok haberleşme sistemi geliştirilmiş olup, bu tip haberleşme sistemlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan çok

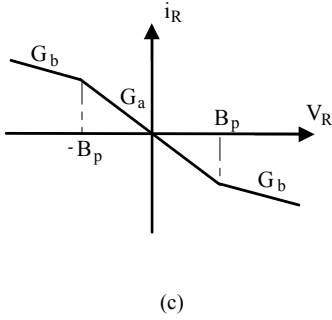
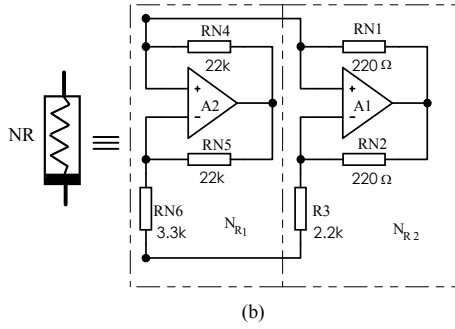
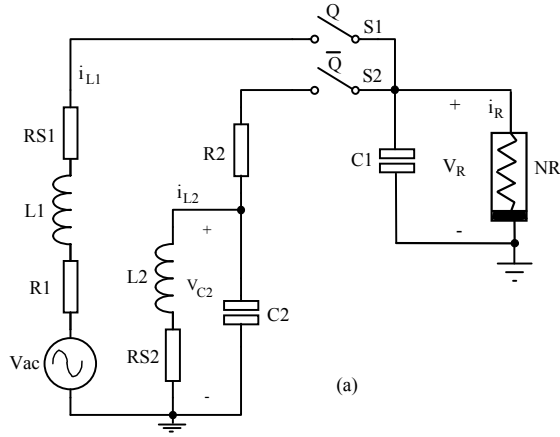
sayıda kaotik devre tasarımı yapılmıştır [1-9]. Karışık modlu kaotik devre modeli [10] de zengin parametre değişimine sahip olması, otonom ve otonom olmayan kaotik dinamiklerin her ikisini de üretebilmesi dolayısıyla kaotik haberleşme sistemlerinde kullanım potansiyeline sahiptir. Bu devre modeli sahip olduğu anahtarlama mekanizması ve çok modlu osilasyon özelliği dolayısıyla programlanabilir bir kaos işaret üretici için çok uygun bir modeldir. Bu çalışmada, mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol ünitesi kullanılarak karışık modlu kaotik devre modeli programlanabilir bir şekilde tasarlanmış ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen programlanabilir tasarımla karışık modlu kaotik devre modelinin otonom ya da otonom olmayan kaotik osilasyon mod seçimi ve osilasyon süreleri denetleyici kontrollü olarak belirlenebilmektedir. Bildirinin ikinci bölümünde öncelikle karışık modlu kaotik devre modeli ve kaotik davranışı kısaca özetlenecektir. Üçüncü bölümde bu devrenin programlanabilir tasarımına ilişkin ayrıntılar verilecektir. Deneysel gerçekleştirime ait sonuçlar dördüncü bölümde verilecek olup, elde edilen sonuçlar son bölümde tartışılacaktır.

2. Karışık Modlu Kaotik Devre Modeli

Yapısında tek bir nonlineer direnç kullanılarak basit bir donanımla tasarlanan karışık modlu kaotik devre modeli Şekil 1'de görülmektedir. Devre yapısındaki nonliner direncin i-v karakteristiği Şekil 1(c)'de verilmiş olup,

$$i_R = f(V_R) = G_b V_R + 0.5 \cdot (G_a - G_b) \times \left(|V_R + B_p| - |V_R - B_p| \right) \quad (1)$$

denklemini tanımlanmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi G_a , G_b karakteristiğin iç ve dış bölgelerindeki iletkenliklerini, B_p ise kırılma noktalarını temsil etmekte olup, bu parametrelerin istenen değerleri sırasıyla -0.76 mS, -0.41 mS ve 1 V'tur.



Şekil 1: (a) Karışık modlu kaotik devre modeli, (b) devredeki nonlineer direnç yapısı, (c) nonlineer direnç karakteristiği.

Şekil 1'deki karışık modlu kaotik devre modeli, anahtar konumlarına bağlı olarak hem otonom hem de otonom olmayan kaotik davranış sergileyebilmektedir. Anahtar konumları S1-ON ve S2-OFF iken Şekil 1'deki devre otonom olmayan MLC devresine dönüşür ve otonom olmayan kaotik davranış sergiler [10]. Bu durumda karışık modlu kaotik devre modeli aşağıda verilen iki birinci dereceden otonom olmayan diferansiyel denklemlerle tanımlanmaktadır.

$$C_1 \frac{dV_R}{dt} = i_{L1} - f(V_R) \quad (2)$$

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = -i_{L1}(R_1 + R_{S1}) - V_R + A \sin(\omega t) \quad (3)$$

Burada (A), şekildedeki V_{ac} kaynağının genliğini ve (ω) ise açısal frekansını temsil etmektedir. V_{ac} kaynağının genliği A, kaotik değişim parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu genlik değerinin sıfırdan yukarıya doğru artırılmasıyla sistem değişik dallanma ve kaos olayı sergilemektedir.

Şekil 1'deki anahtar konumları S1-OFF ve S2-ON olduğunda şekildedeki devre, otonom Chua devresine dönüşmekte ve otonom kaotik davranış sergilemektedir [10]. Bu durumda devre aşağıda verilen üç adet otonom diferansiyel denklemlerle tanımlanır.

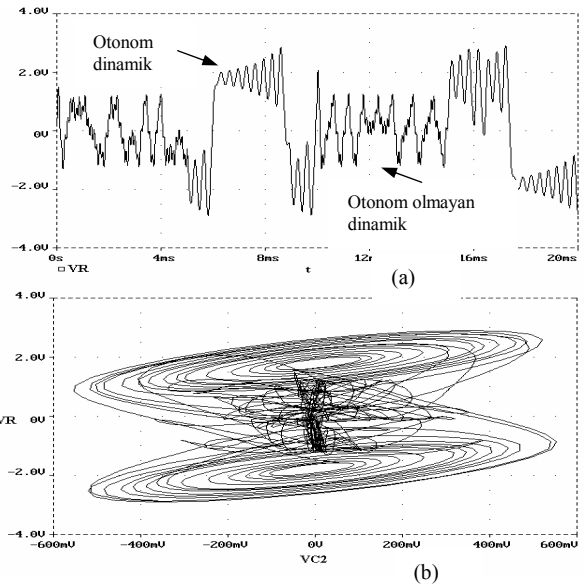
$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = -V_{C2} - i_{L2} \cdot R_{S2} \quad (4)$$

$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = i_{L2} - \frac{1}{R_2} (V_{C2} - V_R) \quad (5)$$

$$C_1 \frac{dV_R}{dt} = \frac{1}{R_2} (V_{C2} - V_R) - f(V_R) \quad (6)$$

Devredeki R_2 direnç değeri kaotik değişim parametresi olarak belirlenmiş olup, bu direnç değerinin 2000Ω 'dan sıfıra doğru azaltılmasıyla devre yapısı değişik dallanma ve kaos olayı sergilemektedir.

Şekil 1'deki anahtarların konumları statik olarak değil sürekli değişen bir kontrol işaretine bağlı yani dinamik olarak değiştirildiğinde, C_1 dinamiği üzerinde uygulanan kontrol işaretinin darbe süresine bağlı olarak hem otonom hem de otonom olmayan bir özellik taşıyan karışık modlu kaotik davranış sergilenmektedir [10]. Şekil 1'deki devrede anahtarların kontrol işaretleri olarak darbe süreleri 5 msn ve periyotları 10 msn olan iki eşlenik kare dalga işareti $V(\underline{Q})$ ve $V(\overline{Q})$ kullanıldığında elde edilen karışık modlu kaotik davranış ve devreye ait kaotik çeker yapısı Şekil 2(a) ve (b)'de verilmiştir.



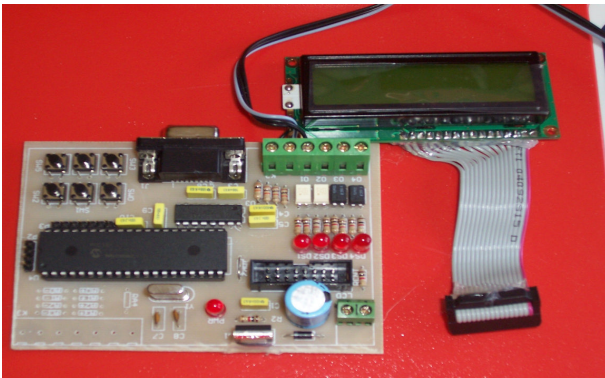
Şekil 2 (a) Karışık modlu kaotik devre dinamiği, (b) devrenin kaotik çeker yapısı.

Burada karışık modlu işaretin elde edilmesinde anahtarların kontrolü periyodik işaretlerle sağlanmış olsa da, bu kontrol periyodik olmayan işaretlerle de sağlanabilir.

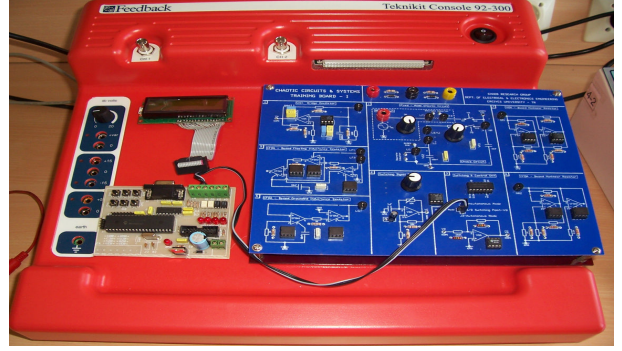
3. Programlanabilir Kaotik İşaret Üreteç Tasarımı

Güvenilir haberleşme amaçlı kaotik haberleşme sistemlerinde kaos üretici olarak kullanılacak devrenin tasarımı sistem donanımında önemli bir rol oynar. Kullanılacak kaos üreticinin çok karmaşık olmayan donanım yapısına sahip olması en çok arzulanan durumdur. Fakat kaotik haberleşme sistemlerinde yüksek güvenilirlik ve gizliliğin sağlanabilmesi için kaotik işaret üreteçlerinin basit donanımlarına ilaveten programlanabilir bir yapıya kavuşturularak, zengin ve geniş kaotik parametre değişimleri ile ekstra güvenilirlik anahtarlarına sahip olmaları gerekmektedir. Şekil 1'deki karışık modlu kaotik devre modeli de bu kriterlere oldukça uygun olan bir modeldir. Bu yapı tek bir nonlinear direnç içermesinden dolayı karmaşık olmayan bir donanıma sahip olmasının yanı sıra, hem otonom hem de olmayan dinamikler üretebilmesi sebebiyle de zengin bir kaotik parametre değişimi sunmaktadır. Bu avantajlarına ilaveten devre yapısında kullanılan anahtarlama işlemi de ekstra bir güvenilirlik unsuru oluşturmaktadır. Devrenin bütün parametreleri bilinse dahi bu anahtarlama işlemi tamamen kullanıcı tarafından kontrol edileceği için, bu sisteme dayalı bir haberleşme sisteminde istenmeyen kod çözme işlemi zorlaştırılmaktadır.

Bu sistemdeki anahtarlama işlemi programlanabilir tasarım için son derece uygundur. Çünkü anahtarlama kontrolü bir mikrodenetleyici tarafından programlanabilir bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu tasarım düşüncesinden hareketle Şekil 3'te fotoğrafı görülen mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol devresi tasarlanarak ilgili devrenin programlanabilir bir özelliğe kavuşması sağlanmıştır. Bu kontrol devresinin karışık modlu kaotik devre modeline uygulandığı deneysel düzenek ise Şekil 4'de görülmektedir. Deneysel düzenekte kullanılan karışık modlu kaotik devre modelinin yer aldığı devre kartı daha önce gerçekleştirilmiş olan eğitim amaçlı bir karttır. Bu kartta anahtarlama işlemi jumper ayarlarıyla manuel olarak ve karta yerleştirilen kare dalga osilatör devresiyle kontrol edilmekteydi.



Şekil 3 Mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresi.



Şekil 4: Karışık modlu kaotik devre modeli ve mikrodenetleyici tabanlı kontrol devresinin yer aldığı deneysel düzenek.

Şekil-4'de görülen kontrol ünitesi mikrodenetleyici; tuş takımı, LCD ekran, optoizolatör ve RS-232 bağlantısı içermektedir. RS-232 bağlantısı ve LCD ekran, bilgisayar kontrolü ve görsellik amacıyla opsiyonel olarak karta yerleştirilmiş olup sistemin çalışması için zorunlu değildir. Devredeki kaotik osilasyon mod seçimi tuş takımı ile otomatik olarak yapılabilmektedir.

Kontrol devresinin çıkışı tuş takımı aracılığıyla lojik-1 yapıldığında otonom olmayan mod, lojik-0 yapıldığında ise otonom mod aktif hale getirilmektedir. Bu çalışma durumu statik anahtarlama durumuna karşılık gelmektedir.

Kontrol devresinin asıl önemli işlevi dinamik çalışma modunda görülmektedir. Dinamik anahtarlama işleminde kontrolörün PWM çıkışı kullanılmaktadır. Uygulanan PWM çıkışına göre hem otonom hem de otonom olmayan kaotik davranışların bir arada bulunduğu karışık modlu kaotik devre dinamiği üretilmektedir. PWM kontrolü ile hem periyodik hem de periyodik olmayan anahtarlama işaretleri üretilebilmekte ve kullanılmaktadır.

4. Deneysel Çalışma

Tasarlanan programlanabilir kaotik işaret üretici, otonom ve otonom olmayan iki farklı kaotik işaret üreten karışık modlu kaotik işaret üreticini kontrol etmektedir. Kontrol devresi tarafından üretilen PWM işareti karışık modlu kaotik işaret üreticisine uygulanarak statik, periyodik ve periyodik olmayan olmak üzere üç farklı çalışma modunda kaotik işaret üretilebilmektedir.

Statik çalışma modunda otonom ve otonom olmayan kaotik işaretlerden istenilen herhangi biri çıkışa iletilmektedir. Periyodik çalışma modunda üretilen PWM işaretinin darbe süresi 1msn'lik işlem adımlarıyla gerçekleştirilmektedir. Periyodik çalışma moduna örnek olarak gerçekleştirilen iki ayrı deneysel uygulama sonuçları Şekil-5'de görülmektedir. Şekil 5(a)'daki uygulamada 5msn'lik darbe süresi ve 10msn'lik periyoda sahip PWM sinyali ile anahtarlama işlemi yapılmıştır. Mikrodenetleyici ile bu süreler programlanabilir

bir formatta ayarlanabilmektedir. Şekil 5(b)'de bu süreler ;3msn'lik darbe süresi ve 10msn'lik periyot süresi olarak değiştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil-5: Karışık modlu kaotik devre modelinde osilasyon mod sürelerinin periyodik kontrolü. Üstteki işaretler mikrodenetleyici kontrollü anahtarlama işaretlerini, alttaki işaretler ise anahtarlama işaretine göre üretilen karışık modlu kaotik devre dinamiklerini sembolize etmektedir.

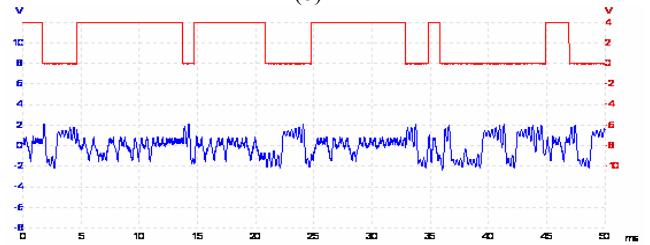
Periyodik olmayan kontrol işleminde ise PWM sinyalinin görev saykılı, ayarlanabilen belirli bir süre içerisinde her defasında rasgele bir şekilde değiştirilmektedir. Bu işlem modunda kontrolör tarafından rasgele üretilen 15 bitlik bir sayıya göre bir zaman süresi elde edilmekte ve bu değer o andaki darbe süresini belirlemektedir. Bu modda gerçekleştirilen örnek deneysel ölçümler Şekil 6'da verilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6: Karışık modlu kaotik devre modelinde osilasyon mod sürelerinin rasgele kontrolüne ait deneysel sonuçlar.

5. Sonuçlar

Geliştirilen mikrodenetleyici tabanlı programlanabilir kaotik işaret üretici basit bir donanım arz etmektedir. Bu devre ile kaotik haberleşme sistemi yapılması durumunda, karışık modlu kaotik devre modelinin zengin otonom ve otonom olmayan kaotik parametre değişimlerinin sisteme kattığı güvenilirliğin yanı sıra, devredeki programlanabilir anahtarlama mekanizması da ilave bir güvenlik parametresi oluşturmuş olacaktır. Çünkü böyle bir sistemde dışarıdan istenilmeyen müdahalelerde sistemdeki kaotikliğin çözülmesi ve kaotik senkronizasyonun sağlanması için verici modüldeki tüm parametrelerin bilinmesinin yanı sıra verici modülde kullanılan anahtarlama mekanizması ve anahtarlama işaretlerinin özelliklerinin de yani programlanabilen yapının periyodik veya periyodik olmayan değişkenlerinin de bilinmesi zorunludur. Karışık modlu kaotik devre modeline kazandırılan programlanabilir yapı, sistemi daha güvenli kılmakta ve dışarıdan müdahaleleri zorlaştırmaktadır. Ayrıca bu devre modeli kaos ve kaotik devre uygulamalarına dönük iyi bir eğitim aracıdır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 107E069 nolu proje kapsamında desteklenmektedir. Yazarlar bu desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

6. Kaynaklar

- [1] Kocarev L., Halle K.S., Eckert K., Chua L.O., Parlitz U., Experimental Demonstration of Secure Communications via Chaotic Synchronization, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 2, 709-713, (1992).
- [2] Halle K.S., Wu C.W., Itoh M., Chua L.O., Spread Spectrum Communication Through Modulation of Chaos, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 3, 469-477, (1993).
- [3] Chua L.O., Itoh M., Kocarev L., Eckert K., Chaos Synchronization in Chua's Circuit, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 3, 93-108, (1993).
- [4] Itoh M., Murakami H., Chua L.O., Communication Systems via Chaotic Modulations, *IEICE Trans. Fundamentals.*, E77-A, 1000-1006, (1994).
- [5] Alçı M., Kılıç R., Simetrik Bağlantılı Chua Devre Modelinde Kaotik Eşzamanlama, *SIU'97, 5. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı*, S.850-854, 1997, Kuşadası.
- [6] Hasler M., Synchronization of Chaotic Systems and Transmission of Information, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 8, 647-655, (1998).
- [7] Itoh M., Spread Spectrum Communication via Chaos, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 9, 155-213, (1999).
- [8] Panas A.I., Yang T., Chua L.O., Experimental Results of Impulsive Synchronization Between Two Chua's Circuits, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 8, 639-644, (1998).
- [9] Dmitriev A.S., Panas A.I., Starkov S.O., Experiments on Speech and Music Signals Transmission Using Chaos, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 5, 1249-1254, (1995).
- [10] Kılıç R., Alçı M., Tokmakçı M., Mixed-Mode Chaotic Circuit, *Electronics Letters*, 36, 103-104, (2000).