

Sprott_94_A Kaotik Sisteminin Senkronizasyonu ve Bilgi Gizlemede Kullanılması

İhsan Pehlivan, Yılmaz Uyaroğlu, M. Ali Yalçın, Abdullah Ferikoğlu

Özet—Doğrusal olmayan otonom Sprott_94_A kaotik denklem sistemi matematiksel olarak basittir, fakat çok çeşitli kompleks kaotik çekiciler üretmektedir. Bu çalışmada, Sprott_94_A sisteminin kaotik senkronizasyon ve kaotik bilgi gizleme devreleri Matlab-Simulink ve PSpice programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, Sprott_94_A kaotik sisteminin senkronizasyon ve kaotik bilgi gizlemedeki etkinliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler—Sprott_94_A Çekisi, Kaotik Sistem, Senkronizasyon, Kaotik Gizleme, Bilgi Güvenliği

I. GİRİŞ

KAOTİK davranış, çok basit ve küçük boyutlu bir doğrusal olmayan sistem de olsa her yerde oluşabilir. Son yirmi yıl boyunca, dinamik sistemlerde deterministik kaosa olan ilgi artmıştır. Poincaré-Bendixon teoremi [1], bir otonom sürekli zamanlı durum uzayı modelinin sınırlı kaotik çözümlere sahip olabilmesi için en az üç boyutlu olmasını gerektirmektedir. Diğer taraftan, otonom olmayan sistemler için, kaos iki boyutlu modellerde ortaya çıkabilir. Kaotik sistemlerin Lorenz [2], ve Rössler [3, 4] sistemleri gibi çok geniş bir şekilde çalışılan pek çok örneği vardır. İki adet doğrusal olmayan elemandan oluşan elektronik devreler, teorik öngörülerini doğrulamak için kullanılabilir. Örnek olarak, doğrusal olmayan Duffing osilatörleri deneysel olarak araştırılmıştır [5]. Deneysel olarak kurulan ve incelenen diğer bir popüler örnek, doğrusal olmayan Chua devresidir [6]. Şimdiye kadar, çeşitli kaotik sistemler tanıtılmıştır [7-10].

Kaos kavramının ve kaotik sistem özelliklerinin ortaya konmasıyla literatürde kaos olayıyla ilgili çalışmalar iki ana bölümde odaklanmıştır. Bunlardan ilki, kaosun ve kaotik davranışın olumsuz olarak algılandığı ve bu tür davranışların görülmemesi arzulan sistem yapılarında kaotik kontrol çalışmalarıdır [11].

Kaos ve kaotik sistem dinamiği ile ilgili ikinci ana çalışma alanı ise; bu derece ilginç özelliklere sahip kaotik işaretler ve sistemlerden olumlu yönde yararlanma fikri doğrultusunda yapılan çalışmalar olmuştur.

I. Pehlivan, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ABD'da doktorasını bitirdi (e-mail: ipehlivan@sakarya.edu.tr)

Y. Uyaroğlu, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe, Sakarya (e-mail: uyaroglu@sakarya.edu.tr)

M. A. Yalçın, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe, Sakarya (e-mail: yalcin@sakarya.edu.tr)

A. Ferikoğlu, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Egit. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe, Sakarya (e-mail: af@sakarya.edu.tr)

Bu çalışmalar özellikle kaotik işaretlerin ve sistemlerin senkronizasyonu ile bu senkronize kaotik sistemlerin güvenilir ve gizli haberleşme amaçlı tasarım ve uygulamalarda kullanılabilme olasılığını kapsamaktadır. Kaotik işaretlerin yayılı spektruma sahip olması, mühendisleri bu işaretleri haberleşmede kullanmanın haberleşme açısından güvenli ve gürültüye bağışık kılacağı fikrine itmiştir [12]. Fakat ilk başlarda kaotik sistemlerin bu tür haberleşme uygulamalarında kullanılabilmesi için senkronizasyonlarının sağlanması, bu konunun önündeki en büyük engel olarak görülüyordu. Pecora ve Carroll'un [13] yapacakları bir çalışmaya kadar, başlangıç şartları ve sistem parametrelerine hassas bağımlı olmalarından dolayı iki yada daha fazla kaotik sistemin senkronize olamayacağı düşünülüyordu. Pecora ve Carroll bu düşüncüyü ortadan kaldıran çalışmalarında [13-14], ele aldıkları orijinal bir kaotik sistemi keyfi olarak iki ayrı kısma ayırıp bunları sürücü ve cevaplayıcı alt-sistemler olarak adlandırmışlardır. Alıcı modülde cevaplayıcı alt-sistemin aynı oluşturularak bu alt-sistemin orijinal sistemin sürücü kısmıyla sürülmesi durumunda, kaotik senkronizasyonun sağlanabileceğini yani, alıcı modülde üretilen kaotik işaretin orijinal sistemden gelen kaotik işarete yakınsayacağını gerek teorik gerekse deneysel olarak göstermişlerdir. Kaotik sistemlerin senkronizasyonu ile ilgili çalışmalar, kaotik devre ve dinamikler kullanılarak güvenilir ve gizli haberleşme amaçlı elektronik sistem tasarımı ve gerçekleştirilmesi ile ilgili çalışmalar için bir dönüm noktası olmuştur.

Cuomo ve Oppenheim'in [15-16] bir bilgi işaretine kaotik işaret ekleyerek, senkronizasyon kavramının bildiri işaretinin maskelenmesinde nasıl kullanılabileceğini göstermesi, kaotik haberleşme sistem tasarımında ilk uygulamalar olması açısından önemlidir. Cuomo ve Oppenheim'in Lorenz devresini kullanmalarına karşın, aynı kavramsal yaklaşımı Kocarev ve arkadaşları [17] kaotik sistem olarak Chua devresini kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Bu ilk çalışmalardan sonra son onbeş yılda kaotik sistemlerin senkronizasyonu ve senkronize kaotik sistemlerin güvenilir haberleşme amaçlı kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır [18-21]. Literatürdeki, kaotik sistemlerin senkronizasyonu ve senkronize kaotik sistemlerin güvenilir haberleşme amaçlı kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında zaman Chua, Lorenz, Rossler, Duffing gibi sistemlerin daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemler, bu alanda çalışan kimselerin çok iyi bildikleri, üzerinde çok uzun yıllar çalışılmış olan sistemlerdir. Örneğin Chua devresinin kaşifi Leon Chua'nın kendi internet sayfasında [22] verdiği bilgilere göre 2004 senesine kadar Chua devresi ile ilgili 767 adet uluslararası bilimsel yayın yapılmıştır.

Konu, güvenli ve gizli haberleşme olunca da, dinamik yapıları çok iyi bilinen üzerinde çok fazla çalışılmış

sistemlerin bu amaçla kullanılması güvenlik açısından dezavantaj oluşturabilecektir. Güvenli haberleşmede alternatif olarak kullanılacak olan yeni kaotik sistemlerin bulunması çalışmaları son yirmi yılda popülerliğini hiç kaybetmemiştir.

Bu arayışlarla Sprott, 1994 yılında sağ tarafta 7'den az terim bulunan üç boyutlu otonom kaotik sistemleri bulmak için geniş çaplı bir araştırma yaptı[8] ve 'A'-'S' arası isimlendirdiği 19 adet kaotik denklem sistemi buldu. Sayısal araştırmalar sonucu binlerce kaotik durum bulmasına karşın bunlardan 19 tanesi bir değerine dönüşüm olmayacak şekilde belirginleşti, ve 'A' dan 'S' ye kadar etiketlendi. Bu 19 denklemden, 'A' - 'E' arası olan 5 denklem, 2 adet ikinci dereceden-doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam 5 terimli, 'F' - 'S' arası olan 14 denklem ise bir adet ikinci dereceden-doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam 6 terimli denklemlerdir. Bu çalışmada 5 terimden az olupta ikinci dereceden-doğrusal olmayan ve kaotik davranış gösteren duruma rastlanılmamıştır. Bu 19 durumdan 'A' durumu konservatif(hacim-korunmalı) akış, diğer 18 durum ise dağıttık (hacim büzülmeli) akış olup tuhaf çekici gösterirler. Daha sonraları, Hoover 1995 yılında[23], Sprott'un bulduğu konservatif 'A' durumunun, Hamilton kaos sergilediği daha önceden 1986'da gösterilen[24] Nosé-Hoover termostat dinamik sisteminin özel bir durumu olduğuna dikkat çekmiştir. Sprott'tan sonra pek çok yeni kaotik sistem tanıtılmıştır. Örnek olarak Chen 1999'da yeni

bir kaotik sistem kurdu[25]. Bunu Lü sistemi[26] ve benzerleri[27] [28] takip etti.

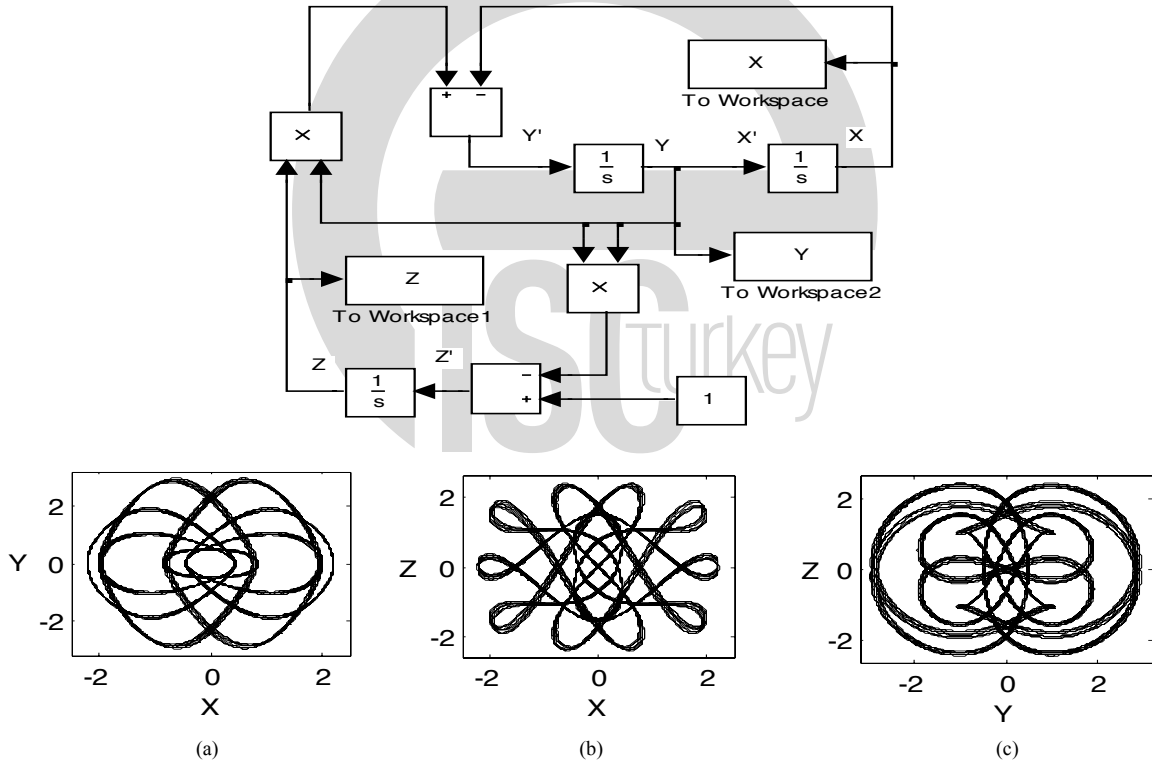
Bu çalışma kaotik bilgi gizleme, güvenli haberleşme için özdeş senkronizasyon ve uygulamalarına odaklanmaktadır. İkinci bölümde, Sprott_94_A çekicisinin Simulink ve Pspice devre simülasyonları elde edilmiştir. Üçüncü bölümde Pecora-Carroll (PC) yöntemi kullanılarak, Simulink ve Pspice devre simülasyonları ile Sprott_94_A sisteminin senkronizasyon uygulamaları yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise, Sprott_94_A sistemi ile kaotik bilgi gizleme uygulamaları yine Simulink ve Pspice devre simülasyonları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bölüm 5 ise sonuçları içermektedir.

II. SPROTT_94_A ÇEKİCİSİNİN SIMULINK VE PSPICE SİMÜLASYONLARI

Sprott'un 1994 yılında tanıttığı 19 adet kaotik denklemden birincisi olan A durumuna ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= -x + y \cdot z \\ \dot{z} &= 1 - y^2\end{aligned}\quad (1)$$

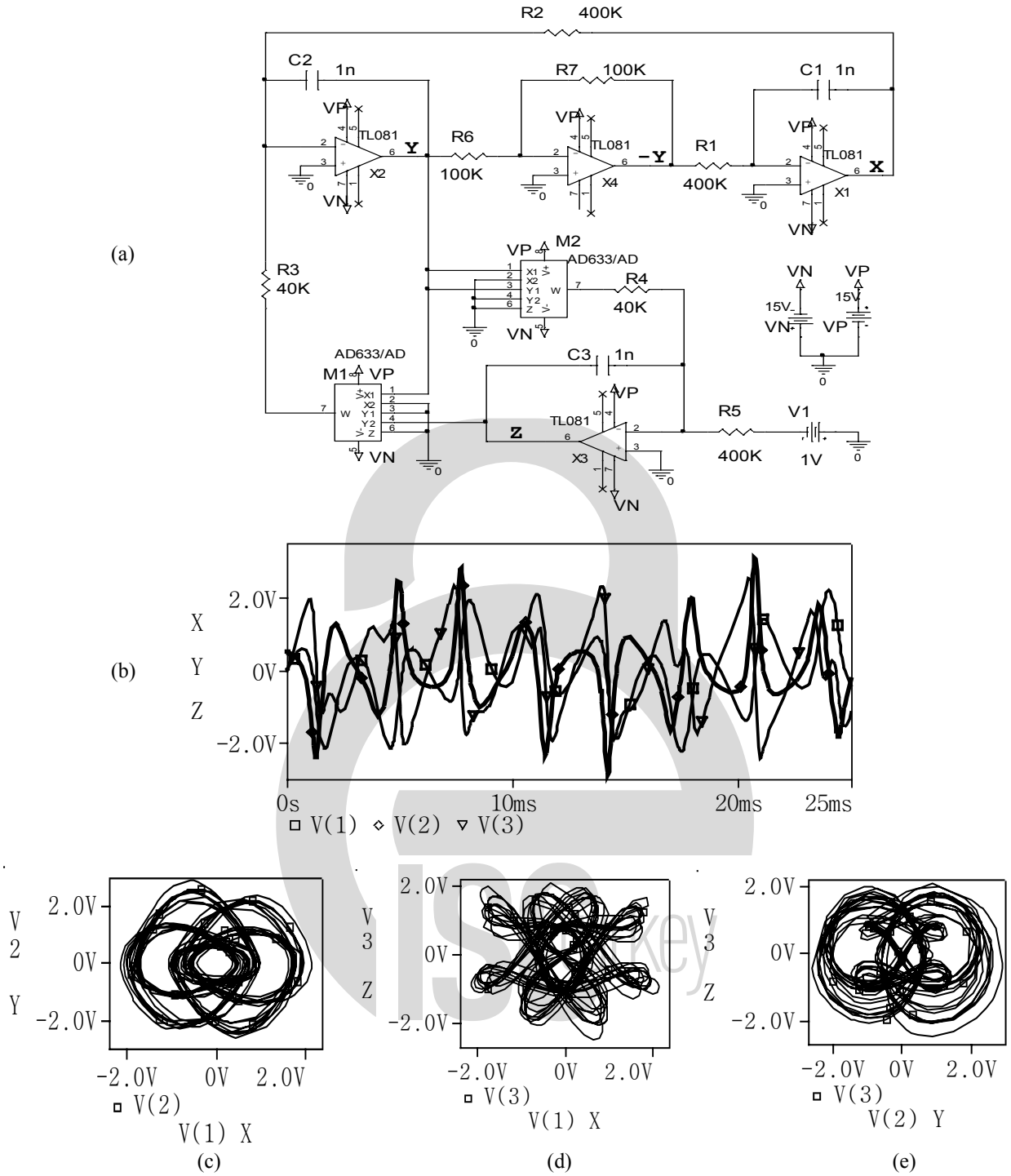
Sprott_94_A sisteminin Lyapunov üstelleri 0.232, 0, ve -1.232'dir. Yani, bir pozitif Lyapunov üsteli vardır.



Şekil 1: Sprott_94_A sistemi Simulink modeli ve $x_0 = 0$, $y_0 = 0.5$, $z_0 = 0$ iken, (a) x-y, (b) x-z, (c) y-z kaotik çekicileri

Şekil 2, Sprott_94_A çekicisini gerçekleyen devre şemasını göstermektedir. Pspice devre simülasyonları için TL081 opamplar, Analog Devices AD633JN analog çarpım entegreleri, uygun değerlerde direnç ve kondansatörler kullanılmıştır. Devre ± 15 V güç kaynağı ile beslenmiştir. AD633 çarpım entegresinin kabul edilebilir giriş değerleri

-10V ile +10V arasındadır. R1 - R7 arası dirençler ve C1-C3 arası kapasitörler nominal değerleri ile Şekil 2'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2, devrenin Pspice simülasyon sonuçlarını da göstermektedir. Pspice ve Matlab-Simulink simülasyonlarının (Şekil 1 ve Şekil 2) aynı sonuçları verdiği görülmektedir.



Şekil 2: (a) Sprott_94_A sistemini gerçekleyen devre ve Sprott_94_A çekicisinin PSpice simülasyon sonuçları, (b) kaotik x, y, z sinyallerinin zamana göre değişimi, (c) x-y, (d) x-z, (e) y-z kaotik çekicileri

III. SPROTT_94_A ÇEKİCİSİNİN SENKRONİZASYONU

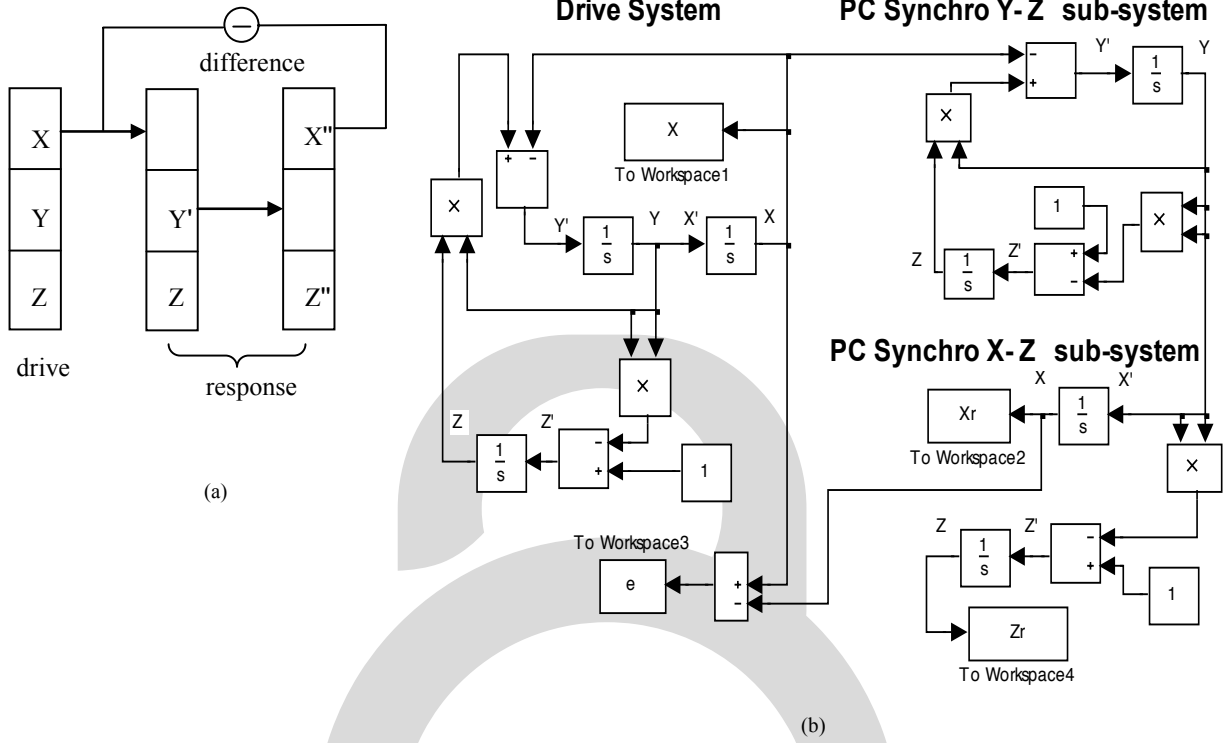
Kaotik sistemler arasındaki senkronizasyon çok fazla ilgi çeken bir konu olup haberleşme uygulamalarına yol açmıştır. Özdeş kaotik sistemlerin kupağı ve senkronize edilmeleri için iki esas metot vardır; peş peşe bağlama metodu ve tek-

yönlü kupağı metodu. Bu metotlarla bir mesaj sinyali, verici tarafından, senkronizasyonda bulunan bir kaotik sinyalin güdümü altında, alıcıda yeniden oluşturulabilecek şekilde gönderilir. Bu bölüm Sprott_94_A sisteminin sayısal ve

elektronik devre olarak senkronizasyonunun simülasyon sonuçlarını sunmaktadır. Kullanılan metod Pecora-Carroll (PC) metodu olup, sürücü alt-sistem ve cevap alt-sistemleri oluşturulmuştur. Şekil 3(a), bu peş peşe bağlanmış senkronizasyon sisteminin blok diyagramını, Şekil 3(b) ise,

Sprott_94_A çekicisinin Simulink Pecora-Carroll senkronizasyon modelini göstermektedir.

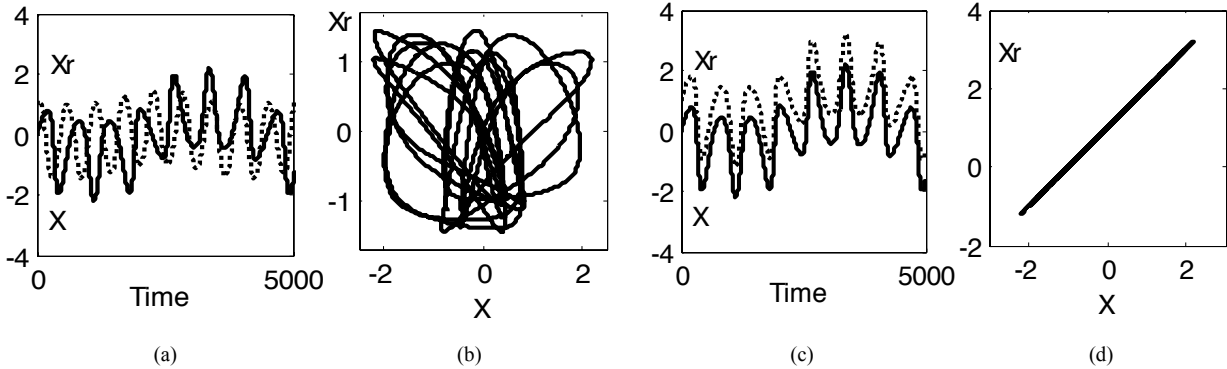
Kaos senkronizasyonu bize güvenli haberleşme ve sinyal işleme için potansiyel uygulamalar sağlamaktadır.



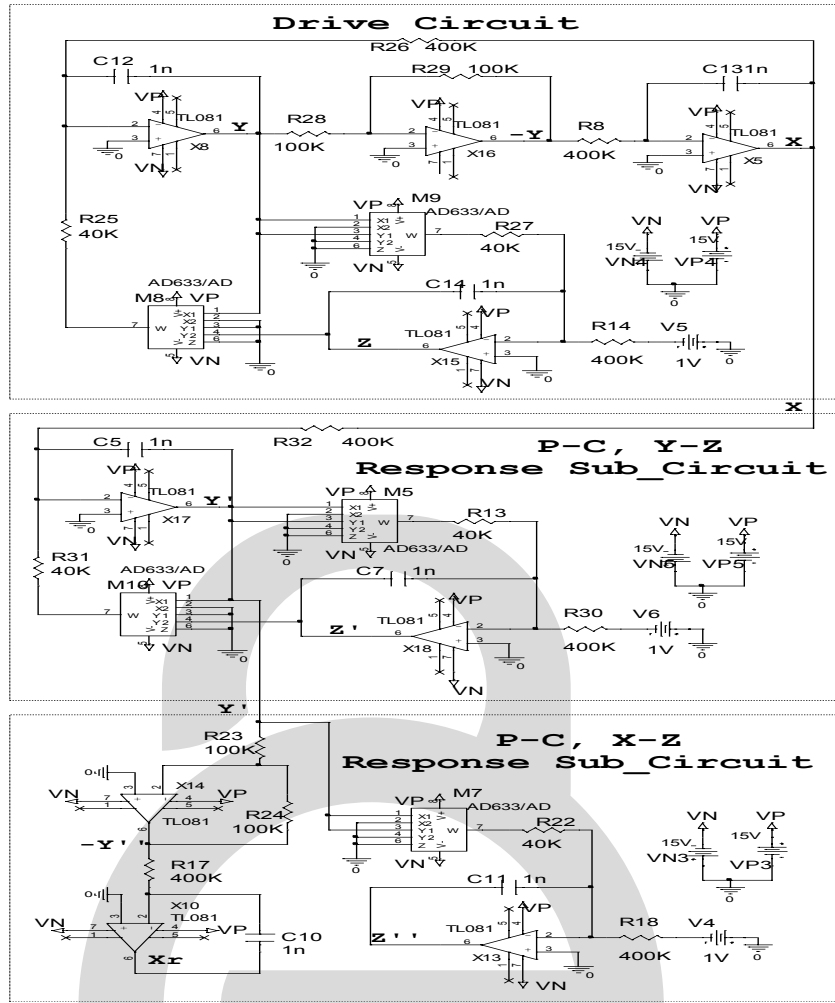
Şekil 3: Sprott_94_A çekicisinin Pecora-Carroll Senkronizasyonunun Blok Diyagram(a) ve Simulink Modellemesi(b).

Sprott_94_A sisteminin Pecora-Carroll senkronizasyonunun simülasyon sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. İki alt sistemin ilk şartları farklıdır. Sürücü sisteminin ilk şartları (0, 0.5, 0), cevap alt-sistem1'in ilk şartları (0.5, 0) ve alt sistem2'nin (1, 0) dır. Simülasyon sonuçları iki alt sistemin iyi bir şekilde senkronize olduğunu göstermektedir(Şekil 4). Şekil 5, Sprott_94_A sisteminin Pecora-Carroll senkronizasyonunun uygulanması için tasarlanan devre şemasını göstermektedir.

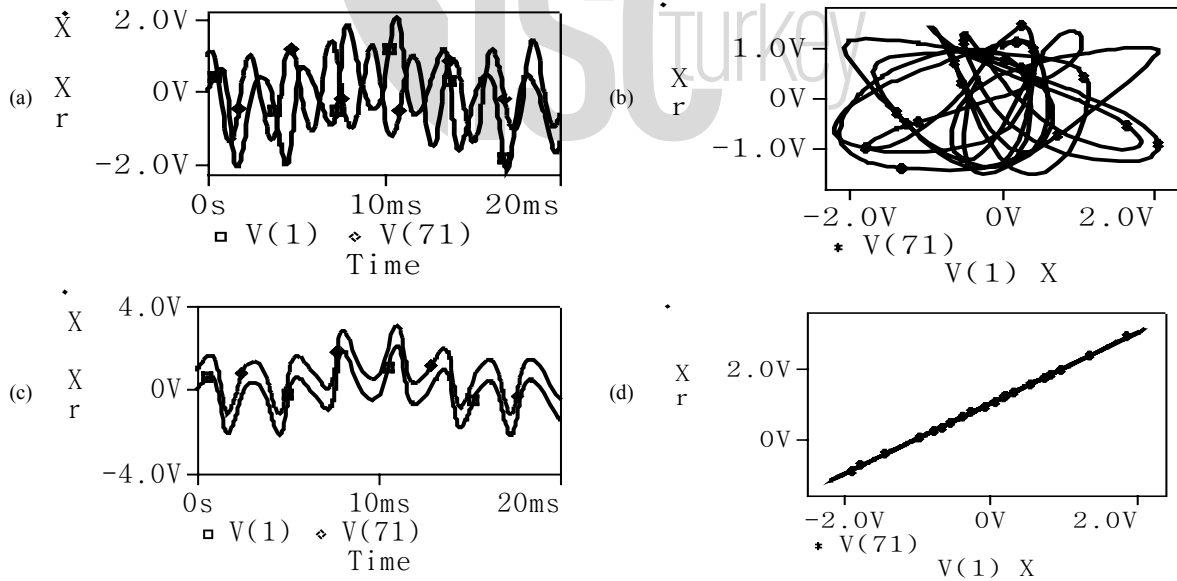
Pspice devre simülasyonları için yine TL081 opamplar, Analog Devices AD633JN analog çarpım entegreleri, uygun değerde direnç ve kondansatörler kullanılmıştır. Devre ± 15 V güç kaynağı ile beslenmiştir. Şekil 6, senkronizasyon devresinin Pspice simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Sprott_94_A sisteminin Simulink ve PSpice devre senkronizasyonunun simülasyonları (Şekil 4 ve Şekil 6) aynı sonuçları vermektedir.



Şekil 4: Sprott_94_A sisteminin Pecora-Carroll senkronizasyonunun simülasyon çıktıları, (a) Senkronizasyondan önce sürücü ve cevap sistemi kaotik sinyalleri,(b) Senkronize edilmemiş durum , (c) Senkronizasyondan sonra sürücü ve cevap sistemi kaotik sinyalleri, (d) X ve Xr arasındaki senkronizasyon



Şekil 5: Sprott_94_A çekicisinin PC Senkronizasyonu için tasarlanan devre

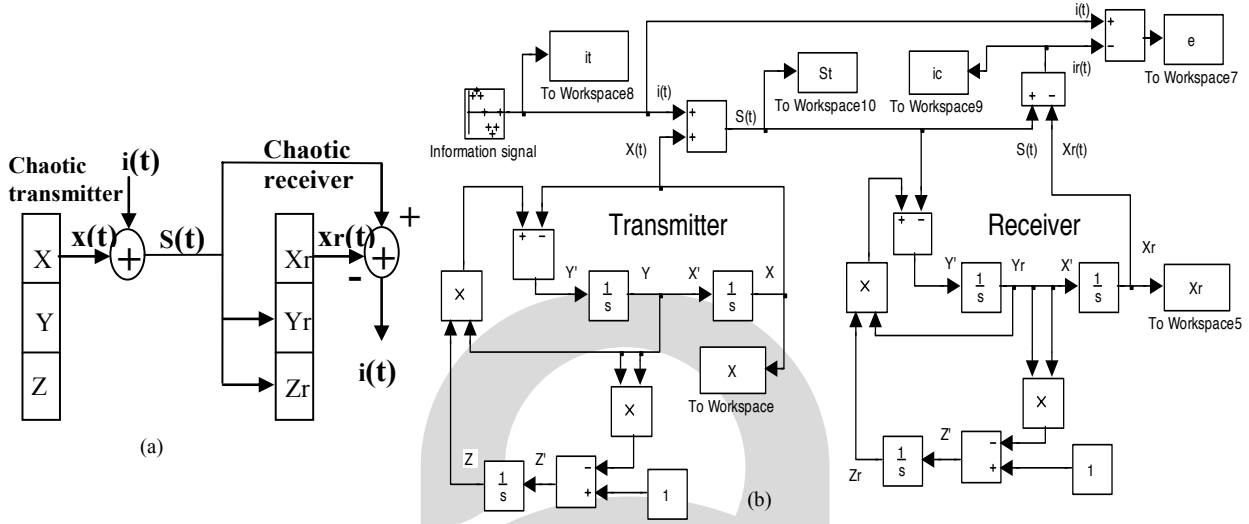


Şekil 6: Sprott_94_A çekicisi PC Senkronizasyon devresinin Pspice simülasyon çıktıları (a) Senkronizasyondan önce sürücü ve cevap sistemi kaotik sinyalleri (b) Senkronize edilmemiş durum (c) Senkronizasyondan sonra sürücü ve cevap sistemi kaotik sinyalleri (d) X ve Xr arasındaki senkronizasyon

IV. SPROTT_94_A ÇEKİCİSİNİN BİLGİ GİZLEMEDE KULLANILMASI

Çıkış sinyalinin giriş sinyalini tekrar elde edebilmesi gerçeği, bir kaotik sistem için güvenli haberleşmeyi gerçekleştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Şekil 7, Sprott_94_A

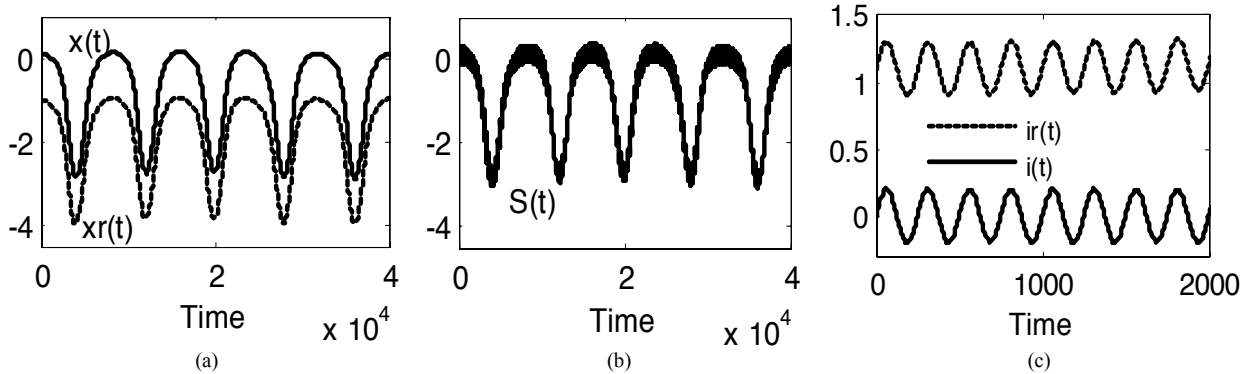
çekicisinin kaotik bilgi gizleme tekniği kullanarak gerçekleştirilen güvenli haberleşme sistemi genel prensip şemasını ve Simulink'de yapılan modelini göstermektedir.



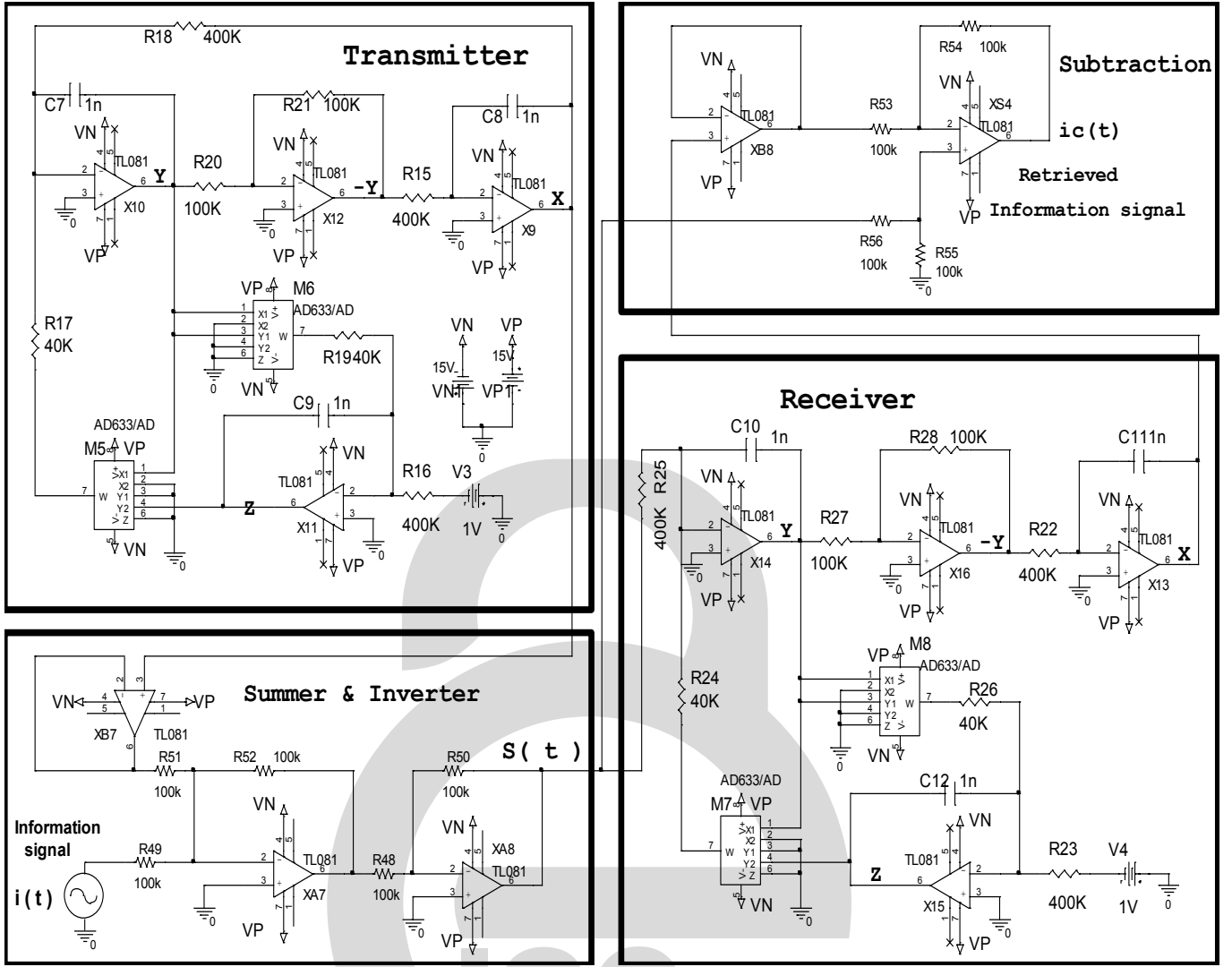
Şekil 7: Kaotik bilgi gizleme sistemi genel prensip şeması (a) ve Sprott_94_A çekicisi için yapılan Simulink modeli (b)

Verici ve alıcı sistemler ilk şartlar dışında özdeşler. Verici sistemin ilk şartları 0.1, 0, 0 ve alıcı sistemin ise -1, 0, ve 0'dır. Kaotik bilgi gizleme haberleşmesini uygulamak için verici ve alıcı parametrelerinin eşit olduğundan emin olunmalıdır. Alıcıda temiz bir şekilde sürücü sinyali yeniden oluşturmak için sürücü devrenin kaotik sinyaline düşük seviyeli bir bilgi sinyali eklenmektedir. Böylelikle bilgi sinyali, Sprott_94_A çekicisinde peş peşe bağlama senkronizasyonu yoluyla bilgi gizleme yöntemi kullanılarak mükemmel bir şekilde tekrar elde edilmektedir. Bilgisayar simülasyon sonuçları Sprott_94_A çekicisinin kaotik bilgi gizleme ve mesaj dönüştürmedeki performansını göstermiştir. Gönderilen bilgi sinyali 0.2 volt genliğinde ve 10 KHz frekanslı bir sinüs dalgasıdır. Sinüs dalga şeklindeki bilgi sinyali, vericide oluşturulan kaotik x

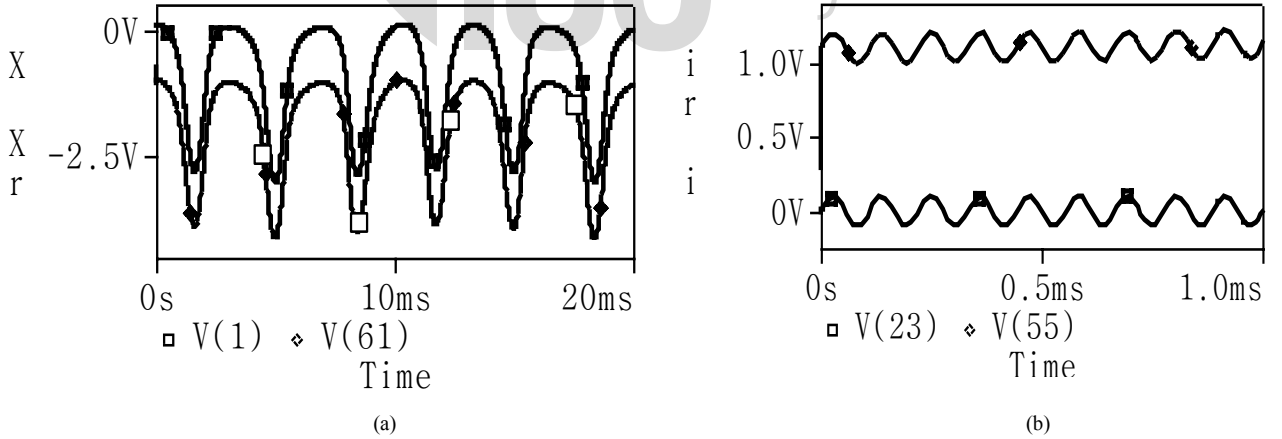
gönderilir. Alıcıda senkronize olarak üretilen kaotik x_r sinyali, gönderilen sinyali tekrar elde etmek için basit bir çıkarma işlemi ile $[x+i(t)]$ 'den çıkartılır. $[x+i(t)] - x_r = i(t)$ olması için $x = x_r$ olması yani verici devre ile alıcı devrenin kaotik x ve x_r sinyallerinin senkronize olması yeterlidir. Şekil 8(c) gönderilen ve tekrar alınan bilgi sinyallerini göstermektedir. Şekil 9'da Sprott_94_A çekicisinin kaotik gizleme yöntemini kullanan haberleşme devre şeması görülmektedir. Şekil 10 ise bu kaotik gizleme haberleşme devresinin Pspice simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Gönderilen sinyal 0.2 Volt genlikli, 10 KHz frekanslı bir sinüs dalgasıdır. Verici ve alıcı devreler ilk şartlar haricinde özdeş devrelerdir. Şekil 9'daki verici devrenin ilk şartları 0.1, 0, 0 ve alıcı devrenin ilk şartları ise -1, 0, ve 0'dır. Kaotik bilgi gizleme devresinin Simulink ve Pspice simülasyonları (Şekil 8 ve Şekil 10) aynı sonuçları vermektedir.



Şekil 8: Sprott_94_A çekicisinin kaotik bilgi gizleme tekniği kullanan Simulink modelinin simülasyon çıktıları, (a) Sürücü (x) ve cevap (xr) sistemi kaotik sinyallerinin zamana göre değişimi, (b) İletilen sinyal, $S(t) = x(t) + i(t)$, (c) Bilgi sinyali $i(t)$ ve tekrar elde edilen $ir(t)$ sinyalleri (0.2V, 10 KHz)



Şekil 9. Sprot94 Durum A Çekici Kaotik Maskeleye Haberleşme Devresi



Şekil 10. Sprot94 Durum A Çekici Maskeleye Haberleşme Devresinin PSpice çıktıları (a) Zamana karşı Sürücü sistemi x sinyali ve Yanıtlama sistemi xr sinyali (b) Bilgi ve kurtarılan sinyal (0.2 V, 10 KHz)

V. SONUÇLAR

Bu makalede Sprottt_94_A kaotik sisteminin özdeş senkronizasyonu, ve bilgi sinyali gizleme metodu ile güvenli haberleşme uygulamaları üzerinde çalışılmıştır. Sprottt_94_A kaotik sisteminin Simulink modellemesi yapılmış ve elektronik osilatörü tasarlanmıştır. Sayısal simülasyon sonuçları(Şekil 1) ve Pspice simülasyon sonuçlarının(Şekil 2) aynı sonuçları verdiği görülmektedir. Ayrıca Pecora-Carroll özdeş peş peşe bağlama senkronizasyon metodu ile Matlab-Simulink' de sayısal simülasyon olarak(Şekil 4), Pspice programı ile de elektronik devre simülasyonu(Şekil 6) olarak Sprottt_94_A kaotik sisteminin senkronize olduğu gösterilmiştir. Sayısal ve elektronik devre olarak Sprottt_94_A kaotik sisteminin senkronize olduğunun görülmesi güvenli bilgi iletimi amaçlı uygulamalar için uygun olabileceğini göstermektedir.

Son olarak yine Sprottt_94_A çekicisinin, kaotik gizleme tekniği kullanarak Matlab-Simulink' de kaotik bilgi gizleme modeli ve elektronik devre olarak da yine aynı teknikle güvenli haberleşme sistemi tasarlanarak simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simulink'deki sayısal simülasyon sonuçları(Şekil 8) ile Pspice programı yardımıyla elde edilen elektronik devre simülasyon sonuçlarının(Şekil 10) aynı olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, Sprottt_94_A kaotik sistemi bilgi gizleme amaçlı uygulamalarda kullanılabilir, bu makaledeki Sprottt_94_A kaotik osilatörü kullanılarak değişik metodlarla bilgi gizleme amaçlı yeni sistemler tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] A. Nayfeh, B. Balachandran, *Applied Nonlinear Dynamics*, John Wiley, New York, 1994
- [2] E.N. Lorenz, "Deterministic nonperiodic flow", *J. Atmo. Sci.*, vol. 20, pp. 130-141, 1963.
- [3] O.E. Rossler, "An equation for continuous chaos", *Phys. Lett. A*, vol 57, pp. 397-398, 1976.
- [4] O.E. Rossler, "An equation for hyperchaos", *Phys. Lett. A*, vol 71, pp. 155-157, 1979.
- [5] C. Hayashi, "Nonlinear Oscillations in Physical Systems McGraw-Hill, New York, 1964
- [6] R.N. Madan, "Chua's Circuit: A Paradigm for chaos", World Scientific, Singapore, 1993.
- [7] A.M. Rucklidge, "Chaos in models of double convection", *J. Fluid Mech.*, vol 237, pp. 209-229, 1992.
- [8] J.C. Sprott, "Some Simple Chaotic Flows", *Physical Review E*, vol. 50(2), pp. 647-650, 1994.
- [9] J.C. Sprott, "Simple chaotic systems and circuits", *Am. J. Phys.* Vol. 68, pp. 758-763, 2000.
- [10] J. Lü, G. Chen, D. Cheng, "A New Chaotic System and Beyond: the Generalized Lorenz-like System", *Int. J. of Bifurc. and Chaos*, vol. 14(5), pp. 1507-1537, 2004.
- [11] K. Murali, M. Lakshmanan, L.O. Chua, "Controlling and Synchronization of Chaos in the Simplest Dissipative Nonautonomous Circuit", *Int. J. of Bifurc. And Chaos*, 5:563-571, 1995.
- [12] M.J. Ogarzalek, "Taming Chaos Part-I Synchronization" *IEEE Tran. Cir. Sys. CAS I*, 40(10):693-699, 1993.
- [13] L.M. Pecora, T.L. Carroll, "Synchronization in Chaotic Systems", *Phys. Rev. Lett.*, 64:821-824., 1990.
- [14] L.M. Pecora, T.L. Carroll, "Driving systems with chaotic signals", *Physical Rev. A*, 44:2374-2383, 1991.
- [15] K.M. Cuomo, A.V. Oppenheim, "Circuit Implementation of Synchronized Chaos with applications to Communication", *Phys. Rev. Lett.*, 71:65-68, 1993.
- [16] K.M. Cuomo, A.V. Oppenheim, S.H. Strogatz, "Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications", *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 40(10):626-633, 1993.
- [17] L. Kocarev, K.S. Halle, K. Eckert, L.O. Chua, U. Parlitz "Experimental Demonstration of Secure Communications via Chaotic Synchronization", *Int. J. of Bifur. & Chaos*, 2:709-713, 1992.
- [18] A.A. Alexeyev, M.M. Green, "Secure Communications Based on Variable Topology of Chaotic Circuits", *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, 7:2861-2869, 1997
- [19] M. Itoh, "Spread Spectrum Communication via Chaos", *International J. of Bifurc. and Chaos*, 9:155-213, 1999.
- [20] İ. Pehlivan, Y. Uyaroglu, "Rikitake Attractor and its synchronization application for secure communication systems", *Jour. of Applied Sciences*, 7(2):232-236, 2007.
- [21] İ. Pehlivan, Y. Uyaroglu, "Simplified Chaotic Diffusionless Lorenz Attractor and its Application to Secure Communication Systems", *IET Communications*. (In press, October 2007).
- [22] L.O. Chua, "Chua's Circuit and Chua's Equation", www.eecs.berkeley.edu/~chua/circuitrefs.html
- [23] W.G., Remark on "Some simple chaotic flows", *Physical Review E*, 51:759-760, 1995.
- [24] H.A. Posch, W.G. Hoover, F.J. Vesely, "Canonical dynamics of the Nosé oscillator: stability, order, and chaos", *Physical Review A*, 33:4253-4265, 1986.
- [25] G. Chen., T Ueta, "Yet another chaotic attractor", *Int. J. Bifurc. and Chaos*, 9:1465-1466, 1999.
- [26] J. Lü, G. Chen, "A new chaotic attractor coined", *Int. J. Bifurc. & Chaos*, 12:659-661, 2002.
- [27] J. Lü, G. Chen, D. Cheng and S. Celikovskiy, "Bridge the gap between the Lorenz system and the Chen system", *Int. J. Bifurc. and Chaos*, 12:2917-2926, 2002.
- [28] G. Qi, S. Du and G. Chen, "On a four-dimensional chaotic system", *Chaos, Solitons and Fractals*, 23:1671-1682, 2005.