

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK SİSTEMLERDE KAOTİK  
SİNYALLERİN AKTİF KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Elektronik Müh. Ferhunde Tuğba İSKURT**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU**

**Ocak 2012**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRONİK SİSTEMLERDE KAOTİK  
SİNYALLERİN AKTİF KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elk.-Elektr. Müh. Ferhunde Tuğba İSKURT**

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 23/01/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Y.Doç.Dr.H.İbrahim ESKİKURT  
Jüri Başkanı



Prof.Dr.Serafettin ÖZBEY  
Üye



Y.Doç.Dr.Yılmaz UYAROĞLU  
Üye



## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıŐmalarımnda yardımlarını ve teŐviklerini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROğLU'na teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan, beni destekleyen annem ve babama, anlayıŐı ve teŐvikleri için eŐime, bana destek veren tüm aileme, uslu durup beni rahatsız etmeden bekleyen, yeni doğacak olan oğluma teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KAOTİK SİSTEMLER.....	11
2.1. Lorenz Sistemi.....	11
2.2. Duffing Sistemi.....	15
2.3. Rössler Sistemi.....	17
2.4. Chua Sistemi .....	21
2.4.1. Chua devre analizi.....	21
2.4.2. Chua devresinin durum uzay modeli	22
2.5. Chen Sistemleri.....	26
2.6. Rikitake Sistemi.....	30
2.7. Burke-Shaw Sistemi.....	32
2.8. Van Der Pol Sistemi.....	35
2.9. Colpitts Sistemi.....	37
2.10. Malasoma 2000 Sistemi .....	41
2.11. Wien-Köprü Osilatörü.....	43
BÖLÜM 3.	
AKTİF KOTROL VE SENKRONİZASYON.....	48

3.1. Senkronizasyon.....	48
3.2. Senkronizasyon İçin Aktif Kontrol Tasarımı.....	51
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>KAOTİK RUCKLİDE SİSTEMİ İNCELENMESİ VE AKTİF KONTROL İLE SENKRONİZASYONU.....</b>	<b>54</b>
4.1. Kaotik Rucklidge Sistemi İncelenmesi .....	54
4.1.1. Kaotik Rucklidge sisteminin Pecora-Carroll yöntemi ile Matlab-Simulink modellenmesiyle incelenmesi.....	54
4.1.2. Rucklidge Devresinin Pspice Simülasyonu ile İncelenmesi	57
4.2. Kaotik Rucklidge Sisteminin Aktif Kontrol İle Senkronizasyonu	60
4.2.1. Kaotik Rucklidge sisteminin, Matlab-Simulink P-C senkronizasyon modellemesi.....	60
4.2.2. Kaotik Rucklidge devresinin Pspice simülasyonu ile Senkronizasyonu.....	69
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>SONUÇLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>73</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>75</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$t$	: Zaman
$x$	: Kaotik Durum Değişkeni
$y$	: Kaotik Durum Değişkeni
$z$	: Kaotik Durum Değişkeni
$x_0$	: Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
$y_0$	: Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
$z_0$	: Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
$x_2$	: Cevap Sisteminin Kaotik Durum Değişkeni
$y_2$	: Cevap Sisteminin Kaotik Durum Değişkeni
$z_2$	: Cevap Sisteminin Kaotik Durum Değişkeni
$\dot{x}$	: Durum Değişkeninin Türevi
$\dot{y}$	: Durum Değişkeninin Türevi
$\dot{z}$	: Durum Değişkeninin Türevi
$e_x$	:Kaos Senkronizasyon Hatası
$e_y$	:Kaos Senkronizasyon Hatası
$e_z$	:Kaos Senkronizasyon Hatası
$e_1$	:Kaos Senkronizasyon Hatası
$e_2$	:Kaos Senkronizasyon Hatası
$e_3$	:Kaos Senkronizasyon Hatası

$v_1$	:Kontrol Girişi
$v_2$	:Kontrol Girişi
$v_3$	:Kontrol Girişi
$u_1$	: Kontrol Fonksiyonu
$u_2$	: Kontrol Fonksiyonu
$u_3$	: Kontrol Fonksiyonu
A	:Sabit Bir Matris
$\lambda_1$	:Özdeğer
$\lambda_1$	:Özdeğer
$\lambda_1$	:Özdeğer
a	: Parametre
b	:Parametre
c	: Parametre
d	: Parametre
e	: Parametre
$w_0$	: Parametre
$\mu$	: Parametre
r	: Parametre
$\beta$	: Parametre
f	: Parametre
W	: Parametre
$m_0$	: Parametre
$m_1$	: Parametre
$\sigma$	: Parametre

A	: Parametre
$C_1$	: 1 Nolu Kapasitör
$C_2$	: 2 Nolu Kapasitör
L	: Endüktör
R	: Direnç
$N_R$	: Chua Diyodu
$\dot{I}_{NR}$	: Chua Diyodundan Geçen Akım
iL	: L Indüktöründen Geçen Akım
$V_{C1}$	: C1 Diyod Gerilimi
$V_{C2}$	: C2 Diyod Gerilimi
g1	: Dış Bölge Eğimlerini
g2	: İç Bölge Eğimlerini
s	: Zaman Birimi
$\Omega$	: Ohm Direnç Birimi
$a_{12}$	: A Matris Elemanı
$a_{21}$	: A Matris Elemanı
kHz	: Kilohertz Frekans Birimi
mV	: Milivolt (Potansiyel Fark)
sqrt	:Kare
pi	:Pi Sayısı
A	:Opamp Kazancı
VOA	:Voltaj Modlu Op-Amp
CFOA	:Akım Modlu Op-Amp
NIC	: Negatif Empedans Çeviricisidir
$R_5$	: Direnç



$R_7$  : Direnç  
 $R_8$  : Direnç  
W : Watt Güç BIRIMI  
kW : KiLOWATT Güç BIRIMI  
nF : Nanofarad KAPASITANS BIRIMI

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	E. Lorenz' in 1963'te bulduğu "kelebek etkisi".....	7
Şekil 1.2.	Rössler sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	8
Şekil 2.1.	Lorenz sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi.....	13
Şekil 2.2.	Lorenz Sisteminin x,y,z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.....	14
Şekil 2.3.	a.Lorenz sisteminin x-y kaotik çekicileri b.Lorenz sisteminin x-z kaotik çekicileri c.Lorenz sisteminin y-z kaotik çekicileri.....	15
Şekil 2.4.	A'nın değerlerine göre x(t) davranışları.....	16
Şekil 2.5.	Duffing Kaotik Osilatörünün Oluşturduğu Kaotik Yapı.....	16
Şekil 2.6.	Rössler sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi.....	18
Şekil 2.7.	a Rössler sisteminin x durum değişkeninin zamana göre kaotik değişimi b Rössler sisteminin y durum değişkeninin zamana göre kaotik değişimi c Rössler sisteminin z durum değişkeninin zamana göre kaotik değişimi.....	19
Şekil 2.8.	a. Rössler sisteminin x-y kaotik çekicileri b. Rössler sisteminin x-z kaotik çekicileri c. Rössler sisteminin y-z kaotik çekicileri.....	20
Şekil 2.9.	Rössler sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi.....	20

Şekil 2.10.	Chua Devresi.....	21
Şekil 2.11.	Chua Devresinin Basit Gösterimi .....	22
Şekil 2.12.	Doğrusal Olmayan Negatif Direnç Karakteristiği.....	23
Şekil 2.13.	Şekil 2.13 Chua sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi.....	25
Şekil 2.14.	R=1667 $\Omega$ değeri için elde edilen simulasyon sonuçları	
	a) $V_{c1}$ ve $V_{c2}$ ve $I_L$	
	b) x-y kaotik çekicisi .....	26
Şekil 2.15.	Chen sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi.....	28
Şekil 2.16.	Chen sisteminin	
	a) x-y	
	b) y-z	
	c) x-z kaotik çekicileri.....	30
Şekil 2.17.	Rikitake sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi.....	31
Şekil 2.18.	Rikitake sisteminin x,y,z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.....	32
Şekil 2.19.	Burke-Shaw çekicisinin Matlab-Simulink modeli.....	33
Şekil 2.20.	Burke-Shaw çekicisinin x, y, z zaman serileri.....	33
Şekil 2.21.	Burke-Shaw çekicisinin x-y-z kaotik faz portresi.....	34
Şekil 2.22.	Burke-Shaw sisteminin	
	a) x-y,	
	b) x-z ve	
	c) y-z kaotik çekicileri.....	34
Şekil 2.23.	Van Der Pol kaotik osilatörünün Matlab-Simulink modellemesi ....	36
Şekil 2.24.	Van Der Pol çekicisinin x, y zaman serileri.....	36
Şekil 2.25.	Van Der Pol kaotik osilatörünün; x-y kaotik faz portresi (limit döngü).....	37
Şekil 2.26.	Colpitts osilatörü Matlab-Simulink modeli.....	39

Şekil 2.27.	Colpitts osilatörü devre modeli.....	40
Şekil 2.28.	Matlab simulink modelinde ölçülen output değeri.....	40
Şekil 2.29.	Malasoma 2000 sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	41
Şekil 2.30.	Malasoma 2000 sisteminin a) x-y b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	42
Şekil 2.31.	Klasik Wien Köprü Osilatör.....	43
Şekil 2.32.	CFOA-Tabanlı Wien Köprü Osilatör.....	45
Şekil 2.33.	VOA-Tabanlı Kaotik Wien Köprü Osilatör.....	46
Şekil 2.34.	CFOA-Tabanlı Kaotik Wien Köprü Osilatör.....	46
Şekil 2.35.	VOA-Tabanlı Kaotik Wien Köprü Osilatörünün Simülasyon Sonuçları a. Devredeki Kaotik Dinamikler (V01 V02) b. Çeker Gösterimi (V01-V02) .....	47
Şekil 3.1.	Pecora-Carroll metoduyla yapılan senkronizasyonun blok diyagramı .....	50
Şekil 3.2.	Kaskat bağlanmış senkronize sistem şematığı (P-C metodu).....	50
Şekil 4.1.	Rucklidge Sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi.....	54
Şekil 4.2.	Rikitake sisteminin $x_1, y_1, z_1$ durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	55
Şekil 4.3.	a . Rucklidge Çekicisinin X-Y kaotik çekicileri b. Rucklidge Çekicisinin Y-Z kaotik çekicileri c . Rucklidge Çekicisinin X-Z kaotik çekicileri.....	56
Şekil 4.4.	Rucklidge çekicisinin üç boyutlu x-y-z kaotik yörüngesi (faz portresi).....	57
Şekil 4.5.	Rucklidge sisteminin Pspice simülasyon devresi.....	57

Şekil 4.6.	Rucklidge devresinin x, y, z değişkenlerinin zamana göre değişimi	58
Şekil 4.7.	Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyon sonuçları (a) Senkronizasyon öncesi Sürücü(X) ve Cevap(Xc) kaotik sinyallerin zamana göre değişimi (b) Senkronizasyonsuz X-Xc değişimi.....	58
Şekil 4.8.	Rucklidge devresi pspice simülasyon sonuçları a)x-y, b)x-z, d) y-z kaotik çekicileri.....	59
Şekil 4.9.	Rucklidge sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi	61
Şekil 4.10.	Senkronizasyondan önceki zaman serileri.....	62
Şekil 4.11.	Rucklidge Çekicisinin senkronizasyondan önce a)X1-X2, b)Y1-Y2, c)Z1-Z2 değişimi.....	63
Şekil 4.12.	Rucklidge kaotik sisteminin kontrolör uygulanmadan önceki hata işareti a)e1, b)e2, c)e3.....	64
Şekil 4.13.	Kontrolör aktif iken sürücü (master) ve cevap (slave) sistemlerinin zaman serileri.....	68
Şekil 4.14.	Kontrolör uygulandıktan sonra sürücü ve cevap sistemlerinin arasındaki senkronizasyon hatası.....	68
Şekil 4.15.	Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi.....	69
Şekil 4.16.	Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyon sonuçları .....	70

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kaos Teorisi, Kaotik Sistemler, Kaos Kontrolü, Senkronizasyon, Aktif Kontrol

Kaos kavramı günlük dildeki kullanımından farklı olarak bilimsel anlamda “düzensizliğin içindeki düzen” manasında kullanılmaktadır. Kısaca günlük dildeki kullanımı ile bilimsel kullanımı arasında oldukça önemli fark vardır.”Kompleks, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin düzensiz ve öngörülemez davranışı” şeklinde yorumlanmıştır. Teoride, gerçekte zamana göre oluşan her şey örneğin; polen üretimi, nüfus artışı, ekonomik değişimler, dünya buz kütlesi vb. kaotik olabilir.

Kaos teorisi, borsadan meteorolojiye, iletişimden tıba, kimyadan mekaniğe, biyolojiden iktisata kadar uzanan çok farklı dallarda önemli kullanım alanları mevcuttur. Fizik, kimya, matematik, fizyoloji, sosyoloji, ekonomi, tarih, ekoloji astronomi, hidrolik, atmosferik, uluslararası ilişkiler, solar sistemler, mühendislik gibi alanlarda da kaotik çalışmalar görülmektedir. Kaosun, güç sistemleri, yüksek performanslı devreler ve cihazlar, bilgi teknolojileri, düşük enerji tüketimi ile sıvı karıştırma, güç sistemlerinin çöküşünü önlemek, lazerlerin gücünün artırılması elektronik devrelerin çıkışlarının senkronize edilmesi, kimyasal reaksiyonların osilasyon kontrolü, beyin dalgalarının incelenmesi, görüntü sıkıştırma ve iletilmesi, güvenli haberleşme, otomatik kontrol sistemleri, lazer fiziği ve finansal modelleme gibi alanlarda birçok başarılı ve yaygın kullanım alanı vardır.

Bu tezde amaç, kaos bilimini, günümüze gelene kadar yapılan çalışmalarını incelemek, kaos biliminin hangi alanlarda kullanıldığını araştırmak, kaotik sistemleri tanıtmak, devre modellerini ve Matlab programında simulasyonunu yapıp, sistem davranışlarını incelemek, aktif kontrol yöntemini ve senkronizasyonu incelemek, tanıtmak ve bu doğrultuda iki kaotik sistemin aktif kontrol uygulanarak, senkronizasyonunu sağlamaktır.

Bu tezde, senkronizasyon tanımlanmış, yöntemleri incelenmiş, senkronizasyon için geniş çaplı ve etkili bir teknik olarak kabul görmüş aktif kontrol yöntemi incelenmiştir. Bu doğrultuda Rucklidge kaotik sistemi incelenmiş, iki kaotik Rucklidge sisteminin aktif kontrol ile senkronizasyonu sağlanmıştır. Kontrolöden önceki ve sonraki sistem davranışı incelenmiştir.

# **ACTIVE CONTROL OF CHAOTIC SIGNALS IN ELEKTRONIC SYSTEMS**

## **SUMMARY**

Key Words: Chaos Theory, Chaotic Systems, Chaotic Control, Synchronization  
Active control

Unlike the useage of everyday language the concept of chaos uses in the meaning that “irregularity in order “ in science. There is pretty important difference between use of everyday language and use of scientific. Chaos is interpreted that irregular unpredictable behavior of complex ,nonlineear dynamic systems. In theory, everything that occur according to the time in practice for example pollen production, population growth, economic changes , world ice field etc. may be chaotic.

Chaos theory has a various important usage that stock market, meteorology ,communication, medicine, mecenic, chemistry, biology, economy. Studies are chaotic. in areas such as physics, chemistry, mathematics, physiology, sociology, economics, history, ecology, astronomy, hydraulics, atmospheric, international relations, solar systems, engineering.

There are many successful and widely usage of chaos that in fields such as power systems, high-performance circuits and devices, information technology, liquid mixing with low energy consumption, to prevent the collapse of power systems, increasing the power of lasers, electronic circuits to synchronize the outputs, oscillating chemical reactions, control, examination of brain waves, image compression and transmission, automatic control systems, secure communications, laser physics, and financial modeling.

This thesis aims are examining the science of chaos and works of the science of chaos until the present day, investigating the areas of chaos that used in, introducing chaotic systems, making a simulation of chaotic circuit models on Matlab and searching the systems behaviours, examining and introducing active control method and synchronization and in this direction ensuring the synchronization between two chaotic systems by applying the active control.

In this thesis, synchronization is introduced and examined methods of synchronization, active control method that recognized as the large-scale effective technique is investigated for synchronization. In this direction Rucklidge chaotic system is examined and the synchronization is ensured between two chaotic systems by applying the active control. The system behavior were examined before and after the control.

## BÖLÜM 1. KAOS BİLİMİ

Kaos teorisi ve kaotik sistem çalışmalarına kaos bilimi denir. Kaos biliminin gelişimi, matematik fizikle başlayıp, kimya, biyoloji, mühendislik ve sosyal bilimlerde de devam etmektedir.

Jules Henri Poincare, 1890 yılında İsveç kralı Oscar II tarafından düzenlenen yarışma ile kaosu ilk tanıtan kişi olmuştur. Kral Oscar ödülü, ilk olarak güneş sisteminin istikrarını kanıtlamak için n-body problemini çözebilen kişiye verilmemiş, Poincare probleme en yakın çözümü bulan kişi olarak, önceden belirlenemeyen davranışlar sergileyen, üç bölüm göksel sistemin yörüngesini bularak ödülü kazanmıştır. Lorenz 1963'te kaotik belirleyici sistemi bulana kadar, Poincare'in buluşları hak ettiği ilgiyi görmedi. Geçtiğimiz 60 yıl içinde, doğrusal olmayan dinamikler ve kaos terimleri, bilim ve teknoloji terimi olarak çok aşina olunan terimler haline gelmiştir. Zaman içinde gelişen olayların büyük çoğunluğunun matematiksel formülleri, doğrusal olmayan sıra veya kısmi diferansiyel denklemlerden ya da doğrusal olmayan uzay ve ayrık zaman yenilemeli işlemlerden oluşur. Fonksiyonları ya da dinamik davranışları sabit, periyodik veya yarı-periyodik olmayan osilatörlere, "kaotik", "aperiyodik" ya da "düzensiz" denir. Periyodiklik, yüksek derecede düzenliliği gösterir.

Yunanistan, Çin, Hindistan, Mısır gibi farklı medeniyetlerde kaosla ilgili çeşitli efsaneler vardır. Kavram, Yunanca "boşluk, yarık, hudutsuzluk" anlamlarına gelen "Khaos" kelimesinden gelmektedir. Fakat modern dünyada, kaos kavramı sözcük anlamı itibariyle günlük dilde, "karmaşıklık, düzensizlik, belirsizlik gibi ifadeleri çağırır. 1997 yılında Oxford İngilizce Sözlük Online "kaos" kelimesinin anlamını; "Determinist yasalar tarafından yönetilen ancak parametrelerdeki değişikliklere karşı aşırı duyarlı ya da çok sayıda bağımsız değişkene bağımlı olduğundan dolayı



önceden kestirilemez ve neredeyse rastgeleymiş gibi gözükten bir sistemin davranışı, böylesi bir davranışın belirlediği durum.” olarak güncelledi [1].

Kaos kavramı günlük dildeki kullanımından farklı olarak bilimsel anlamda “düzensizliğin içindeki düzen” manasında kullanılmaktadır. Kısaca günlük dildeki kullanımı ile bilimsel kullanımı arasında oldukça önemli fark vardır. Kavram ile ilgili en doğru tanımı veren teorik fizikçi Jensen, kaos’u “kompleks, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin düzensiz ve öngörülemez davranışı” şeklinde ifade eder. Tanımda yer alan kompleks ifadesi karmaşıklığa, doğrusal olmayan (nonlinear) ifadesi özgün bir matematiksel yapıya, dinamik ifadesi ise sabit olmayan değişken bir yapıya işaret etmektedir [2].

James Gleick’in Kaos, Yeni Bir Bilim Yaratmak adlı kitabı, kaotik sistemlerin oldukça farklı matematik modeller kullanan farklı araştırmacılar tarafından incelenmesine rağmen her defasında nasıl olup da tüm çalışmaların aynı sonuçlara vardığını açıklıyor: ” önceleri saf “düzensizlik” olarak düşünülen şeyin içinde bir “düzen” vardır ” [19].

Kaos, deterministik bir sistemin düzensiz yani hiç beklenmedik bir şekilde davranabilmesidir. Örneğin, düzgün bir borudan akan bir sıvının akışında bazen kaotik durumlar görülebilir. Kaotik sistemlerin en önemli özelliği başlangıç şartlarına hassas duyarlılıklarıdır. Deterministik bir sistemin başlangıç durumu ve denklemleri biliniyorsa, sistemin sonraki davranışı belirlenebilir. Kaotik sistemlerde, sistemin zaman içindeki gelişimini tam olarak belirleyebilmek için başlangıç değerlerini sonsuz hassasiyetle bilmek gerekmektedir. Çünkü kaotik sistemler doğrusal olmadıkları için hata zamanla üstel olarak artacaktır [3] . Newton kanunlarından elde edilen dinamik denklemler düzgün akışları ifade edebilirken, akışkanın akış hızı belirli bir değeri aştıktan sonra akışta girdaplar oluşur ve Newton kanunları geçerliliğini yitirir. Yani artık akış kaotiktir. Sigara dumanı birtakım düzensiz helezonlar şeklinde dönerek yükselir. Bir sigara dumanının havada yaptığı şekiller tamamen düzensiz ve bağımsız rastlantıların ürünü olarak görülebilir. Ancak bir teorik fizikçi dumanın bu dinamiğinin aslında ortamdaki birçok parametre ve etken ile belirlendiği görüşündedir [20]. Bu girdiler o kadar çoktur ve o kadar değişkendir

ki incelemek ve net bir kaniya varmak imkânsızdır. Parametrelerin bu denli değişken olması aslında o parametrelerin de bir çıktı olmasından kaynaklanır. Dumanın hareketine neden olan hafif bir hava akımı aslında odanın başka yerindeki bir sıcaklık değişikliği ve basınç farkının neden olduğu bir harekettir. Ayrıca dumanın dinamiğini etkileyen girdiler birbirlerine bağlı olabilirler ki bu durumu tam anlamıyla içinden çıkılmaz hâle sokar. Sigara dumanı örneğine geri dönersek, hava akımının yalnızca sıcaklık değişiminden kaynaklandığını farz edelim (ki pratikte bu milyonlarca etkenden biridir). Sıcaklık değişimi ortamda basınç farkı yarattığından hava akımını etkiler. Ancak oluşan hava akımı sıcaklıkta tekrar değişimlere neden olacağından farklı girdilerle tekrar bir fonksiyon oluşturur ve bu değişim sonsuza kadar devam eder. Birçok farklı girdinin sürekli değişerek fiziksel değişimler ve farklı düzenler yaratması ve bu düzenlerin yine kendisini etkilemesi insan zekasının ve günümüzdeki gözlem ve bilimsel tahmin yeteneklerinin çok çok üstünde olmasından dolayı kaos olarak nitelendirilir [4].

Musluktan damlayan su önce düzenli aralıklarla düşerken sonra düzeni bozulur. Havanın davranışında, otoyolda birbiri peşi sıra giden arabaların davranışında, kaos ortaya çıkar. İçinde bulunulan ortam ne olursa olsun, davranış biçimi yeni keşfedilmiş bulunan bu yasalara uyar. Bu anlamda kimi fizikçilere göre kaos bir durumun bilimi değil bir sürecin bilimi, bir varoluşun bilimi değil, bir oluşumun bilimidir. Kaosun meydana gelmesi, belirli parametrelere bağlı olduğu gibi sistemin yapısına da bağlıdır. Kaos genellikle kararsız, karmaşık ve doğrusal olmayan sistemlerde ortaya çıkmaktadır. Karmaşık sistemler, çok sayıda elemanın birbiriyle etkileştiği, pek çok serbestlik derecesi olan yani çeşitli davranış şekilleri gösterebilen, genellikle de dışarıyla madde ve enerji alışverişi yapan, incelenmesi zor sistemlerdir. Doğrusal olmayan bir sistem, değişim anında değişim kurallarının da değiştiği bir sistemdir ve sistem, dışarıdan gelebilecek etkilere karşı açıksa sistemden beklenmeyen davranış biçimleri görülebilir.

Teoride, gerçekte zamana göre oluşan her şey örneğin; polen üretimi, nüfus artışı, ekonomik değişimler, dünya buz kütlesi vb. kaotik olabilir. Son yıllarda kaos teorisinin ve onun bir uzantısı olan fraktal geometrinin, borsadan meteorolojiye, iletişimden tıba, kimyadan mekaniğe, biyolojiden iktisata kadar uzanan çok farklı

dallarda önemli kullanım alanları bulmuştur. Fizik, kimya, matematik, fizyoloji, sosyoloji, ekonomi, tarih, ekoloji, astronomi, hidrolik, atmosferik, uluslararası ilişkiler, solar sistemler, mühendislik gibi alanlarda da kaotik çalışmalar görülmektedir.

Kaosun, güç sistemleri, yüksek performanslı devreler ve cihazlar, bilgi teknolojileri, düşük enerji tüketimi ile sıvı karıştırma, güç sistemlerinin çöküşünü önlemek gibi birçok disiplinde yararlı ve kullanışlı olduğu görülmüştür.

Kaos sisteminin ayrıca lazerlerin gücünün artırılması, elektronik devrelerin çıkışlarının senkronize edilmesi, kimyasal reaksiyonların osilasyon kontrolü, beyin dalgalarının incelenmesi, görüntü sıkıştırma ve iletilmesi, güvenli haberleşme otomatik kontrol sistemleri, lazer fiziği ve finansal modelleme gibi alanlarda birçok başarılı ve yaygın kullanım alanı vardır [3].

Dünyanın nonlinear sistemler halinde yaratılmış olması itibariyle birçok bilimsel yöntemde de kaotik sistemler kullanılmaktadır. Örnek olarak yapay zekâ için kaos teorisi vazgeçilmezdir. Çünkü yapay zekanın temel yaklaşımlarından olan matematiksel yaklaşımın temelini kaos teorisi oluşturmaktadır.

Beynin fizik yapısı ve görünüşü fraktaldır. Bu yapı, beynin gerek evrimsel, gerekse canlılığın yaşamı sürecindeki gelişimin ürünüdür ki, bu gelişimin deterministik (genlerle belirli), ancak çevre ve başlangıç koşullarına son derece duyarlı, yani kaotik olduğu açıktır. Önümüzdeki yıllarda beynin yalnız alt düzey fizyolojik işleyişinin değil, öğrenme, hatırlama, fikir yürütme gibi üst düzey işlevlerinin de modellenmesinde kaosun çok önemli bir rol oynayacağı görülmektedir.

Sanal Özel Ağ çözümlerimiz sayesinde şirketinizin yurt çapındaki tüm şube, bölge ofisi, bayiler, iş ortakları, üretim ve satış birimleriniz, mağaza ve depolarınız arasında en uygun, ekonomik ve güvenli şekilde iletişim kurma imkânı elde edersiniz. Aynı anda ağınızdaki tüm bilgisayarlar ile veri, ses ve görüntü iletişimi kurarak, ayrıca ödeyeceğiniz iletişim masraflarından kurtulur, şirket işlerini daha hızlı ve güvenli bir şekilde uzaktan yürütme ve kontrol etme imkânına kavuşursunuz.

Görüntü, ses veri transferi hedefe gönderilen kaotik sinyalin üzerine iletilmek istenilen verinin bindirilmesi şeklinde günümüz teknolojisi için kolay bir uygulamadır. Gönderilen verinin kaotik sinyaller üzerine bindirilmiş olması hasebiyle çözülmesi çok zor olan bir şifreleme metodu kullanılmış olunur. Karşı taraf gönderilen kaotik sinyalin aynısını üretmeden kesinlikle üzerindeki bilgiyi ayıklayıp çözememektedir.

Ayrıca görüntü şifreleme teknikleri ve günümüzde çeşitli organların ve sistemlerin dinamiğine ilişkin bilgiler toplanmakta, kayıtları kullanarak boyut analizi yapıp, fizyolojik sistemi tanımlamak için kullanılması gereken parametre sayısını belirlendikten sonra, çeşitli yöntemlerle hesaplamalar yapılarak sistemin kaotik davranış gösterip göstermeyeceği konusunda bilgi sahibi olunmaktadır. Bu bilgiler ışığında organ ve sistemlerin davranışları hakkında hesaplamalar yapılarak tedavi şekli ve metodu belirlenmektedir. Hatta ne zaman nasıl bir rahatsızlık meydana geleceği tahmin edilebilmektedir. Savunma sistemlerinde de görüntü işleme sistemlerinde olduğu gibi gönderilecek bilgi kaotik bir sinyale bindirilmekte ve bu yolla şifreli olarak gönderilmiş olmaktadır. Gökbilimciler, yıldızların, gezegenlerin ve Güneş Sistemindeki uydu ve kuyruklu yıldızların hareketini modellemek için kaos teorisini kullanmaktadır. Haberleşme sistemlerin kaos dinamiğinin kullanılması güvenli bilgi aktarımının araştırılması sonucu ortaya çıkmıştır. Kaos dinamiği girişe olan hassas bağımlılığı ve doğrusal olmayan yapıda olması haberleşme sistemlerini, kaotik işaret üreten osilatörlerle bilgi işaretinin taşınması ilgi çekici bir konu haline getirmiştir. Bu işlem için kullanılan ve bilen en önemli kaotik işaret üreten osilatörler; Chua, Lorenz ve Rössler dir. Bunların dışında ayrıca geliştirilmiş olan çok sayıda kaotik osilatör devre mevcuttur.

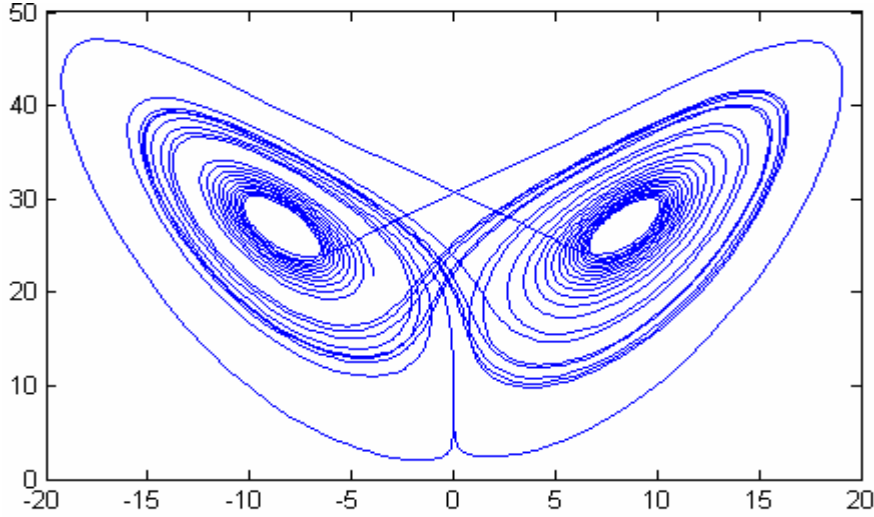
Kaos ile ilgili genel algı bozukluğu onun “düzensizlik” ve hatta ” rastgele” ile eşdeğer olduğudur. Şu husus doğru anlaşılmalıdır ki kaos, tam olarak düzensiz değildir ve rastgele gibi görünen davranışı bir kural tarafından yönetilir ve matematiksel olarak bu kural, şans unsuru içermeyen bir deterministik bir model veya denklemdir. Aslında, kaosun düzensiz ya da rastgele gibi algılan davranışı, başlangıç koşullarına olan yüksek duyarlılığından kaynaklanır. Benzer birçok

bilimsel terim gibi, kaosunda standart bir tanımı yoktur. Yine de kaosun bazı tipik özellikleri şunlardır:

- Doğrusalsızlık (Nonlinearity) : Kaos doğrusal bir sistemde oluşamaz. Doğrusal olmama kaosun meydana gelmesi için gerekli ancak yeterli şart değildir. Esasen, tüm gerçekçi sistemler belirli bir dereceye kadar doğrusalsızlık sergiler.
- Determinizm (Determinism): Kaos, herhangi rastgele faktör içermeyen, bir veya birden fazla deterministik denkleme tabi olmalıdır. Geçmiş, şimdiki ve gelecekteki sistem durumları olasılıksaldan ziyade deterministik temel kurallar tarafından kontrol edilmelidir. Pratik olarak, deterministik ve olasılıksal sistemler arasındaki sınır çok belirgin olmayabilir çünkü ilk bakışta rastgele gibi görülen bir sürecin henüz belirlenmemiş temel kuralları olabilir.
- Başlangıç koşullarına hassas bağımlılık: Sistemin ilk durumundaki ufak bir değişiklik, son durumunda son derece farklı davranışa neden olabilir. Böylece, deterministik temel kurallara göre yönetilir olmasına rağmen, sistem davranışının uzun vadeli öngörüsü imkânsızdır.
- Periyodik olmama (Aperiodicity): Kaotik yörüngeler aperiyoiktir, ancak tüm aperiyoiktik yörüngeler kaotik değildir. Neredeyse-periyodik ve yarı-periyodik yörüngeler de aperiyoiktir, ama kaotik değil [1].

Kaos, Lorenz'in 1963'te ilk atraktörü bulmasından sonra çoğu fizikçinin ilgisini çekmiştir. Havanın basitleştirilmiş bir modelini çalışmak üzere basit bir bilgisayar programı yazarken, hava davranışlarını modellemek için 3 adet doğrusal olmayan birinci dereceden adi diferansiyel denklem bulmuştur. Bu denklemler çizdirildiğinde, tahmin edilemeyen fakat rasgele de olmayan ve birbiri etrafında dolanan ama kesişmeyen yörünge salınımları (pendulum) elde edilir. Bu denklemlerin diğer bir özelliği de denklemlerdeki başlangıç şartlarının çok küçük değerlerinde dahi sistemin cevabının oldukça farklı olmasıdır. Lorenz yaptığı ölçümlerde, ihmal edilebileceğini

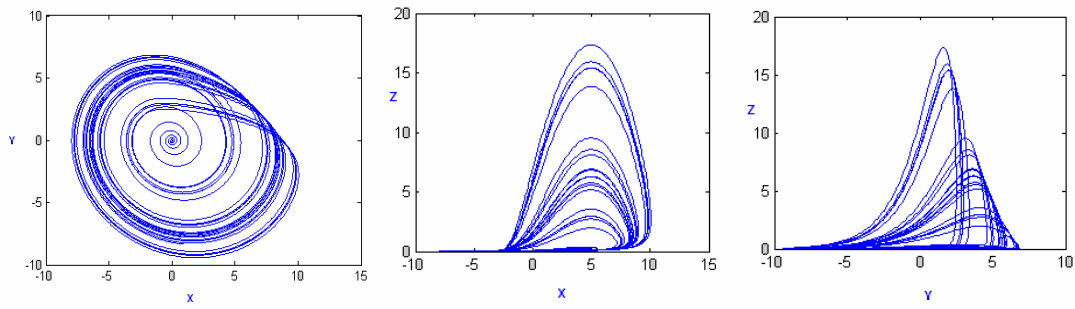
düşündüğü çok küçük başlangıç şartları değişiminde bile sistem cevabının ne kadar farklı şekil aldığını görmüş, başlangıç şartlarına olan bu hassas bağımlılığı “kelebek etkisi” olarak isimlendirmiştir [4] ( Şekil 1.1 ).



Şekil 1.1. E. Lorenz’ in 1963’te bulduğu “ kelebek etkisi ”

Daha sonra 1976 yıllarında Rössler sistemi, en çok bilinen fraktallardan biri olarak Alman Dr. Otto Rössler tarafından bulunmuştur. Doğrusal olmayan sistemleri açıklayan çok parçalı şekillere fraktal (fractal) denir. Bu parçalar birbirinin aynısıdır ve limitsizce küçülerek yeni ama ana şekle benzeyen şekiller oluştururlar. Fraktalar aslında tabiatta her zaman karşılaşılan geometrilerdir. Dağların, bulutların, kıyıların geometrilerini açıklarlar. Fraktalar üzerinde birçok bilim adamı çalışmıştır. Bunlardan Koch Snowflake ve Benoît Mandelbrot en meşhurlarıdır [4].

Rössler kaosa karmaşık filozofik düşüncelerden girmiştir. Filozofide de garip çekiciler olduğunu fark etmiştir. Onun fraktalı kıvrımlı kurdeleye benzemektedir [4] (Şekil 1.2 ).



Şekil 1.2. Rössler sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri

1978 yılında Rabinovich sistemi tanımlanmıştır. Chua sistemi, 1983'te Prof. Dr. L.O. Chua'nın kendi adıyla anılan ve çok basit yapıda olan kaotik bir osilatör devresi ile tanımlanmıştır. Bu osilatörle beraber elektronik ve kaotik işaretler alanındaki gelişmeler oldukça hızlanmıştır. Bu devrenin en önemli özelliği kaosu deney yoluyla ispatlandığı ilk devre oluşudur. Rikitake sistemi, 1958'de dünyanın manyetik alanının tersini yapmasını açıklayan bir model olmuştur. Bu sistem üzerinde, daha sonraki yıllarda iki çifli dinamo disklerinden geçen akımları açıklayıcı çalışmalar yapılmıştır [5]. 1970 yılında Ueda, Duffing denkleminin karışık değişmeyen manifoldu yapısını göstermek için öncü bir makale yayınladı. 1974 yılında May, popülasyon biyolojide kaotik davranışı tespit etti ve "kaos" terimini, teknik olarak bugünde kullanılan şekli ile ilk kez ortaya attı.

1975 yılında Li ve Yorke, "Üçüncü Dönem Kaosu İma Eder" başlıklı çığır açan bir makale yayınladı ve kaos'un matematiksel tanımını ortaya koydu. 1978 yılında Feigenbaum, kaosun başlangıcı öncesinde, doğrusal olmayan geniş bir sınıf eşlemelerinin (nonlinear mapping) Feigenbaum sabitini açıkladı. 1982 yılında Mandelbrot, "fraktal" (fractal) sözcüğünü icat etti ve kaos üstüne çalışan fraktal geometrinin temellerini attı. 1990 yılında Ott, Grebogi ve Yorke, kaosun kontrolü adlı araştırma temasını açtı. 1997 Chen, kaosun "antikontrolü" (anticontrol) terimi icat etti ve bu yönde araştırmalara başladı. 1999 yılında Wen Yu Lorenz sistemi kontrolörü tasarımı için pasif kontrol tekniğini kullanmıştır. 2004 yılında, Qi bu tekniği Chen sistemine uygulamıştır ve Chen, 2010 yılında pasif kontrol tekniğini birleşik kaotik sistemde uygulamıştır. Kemih, pasif kontrol tekniğiyle Liu sistemini 2006'da ve ayrıca nükleer spin jeneratör sistemini 2009'da kontrol etmek için

kontrolör tasarlamıştır.2005'te Tigan ,3 boyutlu kaotik T sistemini raporlamıştır. Zhou, 2009'da pasif kontrol tekniği ile 4D kaotik sistem kontrolü yapmıştır [1].

Kaos kontrolü, OGY method tasarlandıktan sonra araştırmacılar tarafından çok ilgi gördü. Adaptive control, sliding mode control, linear feedback control ve passive control gibi daha birçok kaotik sistem kontrol metodu tasarlanmıştır.

Bu tezde amaç, kaos bilimini, günümüze gelene kadar yapılan çalışmalarını incelemek, Kaos biliminin hangi alanlarda kullanıldığını araştırmak, kaotik sistemleri tanıtmak, devre modellerini ve Matlab programında simulasyonunu yapıp, sistem davranışlarını incelemek, aktif kontrol yöntemini ve senkronizasyonu incelemek, tanıtmak ve bu doğrultuda iki kaotik sistemin aktif kontrol uygulanarak, senkronizasyonunu sağlamaktır.Bu tez çalışması aşağıdaki plan çerçevesinde düzenlenmiştir.

Tezin giriş bölümü olan 1. bölümünde, Kaos ve kaotik sistemlerin tanımı ve açıklaması, günümüze kadar süre gelen kaos konulu araştırmalar ve araştırmacılar, kaotik sistemlerin özellikleri, kaosun kullanım alanları ve kaotik sistemlerin kullanıldığı bilimsel yöntemlerden bahsedilmiştir.

İkinci bölüm'de, Lorenz sistemi, Duffing sistemi, Rössler sistemi, Chua sistemi, Chen sistemleri, Rikitake sistemi, Burke-Shaw sistemi, Van Der Pol sistemi, Colpitts sistemi, Malasoma 2000 sistemi, Wien-Köprü osilatörü gibi kaotik sistemler incelenmiş ve bunların Matlab-Simulink modellemesi yapılarak, kaotik analizleri yapılmıştır.

Üçüncü bölüm'de, senkronizasyon tanımlanmış, yöntemleri incelenmiş senkronizasyon için, geniş çaplı ve etkili bir teknik olarak kabul görmüş aktif kontrol yöntemi incelenmiştir.

Dördüncü bölüm'de Rucklidge kaotik sistemi incelenmiş, iki kaotik Rucklidge sisteminin aktif kontrol ile senkronizasyonu sağlanmıştır. Bu çalışmaların sonuç gösterimleri, Matlab-simulink modellenmesiyle ve Pspice simülasyonu ile incelenmiş



senkronizasyondan önce ve senkronizasyondan sonra yani sisteme kontrolör eklemeyen önce ve kontrolör ekledikten sonra olmak üzere grafiksel olarak gösterilmiştir.

## **BÖLÜM 2. KAOTİK SİSTEMLER**

Kaos konusunun bilime getirdiği yeni açılımlar; çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere kaotik işaretler oluşturan osilatörler geliştirilmesine ya da var olan osilatör devreleri üzerinde araştırmalar yapılmasına neden olmuştur.

### **2.1. Lorenz Sistemi**

Lorenz osilatörü, kaotik akış sergileyen 3 boyutlu dinamik bir sistemdir. Bu sistem kelebek etkisi şemasında gösterilmektedir. Kelebek kanatlarını andıran bu sihirli şekil kaosun ilk araştırmacıları tarafından bir sembol olarak benimsenmiştir.

1963 yılında E.N Lorenz'in atmosferdeki akışkan ısı yayılımına benzetim yaparken bulduğu denklemler başlangıç şartlarına hassas bağıllık ve kaos göstermekte olan doğrusal olmayan sistemlerin ilkidir. Bu sistem kaos alanındaki teorik ve deneysel çalışmalara öncülük yapmıştır.

Nonlinear ilişkilerde önce on iki, sonra sadece üç değişken kullanan Lorenz, bilgisayarında sürekli olarak değişen ama aynı koşulları tam anlamıyla iki kez asla tekrarlamayan koşullardan oluşan bir sürekli dizi üretmeyi başarmıştı. Nispeten basit matematiksel kuralları kullanarak "kaos" yaratmıştı. Lorenz'in bilgisayarı, onun seçtiği herhangi bir parametreyle başlayarak, aynı hesapları defalarca ama asla aynı sonucu vermeksizin mekanik bir biçimde yineledi. Bu "aperiyodiklik" (yani, düzenli döngülerin olmayışı) bütün kaotik sistemlerin özelliğidir. Aynı zamanda Lorenz, elde ettiği sonuçlar her defasında farklı olmasına rağmen, en azından sık sık ortaya çıkan "desen" izlerinin varolduğunu fark etti. Bu durum, şüphesiz, bilgisayar simülasyonlu havanın tersine herkesin günlük deneyimlerine denk düşer: "desenler" vardır ama ne

herhangi iki gün ne de herhangi iki hafta birbirinin aynıdır. Diğer bilimciler de, elektronik osilatörün [titreştirici] matematiksel modellenişinden gezegen yörüngelerinin incelenişine kadar pek çok farklı kaotik sistemde benzer “desenler” buldular. Gleick bu ve diğer durumlarda “gelişigüzel görünen davranışın içinde yapı izlerinin” bulunduğunu kaydeder. Kaotik sistemlerin mutlaka kararsız olması gerekmediği ya da belirsiz bir dönem boyunca sürebileceği düşüncesi giderek daha da belirginleşti. Jüpiter gezegeninin yüzeyinde görünen ünlü “kırmızı nokta” kararlı olan sürekli bir kaotik sistem örneğidir. Dahası bu “kırmızı nokta” bilgisayar çalışmalarında ve laboratuvar modellerinde simüle edilmiştir [7,8].

$\sigma$ ,  $r$  ve  $b$  sistem parametreleri olmak üzere;

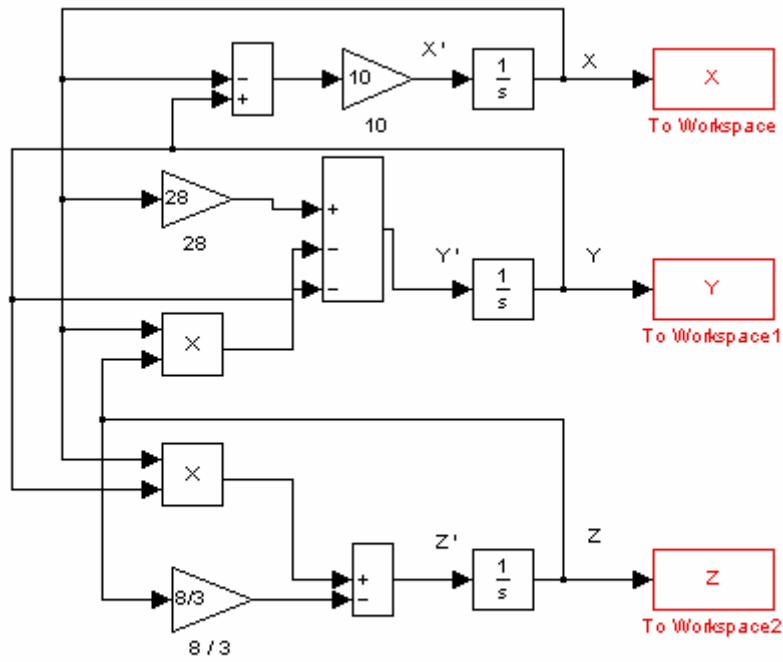
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma(y-x) \\ rx - y - xz \\ xy - bz \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

denklemleri ile verilir.

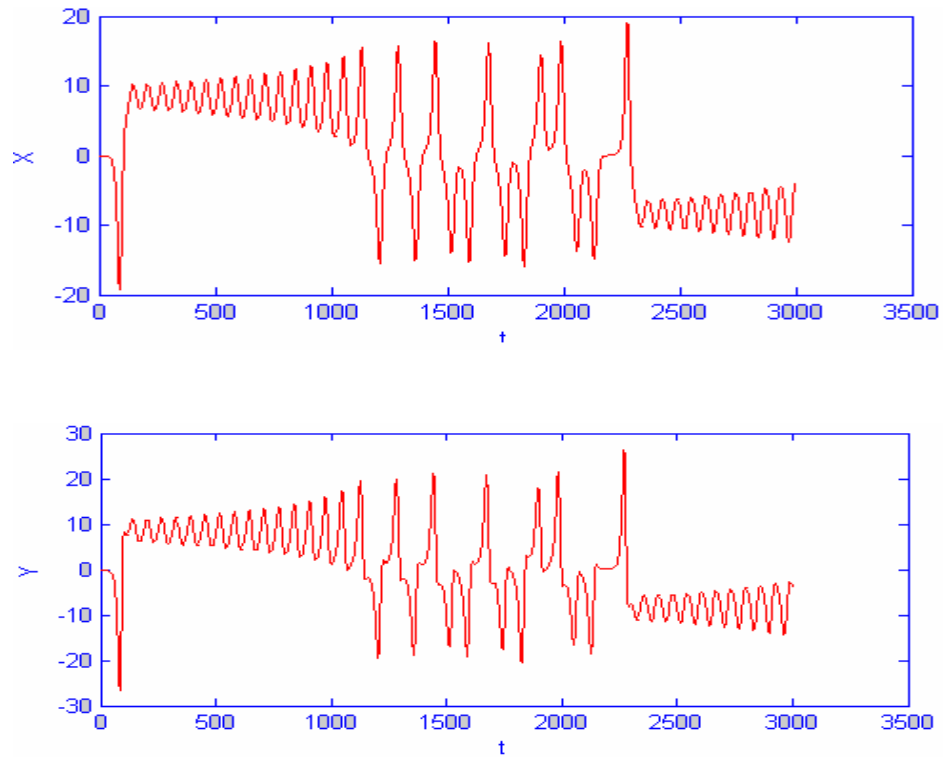
Sistemin karakteristik özelliği, spektrumu geniş bir frekans bölgesine yayılmış periyodik olmayan salınımlar üretmesidir. Bu salınımlar gürültüye benzediği ve tahmini zor bir şekilde başlangıç koşullarına bağlı oldukları için gizli haberleşmede kullanılabileceği fark edilmiş ve Lorenz kaotik osilatörü kullanan kripto sistemleri geliştirilmiştir.

Burada  $x, y, z$  durum değişkenleridir.

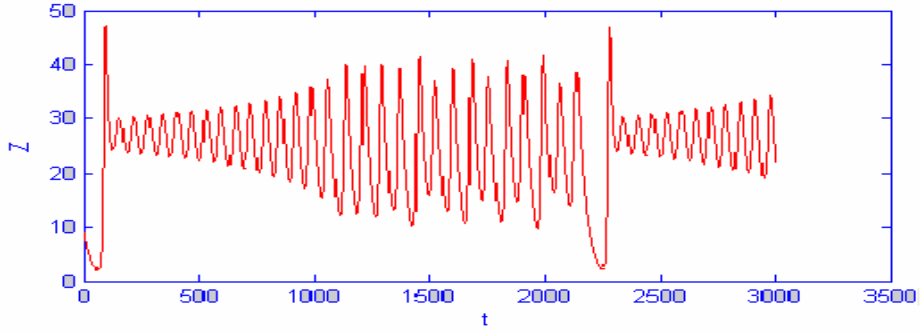
$\sigma=10$   $r=28$   $b=8/3$  parametreleri ve  $x_0 = 0, y_0 = -0.1, z_0 = 9$  başlangıç şartları için kaotik çözümler elde edilmiştir [22].



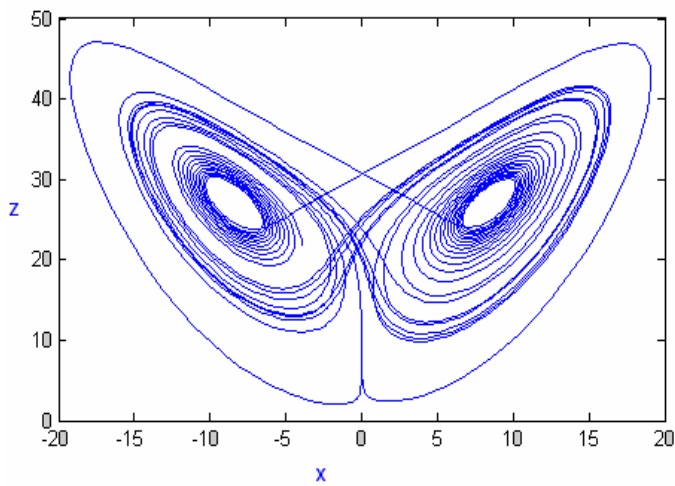
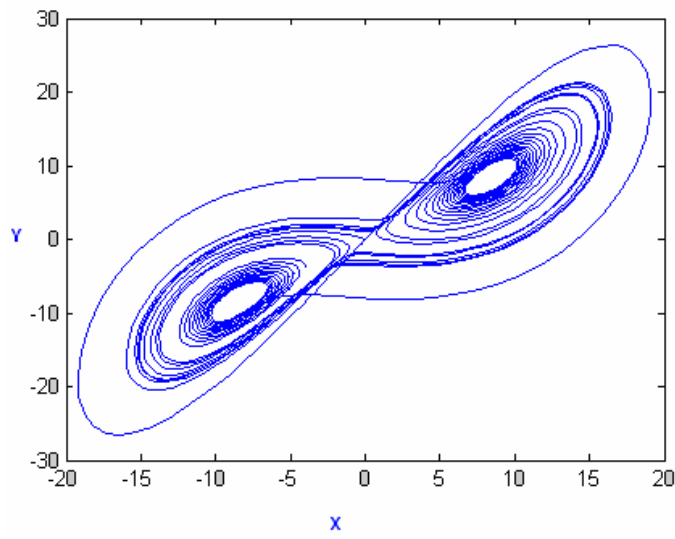
Şekil 2.1. Lorenz sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi



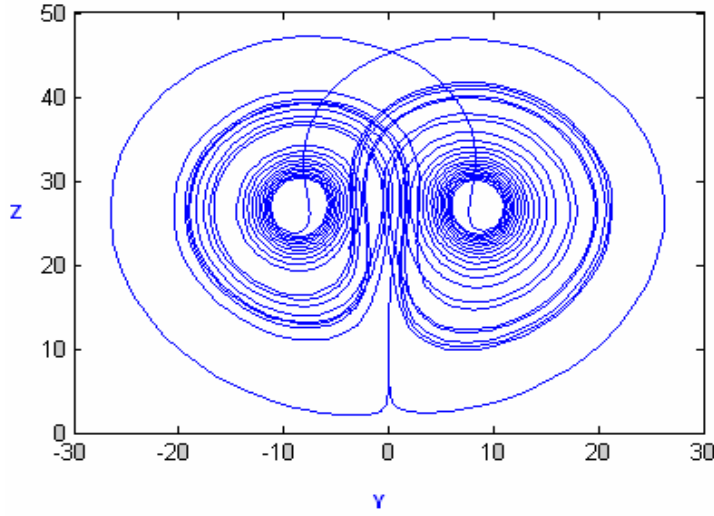
Şekil 2.2 Lorenz Sisteminin x,y,z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi



Şekil 2.2 (Devam)



Şekil 2.3. a.Lorenz sisteminin x-y kaotik çekicileri  
 b.Lorenz sisteminin x-z kaotik çekicileri  
 c.Lorenz sisteminin y-z kaotik çekicileri



Şekil 2.3. (Devam)

## 2.2. Duffing Sistemi

Duffing osilatörü, doğrusal olmayan dinamiklerin prototip sistemlerinden biridir. Bu sistem yay, doğrusal olmayan elektronik devreler, süper iletken Josephson parametrik kuvvetlendirici, plazmalardaki iyonize dalgalar gibi fiziksel sistemler için model olarak kullanılmaktadır. Duffing osilatörü  $r, \omega_0^2, \beta, f, w$  olmak üzere beş parametreye sahiptir.

$$\ddot{x} + r\dot{x} + \omega_0^2 x + \beta x^3 = f \cdot \cos(wt)$$

ya da

$$x' = y \tag{2.2}$$

$$y' = ax - bx^3 - cy + A\cos(wt)$$

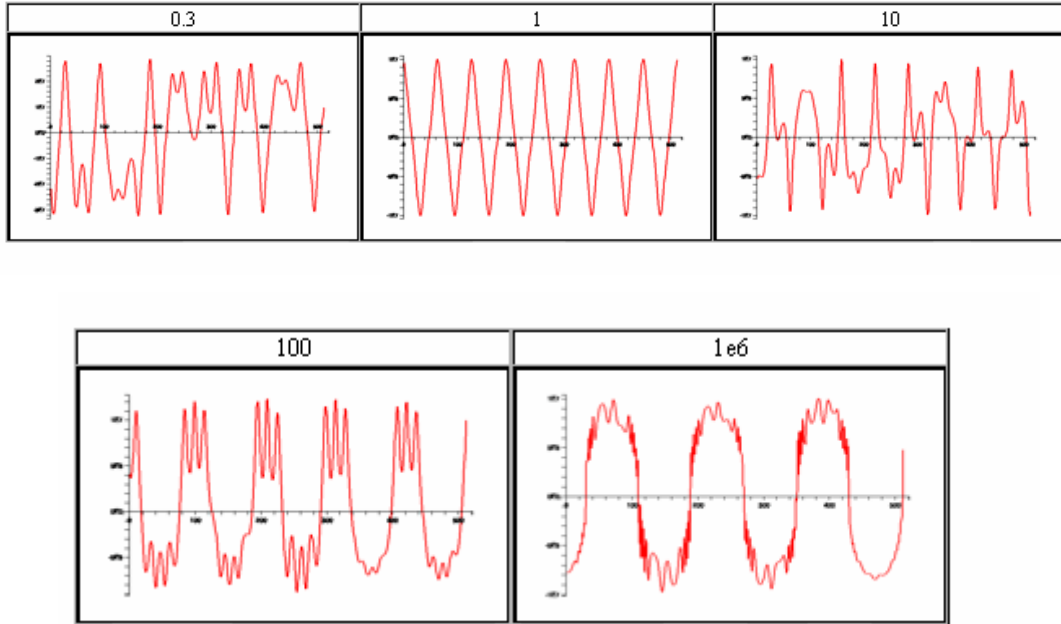
diferansiyel eşitliği tarafından tanımlanmaktadır.

Sabitler;  $\omega_0^2=1$ ,  $b=1$ ,  $r=1.5$ , ve  $w=1$ .

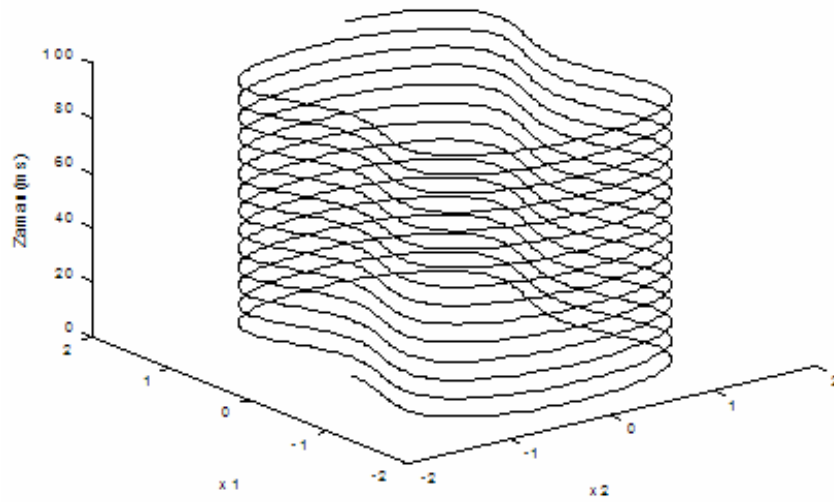
Başlangıç noktası;  $x(0)=-1$ .

İlk olarak farklı davranışlar sergileyen ilginç bir sistem gibi görünse de,  $A$ 'nın büyük değerlerinde sistem periyodik cevap verir.

$A=0.3, A=1, A=10, A=100, A=1.e^6$



Şekil 2.4.  $A$ 'nın değerlerine göre  $x(t)$  davranışları



Şekil 2.5. Duffing Kaotik Osilatörünün Oluşturduğu Kaotik Yapı

### 2.3. Rössler Sistemi

Rössler sistemi üç lineer olmayan diferansiyel denklemden oluşur. Bu diferansiyel denklemler, çekicisinin fraktal özellikleri ile ilişkilendirilmiş kaotik dinamikleri sergileyen sürekli zaman dinamik sistemleri tanımlar.

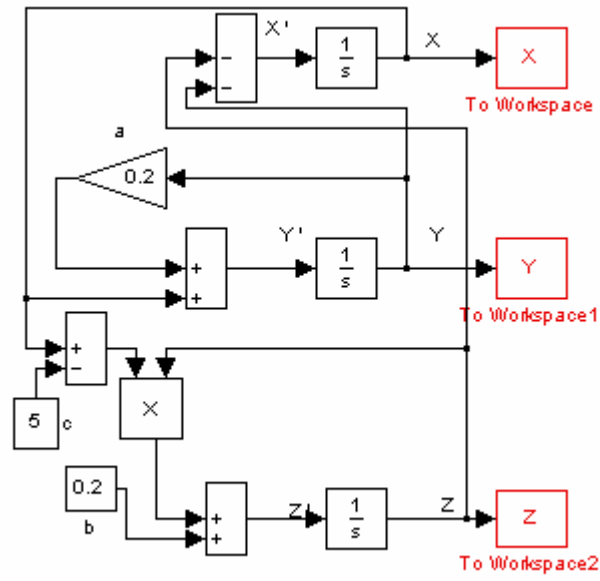
Rössler çekicisi, Lorenz çekicisine benzer şekilde davranır, ancak niteliksel olarak analiz etmek daha kolaydır. 1976 yılında, Rössler'in önerdiği kaotik denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -y - z \\ \dot{y} &= x + a \cdot y \\ \dot{z} &= b + z(x - c)\end{aligned}\tag{2.3}$$

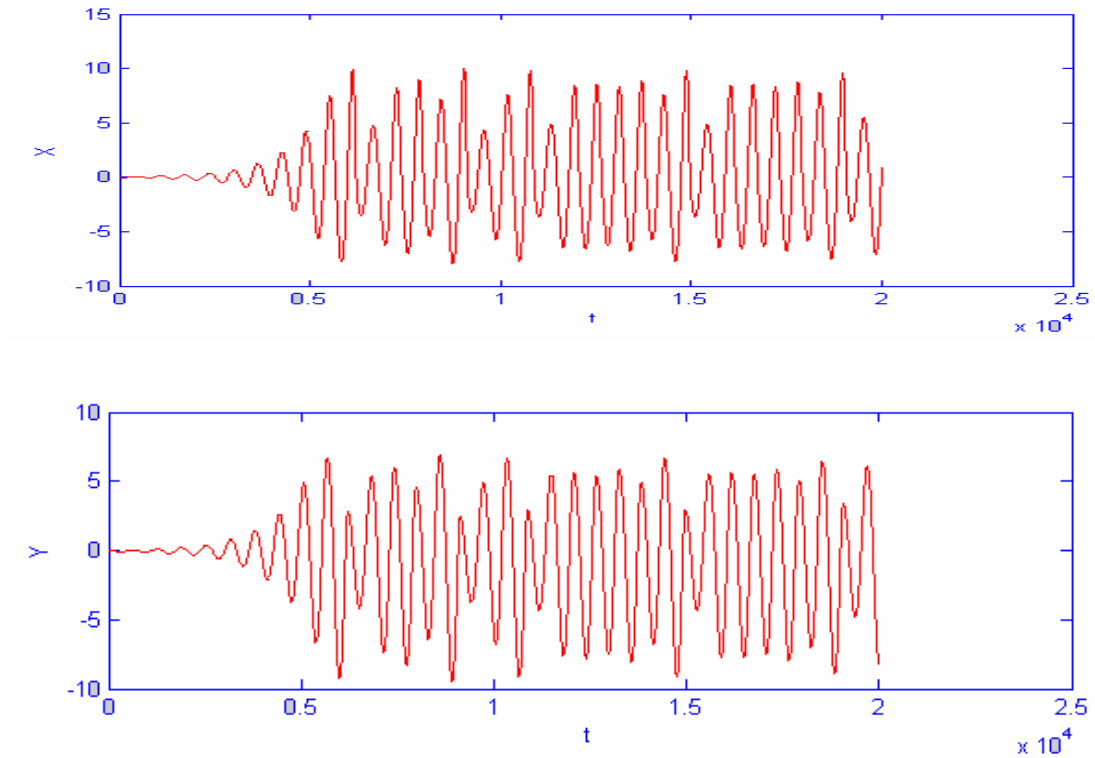
$a=0.2$   $b=0.2$  ve  $c=5$ . parametreleri ve  $x_0 = -9$ ,  $y_0 = 0$ ,  $z_0 = 0$  başlangıç şartları için kaotik çözümler elde edilmiştir.

Rössler sistemine ait  $x$ ,  $y$ ,  $z$  durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi şekilde verilmiştir.

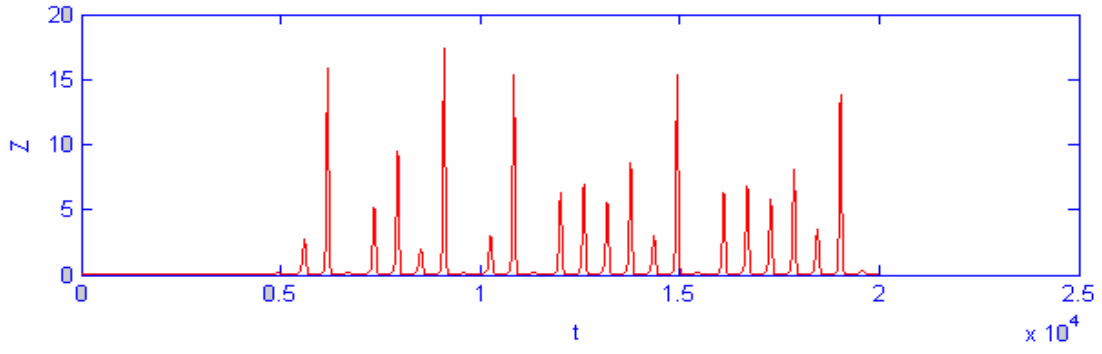




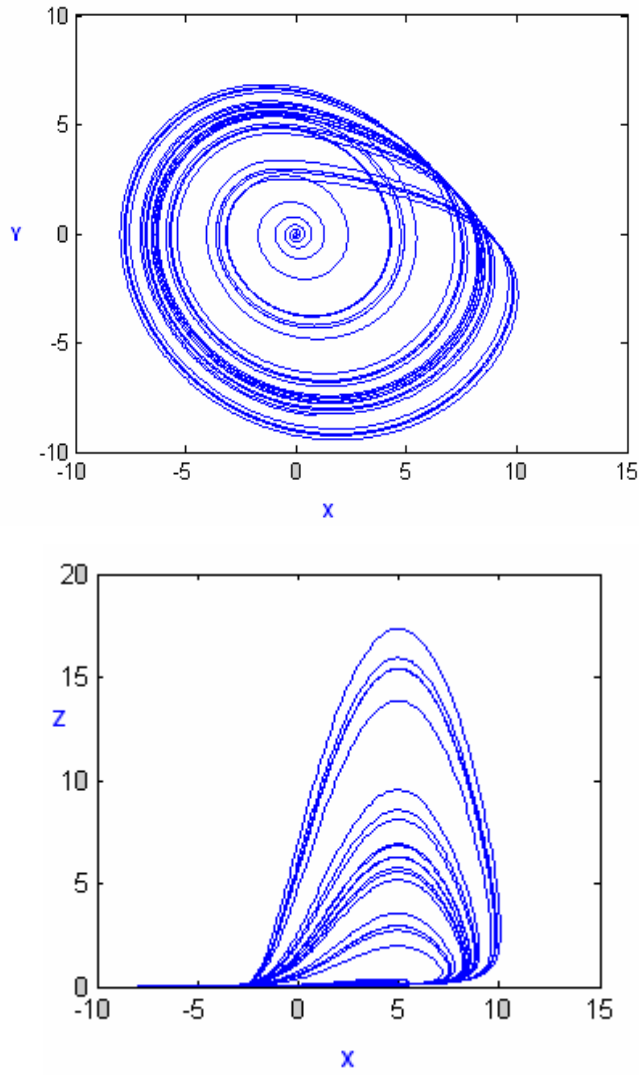
Şekil 2.6. Rössler sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi



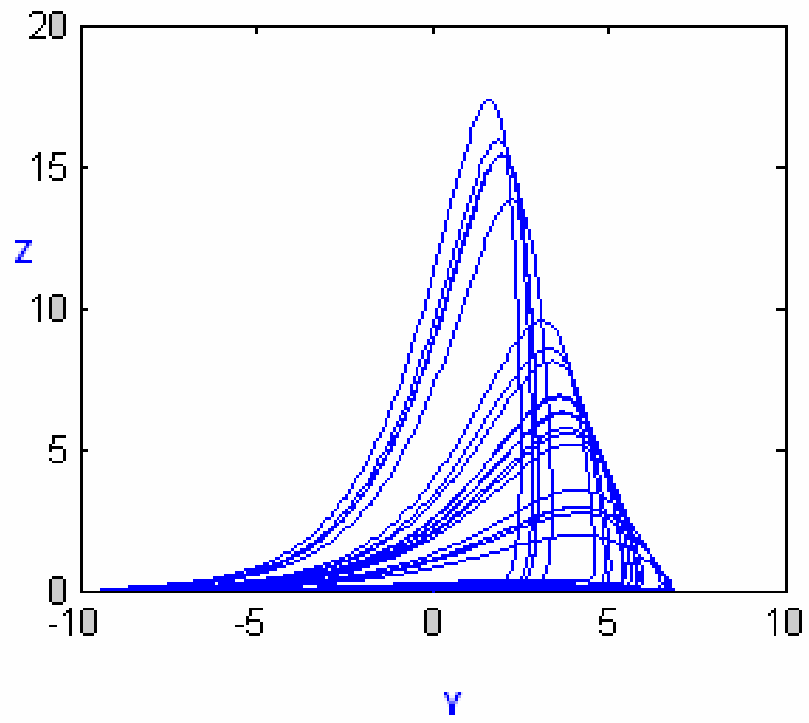
Şekil 2.7. a Rössler sisteminin x durum değişkeninin zamana göre kaotik değişimi  
b Rössler sisteminin y durum değişkeninin zamana göre kaotik değişimi  
c Rössler sisteminin z durum değişkeninin zamana göre kaotik değişimi



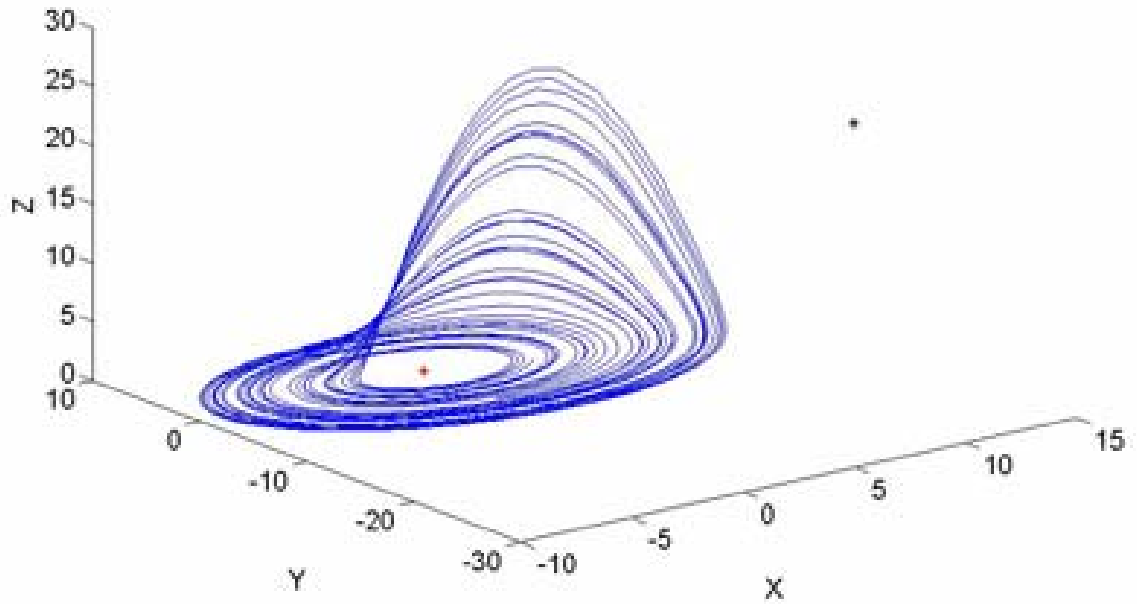
Şekil 2.7 (Devam)



Şekil 2.8 a. Rössler sisteminin x-y kaotik çekicileri  
 b. Rössler sisteminin x-z kaotik çekicileri  
 c. Rössler sisteminin y-z kaotik çekicileri



Şekil 2.8. (Devam)



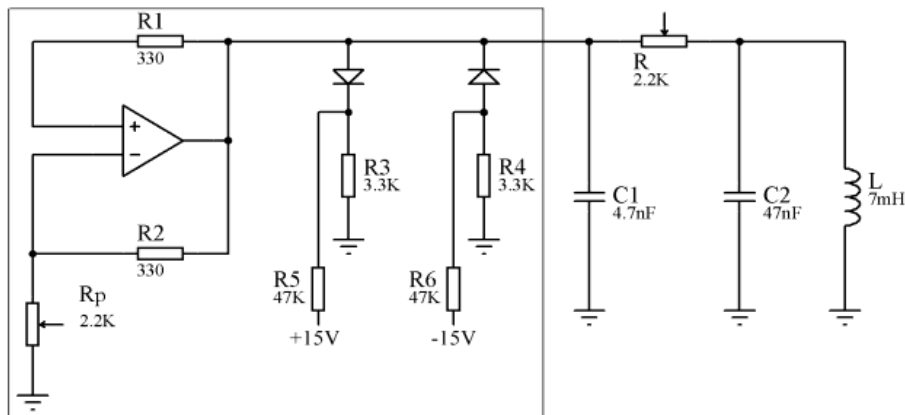
Şekil 2.9. Rössler sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi

## 2.4. Chua Sistemi

Elektronik devre alanında kaos durumu ilk kez Leon Chua tarafından incelenmiştir. Chua konuyu en basit şekliyle ele almak amacıyla Chua devresini tasarlamıştır. Chua devresi, kaos ve çataallaşmanın gösterilmesi için, basit ve tipik üçüncü mertebeden otonom bir devredir. Son yıllarda, bir çok Chua devresi gerçekleştirilmiştir. Chua devresi ile özellikle senkronizasyonu kullanılarak güvenli haberleşme alanında ve pratik kaotik sistemleri açıklamak gibi çok önemli çalışmalar mevcuttur. Devrenin Matlab-Simulink'te modellenmesi sonucunda farklı giriş değerleri için değişik sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu dinamik denklemlerle elde edilen sonuçlar güvenli ve gizli haberleşme için gerekli olan kaotik taşıyıcı özelliğini sağlar.

### 2.4.1. Chua devre analizi

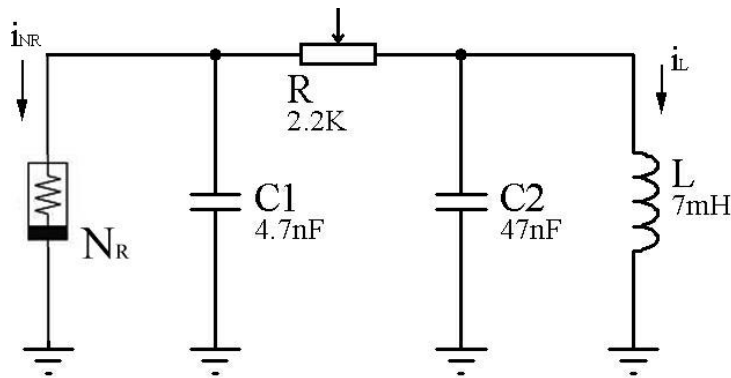
Şekil 2.10'da Chua Devresi görülmektedir. Kutu içerisindeki kısım doğrusal olmayan negatif bir dirençtir ve Chua diyodu olarak bilinir. Chua devresinde görülen C1, C2 kapasitörleri ve L indüktörü üç boyutlu bir durum uzay denklemini sağlamaktadır.



Şekil 2.10. Chua Devresi [9]

### 2.4.2. Chua devresinin durum uzay modeli

Şekil 2.11’de bir direnç (R), iki kapasite (C1), (C2) bir bobin (L) ve Chua diyodundan oluşan üçüncü mertebeden basit otonom bir kaotik devre görülmektedir. Devre teorisi uygulanarak (2.4) eşitlikleriyle verilen durum denklemleri elde edilir. Bu denklemde geçen ( $i_{NR}$ ), Chua diyodundan geçen akımdır.



Şekil 2.11 Chua Devresinin Basit Gösterimi [9]

Şekil ‘te verilen devre için durum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir,

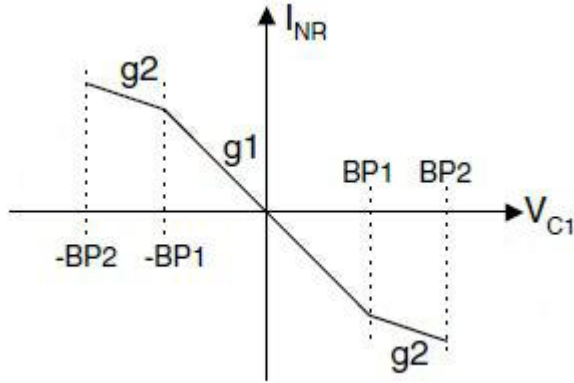
$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{V_{C2}}{RC_1} - \frac{V_{C1}}{RC_1} - \frac{\dot{I}_{NR}}{C_1}$$

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{V_{C1}}{RC_2} - \frac{V_{C2}}{RC_2} + \frac{\dot{I}_L}{C_2} \quad (2.4)$$

$$\frac{d\dot{I}_L}{dt} = \frac{-V_{c2}}{L}$$

R, doğrusal direnç,  $v_{c1}$  ve  $v_{c2}$  voltajlar, C1 ve C2 karşılıklı kapasitörler,  $i_L$ , L indüktöründen geçen akım,  $\dot{I}_{NR}$ , Chua diyodundan geçen akımdır [21].

Chua devresindeki diyotlar da göz önüne alınarak Şekil 2.12'de görülen doğrusal olmayan negatif direnç karakteristiği elde edilir [9].



Şekil 2.12. Doğrusal Olmayan Negatif Direnç Karakteristiği [9]

Burada  $g_1$  ve  $g_2$  sırasıyla dış ve iç bölge eğimlerini,  $\pm BP1$  ise kırılma noktalarını gösterir.

$$I_{NR} = \begin{cases} -g_2 V_{C1} + (g_1 - g_2)BP1 & V_{C1} < -BP1 \\ -g_1 V_{C1} & -BP1 \leq V_{C1} \leq BP1 \\ -g_2 V_{C1} + (g_2 - g_1)BP1 & V_{C1} > BP1 \end{cases} \quad (2.5)$$

(2.5) ifadesi, (2.4)'deki  $I_{NR}$  yerine yazılır ve durum uzay eşitliği aşağıdaki gibi belirlenir,

$$[\dot{x}] = [A][x] + [B][u] \quad (2.6)$$

(2.6) eşitliği kullanılarak doğrusal olmayan direnç karakteristiğine göre her bölgedeki durum uzay eşitlikleri aşağıdaki şekilde elde edilir. Elde edilen ifadeler kısmi diferansiyel denklem setidir.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{c1} \\ \dot{V}_{c2} \\ \dot{i}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{RC1} + \frac{g2}{C1} & \frac{1}{RC1} & 0 \\ \frac{1}{RC2} & \frac{-1}{RC2} & \frac{1}{C2} \\ 0 & -\frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \\ \dot{I}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{(g2-g1)BP1}{c1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad V_{c1} < -BP1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{c1} \\ \dot{V}_{c2} \\ \dot{i}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{RC1} + \frac{g1}{C1} & \frac{1}{RC1} & 0 \\ \frac{1}{RC2} & \frac{-1}{RC2} & \frac{1}{C2} \\ 0 & -\frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \\ \dot{I}_L \end{bmatrix} \quad -BP1 \leq V_{c1} \leq BP1 \quad (2.7)$$

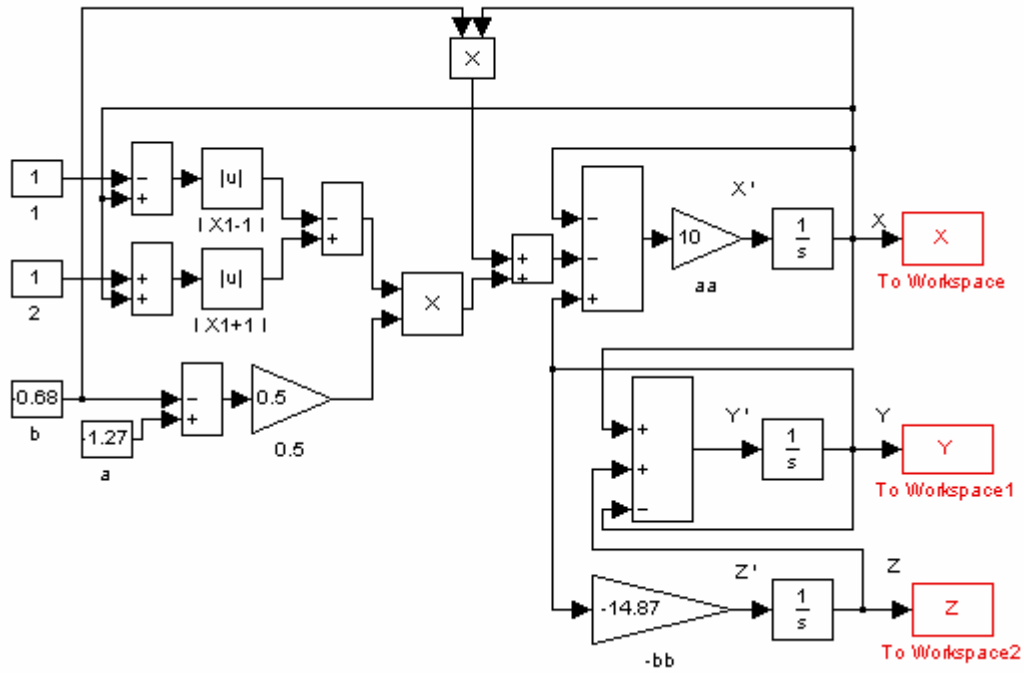
$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{c1} \\ \dot{V}_{c2} \\ \dot{i}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{RC1} + \frac{g2}{C1} & \frac{1}{RC1} & 0 \\ \frac{1}{RC2} & \frac{-1}{RC2} & \frac{1}{C2} \\ 0 & -\frac{1}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \\ \dot{I}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{(g1-g2)BP1}{c1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad V_{c1} > BP1$$

Chua diyodunun,  $\dot{I}_{NR}$  akımı iki kırılma noktasına sahip parça parça doğrusal fonksiyonun analitik ifadesi:

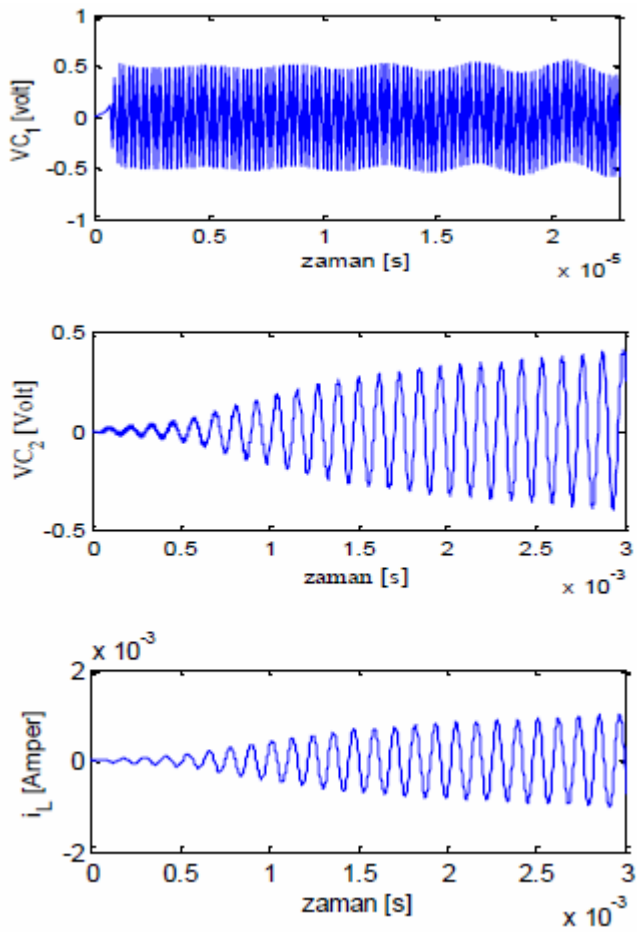
$$g(v_R) = m_0 V_R + \frac{1}{2} (m_1 - m_0) (|v_R + B_P| - |v_R - B_P|) \quad (2.8)$$

Burada devre parametreleri  $1/C1=9$ ,  $1/C2=1$ ,  $1/L=7$ ,  $1/R=0.7$ ,  $m_0 = -0.5$ ,  $m_1 = -0.8$

$x=V_{c1}$ ,  $y=V_{c2}$ ,  $z=\dot{I}_L$  dir.

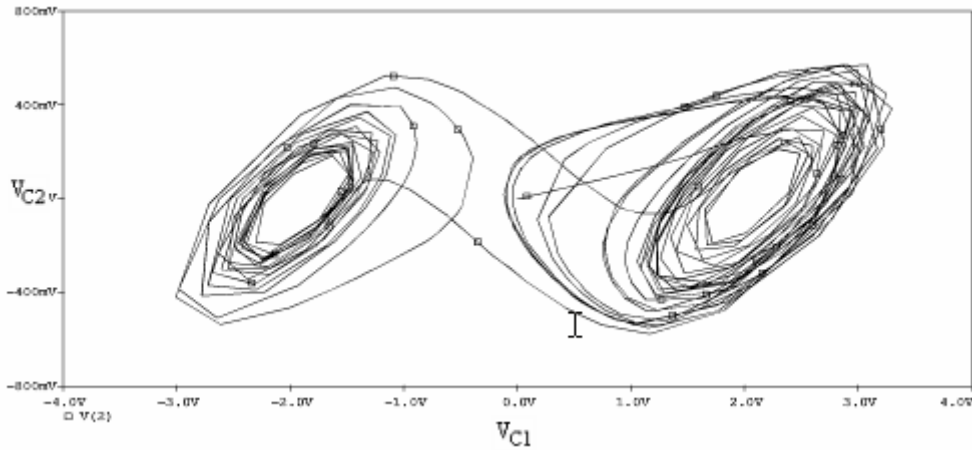


Şekil 2.13. Chua sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi



Şekil 2.14.  $R=1667 \Omega$  değeri için elde edilen simulasyon sonuçları  $V_{c1}$  ve  $V_{c2}$  ve  $I_L$  x-y kaotik çekicisi [11]





Şekil 2.14. (Devam)

## 2.5 Chen Sistemleri

Chen sistemi, topolojik olarak Lorenz'e eşdeğer olmayan bir mühendislik geri beslemeli kontrol yaklaşımı kullanarak farklı bir kaotik sistem oluşturmuştur. Bu sistem, Lorenz sistemiyle dual ve aynı basit yapıya sahiptir ancak daha gelişmiş dinamik davranışlar sergiler. Dualite, Vanecek ve Celikovsky tarafından formüle edilmiş sınıflandırma durumlarını baz alır. Vanecek ve Celikovsky, genelleştirilmiş Lorenz sistemi ailesini  $A=[a_{ij}]$   $a_{12}a_{21} > 0$  doğrusal parçasında sınıflandırır. Chen sistemi  $a_{12}a_{21} < 0$  iken, özel bir durum olarak Lorenz sistemini içerir. Bu nedenle Chen sistemi bu genelleştirilmiş Lorenz sistemi ailesine ait değildir. Aslında, Chen sistemi, kaotik sistemlerin başka bir kanonik ailesine aittir. Lü ve Chen,  $a_{12}a_{21} = 0$  koşulunu sağlayan yeni ve kritik bir kaotik sistemi buldu.  $a_{12}a_{21} = 0$  koşulu Lorenz ve Chen atraktörleri arasında geçişi temsil eder.

Aynı yıl Lü, yukarıdaki üç ilgili ancak eşdeğer olmayan kaotik sistemler içeren birleşik bir sistem inşa etti. Lü ve Chen, aynı anda iki kaotik çekicinin görüntülenebildiği, yeni kaotik sistem buldular [7].

Tarihsel olarak, Lorenz sistem denklemleri, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin ilkidir ve başlangıç koşullarına hassas bağımlılık ve kaos gösterirler.

Lorenz sistemi, doğrusal olmayan (2.9) diferansiyel denklemleriyle tanımlanır.

a, b ve c reel sabitler olmak üzere;

$$\begin{aligned} \dot{x} &= a \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= c \cdot x - x \cdot z - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z \end{aligned} \quad (2.9)$$

parametreler  $a=10$ ,  $b=8/3$ ,  $c=28$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + x \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ c & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + x \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10 & 10 & 0 \\ 28 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -8/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Lorenz sistem ,  $a_{12} \cdot a_{21} > 0$  ,  $(10 \cdot 28 > 0)$  eşitsizliğini sağlar.

Chen sistemi aşağıdaki denklemlerle gösterilir.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= a \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= (c - a) \cdot x - x \cdot z - c \cdot y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z \end{aligned} \quad (2.11)$$

Chen sisteminin tipik parametreleri ise;  $a=35$  ,  $b=3$  ,  $c=28$ 'dir. Bu sistem Lorenz sisteminin aynı yapıya sahip dualidir fakat daha gelişmiş dinamik davranışlar içerir.

Duallik, Vanecek ve Celikovsky tarafından formüle edilmiş sınıflandırma durumlarını baz alır[23].

Chen sistemi;

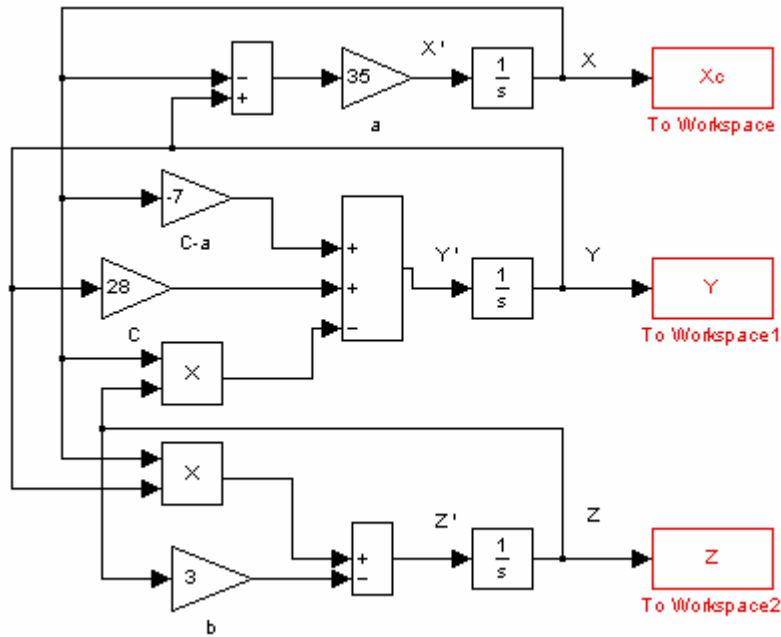
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ c-a & c & 0 \\ 0 & 0 & -b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + x \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

(2.12)

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -35 & 35 & 0 \\ -7 & 28 & 0 \\ 0 & 0 & -3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + x \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Chen sistemi ;  $a_{12} \cdot a_{21} < 0$  ,  $(35 \cdot (-7) < 0)$  eşitsizliğini sağlar.

Başlangıç şartları ;  $x_0 = -10$  ,  $y_0 = 0$  ,  $z_0 = 37$  seçilerek elde edilen x-y, x-z ve y-z tuhaf çekicileri şekil 2.15 'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Chen sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi

Lü ve Chen ,  $a_{12}a_{21} = 0$  koşulunu sağlayan yeni ve kritik bir kaotik sistemi buldu.

$a_{12}a_{21} = 0$  koşulu Lorenz ve Chen atraktörleri arasında geçişi temsil eder.

Bu kaotik sistem 3 boyutlu (2.13) denklemleriyle gösterilir.

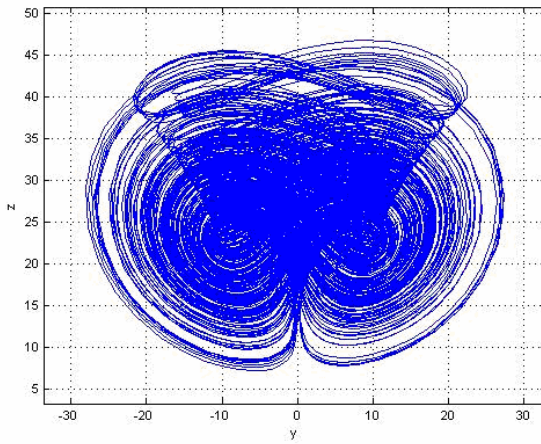
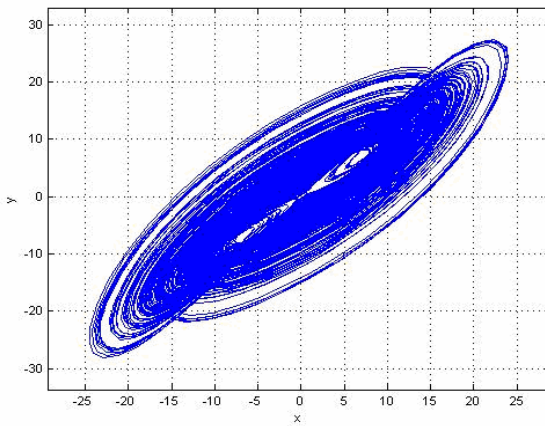
$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= a \cdot (y - x) \\
 \dot{y} &= -x \cdot z + c \cdot y \\
 \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

Başlangıç koşulları ;  $x_0 = -10$ ,  $y_0 = 0$ ,  $z_0 = 37$

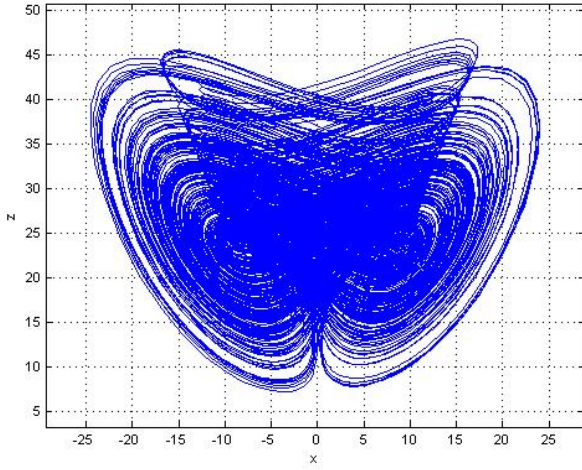
Sistemin ürettiği çekici,  $12.7 < c < 17$  aralığında Lorenz çekicisine benzer

$18 < c < 22$  aralığında geçiş şekline sahipken

$23 < c < 28.5$  aralığında Chen sistemine benzemektedir [7].



Şekil 2.16. Chen sisteminin a) x-y, y-z, x-z kaotik çekicileri



Şekil 2.16. (Devam)

## 2.6. Rikitake Sistemi

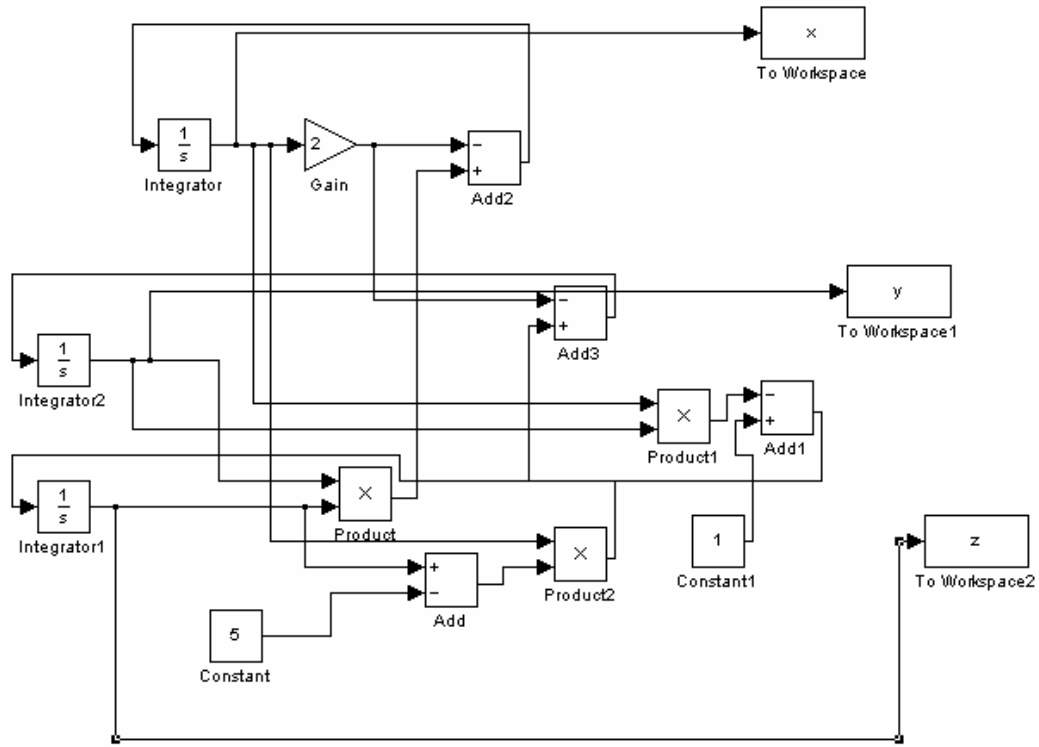
Rikitake kaotik dinamik sistemi dünyanın jeomanyetik alanının düzensiz polarite anahtarlamasını açıklamaya çalışan bir modeldir. Sistem Lorenz tipi kaotik davranış gösterir ve iki kararsız sabit etrafındaki yörüngede döner.

$$\dot{x} = -\mu.x + z.y$$

$$\dot{y} = -\mu.x + (z - a).x$$

$$\dot{z} = 1 - x.y$$

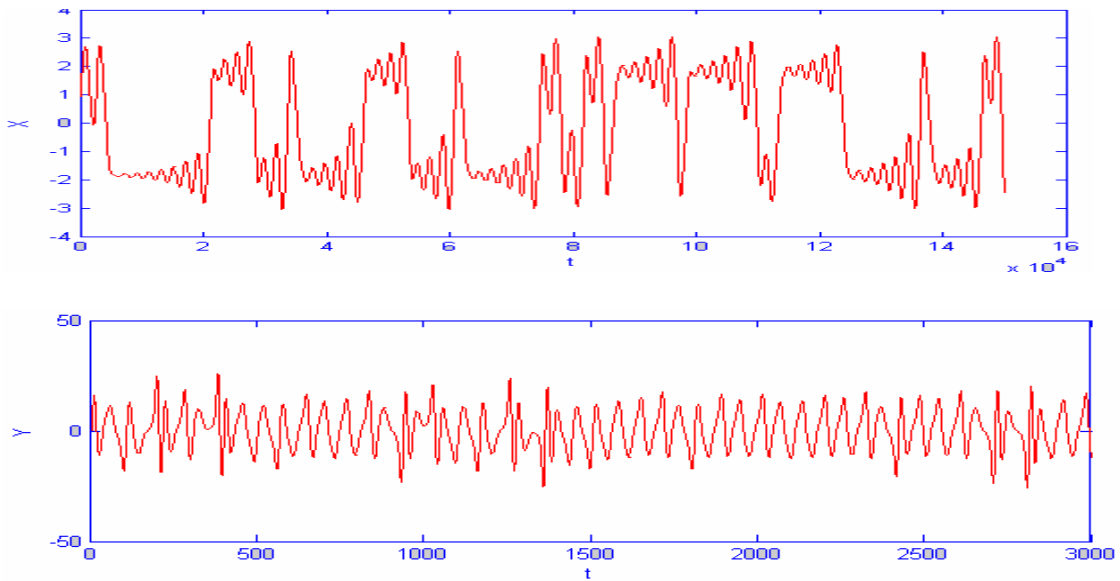
(2.14)



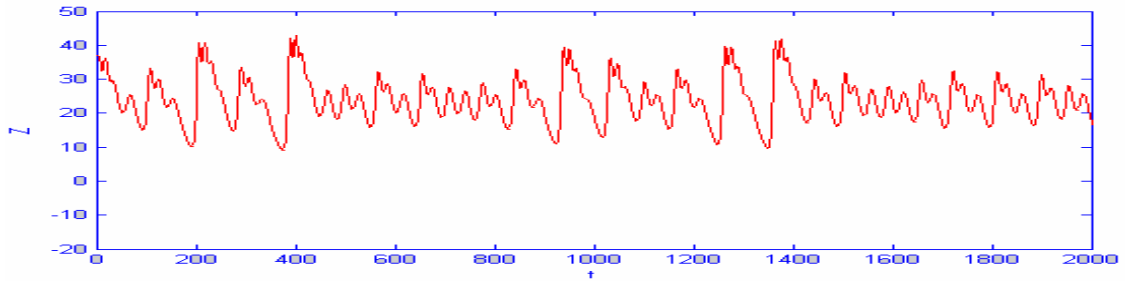
Şekil 2.17. Rikitake sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi

Yaygın olarak kullanılan parametreler ;  $\mu = 2$  ,  $a=5$

Başlangıç şartları ise;  $x_0 = 0$  ,  $y_0 = 0.1$  ,  $z_0 = 0$



Şekil 2.18. Rikitake sisteminin x,y,z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi



Şekil 2.18. (Devam)

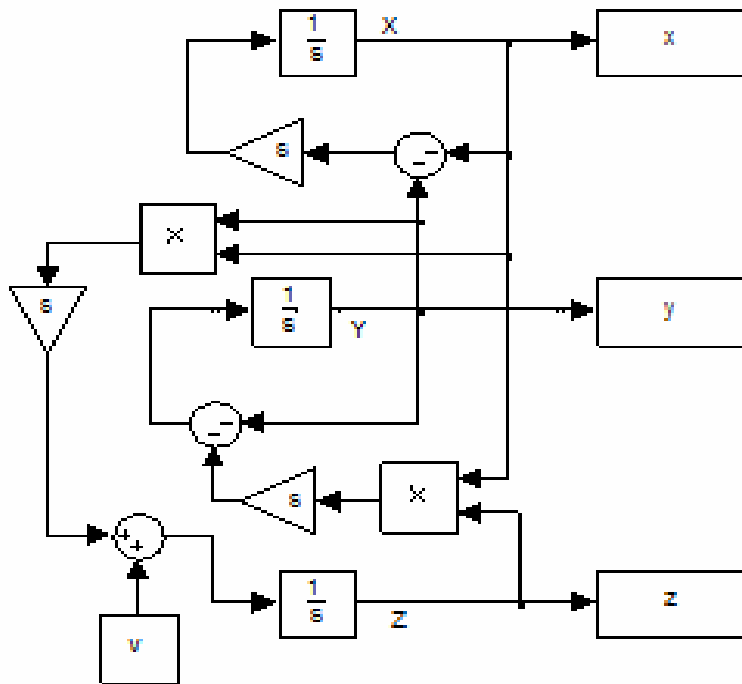
## 2.7. Burke-Shaw Sistemi

Burke-Shaw sistemi, Bill Burke ve Robert Shaw tarafından bulunmuştur. Lorenz denklemlerinden türetilen, Burke-Shaw kaotik sistemi (2.15) denklemleriyle tanımlanmaktadır.

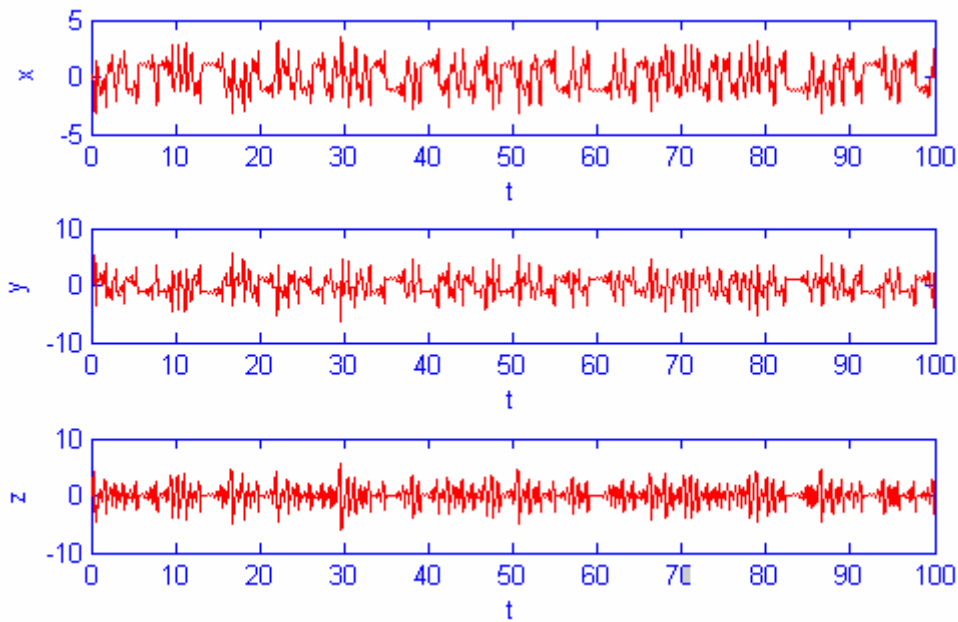
$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= -s(x + y) \\
 \dot{y} &= -y - sxz \\
 \dot{z} &= sxy + V
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

Burada  $s$ ,  $V$  sistem parametreleri ve  $x$ ,  $y$ ,  $z$  durum değişkenleridir.

Parametreler;  $s=10$ ,  $V=4.272$  olarak verildiğinde;

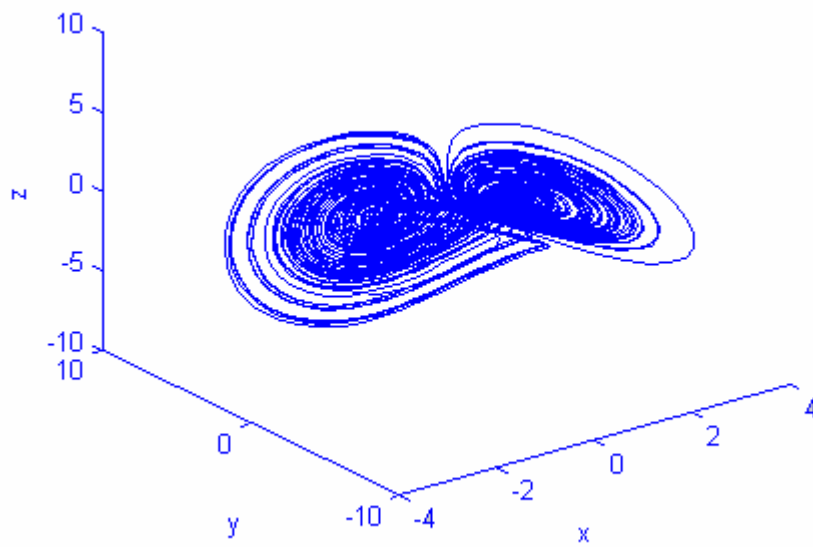


Şekil 2.19. Burke-Shaw çekicisinin Matlab-Simulink modeli

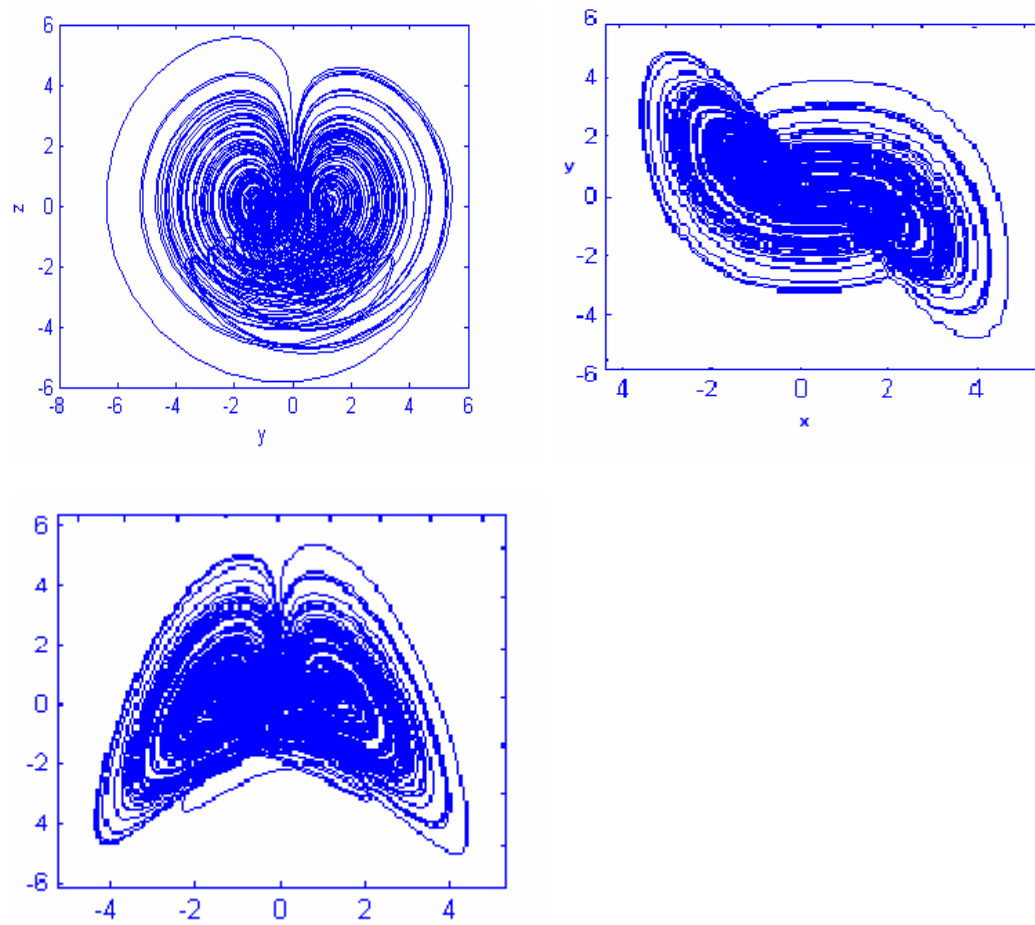


Şekil 2.20. Burke-Shaw çekicisinin x, y, z zaman serileri





Şekil 2.21. Burke-Shaw çekicisinin x-y-z kaotik faz portresi



Şekil 2.22. Burke-Shaw sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri

Bu sistem, Lorenz sistemine eş bir sistemdir yani aynı sınıfa dahil bir sistemdir. Burke Shaw ve Lorenz sistemleri, aynı denklem üzerinde değil ama z ekseni üzerinde organize olurlar.

## 2.8. Van Der Pol Sistemi

Van Der Pol osilatörü, Philips'te çalışan Hollandalı elektrik mühendisi ve fizikçi Balthasar van der Pol tarafından üretildi. Van Der Pol, rahatlama salınımları olarak isimlendirilen sabit salınımları buldu. Bu salınımlara limit döngü adı verilir. Faz portresinde görülen şekil, kaotik bir yapı olan "Limit Döngü" olarak isimlendirilir. Bu döngüler, limit döngü frekansına yakın bir sinyalle sürüldüğünde, periyodik cevap frekansını değiştirir.

Bu sistem, Balthasar van der Pol tarafından geliştirilen elektronik teknolojisinin ilk zamanlarında, doğrusal olmayan vakum tüpü devrelerinin davranışlarını açıklayan bir modeldir. Van der Pol kurduğu devre üzerindeki kapasite değerini değiştirerek elde ettiği işaretleri telefon ahizesinden dinleyerek ayırt etmeye çalışmıştır. Kulaklıktan gelen seslere, devre kaotik davranmaya başladığında anlam veremeyen Van der Pol bu işaretleri gürültü olarak değerlendirmiştir .

Van Der Pol sisteminin dinamik denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\dot{X} = X(1 - Y^2) - Y \quad (2.16)$$

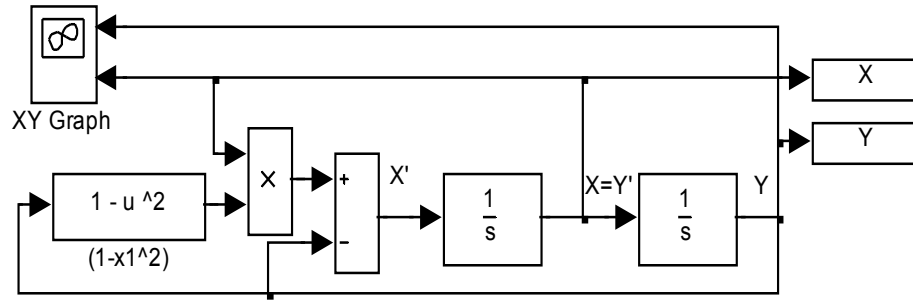
$$\dot{Y} = X$$

Görüldüğü gibi, bu osilatör; doğrusal bir yay kuvveti ve doğrusal olmayan sönümlenme kuvvetinden oluşmuş bir osilatördür.

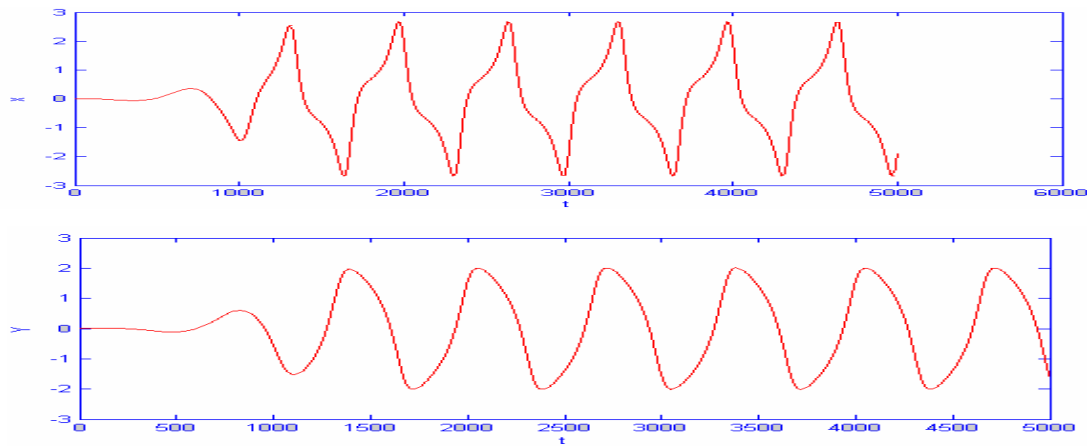
Bu eşitliklerin çözümü, kapalı bir eğri üzerinde bir noktanın hareketi şeklindedir. Bu hareket sabit genlikli bir osilasyondur. Bu şekilde davranması ile verilen karara göre davranan osilatör örneği teşkil eder.

Matlab-Simulink modellemesi ve kaotik faz portresi, sırasıyla şekil , şekil 'de gösterilmiştir.

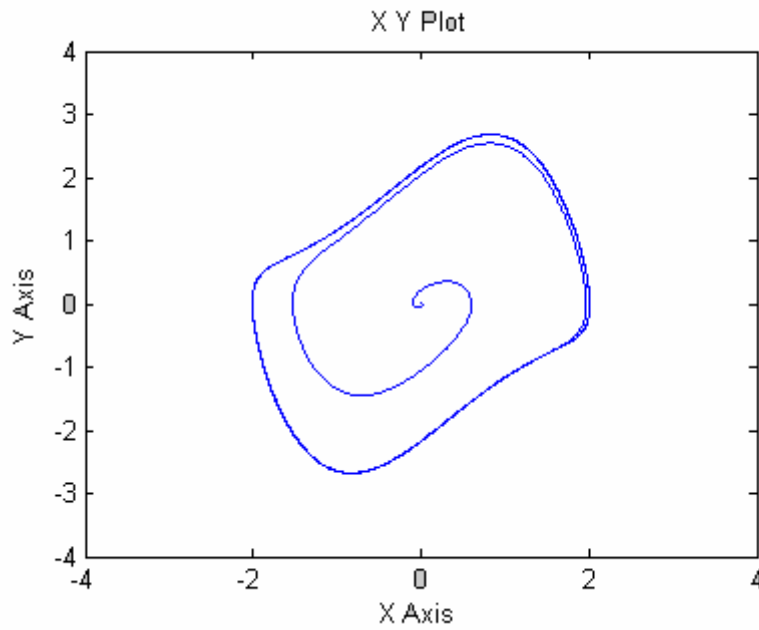
Başlangıç şartları;  $X_0=0.01$ ,  $Y_0=0.01$  olarak verildiğinde;



Şekil 2.23. Van Der Pol kaotik osilatörünün Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.24 . Van Der Pol çekicisinin x, y zaman serileri



Şekil 2.25. Van Der Pol kaotik osilatörünün; x-y kaotik faz portresi (limit döngü)

## 2.9. Colpitts Sistemi

Amerikan mühendis Edwin H. Colpitts tarafından 1920' de bulunmuştur. Colpitts osilatörünün ilk kaotik osilasyonu, Kennedy tarafından raporlanmıştır. İlk olarak alçak frekansta kaos raporlanmıştır. ( $f=100$  kHz). Aynı zamanda yüksek frekansta da kaotik sinyaller gözlenir.

Colpitts osilatör, geri besleme için LC devresiyle bir transistörün kullanıldığı bir osilatördür. Transistör çıkarıldığında, indüktör ve iki kapasitörler LRC örnekte olduğu gibi, bir rezonans devresi oluşturur. Akım, kondansatörlerin şarj ve deşarj olarak indüktörden ileri geri geçer. Transistör, osilasyonu güçlendirir ve sönmesini engeller. C1, 80 mV olmadan transistör iletmez. Transistör off konumundayken, çıkış 4.5 V civarındadır. 1k direnci ve indüktörden gelen akım C2 yi şarj eder. İndüktörden geçen akım yavaşlar ve geri döner böylece C1 tekrar şarj olur. C1 şarj olunca, transistör, çıkışı düşürerek iletme geçer. Osilasyon devam ederken transistör off konumuna gelir. Akım 1k direncinden geçer ve osilasyonu sürdürür [10].

Colpitts devresinin fark yaratıcı özelliği, geri besleme sinyalinin iki seri kapasitörle oluşturulan gerilim bölücüden alınmasıdır. Bir avantajı da, devrenin basit bir yapıya sahip olmasıdır ki devrede sadece bir indüktör kullanılır.

Colpitts osilatör, genellikle periyodik sinyaller üretmek için kullanılır ancak özel devre parametreleriyle, iki kutuplu birleşik transistörle, gürültülü ve kaotik davranış sergiler.

Devrenin dinamik denklemleri;

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = I_L - I_C$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_{CC} - RI_L - V_{C1} - V_{C2} \quad (2.17)$$

$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = I_L - I_C + I_E(V_{C2}) - I_0$$

Bu denklemler yapılandığı zaman oluşacak dinamik denklemler;

$$X = \frac{V_{C1}}{V^*} \quad Z = \frac{V_{C2}}{V^*} \quad Z = \frac{pI_L}{V^*} \quad V^* \cong 0.7 \text{ ve } \alpha = 1$$

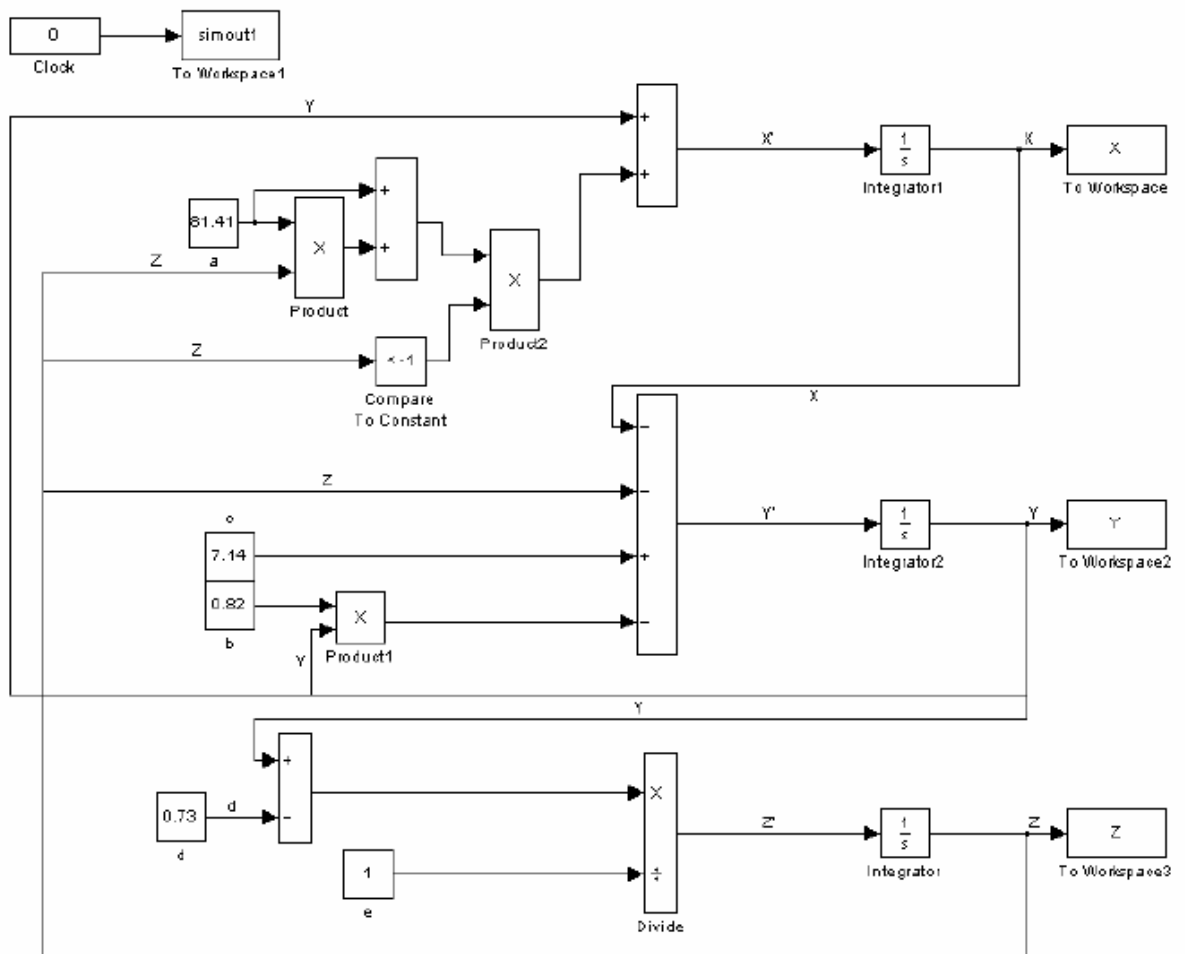
$$\dot{X} = Y - F(Z) \quad F(Z) = \begin{cases} -a(Z+1) & Z < 1 \\ 0 & Z \geq -1 \end{cases} \quad (2.18)$$

$$\dot{Y} = c - X - bY - Z$$

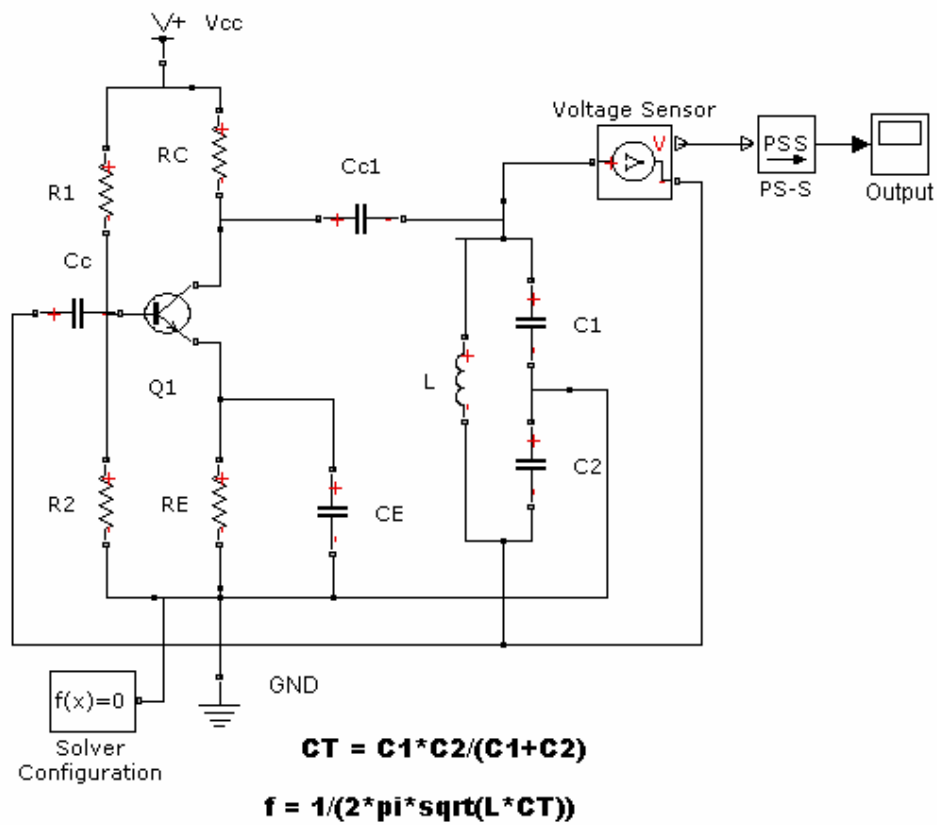
$$\dot{Z} = Y - d$$

Başlangıç şartları;  $X(0) = 0$ ,  $Y(0) = 0$ ,  $Z(0) = 0$

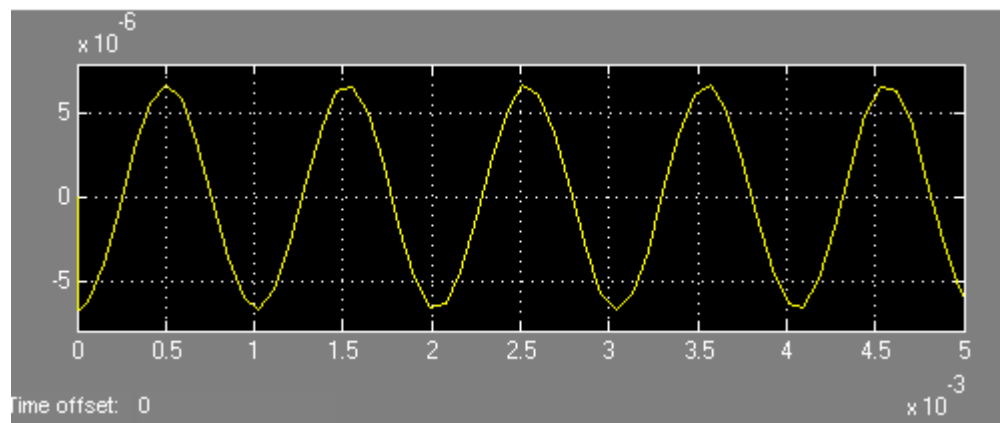
Parametreler  $a = 81.41$ ,  $b = 0.82$ ,  $c = 7.14$ ,  $d = 0.73$ ,  $e = 1$ .



Şekil 2.26. Colpitts osilatörü Matlab-Simulink modeli



Şekil 2.27. Colpitts osilatörü devre modeli



Şekil 2.28. Matlab simulink modelinde ölçülen output değeri

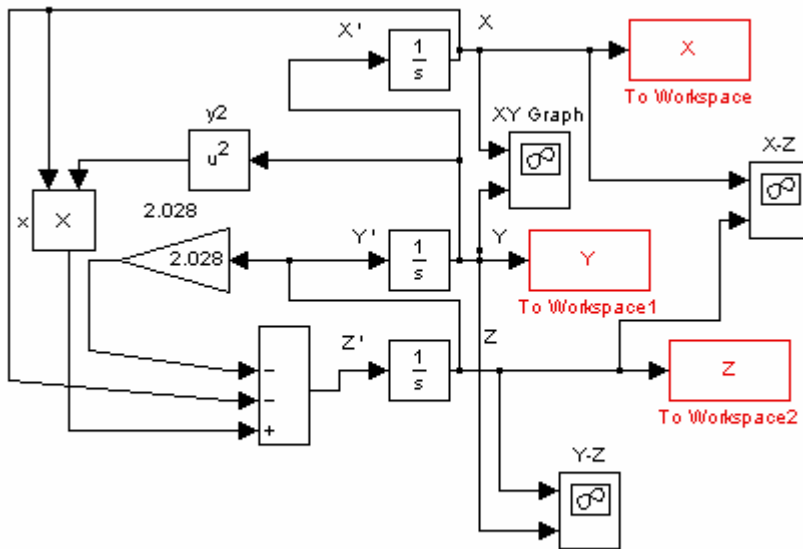
## 2.10. Malasoma 2000 Sistemi

Malasoma'nın 2000 yılında tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + x \cdot y^2 - x\end{aligned}\quad (2.19)$$

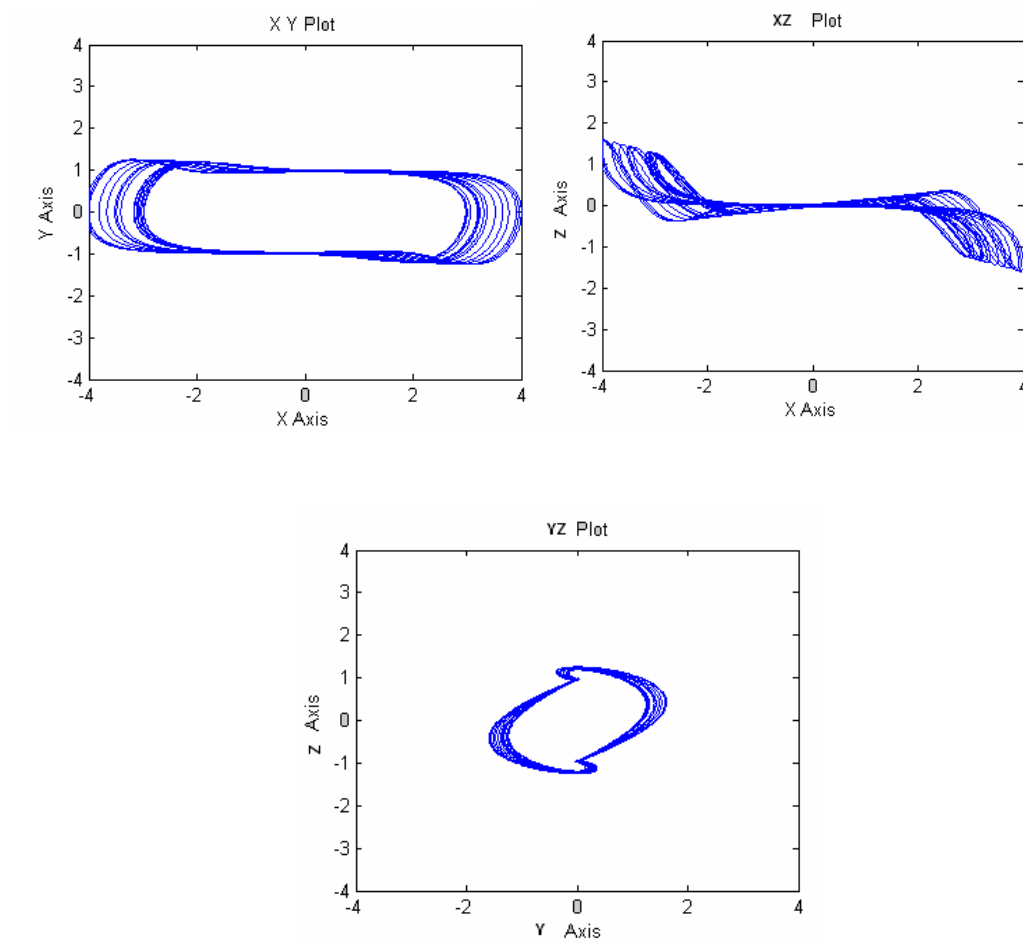
Parametre ;  $a = 2.028$

Başlangıç şartları ,  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 0.96$ ,  $z_0 = 0$



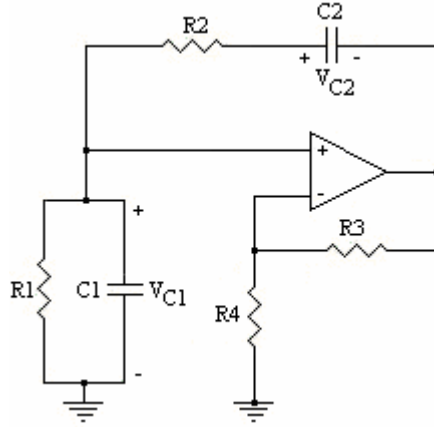
Şekil 2.29. Malasoma 2000 sisteminin Matlab-Simulink modellemesi





Şekil 2.30. Malasoma 2000 sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri

## 2.11. Wien-Köprü Osilatörü



Şekil 2.31. Klasik Wien Köprü Osilatör

Literatürde yer alan klasik Wien köprü osilatörü Şekil 2.31 'da gösterilmektedir. Bu klasik devre konfigürasyonunda (A) kazancına sahip bir evirmeyen voltaj kuvvetlendiricisi paralel RC köprü kolu ve RC geri besleme bloğu yer almaktadır. Kapasite değerlerinin eşit seçilmesi ile devreye ait durum denklemleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\begin{bmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} A-1 & 1 & -1 \\ R_2 & R_1 & R_2 \\ A-1 & -1 & R_2 \\ R_2 & R_2 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Devreye ait durum denklemleri kullanılarak osilasyon için gerekli şart Denklem (2.21) ile tanımlanmaktadır.

$$\frac{1}{R_2 C} = \frac{1}{R_2 C} \left( A - 1 - \frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow A = 2 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.21)$$

Devrenin osilasyon frekansı ise;

$$w_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_1R_2}}$$

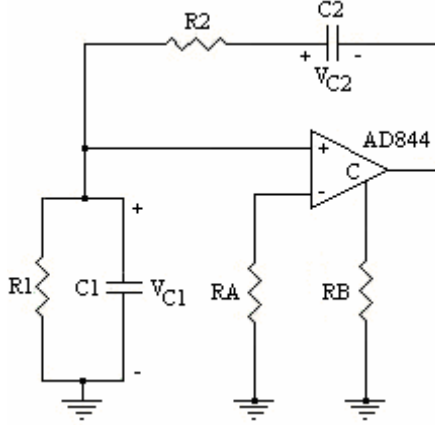
ile belirlenir.  $R_1=R_2$  seçimi ile kuvvetlendirici kazancı olan  $A=3$  olarak bulunur.

Bunların dışında (A) kazancını elde etmek için voltaj modlu Op-Amp (VOA) veya akım modlu Op-Amp (CFOA) devreleri de Wien köprü osilatör tasarımında kullanılabilir. Literatürde yer alan sinüzoidal osilatörlerin büyük çoğunluğu ikinci derecedendir. Bu osilatör devrelerinin kaotik bir davranış sergileyebilmesi için ilave bir enerji depolayıcı elemana ihtiyaç vardır. Lineer osilatörlerden daha kompleks davranış sergileyen osilatöre geçişte bazı tasarım teknikleri kullanılmaktadır. Aşağıda örnek bir tasarım tekniğinin işlem adımları sunulmaktadır.

1. Pasif eleman yapısı, ayarlanabilirliği, duyarlılığı ve aktif yapı bloğu açısından duyulan gereksinimleri karşılayan sinüzoidal osilatör devresi tasarımı ilk adımı oluşturur.
2. Osilatörün yapısı incelenerek basit lineer olmayan eleman veya devre bloğu, devrenin uygun bir yerine eklenmelidir. Tasarlanan sinüzoidal osilatörün derecesi üçten az ise ilave bir enerji depolayıcı eleman devrenin uygun bir yerine eklenmelidir.
3. Birinci basamakta tanımlanan ayar parametresi, sinüzoidal osilatörün osilasyon şartını sağlaması için uyan değerlere ayarlanmalıdır.

Burada önemli olan osilasyon için gerekli olan kapalı çevrim kazancı elde edebilmek olduğundan Wien köprü osilatör devresini farklı elemanlar kullanarak gerçekleştirmek mümkündür. Şekil 2.32’de CFOA tabanlı Op-Amplar kullanılarak elde edilen Wien köprü osilatör yapısı gösterilmektedir. Normal bir sinüzoidal bir osilatör kullanılarak üçüncü dereceden bir kaotik osilatör tasarlamının yolu; osilatör devresine enerji depolayan eleman veya FET, diyot gibi lineer olmayan bir eleman veya devre düzeneği ilave etmektir. Literatürde buna benzer birçok devre

uygulamaları gerçekleştirilmiş ve bunların birçoğunda Wien köprü osilatör devreleri kullanılmıştır.

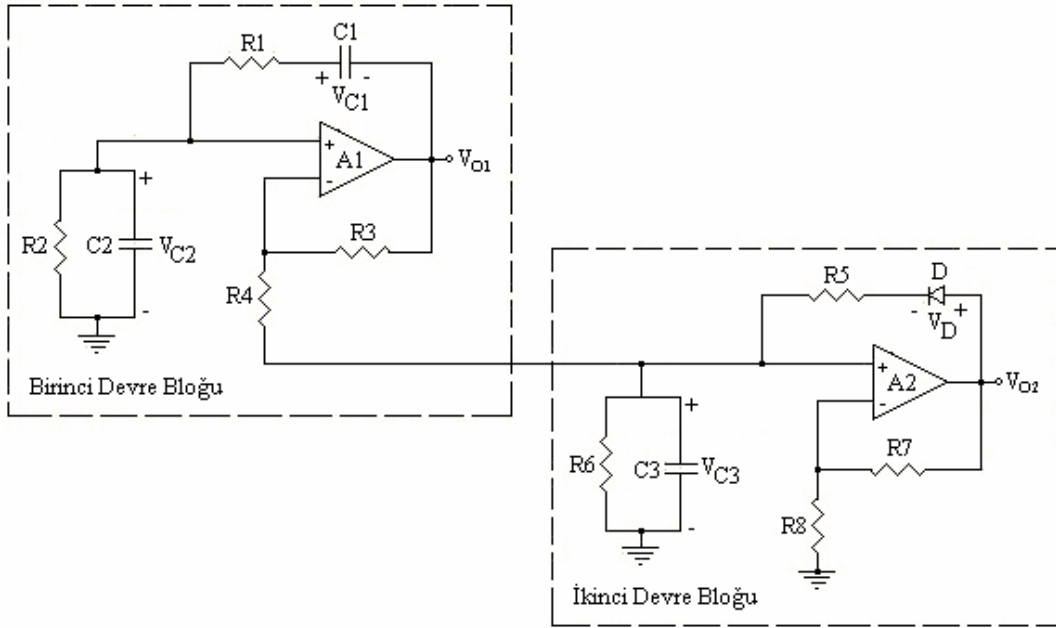


Şekil 2.32. CFOA-Tabanlı Wien Köprü Osilatör

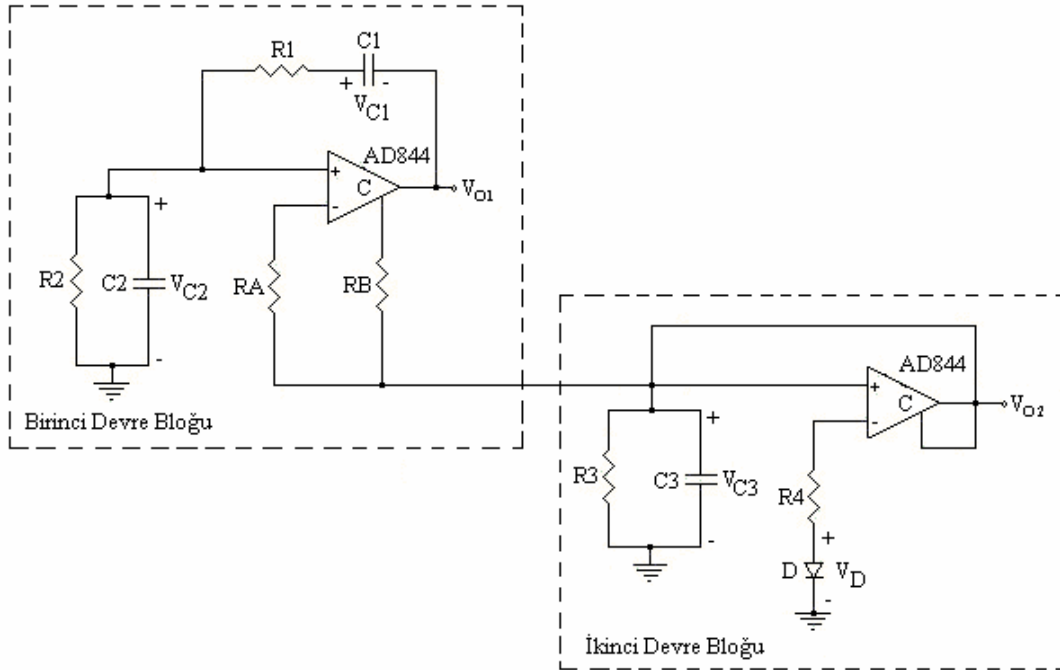
Kaotik işaret üretici için yapılan modifikasyonlardan biri Şekil 2.33' de gösterilen devre yapısıdır. Devre, voltaj modlu Op-Amp kullanılan iki kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısım  $A_1 = 1 + \frac{R_3}{R_4}$  kazancına sahip Wien köprü RC osilatör

ve ikinci kısım ise negatif empedans çeviricisidir (NIC). Şekil 2.34 'de ise devrenin akım modlu Op-Amp kullanılarak elde edilen düzenlemesi görülmektedir [11].

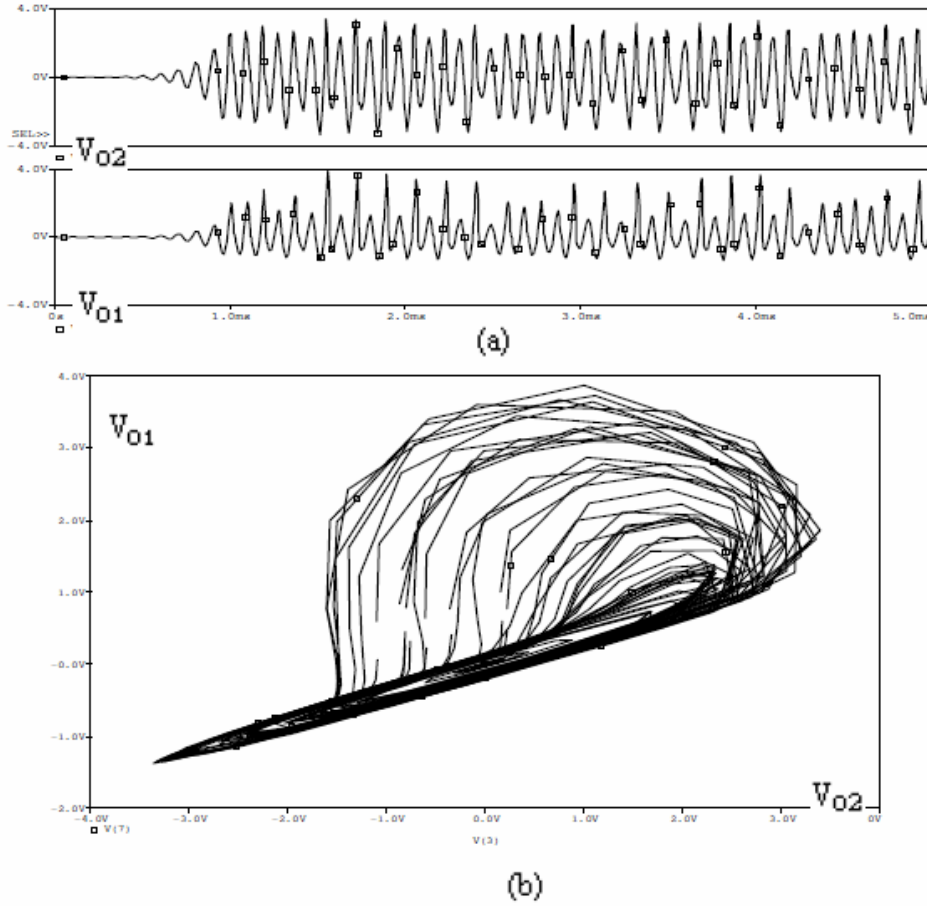


Şekil 2.33. VOA-Tabanlı Kaotik Wien Köprü Osilatör



Şekil 2.34. CFOA-Tabanlı Kaotik Wien Köprü Osilatör

Bu tasarımda A2 kazancını sağlayan Şekil 2.33'deki ikinci devre yapısında pozitif geri beslemeye diyot ilave edilmiştir. NIC sadece VC3 (A2-1)>VD şartı altında aktif olur. Burada A2 kazancı  $A_2 = 1 + \frac{R_7}{R_8}$  dir. R7=R5 durumunda giriş empedansı  $Z_i = -R_8$  olmaktadır.



Şekil 2.35. VOA-Tabanlı Kaotik Wien Köprü Osilatörünün Simülasyon Sonuçları  
a. Devredeki Kaotik Dinamikler (V01 V02)  
b. Çeker Gösterimi (V01-V02) [11]

Şekil 2.33' deki VOA-tabanlı osilatör devresi yer almıştır. VOA-tabanlı Kaotik Wien Köprü osilatör devresindeki parametreler  $R_1=R_2=11 \text{ KW}$ ,  $R_3=10 \text{ KW}$  pot. ,  $R_4=5 \text{ KW}$  pot.,  $R_5=R_7=2.7 \text{ KW}$ ,  $R_6=1.1 \text{ KW}$ ,  $R_8=780 \text{ W}$ ,  $C_1=C_2=C_3=1.3 \text{ nF}$  olarak belirlenmiştir. Op-Amp'lar  $\pm 9 \text{ V}$  ile beslenmektedir. Devredeki  $R_3$  ve  $R_4$  potansiyometreleri hassas bir şekilde ayarlanarak devrenin kaotik davranışları gözlemlenmektedir. Şekil 2.35'de devrenin simülasyon sonuçları gösterilmektedir.

## **BÖLÜM 3. AKTİF KOTROL VE SENKRONİZASYON**

### **3.1. Senkronizasyon**

Kaosun sese benzeyen bazı özellik ve davranışları, kontrol edilemediğinden sorun teşkil etmekteydi. Kaos ve kaotik sistem dinamiği ile ilgili en geniş çalışma alanı ise; bu derece ilginç özelliklere sahip kaotik işaretler ve sistemlerden olumlu yönde yararlanma fikri doğrultusunda yapılan çalışmalarla oluşmuştur.

1992’de kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına aşırı duyarlılığından yola çıkılarak, güvenli haberleşme sistemlerinin bu sistemlerle yapılabileceğinin farkına varılmıştır. Yaygın spektruma sahip olan kaotik işaretlerin güvenli haberleşmede kullanılabilmesi için ise iki kaotik sistemin senkronize olabilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar özellikle kaotik işaretlerin ve sistemlerin senkronizasyonu ile bu senkronize kaotik sistemlerin güvenilir ve gizli haberleşme amaçlı tasarım ve uygulamalarda kullanılabilme olasılığını kapsamaktadır. Fakat ilk başlarda kaotik sistemlerin bu tür haberleşme uygulamalarında kullanılabilmeleri için senkronizasyonlarının sağlanması, bu konunun önündeki en büyük engel olarak görülüyordu. Pecora ve Carroll’un yapacakları bir çalışmaya kadar, başlangıç şartları ve sistem parametrelerine hassas bağımlı olmalarından dolayı iki ya da daha fazla kaotik sistemin senkronize olamayacağı düşünülüyordu. Pecora ve Carroll bu düşüncüyü ortadan kaldıran çalışmalarında, 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 aynısı oluşturularak bu alt-sistemin orijinal sistemin sürücü kısmıyla sürülmesi durumunda, kaotik senkronizasyonun sağlanabileceğini yani, alıcı modülde üretilen kaotik işaretin

orjinal sistemden gelen kaotik işarete yakınsayacağını gerek teorik gerekse deneysel olarak göstermişlerdir. [4]

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 [13] 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 [14] 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.

Özdeş kaotik sistemlerin kuplajı ve senkronize edilmeleri için iki esas metod vardır.

- Pecora-Carroll (P-C) ,Peş peşe bağlama metodu:
- Tek-yönlü bağlama metodu

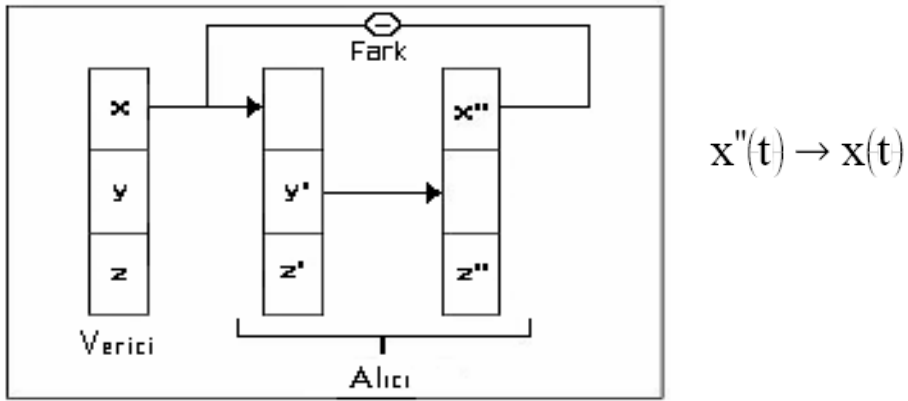
Kaotik sistemde bir durum değişkeni, orjinal sistemin ikinci kopyasına giriş olarak gönderilirse, kopya alt-sistem(alıcı), orijinal sistem (verici) ile senkronize olabilmektedir [6].

Bağımsız Kaotik sistemlerin davranışları birbirleriyle ilintili olmamasına rağmen, bazı durumlar altında bir kaotik sistemi ve onun alt sistemini, kaotik sistemden alt sistemine sinyal göndererek senkronize etmek mümkündür.

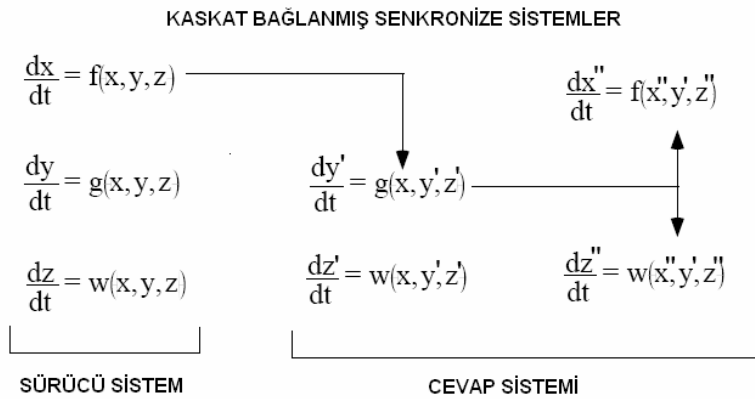
Eğer iki birbirinden bağımsız kaotik sistem aynı başlangıç şartlarıyla çalıştırılırsa, küçük farklar zaman içinde üssel olarak artar. Belli bir zaman sonra da, iki sistem arasında bir bağlantı kalmaz. İki doğrusal olmayan sistemin kaotik davranışlarına rağmen, uygun sinyalle sürüldükleri takdirde senkronize edilmesi mümkündür [24].



Kaos kontrol ve senkronizasyon üzerine son on yıldır yoğun bir şekilde çalışmalar devam etmektedir. Verilen bir sistemde bir sisteme master (ana) diğer eş sisteme de slave denir. Slave sistem kontrol girişleriyle sürülürse, bu iki sistemin dinamik davranışları, bir süre sonra aynı olabilir. Amaç farklı başlangıç koşullarına sahip olmasına ya da dıştan gelen karışıklıklara rağmen, master-slave n boyutlu kaotik sistemin senkronizasyonu için etki yaratmaktır [15].



Şekil 3.1. Pecora-Carroll metoduyla yapılan senkronizasyonun blok diyagramı [6]



Şekil 3.2. Kaskat bağlanmış senkronize sistem şematığı (P-C metodu) [6]

### 3.2. Senkronizasyon İçin Aktif Kontrol Tasarımı

Kaotik sistemlerin kontrol ve senkronizasyonu, 1990'da Ott tarafından OGY (Ott, Grebogi and Yorke) kapalı-döngü (closed-loop) metodu kullanılarak ve Pecora and Carroll tarafında APD metodu kullanılarak tanıtılmış olup, geniş çaplı çalışmalar sürmektedir. Aynı ve aynı olmayan kaotik sistemlerin kontrol ve senkronizasyonu için, etkili algoritma araştırmalarında, çeşitli doğrusal ve doğrusal olmayan metodlar ortaya çıkmıştır. En çok önerilen metodlar aktif kontrol ve backstepping (geri basamaklamalı) kontroldür. Aktif kontrol kullanılarak kaos senkronizasyonu, Bai and Lonngren tarafından önerilmiş olup, birbirine eş olmayan sistemlerde çok rahat kullanılabilir. Bundan dolayı aktif kontrol, son zamanlarda geniş çaplı ve etkili bir teknik olarak kabul görmüştür. Aktif kontrol metodu, zaman-uzamsal dinamik sistemleri, Rikitake iki disk dinamo jeofizik sistemi, doğrusal olmayan nükleer manyetik rezonans modellemesi Bloch denklemleri, Van der Pol Duffing osilatörü, elektrik devre modelleme "jerk" denklemleri, Chau devreleri, kompleks dinamolar, akustik yerçekimi dalgalarının doğrusal olmayan denklemleri, Qi sistemleri gibi birçok pratik sistemde uygulanır.[12]

Aktif kontrol için sürücü (drive) ve cevap (response) sistemi aşağıdaki gibi verilirse;

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -z_1 \\ \dot{y}_1 &= x_1 - y_1\end{aligned}\tag{3.1}$$

$$\dot{z}_1 = ax_1 + y_1^2 + bz_1 \quad \text{sürücü sistemi ve}$$

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 &= -z_2 + u_1 \\ \dot{y}_2 &= x_2 - y_2 + u_2\end{aligned}\tag{3.2}$$

$$\dot{z}_2 = ax_2 + y_2^2 + bz_2 + u_3 \quad \text{cevap sistemi olursa;}$$

$u_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) aktik kontrol foksionları,  $a$  ve  $b$  sistem parametreleridir.

Kaos senkronizasyon hataları, cevap sisteminden sürücü sistemi çıkartılarak aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{aligned} e_x &= x_2 - x_1 \\ e_y &= y_2 - y_1 \\ e_z &= z_2 - z_1 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \dot{e}_x &= -e_z + u_1 \\ \Rightarrow \dot{e}_y &= e_x - e_y + u_2 \\ \Rightarrow \dot{e}_z &= ae_x + y_2^2 - x_2^2 + be_z + u_3 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Kontrol fonksiyonları tekrar tanımlanırsa;

$$\begin{aligned} u_1 &= v_1 \\ u_2 &= v_2 \\ u_3 &= v_3 - (y_2^2 - x_2^2) \end{aligned} \quad (3.5)$$

(3.4) denklemleri yerine (3.5) denklemleri yerleştirilirse (3.6) eşitlikleri elde edilir.

$$\begin{aligned} \Rightarrow \dot{e}_x &= -e_z + v_1 \\ \Rightarrow \dot{e}_y &= e_x - e_y + v_2 \\ \Rightarrow \dot{e}_z &= ae_x + be_z + v_3 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Hata dinamiklerini kontrol etmek için sabit bir  $A$  matrisi seçilir.  $A$  matrisi, sistemin özdeğerleri negatif olacak şekilde seçilir.

$$[v_1, v_2, v_3]^T = A[e_x, e_y, e_z]^T$$

Sabit bir senkronize durum için, A matrisi Routh-Hurwitz kriterine uygun olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 1 \\ -1 & \lambda_2 + 1 & 0 \\ -a & 0 & \lambda_3 - b \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} u_1 &= \lambda_1 e_x + e_z \\ u_2 &= -e_x + (\lambda_2 + 1)e_y \\ u_3 &= -ae_x + (\lambda_3 - b)e_z - e_y(e_y + 2y_1) \end{aligned} \quad (3.8)$$

(3.6) Sisteminin asimptotik kararlı olabilmesi için tüm özdeğerleri negatif olması gerekir.  $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (-1, -1, -1)$  olarak seçilebilir.

## BÖLÜM 4. KAOTİK RUCKLIDGE SİSTEMİ İNCELENMESİ VE AKTİF KONTROL İLE SENKRONİZASYONU

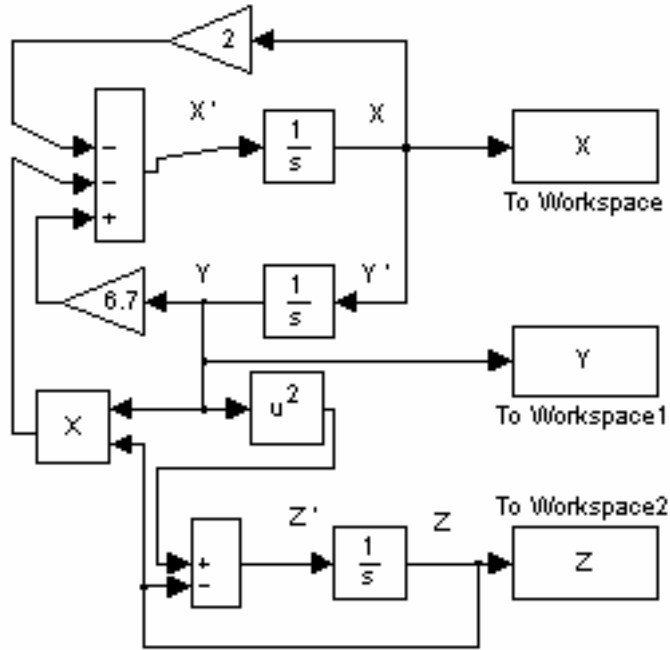
### 4.1. Kaotik Rucklidge Sistemi İncelenmesi

Rucklidge sistemi, 1992 yılında Rucklidge tarafından bulunmuştur. Rucklidge sistemi çift konveksiyon işlemine bir model teşkil eder.

Denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -K \cdot x + L \cdot y - y \cdot z \\ \dot{y} &= x \\ \dot{z} &= -z + y^2\end{aligned}\quad (4.1)$$

#### 4.1.1. Kaotik Rucklidge sisteminin Pecora-Carroll yöntemi ile Matlab-Simulink modellenmesiyle incelenmesi

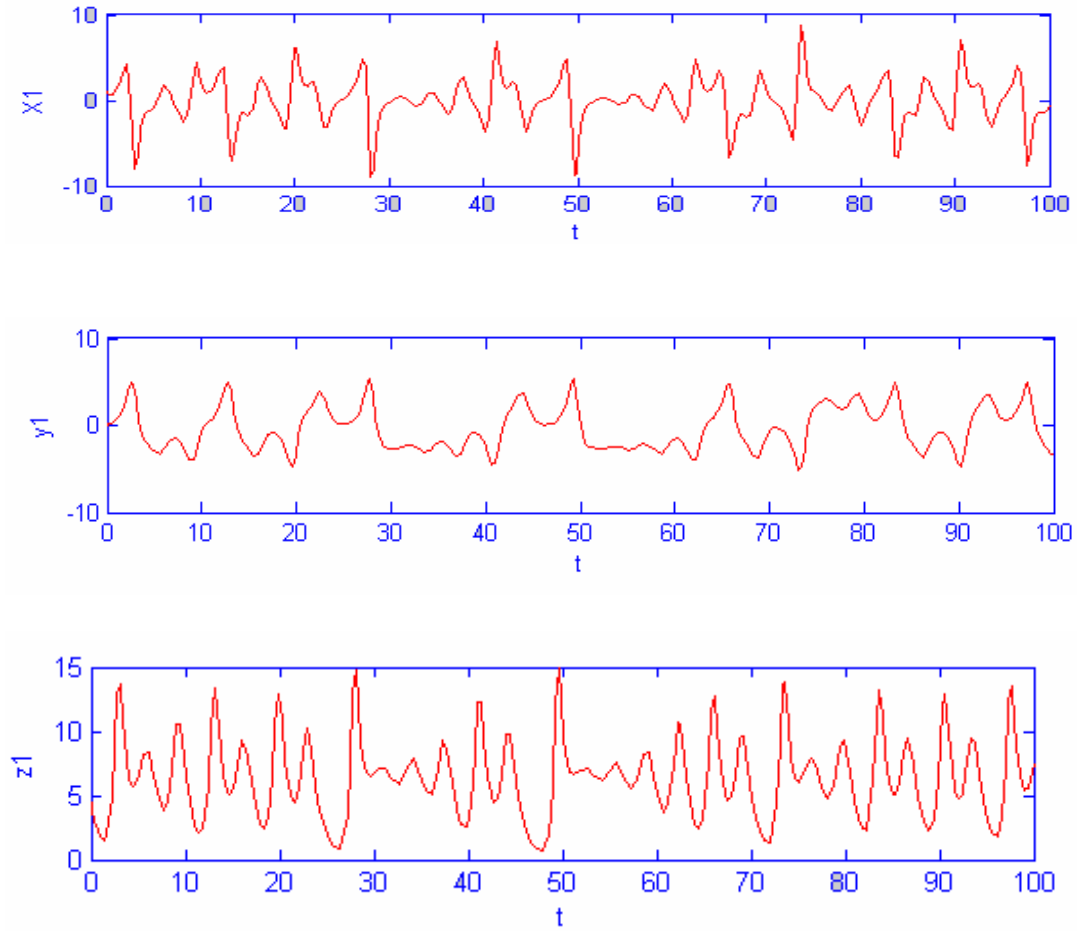


Şekil 4.1. Rucklidge Sisteminin Matlab-Simulink Modellemesi

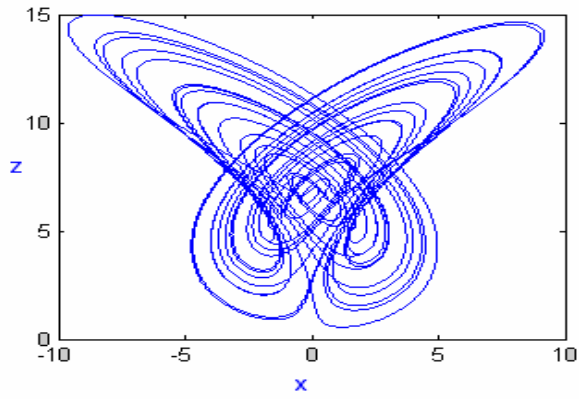
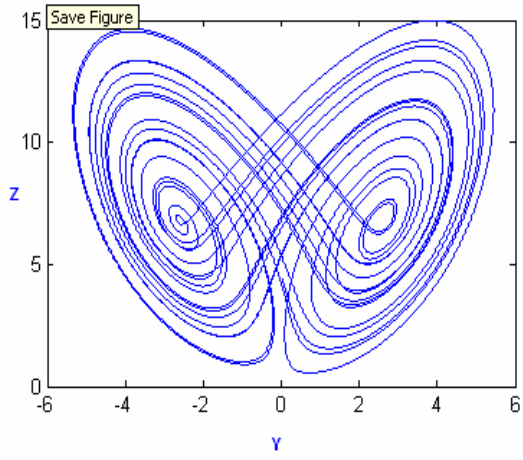
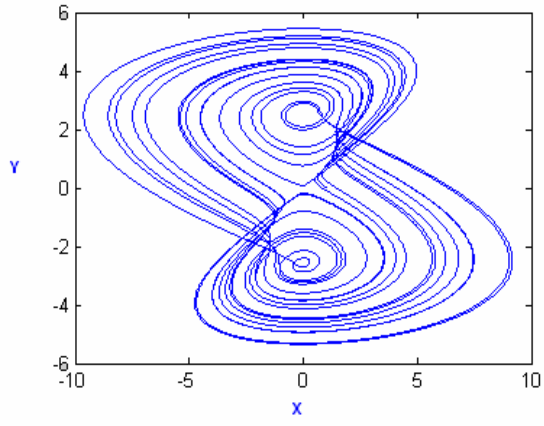
$x, y, z$  durum deęişkenleri

Parametreleri ;  $K = 2$  ,  $L = 6.7$

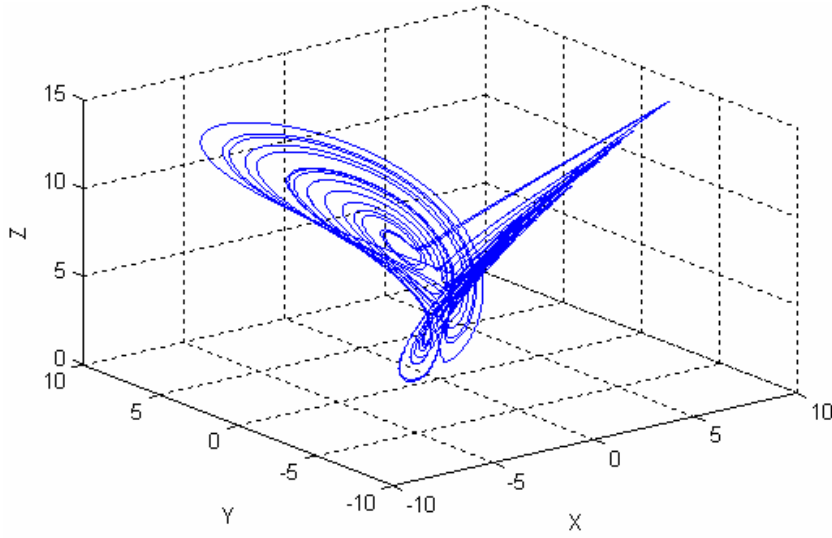
Başlangıç şartları ise  $x_0 = 1$  ,  $y_0 = 0$  ,  $z_0 = 4.5$  olarak verilirse;



Şekil 4.2. Rucklidge Sisteminin  $x_1, y_1, z_1$  değişkenlerinin zamana göre değişimi



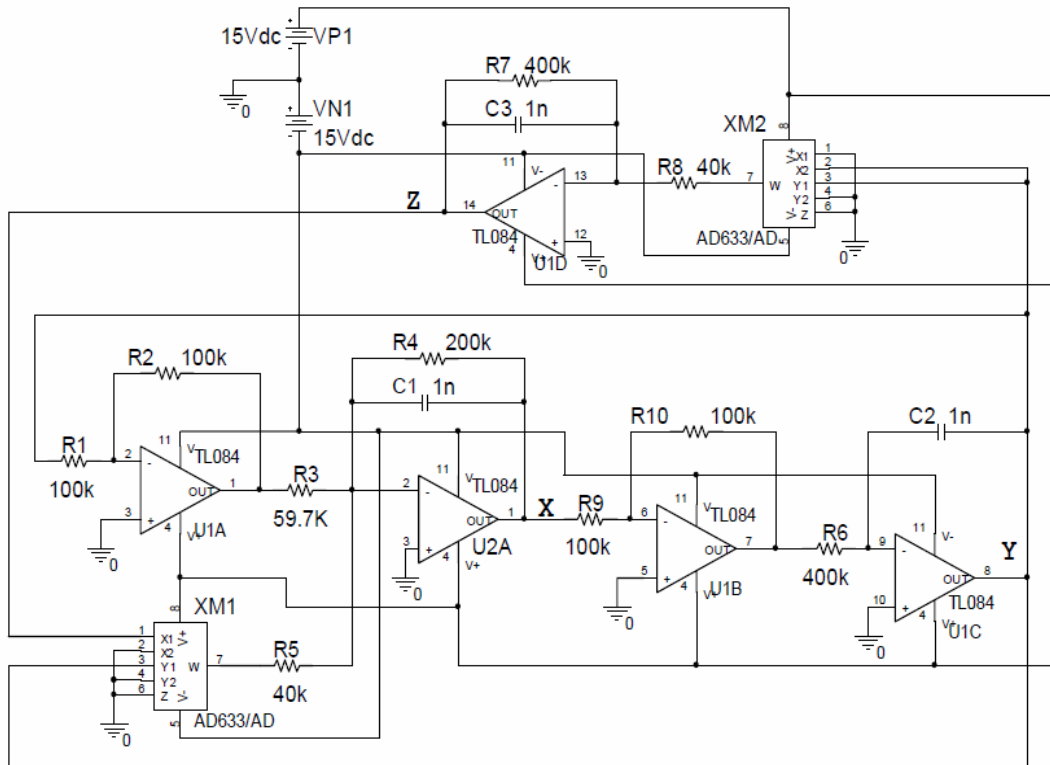
Şekil 4.3. a Rucklidge Çekicisinin X-Y kaotik çekicileri  
 b Rucklidge Çekicisinin Y-Z kaotik çekicileri  
 c Rucklidge Çekicisinin X-Z kaotik çekicileri



Şekil 4.4. Rucklidge çekicisinin üç boyutlu x-y-z kaotik yörüngesi (faz portresi)

#### 4.1.2. Rucklidge devresinin Pspice simülasyonu ile incelenmesi

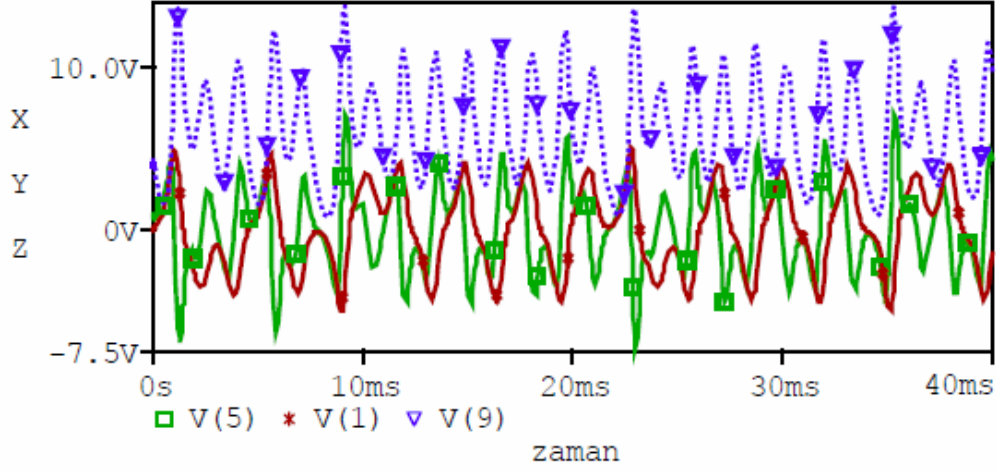
Rucklidge sisteminin elektronik devre gerçekleştirilmesi Şekil 4.5’de verilmiştir.



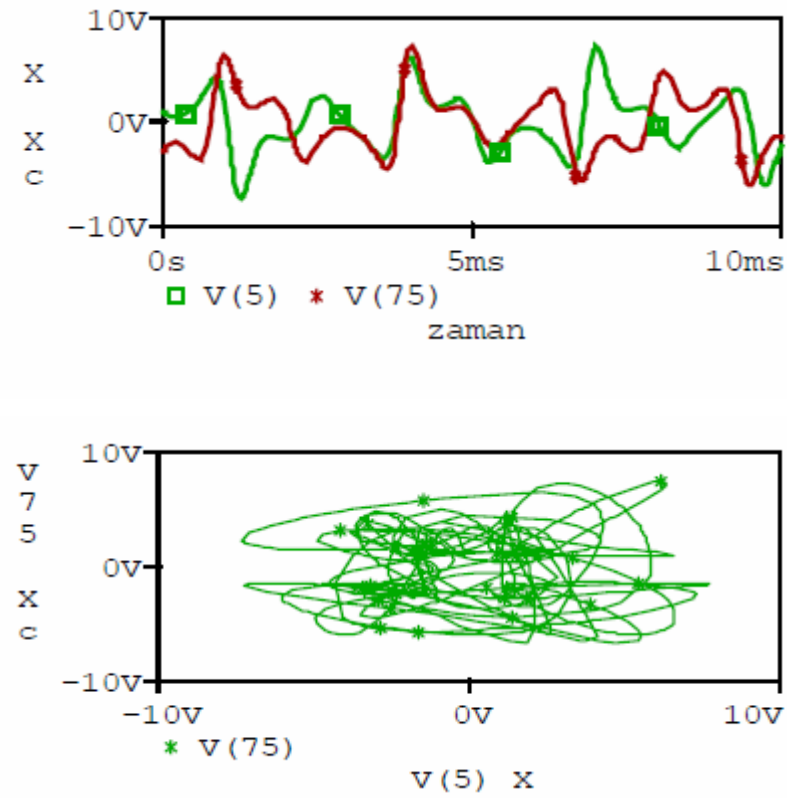
Şekil 4.5. Rucklidge sisteminin Pspice simülasyon devresi [18]



Şekil 4.5'deki Rucklidge Pspice simülasyon devresinin sonuçları Şekil 4.6 , Şekil 4.7'de ve Şekil 4.8'de verilmiştir.

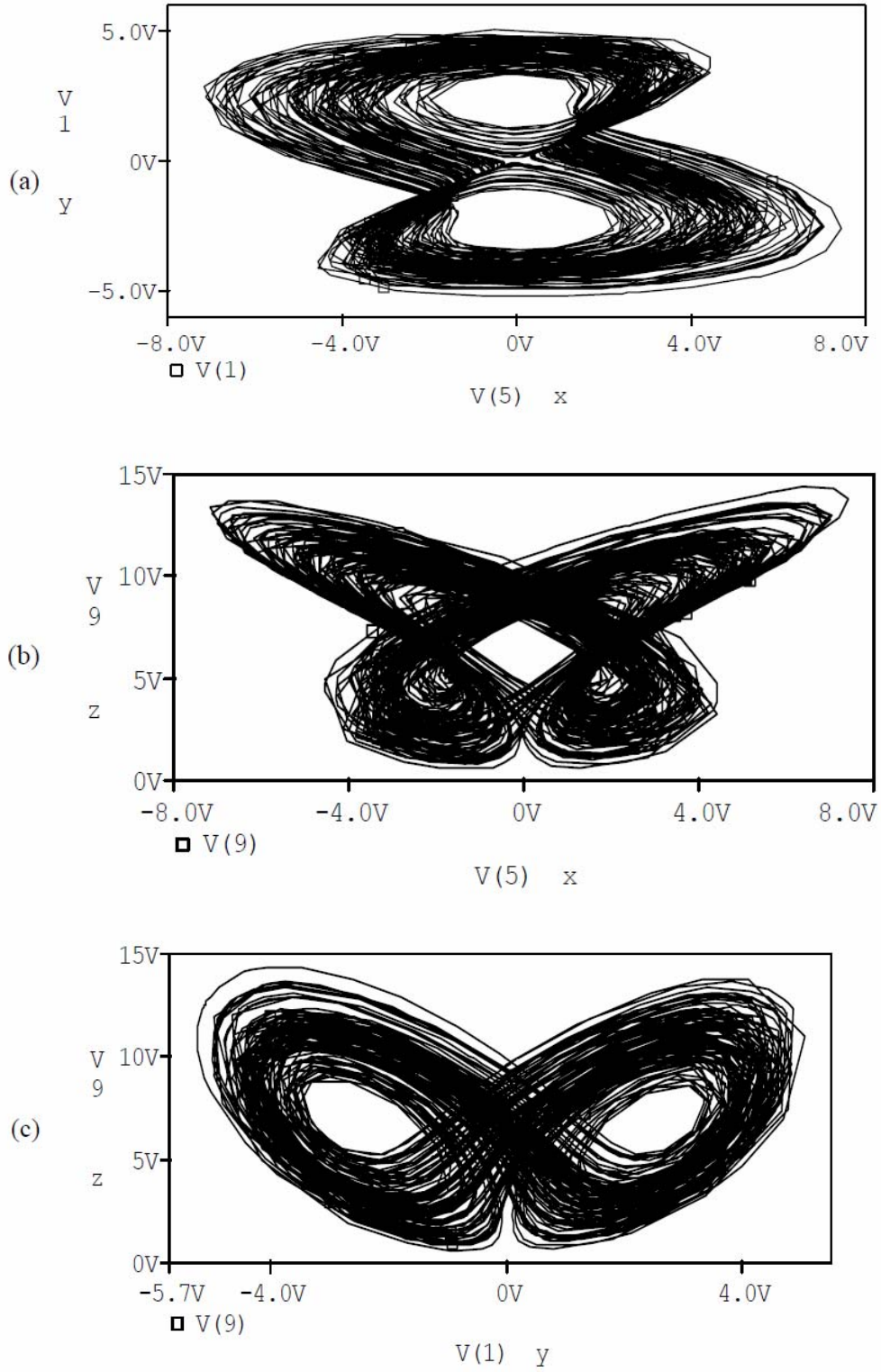


Şekil 4.6. Rucklidge devresinin x, y, z değişkenlerinin zamana göre değişimi[18]



Şekil 4.7. Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyon sonuçları

- (a) Senkronizasyon öncesi Sürücü(X) ve Cevap(Xc) kaotik sinyallerin zamana göre değişimi  
 (b) Senkronizasyonsuz X-Xc değişimi [18]



Şekil 4.8. Rucklidge devresi pspice simülasyon sonuçları a)x-y, b)x-z, d) y-z kaotik çekicileri[18]

## 4.2. Kaotik Rucklidge Sisteminin Aktif Kontrol İle Senkronizasyonu

Pecora ve Carroll (1990), kaos senkronizasyonunda çalışma yapmadan önce, Kaos senkronizasyonundaki çalışmalar, yaygın ve yoğun bir şekilde literatürde devam etmiştir. Son yirmi yıl içinde, kaotik sistemlerin senkronizasyonu için zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol, veri örnekleme geri beslemeli kontrol, PC kontrol, OGY kontrol, uyarlamalı kontrol, pasif kontrol, aktif kontrol gibi birçok yöntem önerilmiştir[16]

Farklı başlangıç şartlarına sahip olan iki kaotik Rucklidge sistemini senkronize etmek için aktif kontrol tekniği uygulanmıştır. Bu iki sistemin senkronizasyonunu sağlamak için aktif kontrole uygun kontrolörler kullanılmıştır ve aktif kontrolle sürücü ve cevap sistemi arasındaki hatanın sifira yakınsadığı bilgisayar benzetimleri ile görülmüştür. Böylelikle iki Rucklidge sisteminin senkronizasyonunun sağlandığı teorik ve görsel olarak gösterilmiştir.

Çoğunlukla kaos senkronizasyonunda sistemler master-slave ya da sürücü-cevap şeklinde formalize edilir. Belirli bir kaotik sisteme, master ya da sürücü, diğerine de slave ya da cevap deniyorsa, master sisteminin çıkışı, slave sistemi kontrol eder yani slave sisteminin çıkışı asimptotik olarak, master sisteminin çıkışını izler.

### 4.2.1. Kaotik Rucklidge sisteminin, Matlab-Simulink P-C senkronizasyon modellemesi

İki kaotik Rucklidge sistemlerine, aktif kontrol yöntemi uygulanırken de, bir sürücü-cevap ( master - slave) sistemi uygulanır.

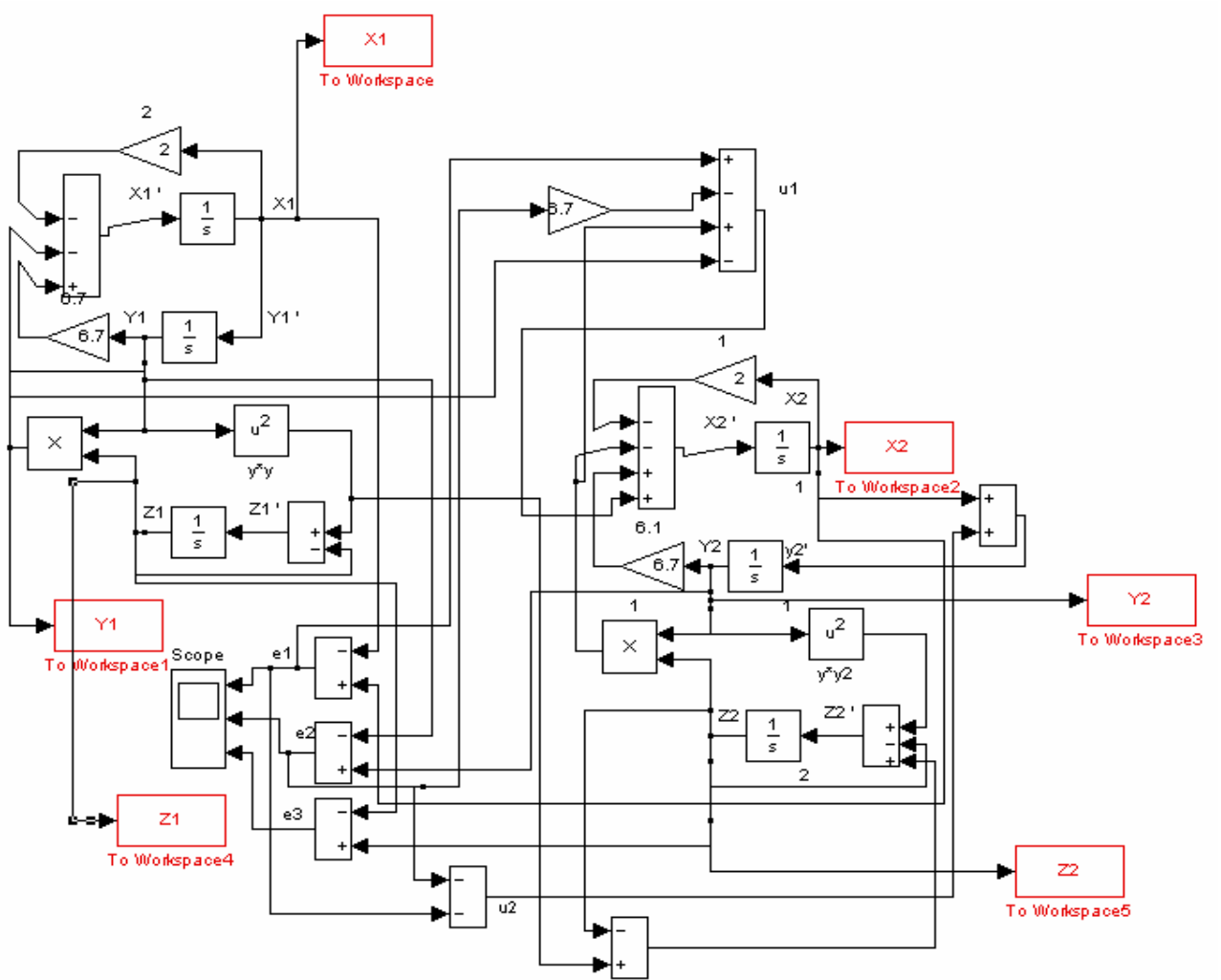
Sürücü (master) sistemi, aşağıdaki Rucklidge dinamikleriyle ifade edilir.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -K \cdot x_1 + Ly_1 - y_1 z_1 \\ \dot{y}_1 &= x_1 \\ \dot{z}_1 &= -z_1 + y_1^2 \end{aligned} \tag{4.2}$$

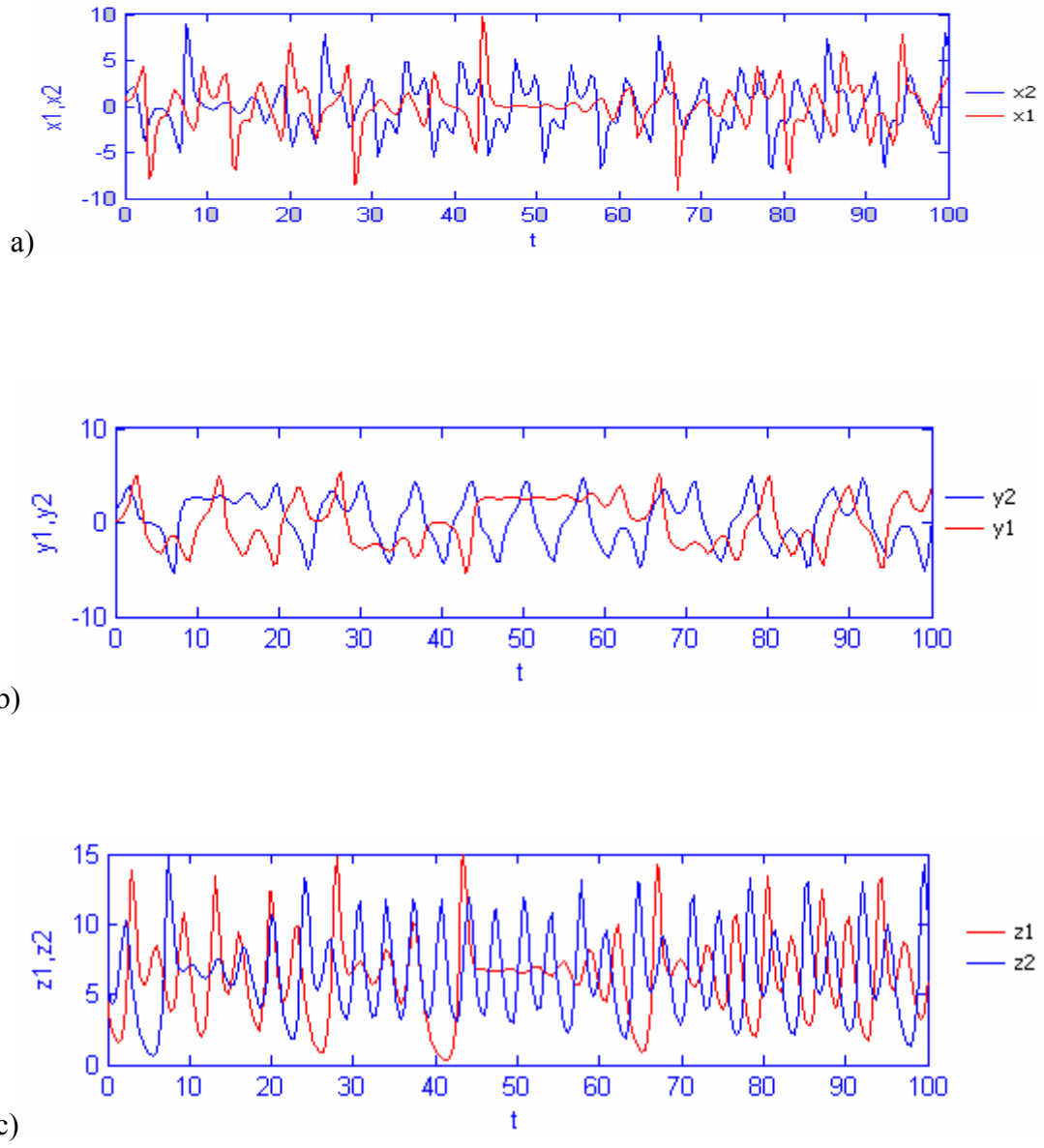
Cevap (slave) sistemi, Rucklidge dinamikleriyle (4.3) ifade edilir.

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 &= -K \cdot x_2 + Ly_2 - y_2 z_2 + u_1(t) \\ \dot{y}_2 &= x_2 + u_2(t) \\ \dot{z}_2 &= -z_2 + y_2^2 + u_3(t)\end{aligned}\quad (4.3)$$

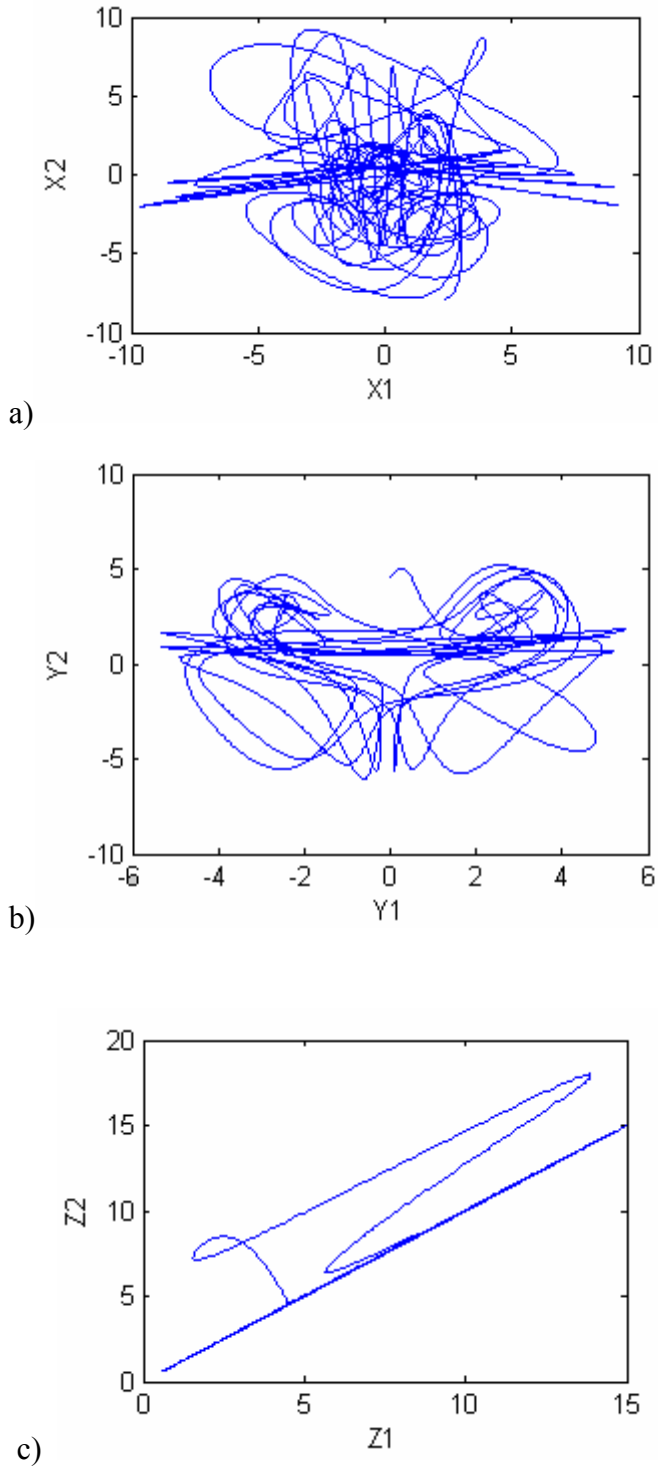
(4.3) denklemlerinde kullanılan  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  ve  $u_3(t)$ , senkronizasyonu sağlamak için kullanılan kontrol fonksiyonlarıdır.



Şekil 4.9. Rucklidge sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi



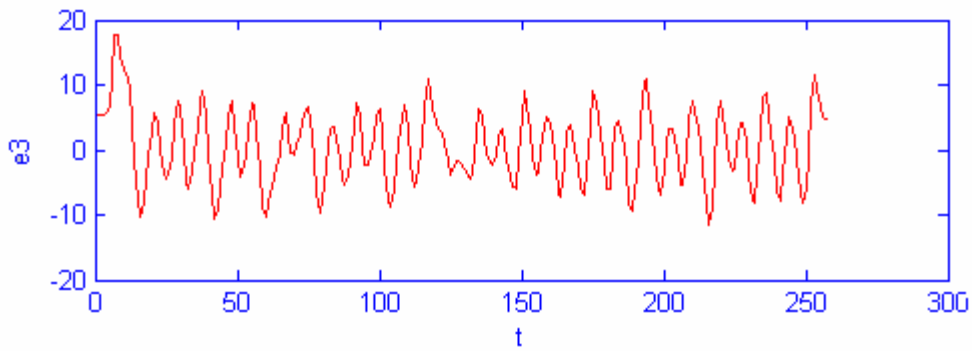
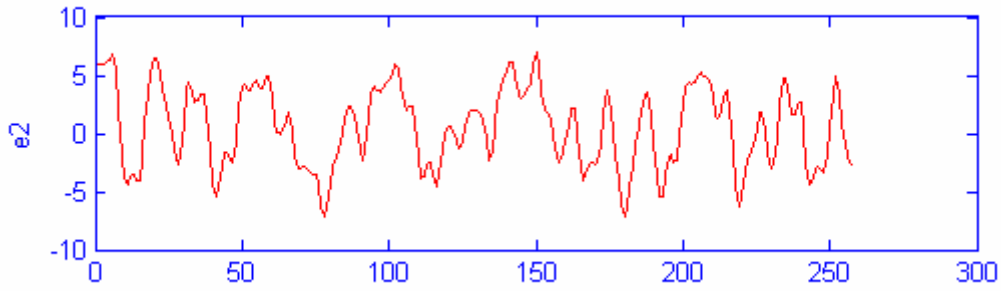
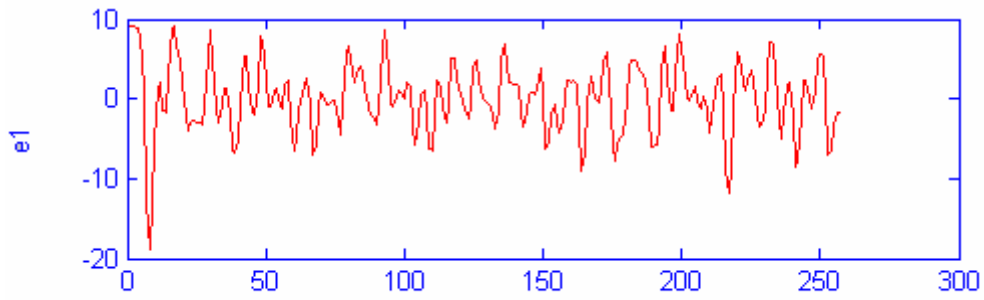
Şekil 4.10. a.x1,x2 Senkronizasyondan önceki zaman serileri  
 b.y1,y2 Senkronizasyondan önceki zaman serileri  
 c.z1,z2 Senkronizasyondan önceki zaman serileri



Şekil 4.11. Rucklidge Çekicisinin senkronizasyondan önce a)X1-X2, b)Y1-Y2, c)Z1-Z2 değişimi

Kaos senkronizasyon hataları; cevap sisteminden (4.3), sürücü sistemi (4.2) çıkartılarak aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{aligned}
 e_1 &= x_2 - x_1 & \dot{e}_1 &= \dot{x}_2 - \dot{x}_1 \\
 e_2 &= y_2 - y_1 & \dot{e}_2 &= \dot{y}_2 - \dot{y}_1 \\
 e_3 &= z_2 - z_1 & \dot{e}_3 &= \dot{z}_2 - \dot{z}_1
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$



Şekil 4.12. Rucklidge kaotik sisteminin kontrolör uygulanmadan önceki hata işareti a)e1,b)e2, c)e3

Hata dinamikleri, cevap sisteminden (4.3), sürücü sistemi (4.2) çıkartılarak, aşağıdaki denklemlerde gösterilir.

$$\begin{aligned}\dot{e}_1 &= -Ke_1 + Le_2 + y_1z_1 - y_2z_2 + u_1(t) \\ \dot{e}_2 &= x_2 - x_1 + u_2(t) \quad \dot{e}_2 = e_1 + u_2(t) \\ \dot{e}_3 &= -e_3 + y_2^2 - y_1^2 + u_3(t) = -e_3 + e_2(y_2 + y_1) + u_3(t)\end{aligned}\tag{4.5}$$

$u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  ve  $u_3(t)$  kontrol fonksiyonları,  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$ ,  $v_3(t)$  kontrol girişleri ile (4.6) şeklinde ifade edilir.

$$\begin{aligned}u_1(t) &= y_2z_2 - y_1z_1 + v_1(t) \\ u_2(t) &= v_2(t) \\ u_3(t) &= y_1^2 - y_2^2 + v_3(t)\end{aligned}$$

Kontrol fonksiyonlarını (4.6) denklemlerinde yerine koyarsak hata denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned}\dot{e}_1 &= -Ke_1 + Le_2 + v_1(t) \\ \dot{e}_2 &= e_1 + v_2(t) \\ \dot{e}_3 &= -e_3 + v_3(t)\end{aligned}\tag{4.7}$$

Hata sistemini kontrol eden  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$  ve  $v_3(t)$  kontrol girişleri hatanın sıfıra yakınsamasını sağlar ve bu da senkronizasyonun sağlandığını gösterir.

Hata dinamiklerini kontrol etmek için sabit bir A matrisi seçilir. A matrisi, sistemin özdeğerleri negatif olacak şekilde seçilir [17].

$$[v_1, v_2, v_3]^T = A[e_1, e_2, e_3]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 + K & -L & 0 \\ -1 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 + 1 \end{bmatrix}$$



(4.7) sisteminin asimptotik kararlı olabilmesi için tüm özdeğerleri negatif olması gerekir.  $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = (-1, -1, -1)$  olarak seçilebilir.

Hata dinamik sistemi asimptotik kararlı olması için (4.8), (4.10), (4.12) denklemleri sağlanmalıdır.

$$\dot{e}_1 = -e_1 \quad (4.8)$$

$$-\dot{e}_1 = -Ke_1 + Le_2 + y_1z_1 - y_2z_2 + u_1(t) \quad \text{buradan } u_1(t);$$

$$u_1(t) = -e_1 + Ke_1 - Le_2 - y_1z_1 + y_2z_2 = e_1(K - 1) - Le_2 - y_1z_1 + y_2z_2$$

(4.9) olarak bulunur.

$$\dot{e}_2 = -e_2 \quad (4.10)$$

$$\dot{e}_2 = e_1 + u_2(t) = -e_2 \quad \text{buradan } u_2(t);$$

$$u_2(t) = -e_2 - e_1 \quad (4.11) \text{ olarak bulunur.}$$

$$\dot{e}_3 = -e_3 \quad (4.12)$$

$$\dot{e}_3 = -e_3 = -e_3 + e_2(y_2 + y_1) + u_3(t) \quad \text{ve buradan } u_3(t);$$

$$u_3(t) = -e_3 + e_3 - e_2(y_2 + y_1) \quad (4.13) \text{ olarak bulunur.}$$

Kontrol fonksiyonları, cevap (slave) denklemlerinde yerine yazılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= -Kx_2 + Ly_2 - y_2z_2 + e_1(K - 1) - Le_2 - y_1z_1 + y_2z_2 \\ \dot{y}_2 &= x_2 - e_2 - e_1 \end{aligned} \quad (4.14)$$

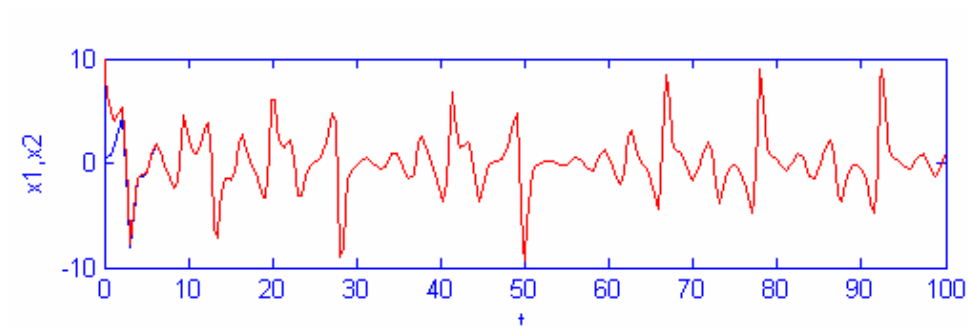
$$\dot{z}_2 = -z_2 + y_2^2 - e_2(y_2 + y_1)$$

(4.14) denklemlerinde,  $e_1, e_2, e_3$  yerlerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= y_1(L - z_1) + x_1(1 + K) - x_2 \\ \dot{y}_2 &= x_2 - y_2 + y_1 - x_2 + x_1 = x_1 + y_1 - y_2 \end{aligned}$$

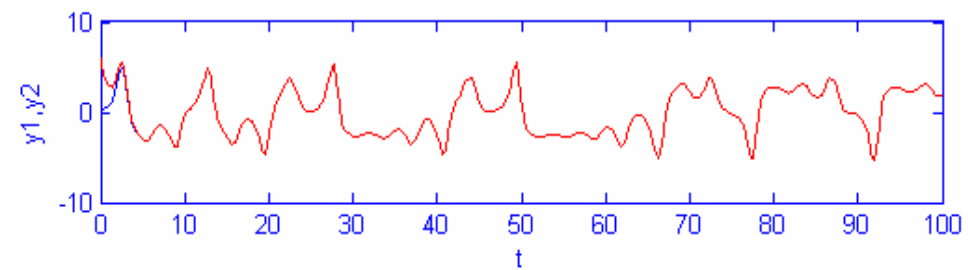
$$\dot{z}_2 = -z_2 + y_2^2 - e^2(y_2 + y_1) = -z_2 + y_1^2 \quad (4.15) \text{ elde edilir.}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{z}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{z}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K & L & -y_1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & y_1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ (K+1) & L & -y_1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & y_1 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$



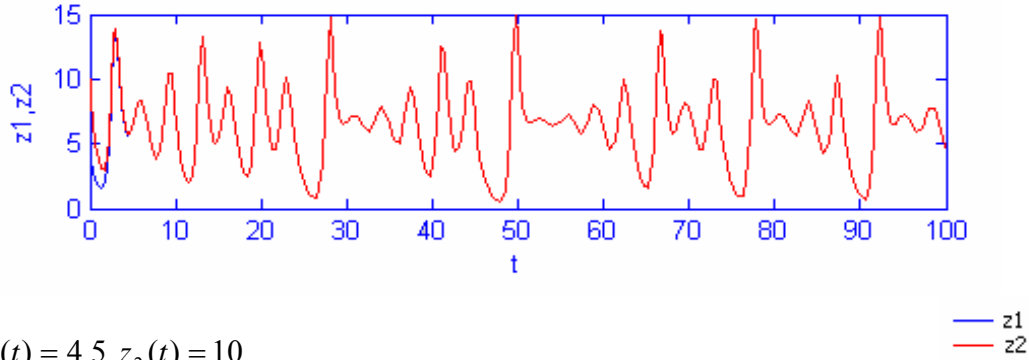
— x1  
— x2

$$x_1(0) = 1, x_2(0) = 10$$



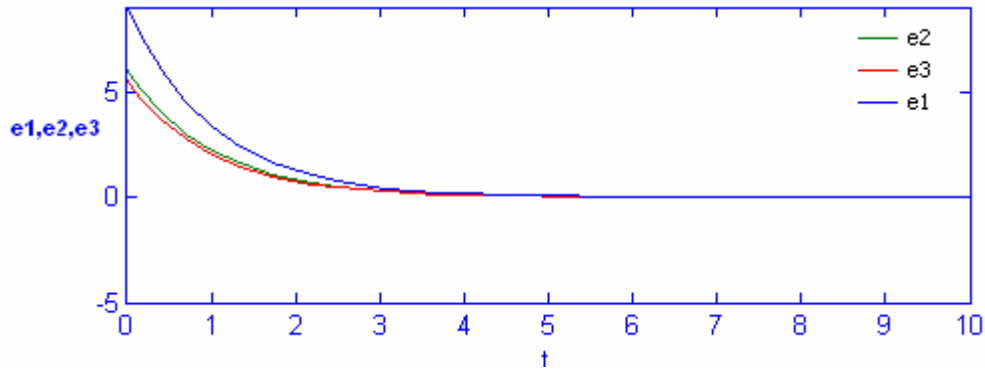
— y1  
— y2

$$y_1(0) = 0, y_2(6)$$



$$z_1(t) = 4.5, z_2(t) = 10$$

Şekil 4.13 Kontrolör aktif iken sürücü (master) ve cevap (slave) sistemlerinin zaman serileri



Şekil 4.14. Kontrolör uygulandıktan sonra sürücü ve cevap sistemlerinin arasındaki senkronizasyon hatası

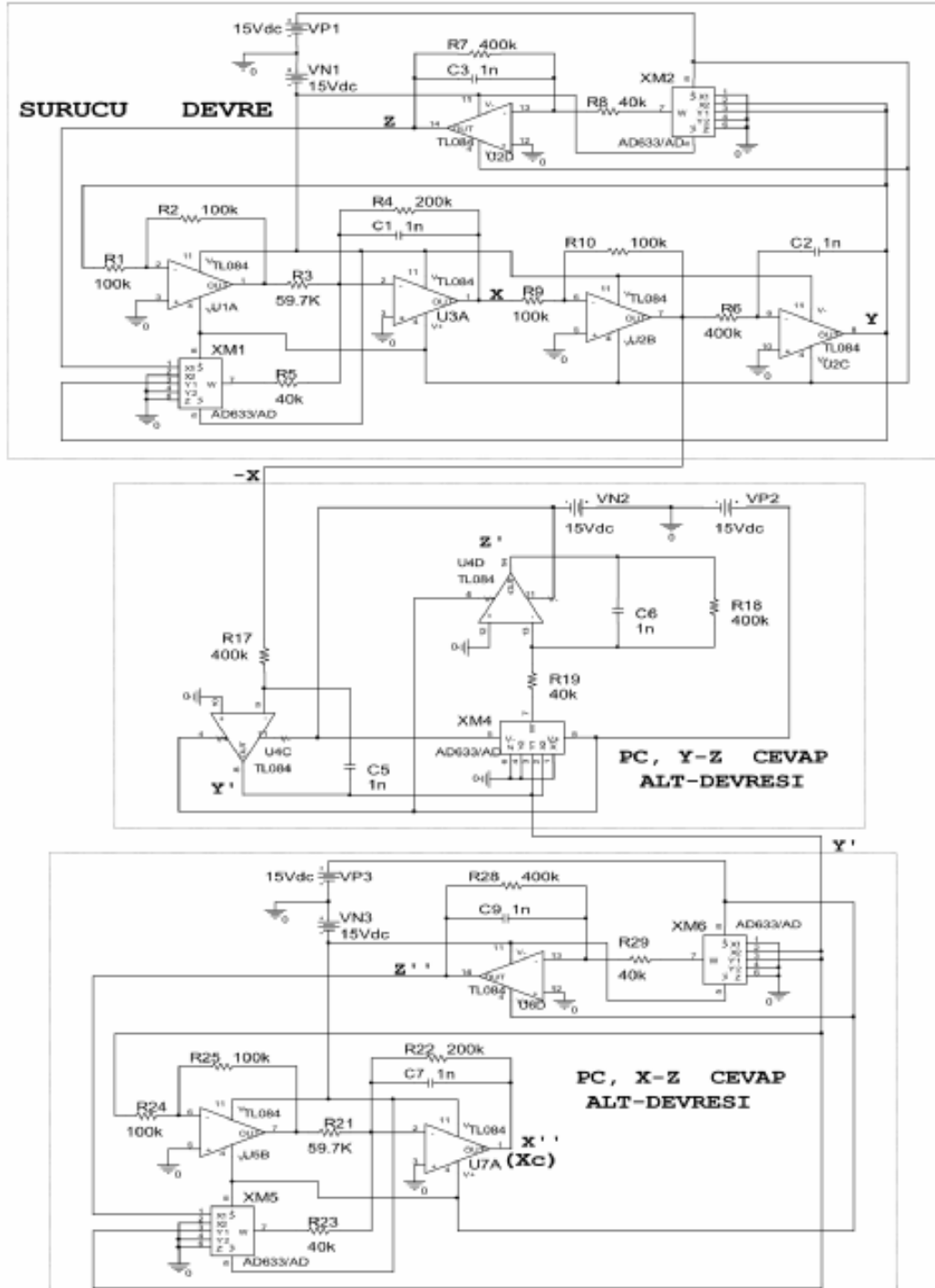
Şekil 4.10’da senkronizasyondan önceki sürücü ve cevap sisteminin zaman serilerini ve Şekil 4.12’de iki sistem arasındaki hata işaretini göstermektedir.

Kaotik sistemler, başlangıç şartlarına oldukça duyarlı olan dinamik sistemlerdir. Şekil 4.13’de verilen başlangıç şartları ile kontrolör aktif iken sürücü (master) ve cevap (slave) sistemlerinin zaman serileri verilmiştir. Şekil 4.14’de ise kontrolörler aktif iken sürücü ve cevap sistemi arasındaki senkronizasyon hatasını göstermektedir.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 ’den sürücü sistemin ve cevap sisteminin senkronize olduğu görülmektedir.

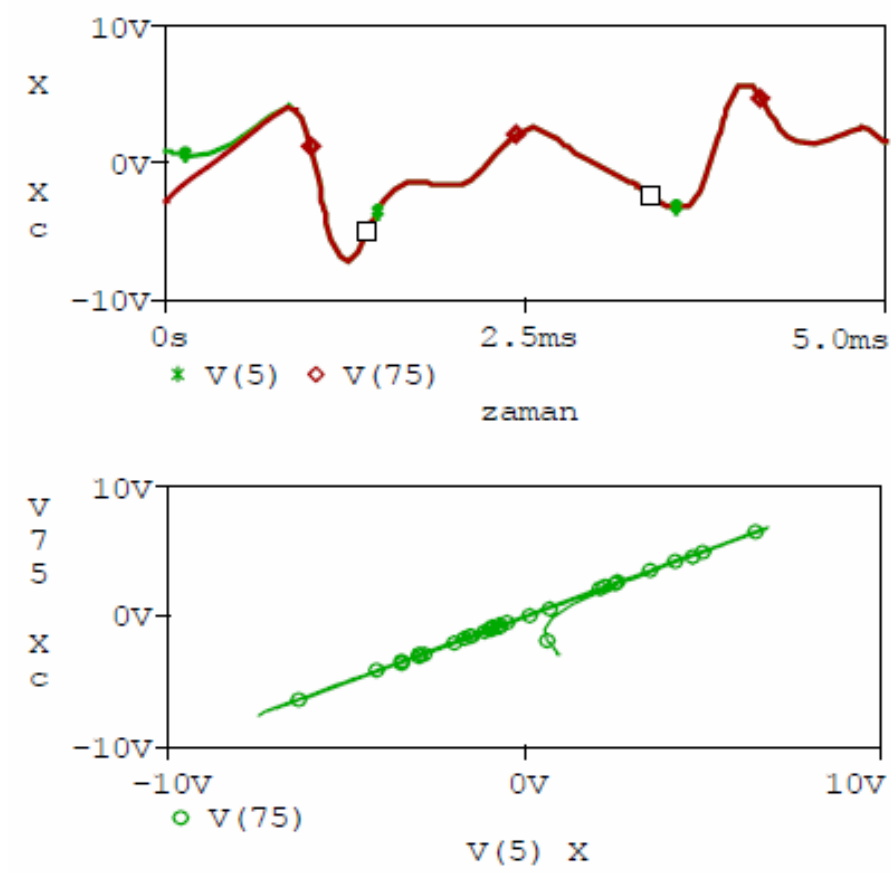
#### 4.2.2. Kaotik Rucklidge devresinin Pspice simülasyonu senkronizasyonu

Rucklidge sisteminin Pspice P-C senkronizasyon devresi Şekil 4.15 'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi [18]

Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyonu sonuçları Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyonu sonuçları

(a) Sürücü (X) ve Cevap (Xc) kaotik sinyalleri ile Senkronizasyon hatası ( $e = X - Xc$ )'nın zamana göre değişimi

(b) X-Xc senkronizasyonu [18]

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada iki farklı başlangıç şartlarına sahip üç boyutlu Rucklidge sisteminin senkronizasyonu için aktif kontrol uygulanmıştır. Aktif kontrol teorisine göre kapalı çevrim sistemin özdeğerleri -1 olacak şekilde doğrusal olmayan kontrolörler tasarlanmıştır. Bu tasarlanan aktif kontrolörler  $t=0$  anında sisteme eklenmiştir. Kontrolörler aktif edildikten sonra sistemlerin senkronize olduğu görülmüştür.

Bilgisayar benzetimleri ile iki farklı başlangıç noktasına sahip üç boyutlu Rucklidge sisteminin aktif kontrol ile senkronizasyonu sağlandığı gösterilmiştir.

Bu tezde literatür taramasından sonra giriş bölümünde, kaosun tanımı ve açıklaması, günümüze kadar süre gelen kaos konulu araştırmalar ve araştırmacılar, kaosun tarihçesi anlatılmıştır. Ayrıca kaos oluşturan durumlar ve kaotik durumlara örnek verilmiş, kaotik sistemlerin özellikleri, kaosun kullanım alanları, kaotik sistemlerin kullanıldığı bilimsel yöntemler ve bu bilimsel yöntemlerdeki rollerinden bahsedilmiştir.

Lorenz sistemi, Duffing sistemi, Rössler sistemi, Chen sistemleri, Rikitake sistemi, Burke-Shaw sistemi, Van Der Pol sistemi, Malasoma 2000 sistemi, Chua sistemi, Wien-Köprü osilatörü, Colpitts sistemi gibi kaotik sistemlerin, bu sistemleri tanımlayan doğrusal olmayan denklem sistemlerinden yararlanılarak Pecora-Carrol yöntemiyle Matlab-Simulink ortamında modellenmesi yapılmıştır (Şekil 2.21, 2.26, 2.13, 2.15, 2.17, 2.19, 2.23, 2.29). Bu modelleme neticesinde bu sistemlerin zamana göre kaotik sinyalleri (Şekil 2.2, 2.4, 2.7, 2.14, 2.18, 2.20, 2.24, 2.28, 2.35) , 3 boyutlu kaotik faz portreleri (Şekil 2.9-2.21) ve kaotik çekicileri (Şekil 2.3, 2.8, 2.14, 2.16, 2.22, 2.25, 2.30, 2.35) gösterilmiştir.

Sonraki bölümlerde, senkronizasyon tanımlanmış, yöntemleri incelenmiş senkronizasyon için, geniş çaplı ve etkili bir teknik olarak kabul görmüş aktif kontrol yöntemi incelenmiştir. Aktif kontrolle senkronizasyon tanımlanmıştır.

Rucklidge kaotik sistemi incelenmiş, Rucklidge sisteminin Pecora-Carroll yöntemi ile Matlab-Simulink ortamında modellenmiş (Şekil 4.1) , bu simülasyondan durum denklemleriyle  $x_1, y_1, z_1$  değişkenlerinin zamana göre değişim sinyalleri (Şekil 4.2), Rucklidge Çekicisinin X-Y , Y-Z , X-Z kaotik çekicileri (Şekil 4.3), Rucklidge çekicisinin üç boyutlu x-y-z kaotik yörüngesi (faz portresi) (Şekil 4.4) elde edilmiştir. Ayrıca Rucklidge sisteminin Pspice elektronik devre gerçekleştirilmesi verilmiştir (Şekil 4.5). Rucklidge sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyon sonuçları (Şekil 4.6- 4.8) elde edilmiştir.

Daha sonra bu çalışmaların ışığında, iki kaotik Rucklidge sisteminin aktif kontrol ile senkronizasyonu sağlanmıştır. Şekil 4.9'da Rucklidge sisteminin Simulink P-C senkronizasyon modellemesi verilmiştir. Bu sonuç gösterimleri, (Şekil 4.13, 4.14) Matlab-simulink modellenmesiyle ve Pspice simülasyonu ile (Şekil 4.15) incelenmiş senkronizasyondan önce ve senkronizasyondan sonra yani sisteme kontrolör eklemeyen önce ve kontrolör ekledikten sonra olmak üzere simülasyon sonuçları verilmiştir (Şekil 4.10- 4.16)

## KAYNAKLAR

- [1] CHAU, K.T., WANG, Z. Chaos In Electric Drive Systems, Analysis, Control and Application, John Wiley & Sons (Asia), s.21-26, 2011
- [2] ERDEMİR, G., Yapı Sistem Analizi, Akü , Fen bilimleri enstitüsü ,Yapı Eğitimi Bölümü ders sunumu, s.14, 2008
- [3] YILMAZ, D.,GÜLER, N.F., Kaotik Zaman Serilerinin Analizi Üzerine Bir Araştırma,Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak. Der., Cilt:21, No:4, Say: 759-779, 2006
- [4] GÖKYILDIRIM, A., 2. Ve 3. Derece En Basit Kaotik Akışlı Sistemlerin Senkronizasyonu Ve Güvenli Haberleşmede Kullanılması, Y.Lisans, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [5] UYAROĞLU, Y., EMİROĞLU, S., Control of Rabinovich chaotic system based on passive control, 2010
- [6] UYAROĞLU, Y., PEHLİVAN, İ. , Rikitake attractor and it's synchronization application for secure communication systems, 2007
- [7] UYAROĞLU Y., PEHLİVAN, İ. , A New Chaotic Attractor From General Lorenz System, Turk J Elec Eng & Comp Sci, Vol.18, No.2, 2010
- [8] UYAROĞLU, Y., GÜNDÜZ, S. , YIĞINÇ, İ.H. ve KESKİN, H., Kaos Teorisindeki Lorenz Eşitliklerinin Matlab Ve Simulink Ortamında Benzetimi İle Karakterize Edilmesi, Simulation And Characterization Of Lorenz Equations In Matlab And Simulink Environment At Chaos Theory, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 2009
- [9] YAMAÇLI, V. , ABACI, K. ve KÖSE, E., Chua Devresinin Gerçeklenmesi ve Simülasyonu, 2011
- [10] KARAKAYIŞ, M., UYAROĞLU, Y. , Synchronization Of Two Chaotic Behaviour Colpitts Oscillator, 2009
- [11] KARAUZ, B., Mühendislikteki Kaotik Devreler Ve Sistemlerin Araştırılması İçin Elektronik Tabanlı Eğitim Setlerinin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2006



- [12] VINCENT, U.E., Chaos Synchronization Using Active Control and Backstepping Control: A Comparative Analysis, Nonlinear Analysis: Modelling and Control, Department of Physics Olabisi Onabanjo University, 2008
- [13] CUOMO, KM., OPPENHEIM, A. V., Circuit Implementation of Synchronized Chaos with applications to Communication, Phys. Rev. Lett. ,71:65-68, 1993
- [14] KOCAREV, L., HALLE, KS., ECKERT, K., CHUA, L.O., PARLITZ, U., Experimental Demonstration of Secure Communications via Chaotic Synchronization, International J. of Bifurcation&Chaos, 2:709-713, 1992
- [15] KHADEMİAN, B. , Mohammad Haeri, Member, IEEE, Chaos Synchronization Using Sliding Mode Technique, World Academy of Science, Engineering and Technology , 2005
- [16] VAİDYANATHAN, S. , Sliding Mode Controller Design For The Global Chaos Synchronization Of Rucklidge Chaotic Systems, International Journal on Bioinformatics & Biosciences (IJBB) Vol.1, No.1, 2011
- [17] UYAROĞLU, Y., EMİROĞLU, S., Kaotik Burke-Shaw Çekicisinin Aktif Kontrol ile Senkronizasyonu , Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
- [18] PEHLİVAN, İ., Yeni Kaotik Sistemler: Elektronik Devre Gerçeklemeleri, Senkronizasyon Ve Güvenli Haberleşme Uygulamaları, Doktora, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [19] RUELLE, D., Raslantı ve Kaos, Tübitak Yayınları, 2010
- [20] GLEICK J., Kaos, Tübitak Yayınları, 2008
- [21] HAMAMCI, S., UÇAR, A.ve KÖKSAL, M., Değişken bobinli bir Chua Devresinde deney ve simulasyonla kaosun gözlemlenmesi, sf.43, 2007
- [22] LORENZ, E., Transactions of the New York Academy of Sciences, s.409, 1963
- [23] CHEN, G., UETA T., Yet another chaotic attractor, Int. J. Bifurcation and Chaos, 9:1465-1466, 1999
- [24] CARROLL, TL., PECORA, LM., Synchronizing Chaotic Circuits, IEEE Trans. OnCircuits&Systems, 38: 453, 1991

## ÖZGEÇMİŞ

Ferhunde Tuğba İSKURT, 27.11.1983'te Birecik'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'de tamamladı. 2002 yılında Kocaeli Körfez Fen Lisesi'nden mezun oldu. 2002–2006 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü'nü okudu. 2009 yılından beri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Müh. ABD, Elektronik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimi'ne devam etmektedir.