

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURKE-SHAW VE T (TIGAN) KAOTİK OSİLATÖRLERİNİN
TASARIMI: GÜVENLİ HABERLEŞME AMAÇLI
SENKRONİZASYON UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Elektronik Müh. Afşin TAŞKIRAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İhsan PEHLİVAN

OCAK 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURKE-SHAW VE T (TIGAN) KAOTİK OSİLATÖRLERİNİN
TASARIMI: GÜVENLİ HABERLEŞME AMAÇLI
SENKRONİZASYON UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Elektronik Müh. AFŞİN TAŞKIRAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 18 / 01 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. İhsan PEHLİVAN
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU
Üye


Yrd. Doç. Dr. M. Server FIRAT
Üye

ÖNSÖZ

Bilimin ilk yıllarından beri süregelen doğa olaylarını kontrol etme arzusu, insanoğlunun kaosu keşfetmesini sağlamıştır. Doğrusal olmayan yapısı ve başlangıç şartlarına olan yüksek bağımlılığı ile kaos, günlük hayatımızın da vazgeçilmez bir parçasıdır. Lorenz'in kelebeklerin kanat çırpışlarının büyük kasırgaların oluşumunu etkileyebileceğini öne sürmesi, bugün gelinen noktada süper bilgisayarlar yardımıyla hava durumu tahmini yapmaya çalışmamıza neden olmuştur.

Kaosun niteliği itibariyle kendisini oluşturan parametrelerin ilk şartlarına yüksek bağımlı olması, çok çeşitli alanlarda da kullanılabilmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde kaos dinamikleri, yüksek seviyede güvenli haberleşme gerektiren uygulamalarda, tek kullanımlık şifre mekanizmalarında ve bilgi gizlemede uygulama alanı bulmuştur.

Literatürde devre simülasyonlarına rastlanılmayan Tigan (T) ve Burke-Shaw kaotik sistemlerinin Matlab-Simulink ortamında modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Orcad PSpice'da elektronik devre tasarımları yapılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir. Fiziksel olarak da kaotik elektronik osilatörleri kurularak gerçek kaotik sinyaller osiloskop çıktısı olarak alınmıştır.

Yüksek lisans tez çalışması boyunca her türlü destek, ilgi ve emeklerini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. İhsan PEHLİVAN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na teşekkürü borç bilirim.

Her türlü anlayış ve desteklerinden dolayı sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KAOTİK OSİLATÖRLER.....	12
2.1. Lorenz Kaotik Osilatörü.....	12
2.2. Chua Kaotik Osilatörü.....	19
2.3. Rössler Kaotik Osilatörü	23
2.4. Van Der Pol Kaotik Osilatörü.....	25
2.5. Malasoma 2000 Sistemi.....	27
2.6. Sprott 1997a Sistemi.....	29
BÖLÜM 3.	
KAOTİK SENKRONİZASYON	32
3.1. Kaotik Senkronizasyon	32
3.2. Kaotik Senkronizasyon Türleri ve Pecora-Carroll yöntemi.....	32
3.3. Malasoma2000 Sistemi'nin Senkronizasyonu	34
3.4. Lorenz Sistemi'nin Senkronizasyonu	39
3.5. Rucklidge Sistemi'nin Senkronizasyonu	44

3.6 Sprot 97a Sistemi'nin Senkronizasyonu	49
BÖLÜM 4.	
KAOTİK SENKRONİZASYON VE ÖRNEK UYGULAMALARI	55
4.1. Haberleşme	55
4.2. Kaotik Sistemlerin Gizleme Yöntemiyle (Masking) Haberleşmesi	56
4.3. Tigan Sistemi	59
4.3.1 Tigan Sistemi'nin elektronik devre gerçekleştirilmesi ve analizi	64
4.3.2. Tigan Sistemi'nin senkronizasyonu	74
4.3.3. Tigan Sistemi ile bilgi gizleme	83
4.4. Burke-Shaw Sistemi	86
4.4.1. Burke-Shaw Sistemi'nin elektronik devre gerçekleştirilmesi ve analizi	89
4.4.2. Burke-Shaw Sistemi'nin senkronizasyonu	96
4.4.3. Burke-Shaw Sistemi ile bilgi gizleme	103
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

t	: Zaman
t_0	: Başlangıç zamanı
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
v	: Skala edilmiş kaotik durum değişkeni
w	: Skala edilmiş kaotik durum değişkeni
X_c	: Cevap sisteminin kaotik durum değişkeni
Y_c	: Cevap sisteminin kaotik durum değişkeni
Z_c	: Cevap sisteminin kaotik durum değişkeni
\dot{x}	: Durum değişkeninin türevi
\dot{y}	: Durum değişkeninin türevi
\dot{z}	: Durum değişkeninin türevi
V	: Gerilim
I	: Akım
F	: frekans
R	: Direnç
C	: Kapasitör
L	: Endüktör
G	: Kondüktans
E	: Kaynak gerilimi
N_R	: Chua Diyodu

Ω	: Parametre
σ	: Parametre
μ	: Parametre
r	: Parametre
τ	: Parametre
β	: Parametre
a	: Parametre
b	: Parametre
c	: Parametre
aa	: Parametre
bb	: Parametre
$i(t)$: Bilgi işareti
$ic(t)$: Tekrar elde edilen bilgi işareti
$S(t)$: İletilen işaret
e	: Hata

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	(a) Doğrusal sistem ve denge noktası davranışı (b) Doğrusal olmayan sistem ve limit döngü davranışı.....	3
Şekil 1.2.	Henon Çekicisi.....	4
Şekil 1.3.	Rössler Fraktalı.....	5
Şekil 2.1.	Lorenz Çekicisi'nin Matlab-Simulink Gösterimi.....	14
Şekil 2.2.	Lorenz sisteminin farklı girişte x-y düzleminde kaotik faz görünümü.....	15
Şekil 2.3.	Lorenz sisteminin farklı girişte x-z düzleminde kaotik faz görünümü.....	16
Şekil 2.4.	Lorenz sisteminin farklı girişte y-z düzleminde kaotik faz görünümü.....	16
Şekil 2.5.	A, B ve C çalışma şartlarına göre X' in kaotik zaman serileri..	17
Şekil 2.6.	A, B ve C çalışma şartlarına göre Y' in kaotik zaman serileri .	17
Şekil 2.7.	A, B ve C çalışma şartlarına göre Z' in kaotik zaman serileri..	17
Şekil 2.8.	A, B ve C çalışma şartlarına göre X-Y Kaotik faz portreleri...	17
Şekil 2.9.	Chua Devresi.....	19
Şekil 2.10.	a) Chua Doğrusal Olmayan diyodu b) Chua diyotunun Karakteristiği.....	20
Şekil 2.11.	Chua devresinin Matlab Simulink benzetimi.....	21
Şekil 2.12.	Chua Dinamik Denklemleri ile oluşturulan 'Çift Spiralli Çekici'	22
Şekil 2.13.	Chua Dinamik Denklemleri ile oluşturulan 'Çift Spiralli Çekici'nin x-y faz portresi.....	22
Şekil 2.14.	Chua Kaotik osilatörünün y ve z faz portresi.....	23
Şekil 2.15.	Rössler kaotik sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	24
Şekil 2.16.	Rössler sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi	25

	(kaotik yörüngesi).....	
Şekil 2.17.	Rössler sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	25
Şekil 2.18	Tünel Diyot ile Van Der Pol Osilatörünün Elektrik Devresi...	26
Şekil 2.19.	Van Der Pol Sisteminin Matlab Gösterimi.....	26
Şekil 2.20.	Van Der Pol Kaotik Osilatörünün Oluşturduğu Limit Döngü..	27
Şekil 2.21.	Malasoma 2000 sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	28
Şekil 2.22.	Malasoma 2000 sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	28
Şekil 2.23.	Malasoma 2000 sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	29
Şekil 2.24.	Sprott 1997a sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	30
Şekil 2.25.	Sprott 1997a sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	30
Şekil 2.26.	Sprott 1997a sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	31
Şekil 3.1.	Pecora-Carroll metoduyla yapılan senkronizasyonun blok diyagramı.....	33
Şekil 3.2.	Kaskat bağlanmış senkronize sistem şematiği (P-C metodu)...	34
Şekil 3.3.	Pecora-Carroll metodunun Malasoma2000 sistemine uygulanması.....	34
Şekil 3.4.	(a) Sürücü sinyali (Z), cevap sinyali (Zc) (b) Z'nin Zc'ye göre değişimi.....	36
Şekil 3.5.	Malasoma2000 sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi	37
Şekil 3.6.	(a) Z ve Zc değerlerinin zamana göre değişimi, (b) Z ve Zc nin birbirine göre değişimi	38
Şekil 3.7.	Senkronizasyon sonrası oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali)	39
Şekil 3.8.	(a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'in Xc'ye göre değişimi	41
Şekil 3.9.	Lorenz sisteminin Simulink Pecarro – Carroll senkronizasyon modellemesi	42

Şekil 3.10.	(a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi	43
Şekil 3.11.	Senkronizasyon sonrası oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali).....	43
Şekil 3.12.	(a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'nin Xc'ye göre değişimi	46
Şekil 3.13.	Senkronizasyon öncesi oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali).....	46
Şekil 3.14.	Rucklidge sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi	47
Şekil 3.15	(a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi	48
Şekil 3.16.	Senkronizasyon sonrası oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata cevabı).....	49
Şekil 3.17.	Pecora-Carroll metodunun Sprot97a sistemine uygulanması..	49
Şekil 3.18.	(a) Z'nin Zc'ye göre değişimi (b) Sürücü sinyali (Z), cevap sinyali (Zc).....	51
Şekil 3.19.	Senkronizasyon öncesi oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali).....	51
Şekil 3.20.	Sprot97a sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi.....	52
Şekil 3.21.	(a) Z ve Zc değerlerinin zamana göre değişimi (b) Z ve Zc nin birbirine göre değişimi.....	53
Şekil 3.22.	Senkronizasyon sonrası oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali).....	54
Şekil 4.1.	Kaotik Haberleşme Genel Yapısı.....	57
Şekil 4.2.	Bilgi Kanalı Bağlantı Şekilleri.....	58
Şekil 4.3.	Bilgi Şifreleme Sisteminin Genel Yapısı.....	58
Şekil 4.4.	Kaotik gizleme yöntemiyle haberleşmenin mantığını gösteren blok diyagram	59
Şekil 4.5.	Tigan Sistemi'nin Lyapunov Üstelleri.....	60
Şekil 4.6.	Tigan Sistemi'nin Matlab-Simulink modellemesi.....	61
Şekil 4.7.	Tigan Sistemi'nin x, y, z değişkenlerinin 200 ms içerisinde	62

	zamana göre değişimi	
şekil 4.8.	Tigan Sistemi'nin x, y, z değişkenlerinin 20 ms içerisinde zamana göre değişimi	62
şekil 4.9.	Tigan Sistemi Matlab-Simulink Simulasyon Sonuçları a)x-y, b)x-z, d) y-z kaotik çekicileri	63
şekil 4.10.	Tigan Sistemi'nin Matlab-Simulink Programında x-y-z Faz Portresi	64
şekil 4.11	Tigan Sistemi'nin Pspice simulasyon devresi	65
şekil 4.12.	Tigan Sistemi devre tasarımının X hesaplama devresi.....	67
şekil 4.13.	Tigan Sistemi devre tasarımının Y hesaplama devresi.....	67
şekil 4.14.	Tigan Sistemi devre tasarımının Z hesaplama devresi.....	68
şekil 4.15.	Tigan devresinin x, y, z değişkenlerinin 50ms içerisinde zamana göre değişimi	70
şekil 4.16.	Tigan devresinin x, y, z değişkenlerinin 10ms içerisinde zamana göre değişimi	70
şekil 4.17.	Tigan devresi pspice simulasyon sonuçları a)x-y, b)x-z, d) y-z kaotik çekicileri	71
şekil 4.18.	Tigan sisteminin deneysel olarak kurulan elektronik devresi..	72
şekil 4.19.	Tigan elektronik devresinin kaotik x-y, x-z, ve y-z kaotik çekicilerinin osiloskop ıkışları	73
şekil 4.20.	Tigan Sistemi'nin senkronizasyon ncesi X1 değişkenleri	75
şekil 4.21.	Tigan Sistemi'nin senkronizasyon ncesi X1-X2-X3 Faz Portreleri	76
şekil 4.22.	Tigan Sistemi'nin Pecora-Carroll Yöntemiyle Senkronizasyon Modeli.....	76
şekil 4.23.	Tigan Sistemi'nin senkronizasyon sonrası oluşan X1-X1r fark sinyali (e=hata sinyali).....	77
şekil 4.24.	Tigan Sistemi'nin Senkronizasyon ncesi Pspice Modeli.....	78
şekil 4.25.	Tigan Sistemi Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xr) (b) X -Xc değişimi (senkronizasyondan önce)	79
şekil 4.26.	Tigan Sistemi'nin farklı başlangıç şartlarıyla Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü (a) Sürücü sinyal(X),	

	cevap sinyali(X_r) (b) $X - X_c$ değişimi (senkronizasyondan önce).....	80
Şekil 4.27.	Tigan sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi.....	81
Şekil 4.28.	Tigan Sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyon sonuçları (a) Sürücü(X) ve Cevap(X_r) kaotik sinyallarının 15 ms içerisinde zamana göre değişimi, b) Sürücü(X) ve Cevap(X_r) kaotik sinyallarının 2 ms içerisinde zamana göre değişimi, b) $X - X_r$ değişimi (senkronizasyondan sonra).....	82
Şekil 4.29.	T Sistem ile Güvenli Haberleşme Modeli	84
Şekil 4.30.	T Sistem'in Simulink'de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $X(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $X_c(t)$ sinyali'nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ 'nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $ic(t)$ 'nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi.....	85
Şekil 4.31.	Burke-Shaw sisteminin Matlab-Simulink modellemesi	86
Şekil 4.32.	Burke-Shaw Sistemi'nin x-y-z-zaman faz portresi	87
Şekil 4.33.	Burke-Shaw sisteminin Matlab-Simulink programında simülasyon çıktıları a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri	88
Şekil 4.34.	Burke-Shaw sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörünge)	89
Şekil 4.35.	Burke-Shaw sisteminin devre tasarımı	89
Şekil 4.36.	Burke-Shaw Sistemi devre tasarımının X hesaplama devresi ..	90
Şekil 4.37.	Burke-Shaw Sistemi devre tasarımının Y hesaplama devresi ..	90
Şekil 4.38.	Burke-Shaw Sistemi devre tasarımının Z hesaplama devresi ..	91
Şekil 4.39.	Burke-Shaw devre tasarımının Pspice simülasyon sonuçları, kaotik x,y,z sinyallerinin zamana göre değişimi	93
Şekil 4.40.	Burke-Shaw devre tasarımının Pspice simülasyon sonuçları a) x-y b) x-z c) y-z kaotik çekicileri	93
Şekil 4.41.	Burke-Shaw sisteminin deneysel olarak kurulan elektronik	95

	devresi	
Şekil 4.42.	Burke-Shaw elektronik devresinin kaotik x-y, x-z, ve y-z kaotik çekicilerinin osiloskop çıkışları	95
Şekil 4.43.	Burke-Shaw sisteminin senkronizasyon öncesi için kurulan elektronik devresi	97
Şekil 4.44.	Burke-Shaw Sistemi'nin aynı başlangıç şartlarıyla Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xr) (b) X -Xc değişimi	98
Şekil 4.45.	Burke-Shaw Sistemi'nin farklı başlangıç şartlarıyla Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xr) (b) X -Xc değişimi	98
Şekil 4.46.	Burke-Shaw sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi	99
Şekil 4.47.	(a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi	100
Şekil 4.48.	Senkronizasyon sonrası oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali)	100
Şekil 4.49.	Burke-Shaw sisteminin Pspice senkronizasyon modellemesi ..	101
Şekil 4.50.	Burke-Shaw Sistemi Pspice senkronizasyon sonuçları (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xc) 'nin 10 ms içerisinde zamana göre değişimi (b) X -Xc 1 ms içerisinde değişimi (c) X -Xc değişimi (senkronizasyondan sonra)	102
Şekil 4.51.	Burke-Shaw sisteminin Matlab-Simulink simülasyonu için kaotik gizleme yöntemiyle yapılan haberleşme devresi	104
Şekil 4.52.	Burke-Shaw sisteminin Pspice simülasyonu için kaotik gizleme yöntemiyle yapılan haberleşme devresi	105
Şekil 4.53.	Burke-Shaw sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin Pspice simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin X(t) sinyali ve alıcı sistemin Xc(t) sinyali'nin zamana göre değişimi, (b) Bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi (c) İletilen sinyal S(t) = x(t) + i(t) d) Verici sistemin X(t) sinyali ve alıcı sistemin Xc(t) sinyali'nin birbirlerine göre değişimi (e) Verici sistemin	

X(t) sinyali ve bilgi işareti i(t)	107
--	-----

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Dinamik bilim dalının dönüm noktaları	7
Tablo 2.1.	Chua kaotik osilatörü matlab simülasyonu için çalışma şartları	17

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kaos, Kaotik Osilatör, (T) Tigan Sistemi, Burke-Shaw Sistemi, Güvenli Haberleşme, Bilgi Gizleme, Senkronizasyon

Doğada ve bir çok yapıda karşımıza çıkan kaos, tanımlanabildiği ve kontrol altında tutulduğu takdirde istenmeyen fonksiyon olmaktan çıkmaktadır. Bunun yanında kaos, bir çok uygulama alanı da bulmuştur. Öyle ki kaotik sinyaller yardımıyla haberleşmede kullanılan bilgi sinyallerinin gizlenmesi ve karşı uca tekrardan anlaşılır şekilde iletilmesi sağlanabilmektedir.

Tezde, kaotik yapılar hakkında bilgi verilmiş, kaosun özelliklerini göstermek amacıyla bazı kaotik çekiciler üzerinde bilgisayar benzetimleri yapılmıştır. Devam eden bölümde ise daha önce senkronizasyon ve gizli haberleşme uygulamaları bulunmayan Tigan ve Burke-Shaw kaotik çekicileri üzerinde çalışılmıştır.

Matlab-Simulink ve Orcad Pspice ortamında benzetimleri gerçekleştirilen Tigan ve Burke-Shaw sistemlerinin gerçek elektronik devreleri kurularak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tigan ve Burke-Shaw kaotik yapılarının Matlab-Simulink ve Orcad Pspice ortamında ayrı ayrı senkronizasyon modellemeleri gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Tigan ve Burke-Shaw kaotik sistemlerinin kaotik gizleme yöntemiyle Matlab-Simulink ortamında bilgi-gizleme modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Orcad PSpice’da bilgi-gizleme modelinin elektronik devre tasarımları yapılarak benzetim sonuçları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Tigan ve Burke-Shaw sistemlerinin kaotik bilgi gizlemede kullanılabileceği gösterilmiştir.

BURKE-SHAW AND T (TIGAN) CHAOTIC OSCILLATORS' DESIGN: SYNCHRONIZATION FOR SECURE COMMUNICATION APPLICATIONS

SUMMARY

Key words: Chaos, chaotic oscillator, (T) Tigan System, Burke-Shaw System, Secure Communication, Information Secretion, Synchronization

The chaos that we encountered in the nature and most of the structures, no longer be an undesirable function if it can be identified and kept under control. Besides, chaos also found a lot of application area. Such that, it can be ensured hiding information signals that used for communication with the help of chaotic signals and clearly transmitting to the other side.

In this thesis, an information about chaotic structures are given and in order to show the properties of chaos computer simulations were made on some of the chaotic tows. In the next section studied on the Tigan and Burke-Shaw chaotic tows which do not have synchronization and secret communication application before.

Tigan and Burke-Shaw sytems are simulated in the Matlab-Simulink and Orcad Pspice environments. By establishing Tigan and Burke-Shaw Systems' real electronic circuits the results are compared.

Tigan and Burke-Shaw chaotic structures' synchronization modeling are carried out seperately in Matlab-Simulink and Orcad Pspice environments and they are compared.

Tigan and Burke-Shaw chaotic systems' information hiding models are carried out by chaotic methof of hiding in the Matlab-Simulink environment. Then by establishing electronic circuit design of information hiding model in Orcad PSpice simulation results are obtained and compared.

It is shown that Tigan and Burke-Shaw systems can be used in chaotic information hiding.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Doğada olup bitenlerin nedenini bulma arzusu, insanları çeşitli bilimler üzerinde çalışmalar yapmaya itmiştir. İnsanoğlunun bitmez tükenmez araştırma arzusu ile birçok bilim dalında keşifler yapılmış ve doğrusal formullerle açıklanmaları mümkün olmuştur.

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca mevsimlerin, gece ve gündüzün, gezegen ve yıldızların hareketliliğini anlamaya çalışmıştır. Bu tür olaylar, Newton'un evrensel çekim ve hareket yasasında açıklandığı gibi, dünyanın ve diğer gezegenlerin hareketlerindeki düzenlilikten kaynaklanmaktadır. Bu yasalara göre gezegenlerin yörüngesi ve hızı, bütün geçmiş ve gelecek zamanlardaki yörüngesini ve hızını da belirler. Geleceğin geçmiş tarafından belirlendiği Newton'un hareket yasalarının klasik bir örneğidir. Bilim adamları genellikle evrende bu tür olayları arama eğilimindedirler. Fakat düzenlilik evrensel değildir.

Fen bilimlerinde kaos; özel bir anlamı olan, günlük kullanımdaki anlamından farklı bir anlama sahip bir kelimedir. Bir bilim adamı için kaotik hareket ifadesi, fiziksel bir sistemin hareketinin görünüşte karmaşık ya da ilgi çekici olmasıyla kesinlikle ilgisizdir. Aslında kaotik bir sistem yumuşak ve düzenli görünümlü bir davranış sergileyerek değerlendirilebilir. Dolayısıyla kaos, sistemin tutumu hakkında uzun zamanlı doğru tahminlerde bulunmanın mümkün olup olmadığı konusu ile ilgilidir. Fiziğin 400 yılı boyunca fizik kanunları, doğadaki neden ve sonuç arasındaki tam bağlantıyı yansıtmıştır. Dolayısıyla günümüze kadar, başlangıç koşulları yeterince iyi bir bilindiği takdirde herhangi bir fiziksel sistem hakkında her zaman uzun vadeli doğru tahminler yapılabileceği varsayılmıştır. Tabiattaki kaotik sistemlerin geçtiğimiz yüzyıl keşfedilmesi, bu anlayışın kökten yıkılmasına neden olmuştur.

Bir ağacın oluşumu, gelişimi, büyümesi bilinen fiziksel denklemlerle açıklanabilirken bir ağacın neden diğerinden farklı bir yapıda olduğunu, insanların parmak izlerinin, retinalarının, yüz geometrilerinin farklı yapıda oldukları tam olarak açıklanamamaktadır. İşte kaosu getirdiği kuramlar bu olgulara ışık tutması bakımından önemlidir. Dolayısı ile düzensizlik, üzerinde önemle durulması gereken bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Benzer olayların doğrusal formüllere dayandırılması mümkün olmamıştır. Bilim adamlarının kainatın ilk halinden bu yana kaos ile içiçe yaşadıklarının tespiti ancak yüksek hızlı hesaplama tekniklerinin gelişmesiyle olmuştur.

Gerçek hayatta meydana gelen olayların çoğunda sistemin elemanları belirli bölgelerdeki değişimleri için doğrusal davranış gösterir. Bu bölgelerin dışı için sistem doğrusal olmayan davranış göstermektedir. Genel olarak bir sistemin matematiksel durum denklemini yazarsak;

$$x_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$x_{(0)} = x_0 \tag{1.1}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

biçiminde tanımlanan fonksiyonda, eğer f_i fonksiyonlarının tümü x_i bileşenlerine göre doğrusal ise bu sistem doğrusaldır ve durum denklemleri matris biçiminde basit olarak yazılır. Bu durumda sistemin cevabı kalıcı ve dengeli bir özellik gösterir. Matematiksel formu yine yukarıdaki gibi belirtilen fonksiyon, x_i bileşenleri doğrusal olmayan karakteristik gösterirse sistem doğrusal olmayan sistemdir. Sistemin doğrusal olmayan bir formda olması durum denklemlerinin de matris formunda ifade edilemeyeceği anlamına gelir[1].

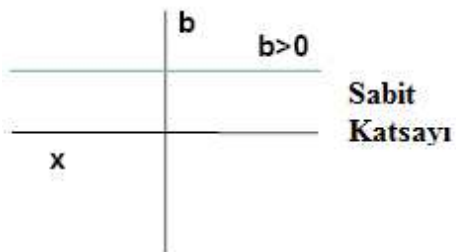
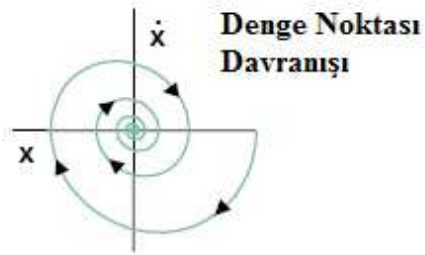
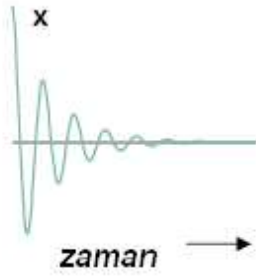
Doğrusal olmayan karakteristikte olan sistemin durum denklemleri çeşitli yöntemlerle bulunabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin de açıklayamadığı doğrusal olmayan davranış türleri vardır[2]. Bunlardan herhangi bir sisteme bir giriş

verilmeden elde edilen biçimine kaotik davranış denir. Kaotik davranışın denge noktası şartından farklılıklarını şöyle belirtebiliriz:

1. Başlangıç şartına olan hassasiyeti,
2. Sınırsız sayıda değişik periyodik salınımlar içermesi,
3. Rasgele değil, gerekirci bir yapıya sahip olması,
4. Genliği ve frekansı tespit edilemeyen, ancak sınırlı bir alanda değişen işaretler içermesi,
5. Gürültü benzeri güç spektrumlarına sahip olması gibi sınırlanır[3].

DOĞRUSAL SİSTEM

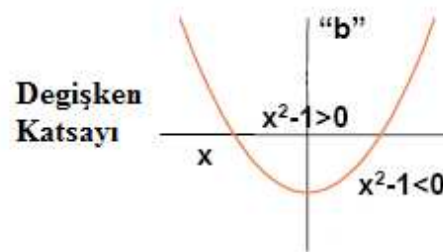
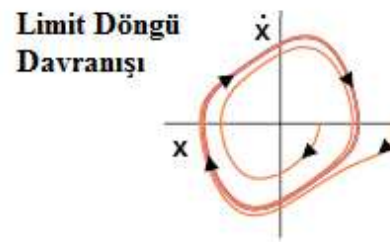
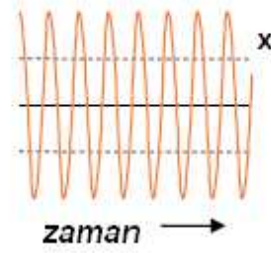
$$\ddot{x} + b\dot{x} + x = 0$$



a)

DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEM

$$\ddot{x} + \epsilon(x^2 - 1)\dot{x} + x = 0$$



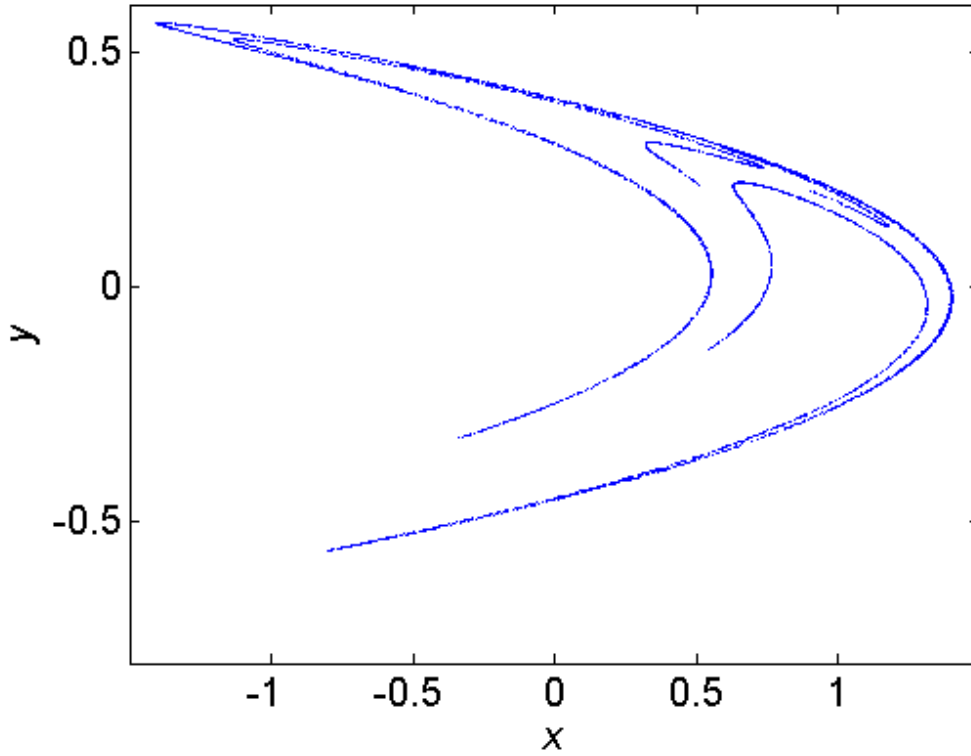
b)

Şekil 1.1 (a). Doğrusal sistem ve denge noktası davranışı (b). Doğrusal olmayan sistem ve limit döngü davranışı [1]

Fransız astronom Michel Henon, 1976'da Lorenz sisteminden faydalanarak yeni bir çekici bulmuştur[4]. Henon çekicisi ayrık zamanda iki boyutlu bir dinamik sistemdir. Aşağıdaki denklemlerle tanımlanır:

$$\begin{aligned}x_n &= 1 - (1.4(x_{n-1})^2) + y_{n-1} \\ y_n &= 0.3(x_{n-1})\end{aligned}\tag{1.2}$$

Bu denklemler analiz edilip çizildiğinde, Şekil 1.2'deki iki boyutlu Henon Çekicisi elde edilir. İki denklemden oluşması sayesinde elde edilebilen en basit çekicilerden biridir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere bumeranga benzetmektedir.



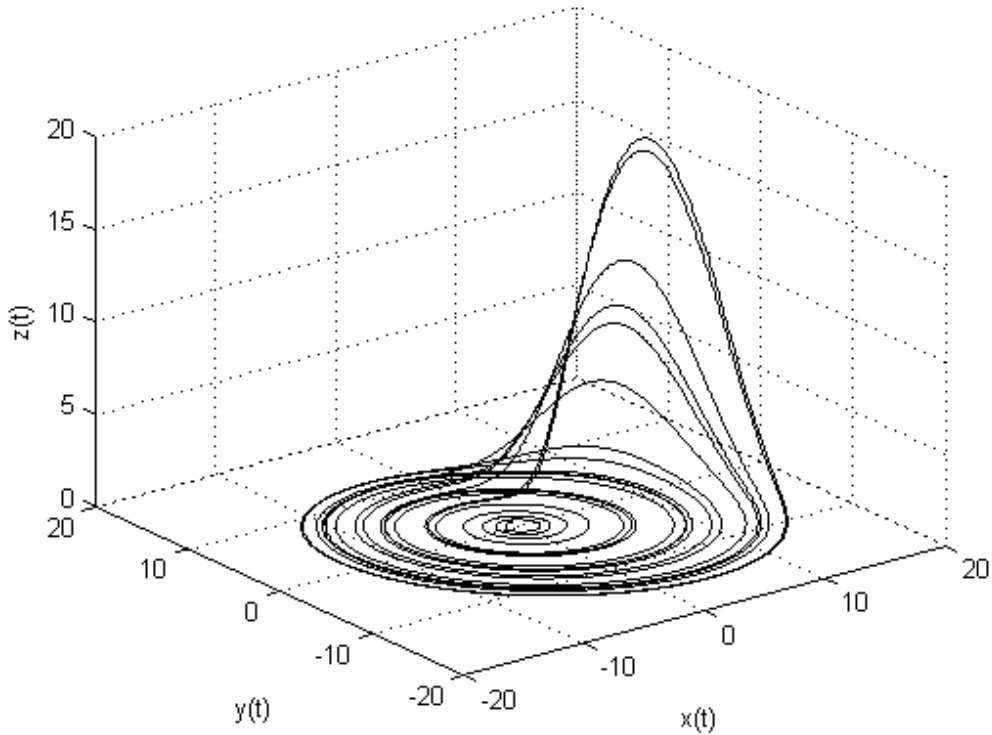
Şekil 1.2. Henon Çekicisi

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 bir çok

bilim adamı çalışmıştır. Bunlardan Koch Snowflake ve Benoit Mandelbrot en meşhurlarıdır. En çok bilinen fraktallardan biri de Alman Dr. Otto Rössler tarafından bulunmuştur[5]. Rössler, kaosa karmaşık filozofik düşüncelerden girmiştir. Filozofide de garip çekiciler olduğunu fark etmiştir. Onun fraktalı kıvrımlı kurdeleye benzemektedir. Rössler'in denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= -Y - Z \\ \dot{Y} &= X + aY \\ \dot{Z} &= b + Z(X - c) \end{aligned} \quad (1.3)$$

Bu denklemlere göre çözüm ve çizim yapıldığında Şekil 1.6'daki fraktal yapılar elde edilir. Yapılara dikkat edilecek olursa, ana şekle benzeyen ve gittikçe küçülen benzer şekillerin elde edilmiş olduğu görülür.



Şekil 1.3. Rössler Fraktalı

Dinamik bilimi, zaman içerisinde değişim gösteren sistemleri inceleyen bilim dalıdır. Çok disiplinli bir yapı olmasına rağmen fiziğin bir dalıdır. Dinamik bilim dalı, 1650'li yıllarda Newton'un çalışmaları ile başlamıştır. Newton, fiziksel sistemlerin hareketlerinin diferansiyel denklemlerle ifade edilebileceğini göstermiştir[6]. Newton, dünyanın güneş etrafındaki hareketini hesaplayan problemi çözmüş, daha sonra gelen bilim adamları ise dünya ve ayın hareketini hesaplayan problemi çözmek için uğraşmışlar ancak uzun yıllar çözememişlerdir.

1890 yılında Henri Poincare, niceliksel olarak değil, niteliksel olarak probleme yaklaşmış ve yeni bir bakış açısı getirmiştir[7]. Gezegenlerin konumlarının bulunması yerine güneş sisteminin sonsuza kadar kararlı davranıp davranmayacağını araştırmıştır. Bu soruların cevabını verebilmek için etkili bir geometrik yaklaşım geliştirmiştir. Geliştirdiği teknik bir çok fiziksel sistemde kullanılmaya uygundur. Poincare, kaosu olabirliğini ilk olarak farkedenden kimse olarak bilinmektedir.

Poincare'in 19. Yüzyılın sonunda kaos konusuna değinmesine rağmen 20. Yüzyılın ilk yarısında kaos konusu arka planda kalmıştır. Bu zaman diliminde doğrusal olmayan sistemler üzerinde çok çalışma yapılmasına karşın kaos konusu ile pek ilgilenilmemiştir. Kaos konusunun arka planda kalma sebebi yıllarca gürültü veya dış etki olarak tanımlanmasıdır. Sistemin iç dinamiğinin sonucu olduğu fark edilmemiştir. Çalıştıkları sistemde kaosa rastlayan bilim adamları tasarım yoluyla kaostan kurtulmaya çalışmışlardır. Bu durumlar kaosu keşfini geciktirmiştir.

Yirminci yüzyılın başlarında kaos yeterince önemsenmemiş, yapılan çalışmalarında araştırmacılar kaosu var olduğu ve var olabileceği olgusunu, bu davranışı anlamak yerine gözardı ederek ya da doğüstü güçlerle bağdaştırarak çıkan sonuçları dikkate almamışlardır.

Yüksek hızlı bilgisayarların icat edilmesi, dinamik biliminde bir dönüm noktası olmuştur. Hızlı bilgisayarlar sayesinde deneyler yapılmadan önce bilgisayarlarda benzetimler yapılmakta ve daha sonra da deneysel sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Ayrıca bilgisayarların grafik özellikleri kullanılarak deney sonuçları çok daha rahat incelenebilmektedir.

1963 yılında MIT’de çalışan Edward Norton Lorenz isimli meteorolog, bilgisayar yardımıyla kaos üzerine ilk sayısal çalışmayı gerçekleştirmiştir. Lorenz, yaptığı çalışmada kaosu gözlemlemiştir. Atmosferin küçük bir modelini denklemlerle oluşturmuş ve bu model üzerinden hava tahmini yapmaya çalışmıştır. Oluşturduğu modelin bilgisayarda benzetimini yaparak sonuçları karşılaştırmıştır.

Lorenz, benzetim sonuçlarının bazı parametre değerlerinde herhangi bir denge noktasına veya periyodik bir yörüngeye oturmadığını gözlemlemiştir. Bu parametre değerlerinde benzetim sonuçlarının düzensiz ve periyodik olmayan bir davranış gösterdiğini tespit etmiştir. Sonrasında aynı deneyi birbirine çok yakın başlangıç koşullarına sahip iki durumda tekrarlamıştır[8].

Gerçekleştirdiği iki deney sonucunun birbirinden çok farklı olduğunu gözlemlemiştir.

Tablo 1.1 Dinamik bilim dalının dönüm noktaları [9]

Dinamik-Kaos Tarihçesi		
1666	Newton	Hareketin temel kanunları
1700’lü yıllar		Klasik mekanik
1800’lü yıllar		Gezegenlerin hareketi ile ilgili analitik çalışmalar
1890	Poincare	Geometrik yaklaşım
1920-1950		Fizik ve mühendislikte doğrusal olmayan osilatörler
1920-1960	Birkhoff Kolmogorov Arnold Moser	Hamiltonian mekaniği
1963	Lorenz	Atmosfer modelindeki tuhaf çekiciler

Tablo 1.1 (Devamı)

1970'li yıllar	May Feigenbaum Mandelbort	Lojistik haritada kaos Kaos ve çatallaşmanın ilişkisi Fraktal
1983	Leon Ong Chua	Chua Kaotik Osilatörünün Tasarımı

Günümüzde özellikle Edward Norton Lorenz' in çalışmaları sonucunda kaos olgusu yüksek performanslı bilgisayarların da yardımı ile çok büyük gelişmelere sahne olmuştur[10].

1983 yılına Prof. Dr. Leon Ong Chua bilim tarihinde kendi adıyla anılan bir devre tasarlayarak kaotik osilatör meydana getirmiştir[11]. Bu araştırmalar ile elektronik yeni bir boyut kazanmıştır. Bununla birlikte birçok bilim dalı, kaosun getirdiği kuramları ve sonuçları kullanmaya başlamıştır. Öyle ki kaos methodları ile evrenin oluşumundan hücre yapılarının tanımlanmasına; haberleşmeden, hava ve deprem olaylarına kadar bir çok alanda yararlanabilir popüler bir bilim dalı haline gelmiştir. Bu bağlamda kaos ve kaotik işaretlerinin bulgularını kendi alanlarında yeni çözümler arayışında olan çalışmaları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Kaos sinyalleri ile şifreleme
2. Doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi,
3. Doğrusal olmayan filtreleme,
4. Dinamik bilgi sıkıştırma ve kodlama,
5. Kaotik haberleşme
6. Kaotik Dinamiklerin Elektronik, Optik ve Optoelektronik Gerçekleştirilmesi,
7. Kaotik Titreşimlerin Belirlenmesi ve Kontrolü
8. Kaotik Salınımların Yapay üretimi [3]

Doğrusal olmayan sistemlerin zaman içerisinde düzensiz ve kestirilemez davranış göstermesi kaos olarak adlandırılmıştır. Sınırlı bir bölgede bulunan sürekli durum

davranışlarından bazıları; denge noktası, periyodik yörünge veya periyodumsu yörüngelerdir. Kaosun bir başka tanımı ise sürekli durum davranışlarının tümünden farklı olan davranış biçimidir[8].

Kaosun temel karakteristiği başlangıç şartlarına bağımlılıktır[12-13]. Kaotik olmayan bir sistem, birbirine çok yakın iki başlangıç noktasından başlatılırsa başlangıç şartlarındaki bu küçük farklılık zamanla doğrusal olarak artan bir hataya sebep olur. Kaotik sistemlerde ise başlangıç şartlarındaki bu küçük farklılık, zamanla üstel olarak artabilir. Birbirine çok yakın noktalardan başlayan sistemler, birbiri ile alakasız değerler alabilirler ve bir süre sonra sistemin nasıl davranış göstereceği kestirilemez hale gelebilir[8]. Bu tip sistemler asla kendilerini tekrar etmezler fakat fraktal geometriye sahip tuhaf çekisi olarak adlandırılan sınırlı bölgede kalırlar.

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. 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, daha önceden de ifade edildiği gibi 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 orijinal sistemden gelen kaotik işarete yakınsayacağını gerek teorik gerekse deneysel olarak göstermişlerdir.

Kaosun bilime getirdiği yeni açılımlar çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere kaotik işaretler oluşturan osilatörler gelişmesine ya da var olan osilatörler devreler üzerinde araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Bu osilatörlerin en tanınmışlarını şöyle sıralayabiliriz:

1. Lorenz kaotik osilatörü
2. Chua kaotik osilatörü
3. Rossler kaotik osilatörü
4. Vanderpol kaotik osilatörü
5. Duffing kaotik osilatörü

Bu tezde amaç olarak, özellikle iletişimde kullanılabilecek kaotik sistemlerin tanıtılması, senkronizasyon ve gizli haberleşme simulasyonları yapılarak çeşitli uygulamalarda kullanılabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçlar doğrultusunda, tezin bu bölümü'nde kaos ile ilgili temel kavramlar ve doğrusal olmayan dinamik sistemler anlatılmıştır.

İkinci Bölüm'de; Lorenz, Chua, Röessler, Van Der Pol, Malasoma2000 ve Sprott 1997a gibi bilinen sistemler üzerinde Matlab-Simulink programı kullanılarak kaotik analizler yapılmıştır.

Üçüncü Bölüm'de kaotik senkronizasyon anlatılmış ve Malasoma2000, Lorenz, Rucklidge ve Sprott97a kaotik sistemlerinin Pecora-Carroll yöntemi ile Matlab-Simulink ortamında senkronizasyon modellemeleri yapılmış ve uygulamalar ayrıntılı olarak anlatılmış, simülasyon sonuçları verilmiştir.

Dördüncü Bölüm'de, literatürde senkronizasyon ve gizli haberleşme alanında uygulamaları görülmeyen Tigan ve Burke-Shaw sistemlerinin Matlab-Simulink ve Orcad Pspice ortamlarında senkronizasyon ile gizleme yöntemiyle haberleşme modellemeleri yapılmış ve simülasyon sonuçları verilmiştir. Ayrıca Tigan ve Burke-Shaw sistemlerinin gerçek devre modelleri kurulmuş ve ıktıları paylaşılmıştır.

Tezin Beşinci Bölümü ise Sonuçlar ve Önerileri içermektedir.

BÖLÜM 2. KAOTİK OSİLATÖRLER

2.1. Lorenz Kaotik Osilatörü

Kaos teorisi bilimsel bir disiplin olarak 1960'lı yıllarda Edward Lorenz'in hava tahmini için topladığı verileri kullanarak meteorolojik sistemleri Klasik Lorenz eşitlikleri ile bilgisayar ortamında modellemeye çalışması ile ortaya çıkmıştır. Günümüzde kaos teorisinin güvenli haberleşme, otomatik kontrol sistemleri, lazer fiziği ve finansal modelleme gibi alanlarda başarılı uygulamaları vardır[14].

1960 ların başlarında havanın basit bir modelini oluşturmak üzere matamatiksel bilgisayar programı tasarlayan Edward Lorenz, hava akımının güneş tarafından ısıtıldıkça nasıl azalıp çoğalacağına ilişkin bir model üzerinde çalışmıştır[10]. Edward Lorenz'in tasarladığı bilgisayar sistemi, hava akışını modelleyen matamatiksel formleri içeriyordu. Bilgisayar kodları bütünüyle gerekirci özellikte olduğundan Lorenz, aynı başlangıç koşulları verildiğinde program sonucu sürekli aynı sonucu almayı umuyordu. Ancak pratikte durum aynı şekilde olmadı. Lorenz, aynı sandığı başlangıç değerlerini girdiği zaman her defasında kökten farklı sonuçlar elde ediyordu. Bu durum karşısında şaşırarak Lorenz, daha dikkatli bir inceleme yaptığında her defasında tamamen aynı değerleri değil, çok küçük de olsa farklı değerleri girmiş olduğunu fark etti.

Her deneme sırasındaki başlangıç değerlerinin farklı olduğunu anlayamamasının sebebi, alışkanlıklara göre farklılıkların öncemsenmeyecek miktarda olması ya da bunların farkedilemeyecek düzeyde küçük olmasıydı.

Lorenz' in atmosfer modelinde kullandığı matematiksel sistem 1970'lerde geniş bir biçimde de araştırma konusu oldu. Zamanla, kaotik sistemlerin en temel özelliği olarak iki farklı başlangıç koşulları dizgesindeki düşünülebilecek en küçük farklılığın

daima sonraki veya önceki zamanlarda büyük farklılıklara yol açacağı, bilinen bir gerçek haline geldi.

Günümüzde bilim adamları, havanın Lorenz' in hava akımları üzerine oluşturduğu basit bilgisayar modeli gibi kaotik bir sistem olduğuna inanmaktalar. Belirli doğrulukta uzun vadeli bir hava tahmini yapabilmek için sonsuz sayıda ölçüm yapılması gerekmektedir. Dünya atmosferinin tamamını ölçüm araçları ile doldurmak mümkün olsaydı bile başlangıç koşullarındaki belirsizlikler bu kez de ağdaki her bir ölçerin yapacağı ölçüm değerleri arasındaki küçük farklılıklardan meydana çıkacaktı. Atmosfer kaotik bir yapıda olduğundan ne kadar küçük olursa olsun bu belirsizlikler gittikçe hesapları geçersizleştirecek ve hava tahminin doğruluğunu ortadan kaldıracaktır. Bu ilke “Kelebek Etkisi” olarak da adlandırılır[15].

Aslında sapmaların temel sebebi olarak Kelebek Etkisi gösterilebilir. Meteorolojideki küçük olaylar açısından bakıldığında (genel ölçekte bakarsanız küçük olaylar denilince fırtınalar ve tipiler kastedilir) her tahmin hızla değer kaybeder. Hatalar ve belirsizlikler çoğalmakta, zincirleme olaylar halinde gittikçe aratarak anafor ve boralarından sadece uydulardan görülebilecek şekilde bütün kıtaya yayılan burgaçlara kadar şiddetini arttırmaktadır[14].

Edward Lorenz, Kelebek Etkisi olarak tanınan görüşü aslında atmosferik konveksiyon olgusuna ilişkin bazı araştırmalar yaparken tanık olunmuştur. Bu olgu; güneş ışınlarının yeryüzünü ısıtması ve ısının havaya yansması ile atmosferin alt katmanlarındaki havanın üst katmanlarından daha sıcak ve daha hafif duruma gelmesidir. Yoğun olan üst katmandaki hava aşağıya hareket eder. Bu iki yönlü hareketlenmeye atmosferik konveksiyon denir. Hava da su gibi akışkan olduğu için sonsuz sayıda boyutları bulunan uzayda bir nokta ile tanımlanması gerekir. Edward Lorenz, yaklaşık olarak sonsuz boyutlu uzaydaki zamansal değişimi bilgisayarda inceleyebileceği üç boyutlu bir değişimi kullanarak günümüzde Lorenz Çekeri olarak bilinen bir nesne ortaya çıkarmıştır.

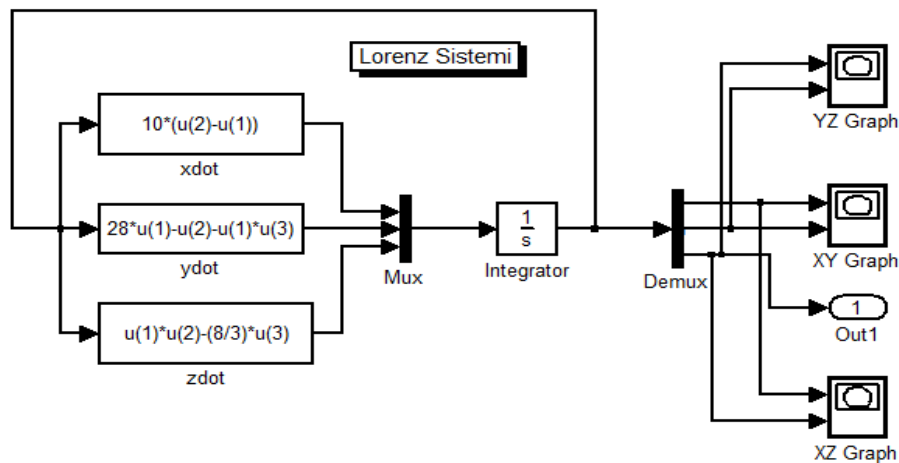
Lorenz'in hava davranışlarını modellemek maksadıyla bulduğu 3 adet doğrusal olmayan birinci dereceden adi diferansiyel denklem, oldukça basit olmasına rağmen elde edilen davranışlar şaşırtıcı derecede karmaşıktır. Bu denklemler:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= rx - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}\quad (2.1)$$

şeklinde. Denklemlerdeki; σ , r ve b sistem parametreleri ve X , Y , Z ise durum değişkenleridir. Önerilen çalışma parametreleri ise $\sigma = 10, r = 28$ ve $b = 8/3$ tür. Denklemdaki başlangıç şartlarının çok küçük değerlerinde dahi sistemin cevabı oldukça değişmektedir.

Lorenz'in bulduğu bu denklemler için uygun başlangıç şartları ise $X = -8, Y = 8$ ve $Z = 27$ veya $X = 0, Y = -0.01$ ve $Z = 9$ dur. Uygun parametre değerleri ve başlangıç şartları ile oluşturulan matlab simulasyonu ile simulasyon sonucu oluşan sistem cevapları ve faz portreleri sırasıyla Şekil 2.2., Şekil 2.3. ve Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.

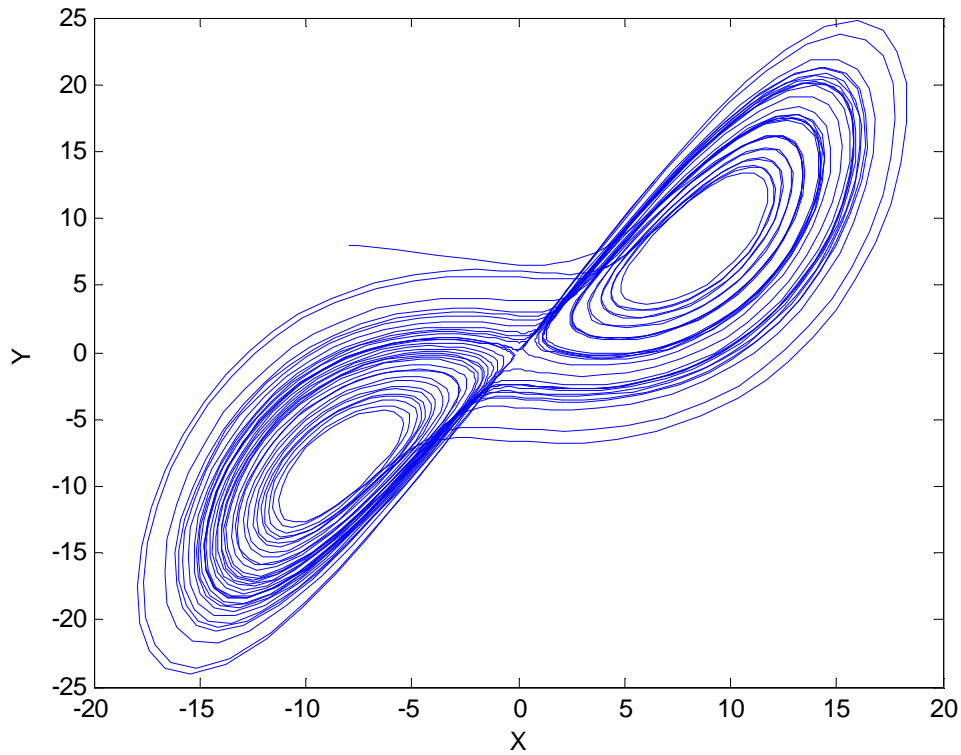
Lorenz çekicisinin MATLAB Simulink gösterimi aşağıdaki gibidir.



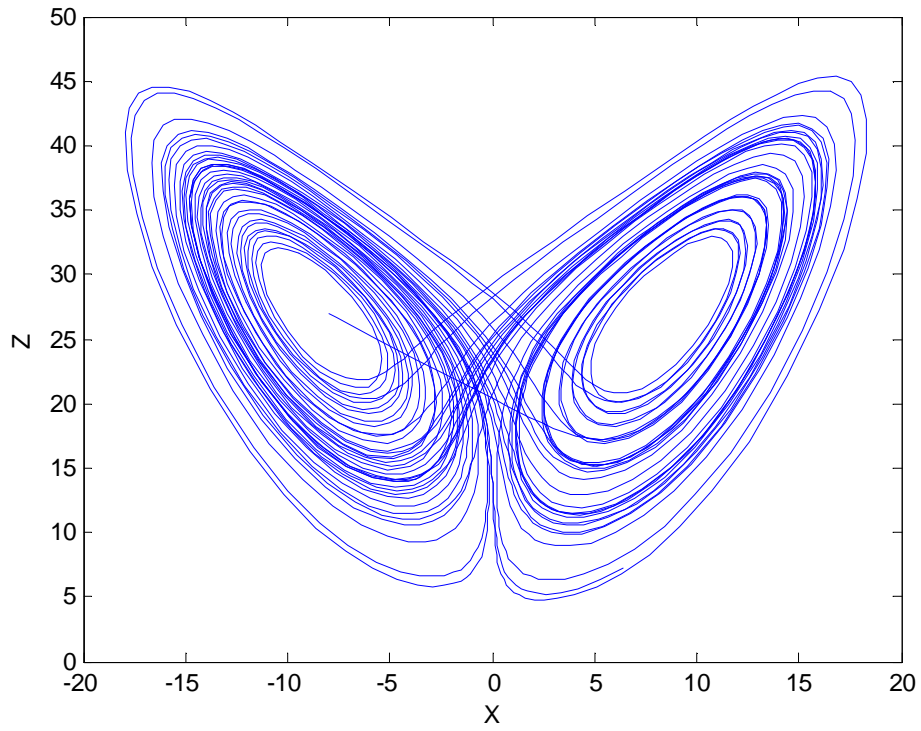
Şekil 2.1. Lorenz Çekicisi'nin Matlab-Simulink Gösterimi

Denklemdaki sistem parametrelerinin değişmesi ile sistemin cevabı da değişecektir. Ancak Edward Lorenz de yapmış olduğu ölçümlerde çok küçük değişikliklerde sistemin cevabının ne kadar farklı bir şekil aldığını görmüştür.

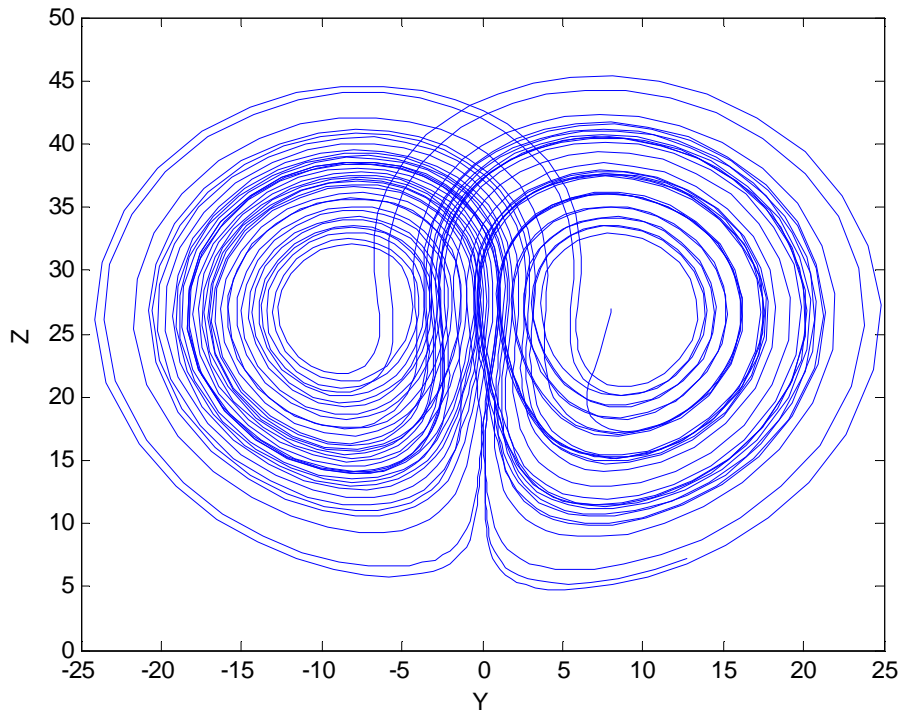
Sistem parametrelerin değişmesi durumunda sistem değişik cevaplar vermektedir. Bu değişikliği MATLAB Simulink ortamında yapılan benzetimlerle de görmek mümkündür. x_1, x_2 ve x_3 durum değişkenlerini σ , r ve b sistem parametrelerini değiştirildiği zaman farklı davranışlar gösterdiğini sistemin o anki cevabı olduğu görölmektedir.



şekil 2.2. Lorenz sisteminin farklı girişte x-y düzleminde kaotik faz görünümi



Şekil 2.3. Lorenz sisteminin farklı girişte x-z düzleminde kaotik faz görünümü

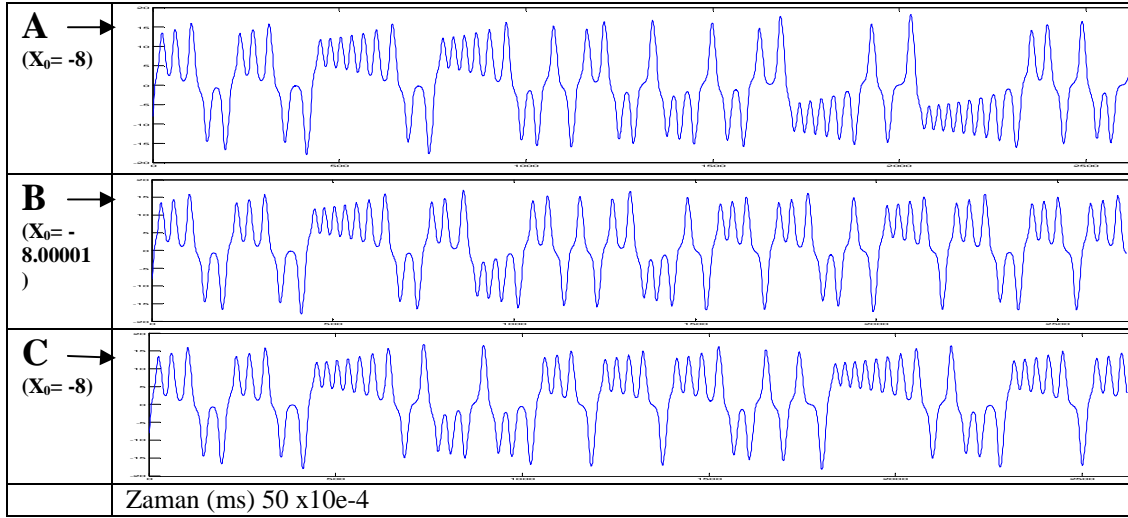
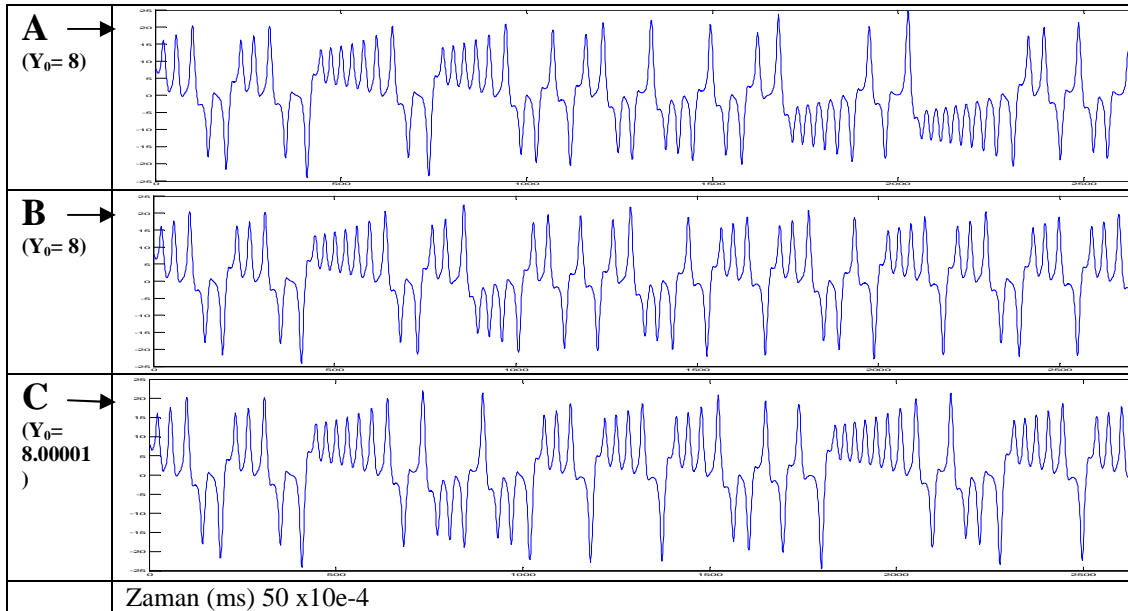


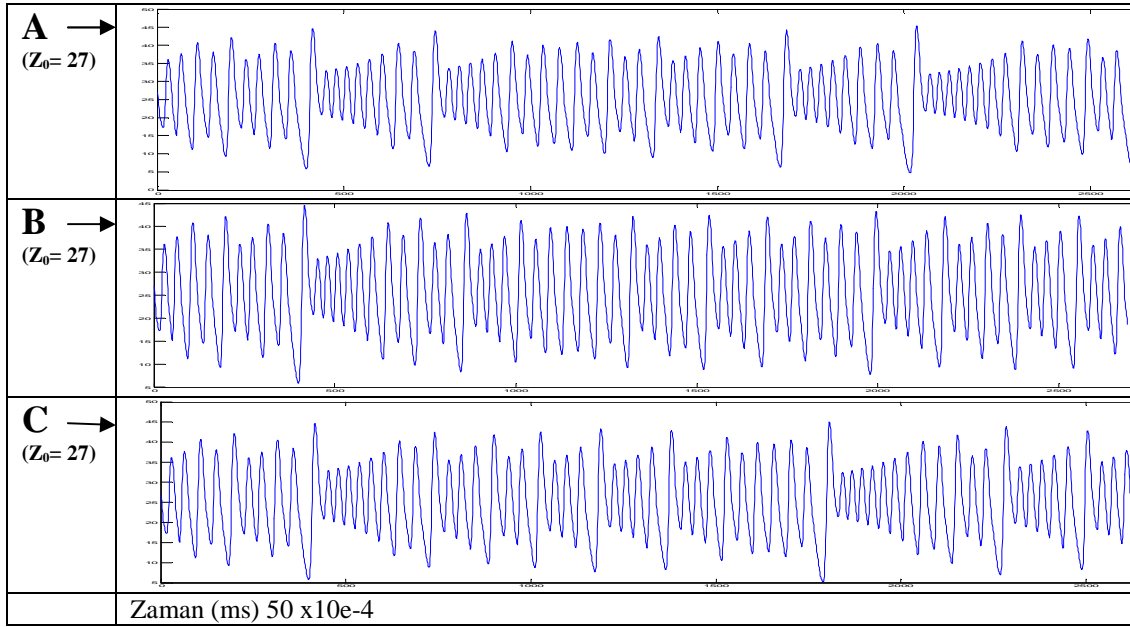
Şekil 2.4. Lorenz sisteminin farklı girişte y-z düzleminde kaotik faz görünümü

Sistem parametreleri sabit kalmak koşuluyla ve simulasyon başlangıç-bitiş zamanları sırası ile “0” ve “50” sn. olacak şekilde; Tablo 2.1.’deki A, B ve C çalışma şartlarına göre yapılan Matlab simulasyonlarının sonuçları Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

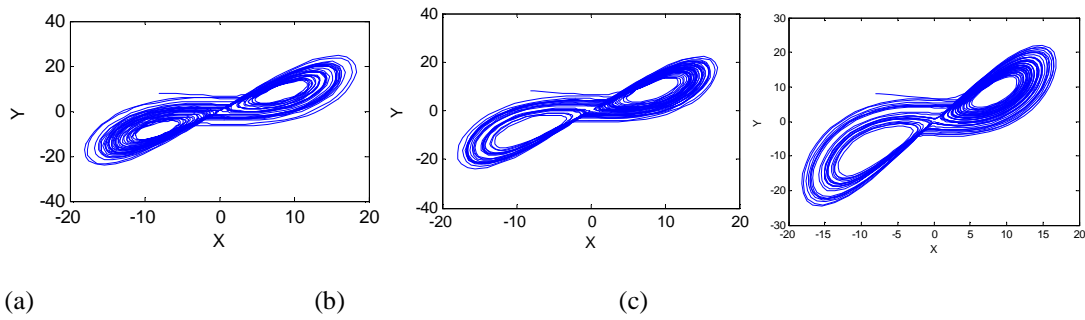
Tablo 2.1.Lorenz kaotik osilatörü matlab simulasyonu için çalışma şartları

Başlangıç Şartları	A (Normal şartlar)	B (X_0 'ın değeri 0.00001 azalırsa)	C (Y_0 'ın değeri 0.00001 artarsa)
X_0	-8	-8.00001	-8
Y_0	8	8	8.00001
Z_0	27	27	27

Şekil 2.5. A, B ve C çalışma şartlarına göre X' in kaotik zaman serileriŞekil 2.6. A, B ve C çalışma şartlarına göre Y' in kaotik zaman serileri



Şekil 2.7. A, B ve C çalışma şartlarına göre Z' in kaotik zaman serileri



Şekil 2.8. A, B ve C çalışma şartlarına göre X-Y Kaotik faz portreleri

Tablo 2.1.'deki A çalışma şartlarına göre elde edilen kaotik zaman serilerinden görüleceği gibi sistem cevabı tahmin edilemeyen salınımlar şeklindedir.

B ve C çalışma şartlarına göre elde edilen sistem cevaplarının ilk 15 saniyelik dilimi A çalışma şartıyla benzer görünse de, sayısal değerlerinin farklı olduğu görülür. 15. saniyeden sonraki kısımların ise tamamen farklı, tahmin edilemeyen salınımlar şeklinde olduğu gözlenmektedir (bkz. Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7). Faz portreleri incelendiğinde ise (bkz. Şekil 2.8.) sarmal yapıların benzer fakat aynı olmadığı görülür.

Sonuç olarak sistem parametreleri aynı olmak üzere başlangıç şartlarındaki $1/10000$ gibi çok küçük bir değer artışı veya azalışının sistem cevabına etkisi oldukça fazladır. Bununla beraber, bu küçük farklılık sonucu oluşan sistem cevabı ise yine kaotik özellik göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar bize, dinamik denklemlerle elde edilen Lorenz devresi gibi kaotik osilatörlerin güvenilir ve gizli haberleşme için gerekli olan kaotik taşıyıcı özelliğini sağladığını gösterir.

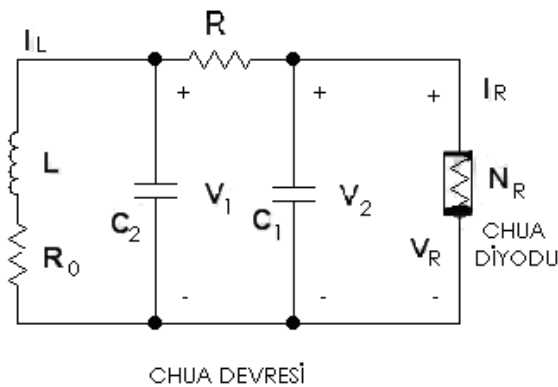
2.2. Chua Kaotik Osilatörü

Bilim adamlarının kaos işaretlerine anlam veremeyişi, sonuçların deterministik ve doğaüstü güçler tarafından ortaya çıkarıldığı yanlışına ya da parametrelerin yanlış girildiği düşüncelerine sürüklemiştir.

Japonya'da 1970 li yılların başında Prof. Ueta, laboratuvarında yaptığı testlerde kaosu ilk gördüğünde bir anlam verememiş, işe yaramayan işaretler olarak yorumlamıştır.

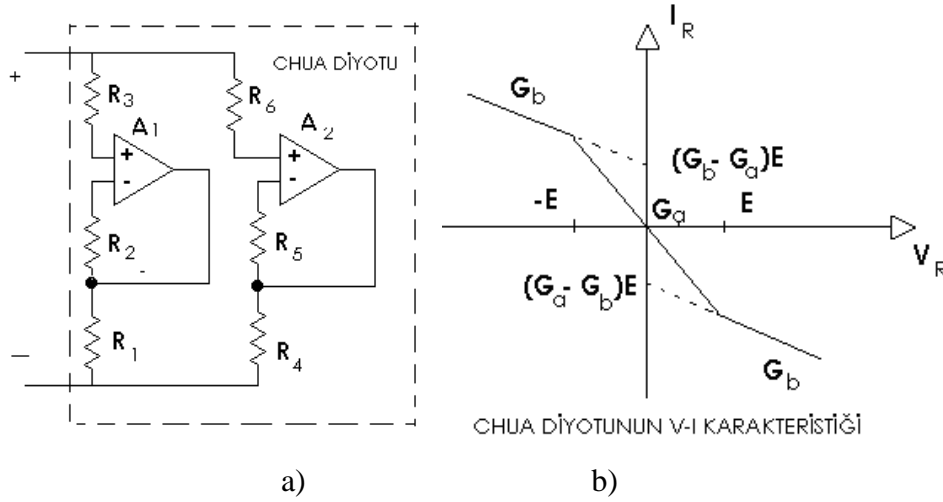
Prof. Dr. Leon Ong Chua'nın 1983 yılında literatürde kendi adı ile anılan kaotik işaret üreten bir osilatör bulmasıyla bu işaretler anlam kazanmıştır. Böylece chua kaotik osilatörü, elektronik ve kaotik işaretler alanına yeni bir boyut kazandırmıştır.

Chua devresi en karmaşık kaosun varlığının deneysel olarak kurulabildiği, sayısal olarak doğrulanabildiği ve matematiksel olarak kanıtlanabildiği en basit devrelerden biridir[11].



Şekil 2.9. Chua Devresi

Chua devresi bir doğrusal indüktans (L , iç direnç R_0), iki doğrusal kapasitör (C_1, C_2), bir doğrusal direnç (R) ve Chua diyotu olarak adlandırılan doğrusal olmayan yapıda gerilim kontrollü direnç (N_R)'den oluşur. Herhangi bir elemanın değeri değiştirildiğinde kaotik davranış dizileri elde edilir.



Şekil 2.10. a) Chua Doğrusal Olmayan diyodu b) Chua diyotunun Karakteristiği

Chua Devresi aşağıdaki üç adet durum denklemi ile tanımlanabilir:

$$\frac{dI_L}{dt} = -\frac{V_{C2}}{L}$$

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{I_L}{C_2} - \frac{G}{C_2}(V_{C2} - V_{C1}) \quad (2.2)$$

$$\frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{G}{C_1}(V_{C2} - V_{C1}) - \frac{f(V_{C1})}{C_1}$$

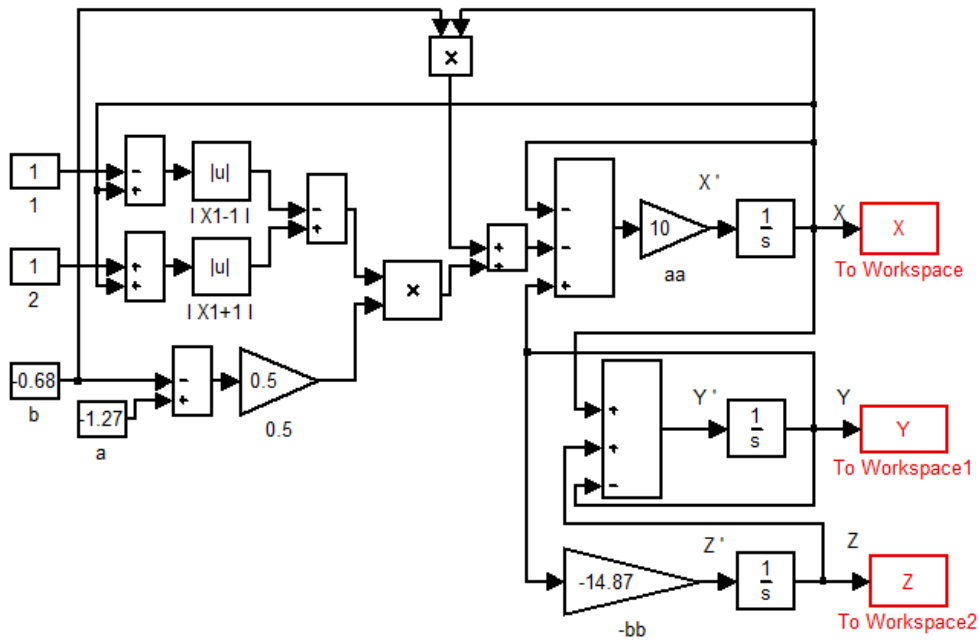
burada $f(V_{C1})$ ifadesi Chua diyotunun karakteristiği olup aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$f(V_{C1}) = G_b.V_{C1} + \frac{1}{2}(G_a - G_b)[|(V_{C1} + E)| - |(V_{C1} - E)|] \quad ;$$

$$= \begin{cases} G_b.V_{C1} + (G_b - G_a).E & ; V_{C1} < -E \\ G_a.V_{C1} & ; -E \leq V_{C1} \leq E \\ G_b.V_{C1} + (G_a - G_b).E & ; V_{C1} > E, \end{cases}$$

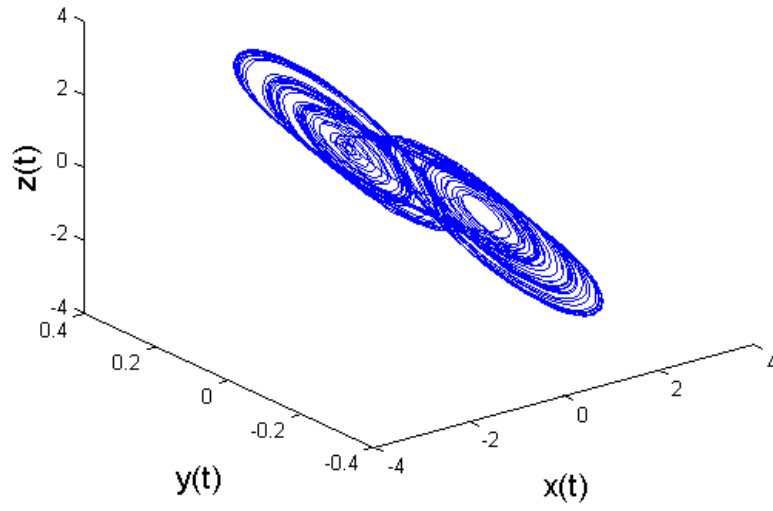
ve $E > 0$, $G_a < 0$, $G_b < 0$

Chua devresinin Matlab Simulink benzetimi aşağıdaki gibidir.

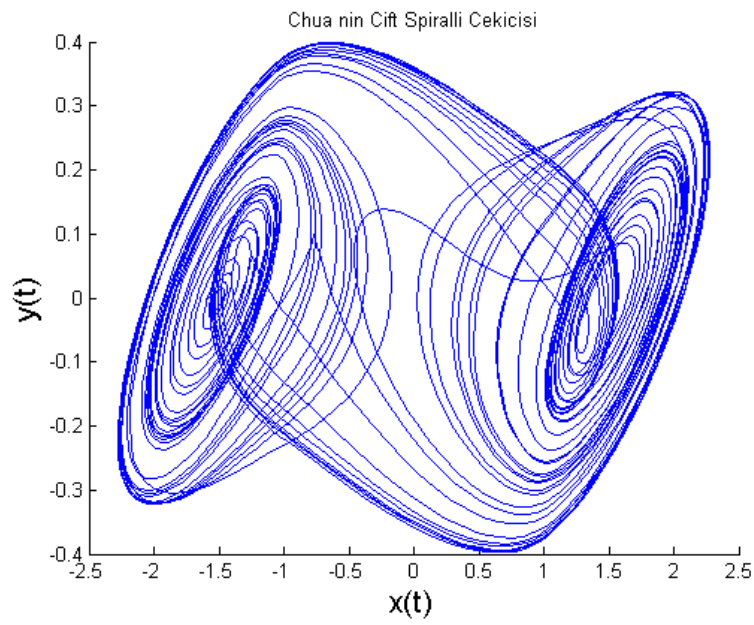


Şekil 2.11. Chua devresinin Matlab Simulink benzetimi

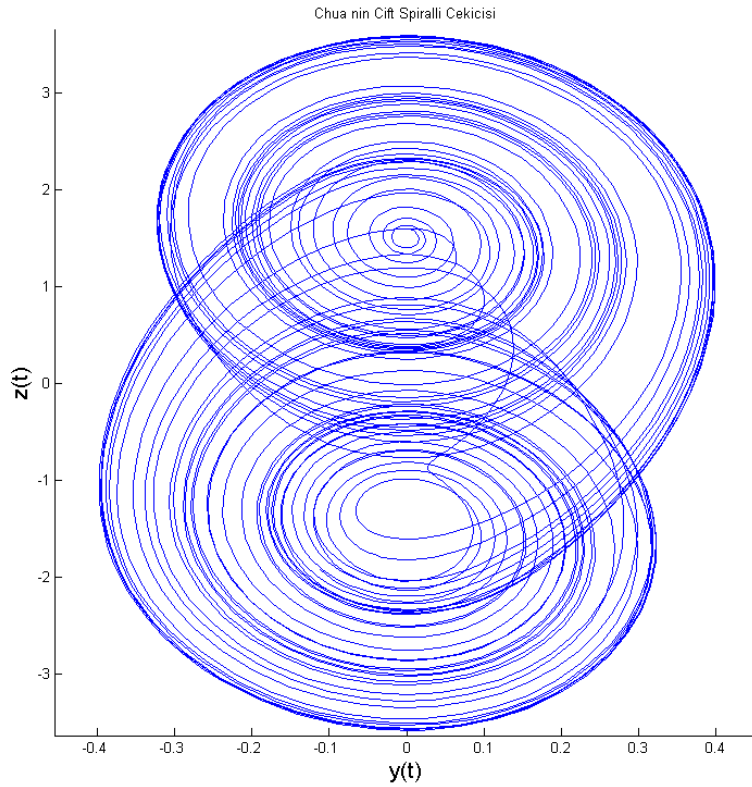
Chua nin Cift Spiralli Cekicisi



Şekil 2.12. Chua Dinamik Denklemleri ile oluşturulan 'Çift Spiralli Çekici'



Şekil 2.13. Chua Dinamik Denklemleri ile oluşturulan 'Çift Spiralli Çekici'nin x-y faz portresi



Şekil 2.14.Chua Kaotik osilatörünün yve zfaz portresi

2.3. Rössler Kaotik Osilatörü

Kaotik işaretler üreten bir başka dinamik denklem de Rossler denklemleridir. Rossler sistemi, 3 non-linear farklı eşitlikten oluşmaktadır. Bu farklı eşitlikler, sürekli zamanda kaosu dinamiklerini açıklamaktadır.

Otto Rössler, Rossler çekicisini 1976 da tasarlamıştır, ancak teorik eşitlikler daha sonra bulunabilmiş ve kimya reaksiyonları içerisinde kullanılmıştır[5].

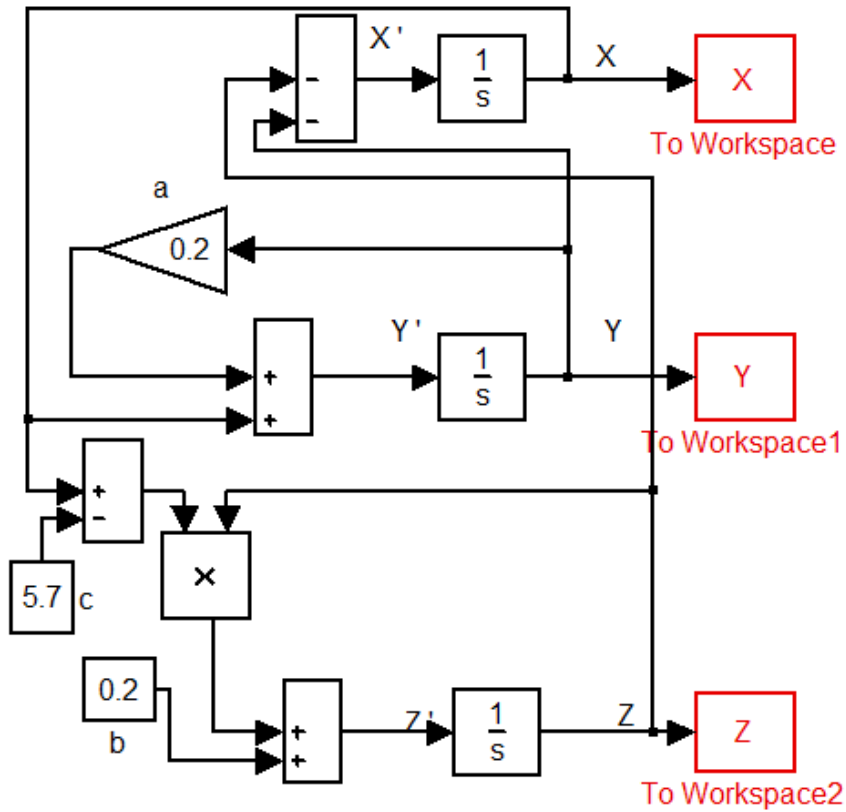
Rössler sistemin bazı durumları lineer yöntemlerle açıklanabilir. Fakat ana özelliği Poincare haritaları ve çatallı diyagramlarla açıklanabilmesidir. Rossler çekicisi, Lorenz çekicisi ile benzerlik göstermektedir, fakat nitelik bakımından daha kolay analiz edilebilmektedir. Çekicinin yörüngesi, x-y eksenini boyunca spirale yaklaşır ve bir noktada kararsız bir noktada oluşturur.

Kaotik işaretler üreten diğer bir dinamik denklemde Rössler dinamik denklemleridir. Bu denklemler X, Y, Z durum değişkenleri ve a, b, c sistem parametreleri olmak üzere;

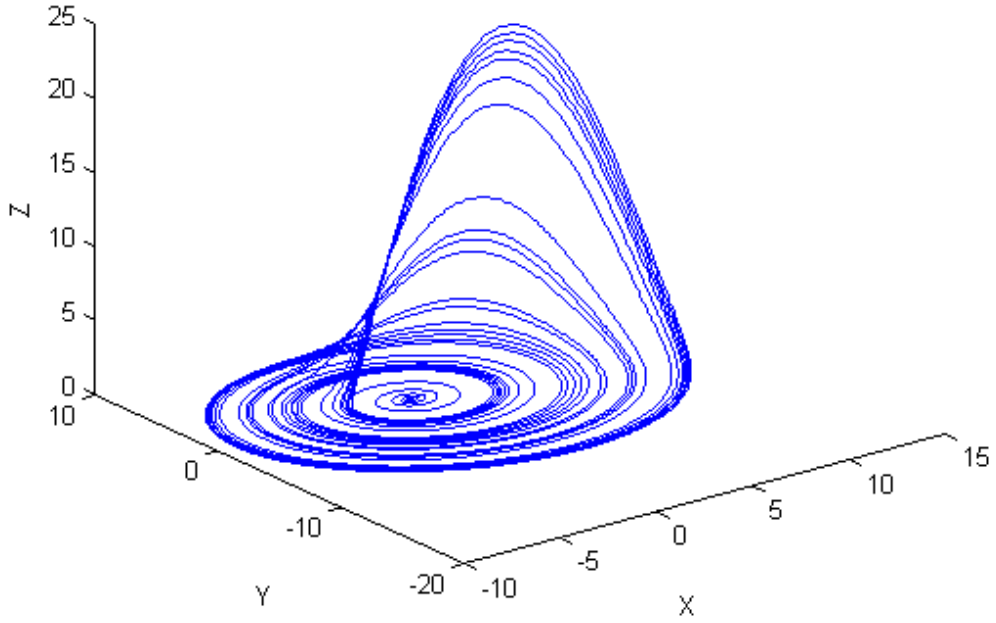
$$\begin{aligned}\dot{X} &= -Y - Z \\ \dot{Y} &= X + aY \\ \dot{Z} &= b + Z(X - c)\end{aligned}\quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Rössler dinamik denklemleri kullanılarak üretilen işaretler de başlangıç şartlarındaki çok küçük değişiklere karşı oldukça duyarlıdır. Bu özellikleri ile bu denklemler kaotik işaretler üretmiş olmaktadır.

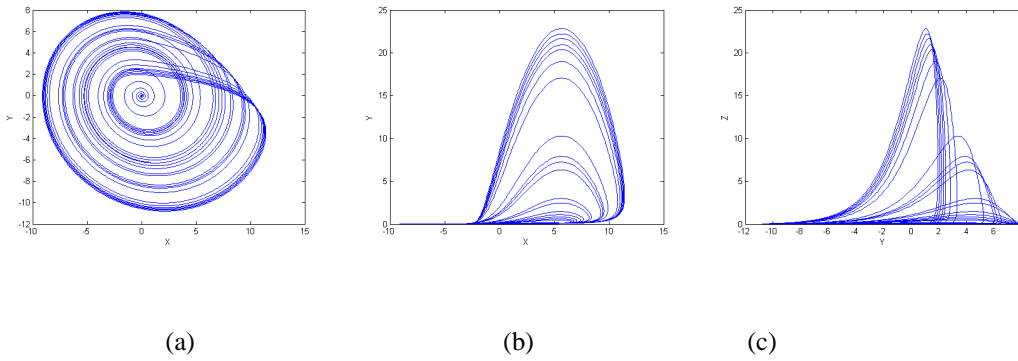
Rössler sisteminin, a=0.2, b=0.2, c=5.7 parametreleri ile $X_0=0$, $Y_0=0$, $Z_0=0$ ilk şartları altında Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu X-Y-Z kaotik yörüngesi, sırasıyla şekil 2.16. ve şekil 2.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Rössler kaotik sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



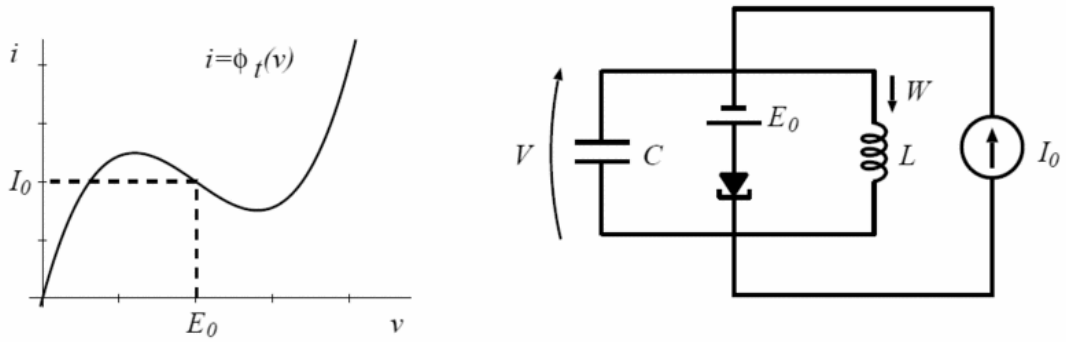
Şekil 2.16. Rössler sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)



Şekil 2.17. Rössler sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri

2.4. Van Der Pol Kaotik Osilatörü

Van Der Pol osilatörü, Alman Elektrik Mühendisi Balthasar Van Der Pol tarafından bulunmuştur. Kaotik işaret üreten bir başka dinamik denklemde Van Der Pol kaotik osilatörleridir.



Şekil 2.18. Tünel Diyot ile Van Der Pol Osilatörünün Elektrik Devresi

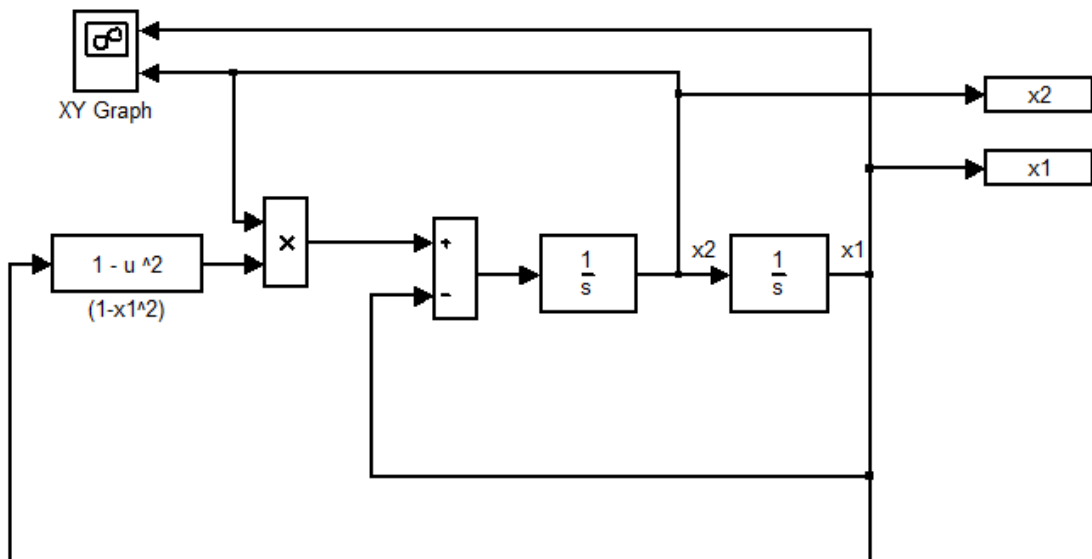
Dinamik denklemi aşağıda ki gibi olup;

$$\begin{aligned} \dot{X} &= X(1-Y^2) - Y \\ \dot{Y} &= X \end{aligned} \quad (2.4)$$

Diferansiyel eşitliği ise aşağıdaki gibidir.

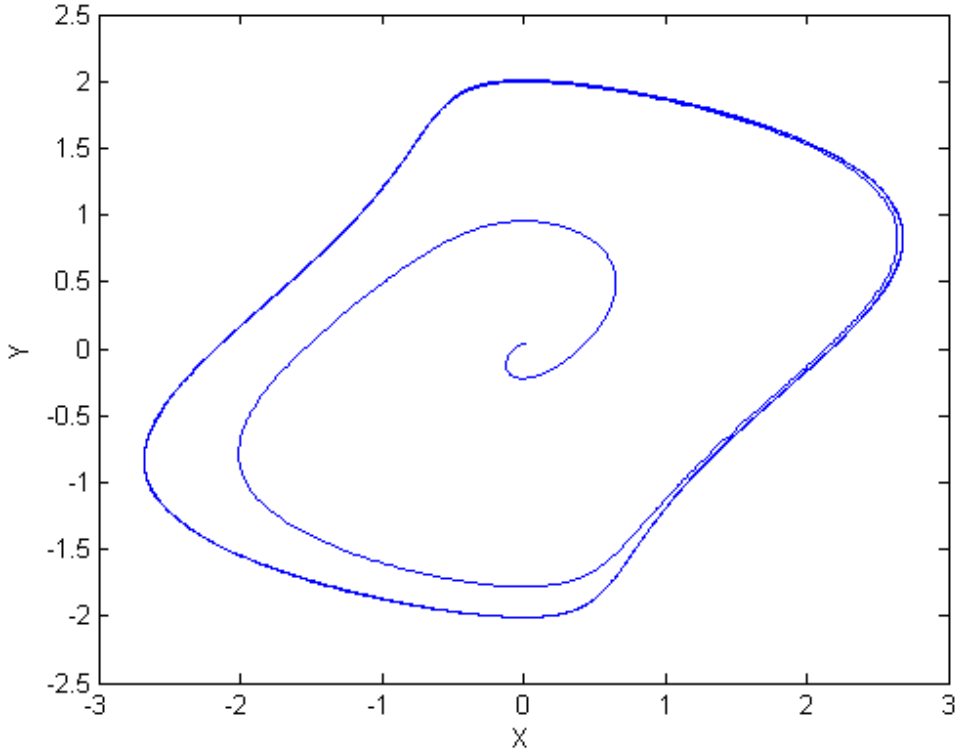
$$\frac{d^2x}{dt^2} - \mu(1 - x^2) \frac{dx}{dt} + x = 0$$

Bu eşitliğin çözümü, kapalı bir eğri üzerinde bir noktanın hareketidir. Bu hareket sabit genlikli bir osilasyondur. Bu şekilde davranması eşitliğin kendi kararını uygulayan osilatörlerin de bir örneğidir[16].



Şekil 2.19. Van Der Pol Sisteminin Matlab Gösterimi

Böyle bir çekici “Limit Döngü” olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekiller Van Der Pol sistemine ait kaotik bir yapı olan limit döngüyü göstermektedir.



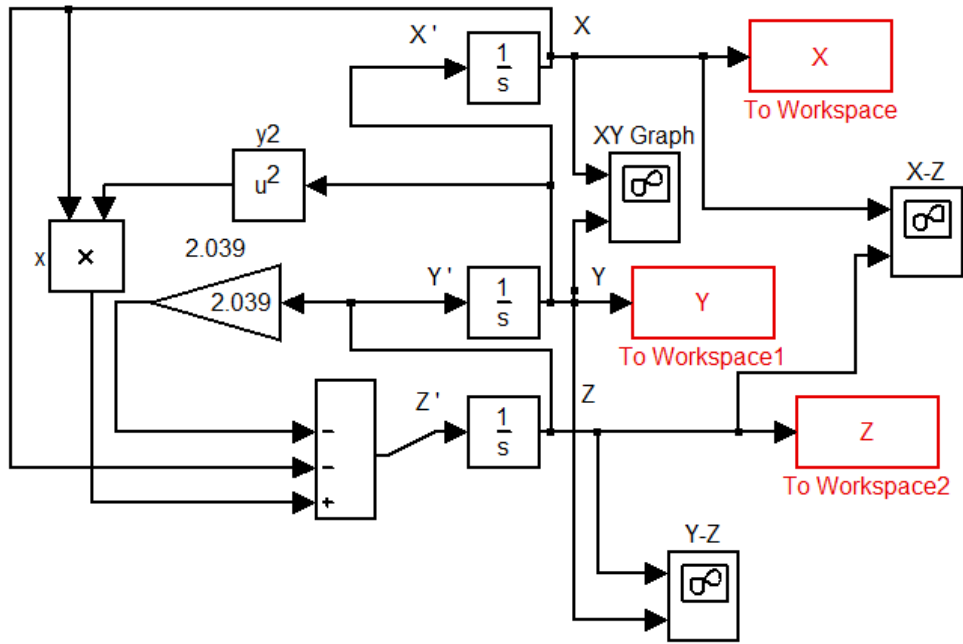
Şekil 2.20. Van Der Pol Kaotik Osilatörünün Oluşturduğu Limit Döngü

2.5. Malasoma 2000 Sistemi

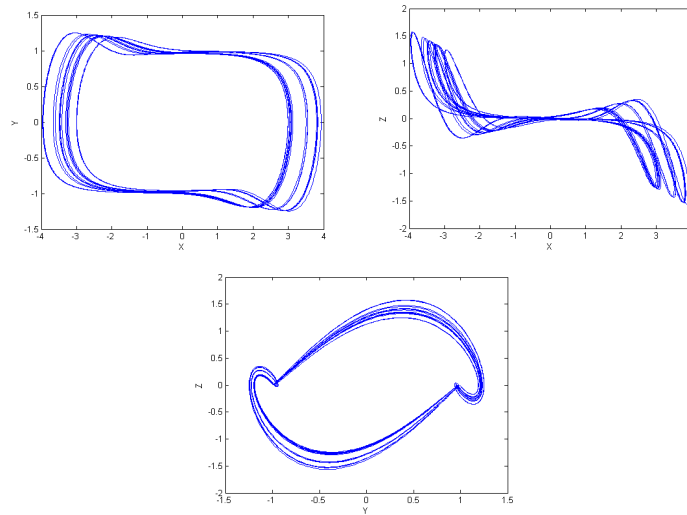
Malasoma'nın 2000 yılında tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= y \\
 \dot{y} &= z \\
 \dot{z} &= -az + xy^2 - x
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

$a = 2.039$ parametresi ile $x_0 = 0$, $y_0 = 0.99$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi, sırasıyla Şekil 2.22. ve şekil 2.23.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Malasoma 2000 sisteminin Matlab-Simulink modellemesi

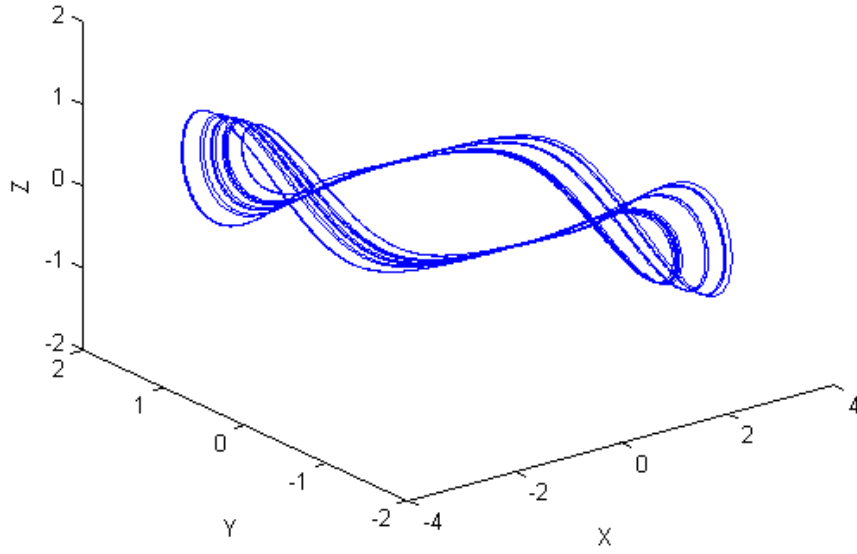


(a)

(b)

(c)

Şekil 2.22. Malasoma 2000 sisteminin a) x - y , b) x - z , ve c) y - z kaotik çekicileri



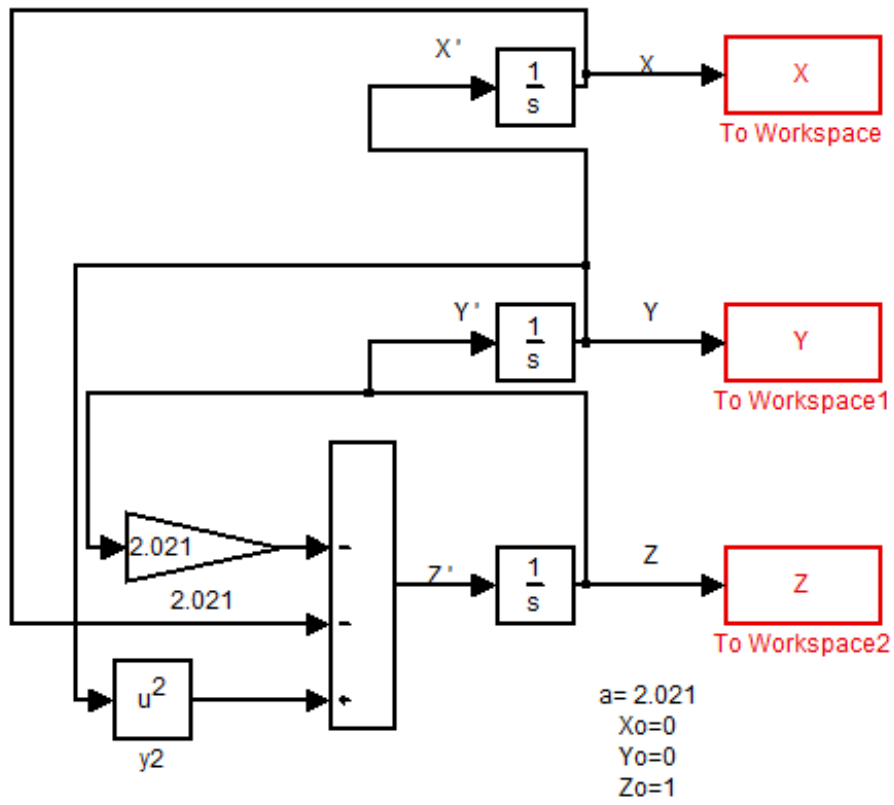
Şekil 2.23. Malasoma 2000 sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.6. Sprott 1997a Sistemi

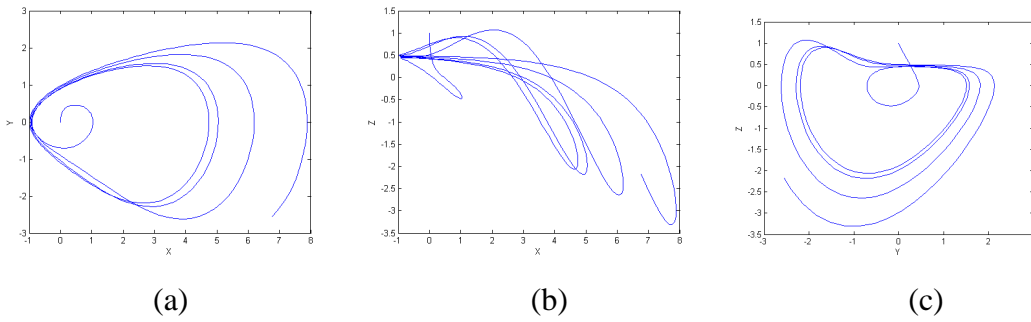
Sprott'un 1997 yılında tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 - x\end{aligned}\tag{2.6}$$

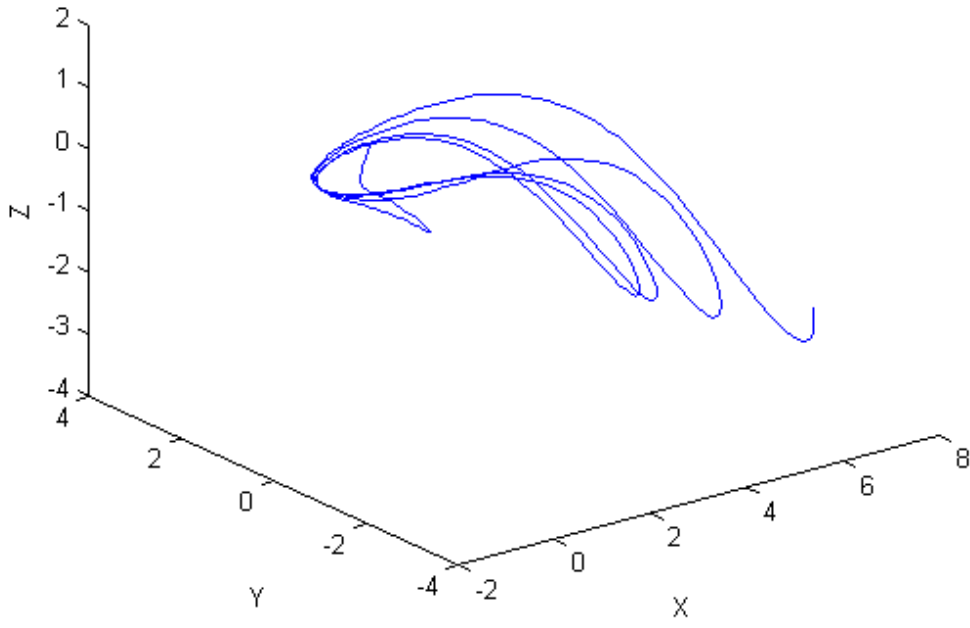
$a = 2.021$ parametresi ile $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $z_0 = 1$ ilk şartları için elde edilen Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu x-y-z kaotik yörüngesi, sırasıyla şekil 2.25, şekil 2.26.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Sprott 1997a sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.25. Sprott 1997a sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri



Şekil 2.26. Sprott 1997a sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

BÖLÜM 3. KAOTİK SENKRONİZASYON

3.1. Kaotik Senkronizasyon

Mühendislikte ve doğada kaotik sistemlere oldukça çok raslanmaktadır. Geçmişte kaos hep problem olarak görülmüş ve tasarımda yapılan değişiklikler ile yok edilmeye çalışılmıştır. Kestirilemeyen bu düzensiz davranışlar genellikle rasgele dış etkilerin sonucu olarak düşünülmüştür[8].

Kaos teorisi konusundaki önemli çalışma alanlarından biri de kaos senkronizasyondur[17],[18]. Kaotik senkronizasyon, kaotik bir sistemi başka bir kaotik sistemle aynı davranışları göstermeye zorlamaktır[24]. Ancak kaotik sistemler, önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere başlangıç şartlarına oldukça duyarlı sistemlerdir. Birbirlerine çok yakın başlangıç şartlarında çalıştırılan iki kaotik sistemin sistem cevaplarına bakılacak olursa çok kısa bir süre sonra birbirlerinden ayrıldıkları görülür. Özellikle kaos-tabanlı haberleşme uygulamalarında alıcı ve verici tarafındaki kaotik osilatörlerin birbirleri ile senkron çalışması şarttır. Birbirinden farklı ortamlarda çalıştırılan iki kaotik osilatörün pratik şartlarda senkron çalışabilmesi için hem aynı elemanlarla dizayn edilmesi hem de aynı başlangıç şartları uygulanması gerekir[8],[19],[20].

3.2. Kaotik Senkronizasyon Türleri ve Pecora-Carroll yöntemi

Entegre türünde kaotik devreler kullanılarak özdeş yapıda kaotik sistemler elde edilebilir[21]. Fakat pratikte, aynı başlangıç şartları uygulamak mümkün değildir. Özel metotlar kullanılmadan iki kaotik sistemi senkron çalıştırmak imkansızdır. Özdeş yapıdaki kaotik sistemleri senkron çalıştırmak için kullanılan iki esas metot vardır. Bu metotlar;

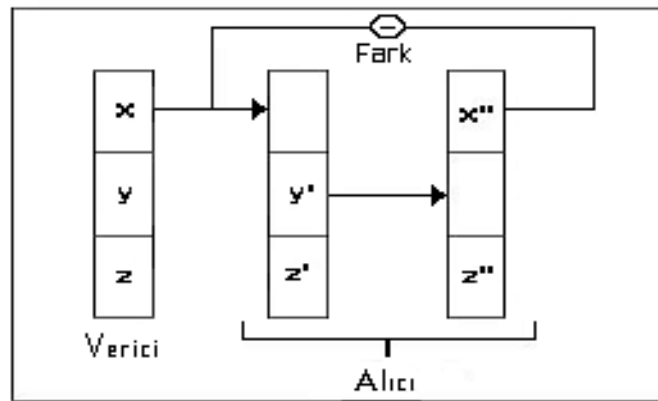
1. Pecora-Carroll (P-C) ard arda bağlama metodu

2. Tek yönlü bağlama metodu

dur. Burada ayrıntılı olarak ele alınıp örneklerle açıklanacak metot olan ard arda bağlama metodu, Pecora ve Carroll tarafından geliştirilmiş olup farklı başlangıç şartlarında çalıştırılan iki kaotik sistemin senkron çalışabileceği göstermiştir[22],[23].

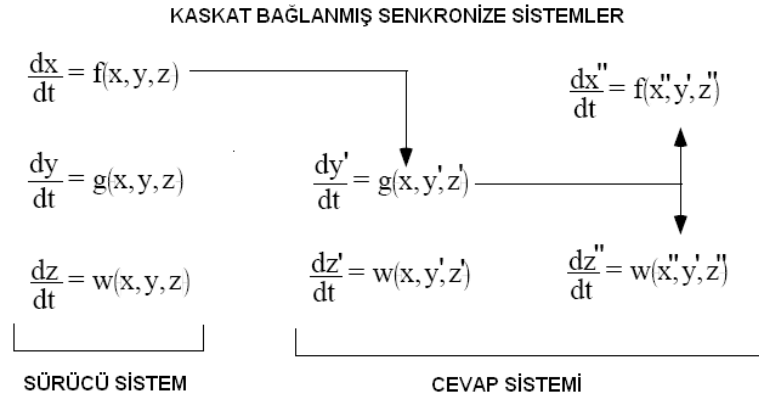
Biri sürülen sistem olarak adlandırılan ve kendisi ile aynı parametrelerle dizayn edilmiş, diğeri de sürülen olarak adlandırılan ikinci bir kaotik sistemi bir kuplaj parametresi üzerinden sürerek kendi davranışlarına benzetmeye zorlar. Sonuçta, bu iki kaotik sistem belirli bir senkronizasyon zamanından sonra aynı davranışları sergilerler[24].

Pecora-Carroll tekniği ile kaotik sistemden bir durum değişkeni orjinal sistemin ikinci kopyasına giriş olarak gönderilirse, kopya alt-sistem(alıcı), orjinal sistem(verici) ile senkronize olabilmektedir[24]. Bu metotla yapılan kaskat bağlanmış senkronize sistem blok diyagramı Şekil 3.1' de, sistem şematığı ise Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



$$x''(t) \rightarrow x(t)$$

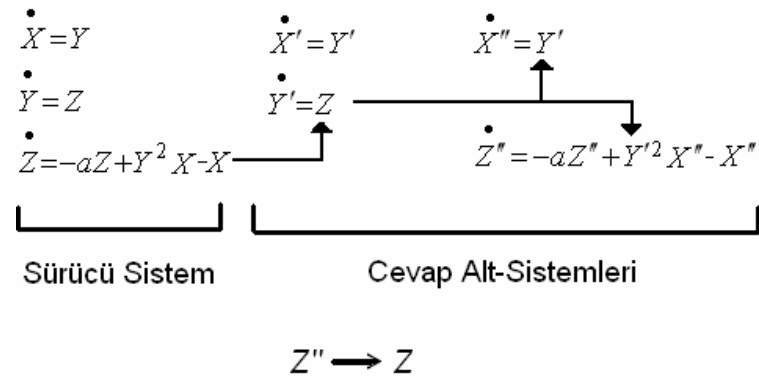
Şekil 3.1. Pecora-Carroll metoduyla yapılan senkronizasyonun blok diyagramı [3]



Şekil 3.2. Kaskat bağlanmış senkronize sistem şematığı (P-C metodu) [3]

3.3. Malasoma2000 Sistemi'nin Senkronizasyonu

Pecora-Carroll Senkronizasyon Metodu'nu Malasoma2000 sistemine ait dinamik denklemlere uygularsak senkronizasyon şeması Şekil 3.3.' deki gibi olur. Burada sürücü sistemden X değişkeni yerine Z değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilmiştir.



Şekil 3.3. Pecora-Carroll metodunun Malasoma2000 sistemine uygulanması

Malasoma2000 sistemi verici devresinin denklemleri şu şekildedir;

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= y \\
 \dot{y} &= z \\
 \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 x - x
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Verilen bu denklemler; (x', y') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}\dot{x}' &= y' \\ \dot{y}' &= z\end{aligned}\tag{3.2}$$

Şeklinde dir. İkinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}\dot{x}'' &= y' \\ \dot{z}'' &= -a \cdot z'' + y'^2 x - x''\end{aligned}\tag{3.3}$$

Şeklinde ayrıştırılabilir[25],[26].

Buna göre; ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 x - x\end{aligned}\tag{3.4}$$

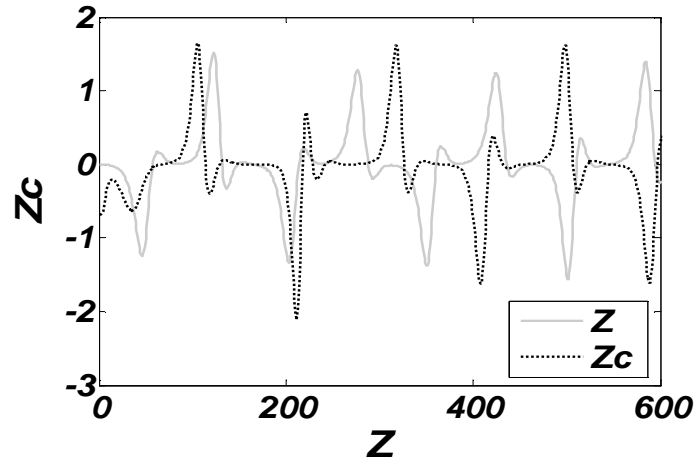
Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir, tek fark (x'', z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen z sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}\dot{x}_r &= y_r \\ \dot{y}_r &= z \\ \dot{z}_r &= -a \cdot z + y_r^2 x_r - x_r\end{aligned}\tag{3.5}$$

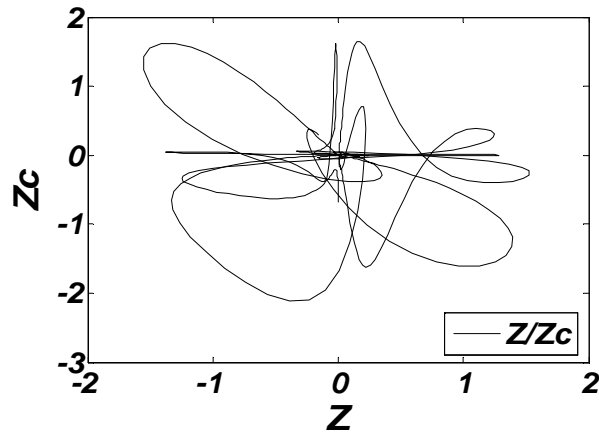
Eğer a parametresi aynı ise z ve z_r sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Çıkarılan ifadelerle göre Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonu aşağıdaki gibi yapılabilir[3].

Parametre değeri $a = 2.028$ olarak seçilmiş iki sistemin $(X_0, Y_0, Z_0) = (0, 0.99, 0)$ ve $(X_0, Y_0, Z_0) = (0.00004, 0, -0.67498)$ gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizesiz), Z -durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.4a)-b)'de, sinyal farkları ise Şekil

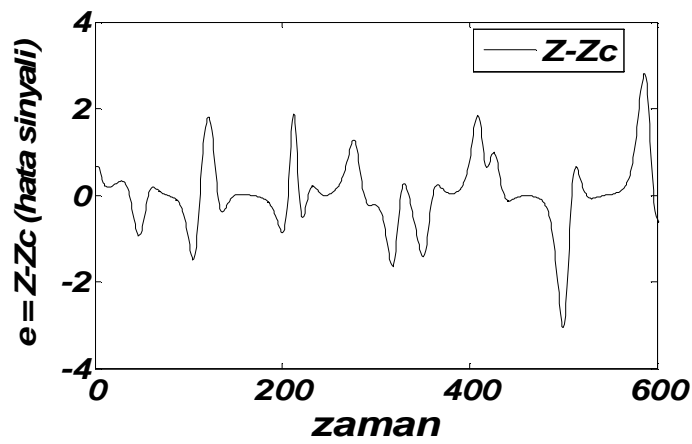
3.4(c)'de görüldüğü gibi olur. Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.



(a)



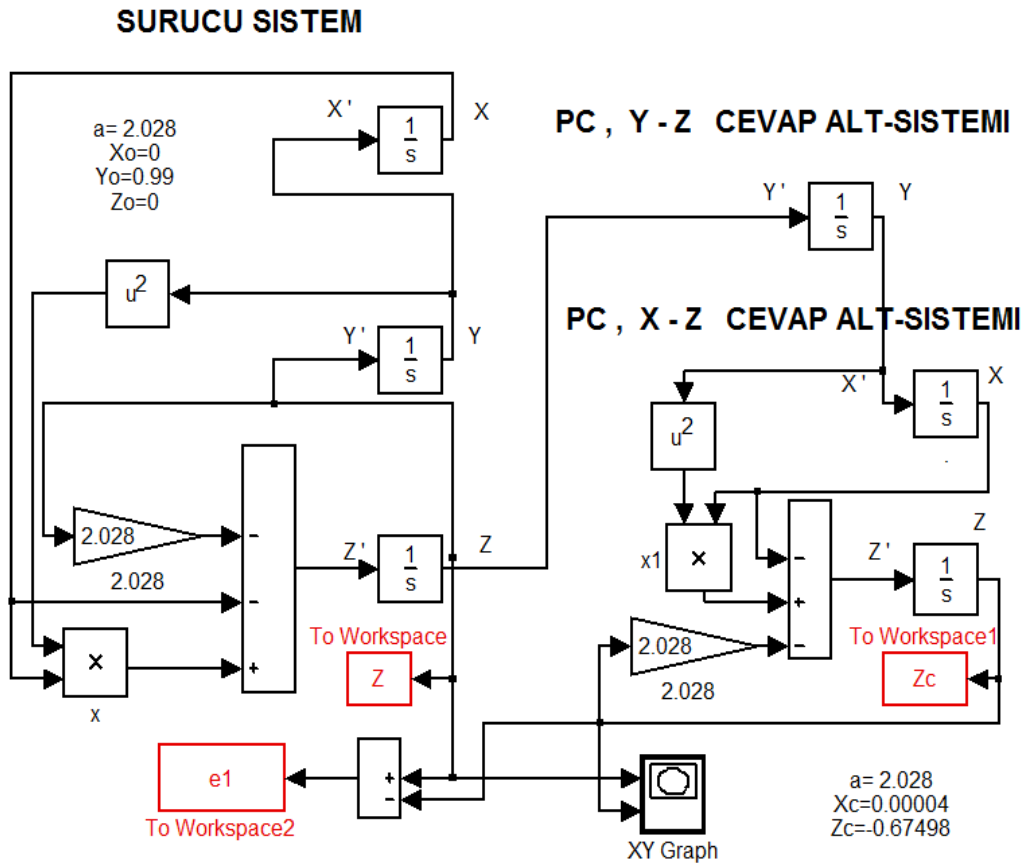
(b)



(c)

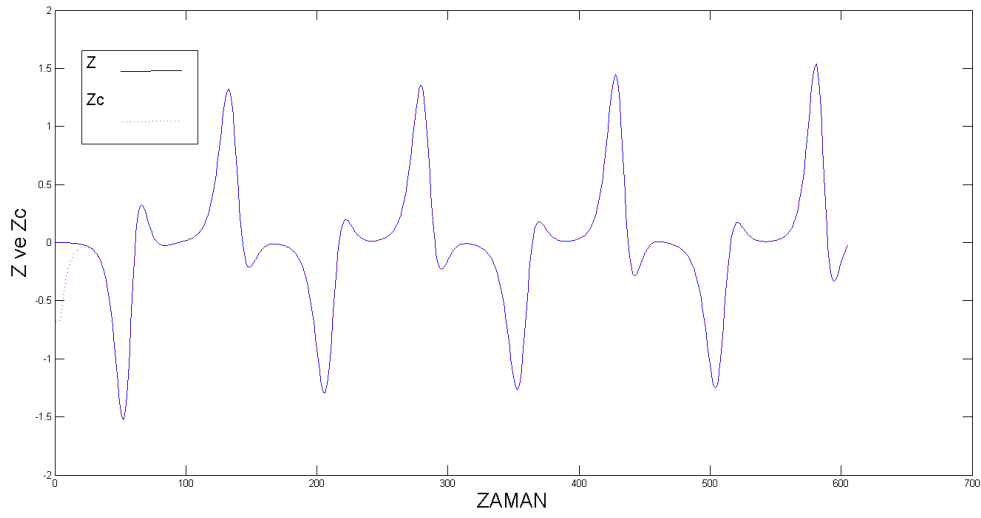
Şekil 3.4. (a) Sürücü sinyali (Z), cevap sinyali (Z_c) (b) Z 'nin Z_c 'ye göre değişimi (c) Senkronizasyon öncesi oluşan $Z-Z_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

Senkronizasyon sonrası durumu gözlemek için oluşturulan, ilk şartları daha önceden verilmiş bu iki sisteme ait Matlab-Simulink senkronizasyon blok diyagramı Şekil 3.5’ de gösterildiği gibidir.

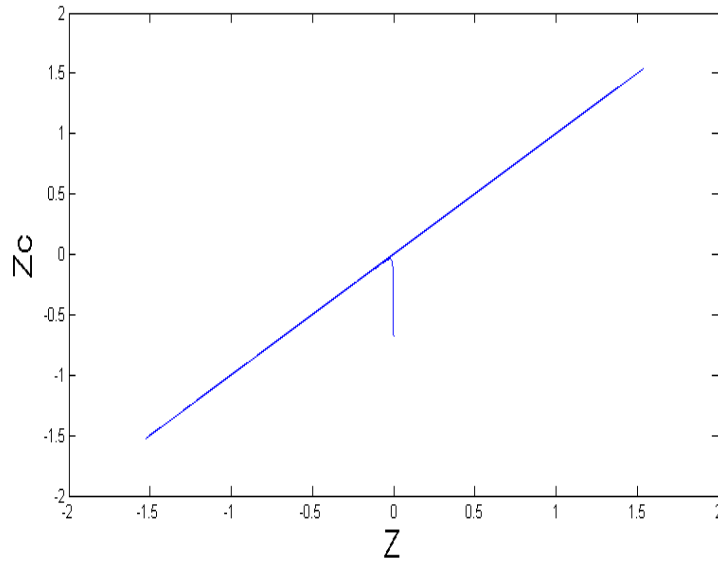


Şekil 3.5. Malasoma2000 sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

Simulasyon çalıştırıldığında sürücü sinyali Z ile cevap sinyali Zc’ nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.6.a). Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.6.b’ ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra “1”, sinyal açılarının 45^0 olduğu görülür.



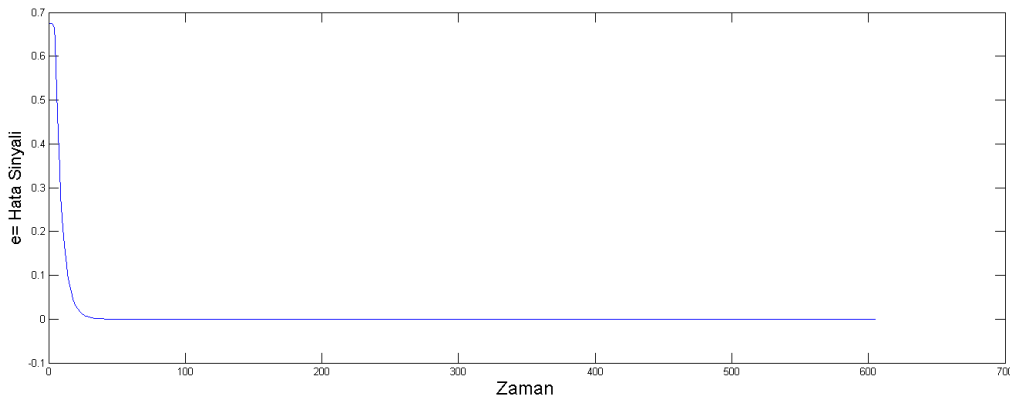
(a)



(b)

Şekil 3.6.(a) Z ve Zc değerlerinin zamana göre değişimi, (b) Z ve Zc nin birbirine göre değişimi

Z' den Zc' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark(e=hata) sinyali ise Şekil 3.7.' da ki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.7. Senkronizasyon sonrası oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali)

3.4. Lorenz Sistemi' nin Senkronizasyonu

Pecora-Carroll Senkronizasyon Metodu, Lorenz sistemine ait dinamik denklemlere uygulandığında sürücü sistemden X değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilir. Senkronizasyondan sonra alıcı devrenin X_c sinyali, verici devrenin X sinyaline kısa sürede yaklaşacak ve senkronize olacaktır.

Lorenz sistemi verici devresinin denklemleri şu şekildedir;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= r \cdot x - x \cdot z - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z\end{aligned}\tag{3.6}$$

Verilen bu denklemler; (y', z') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}\dot{y}' &= r \cdot x - x \cdot z' - y' \\ \dot{z}' &= x \cdot y' - b \cdot z'\end{aligned}\tag{3.7}$$

şeklinde ve ikinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}\dot{x}'' &= \sigma \cdot (y' - x'') \\ \dot{z}'' &= x'' \cdot y' - b \cdot z''\end{aligned}\tag{3.8}$$

şeklinde ayrıştırılabilir[25],[26].

Buna göre; ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= r \cdot x - x \cdot z - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - bz\end{aligned}\tag{3.9}$$

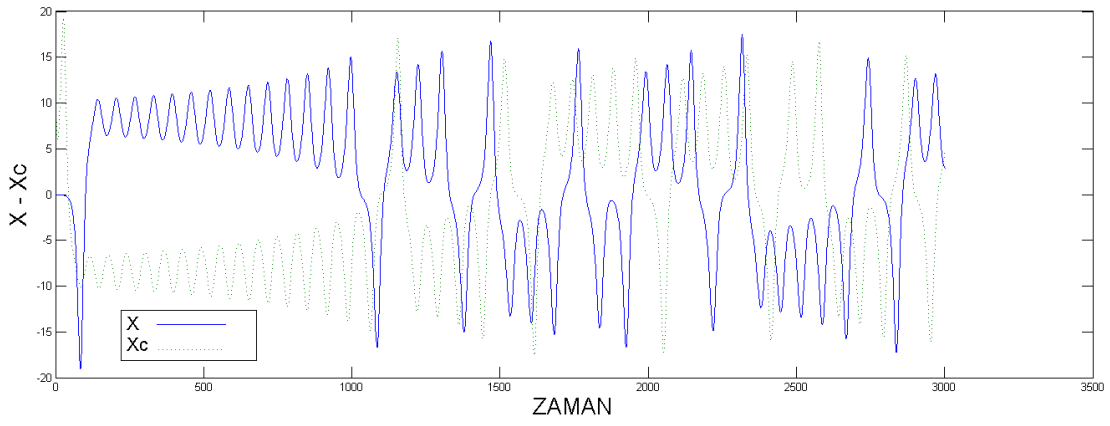
Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir. Tek farkı (y'' , z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen x sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}\dot{x}_r &= \sigma \cdot (y_r - x_r) \\ \dot{y}_r &= r \cdot x - x \cdot z_r - y_r \\ \dot{z}_r &= x \cdot y_r - b \cdot z_r\end{aligned}\tag{3.10}$$

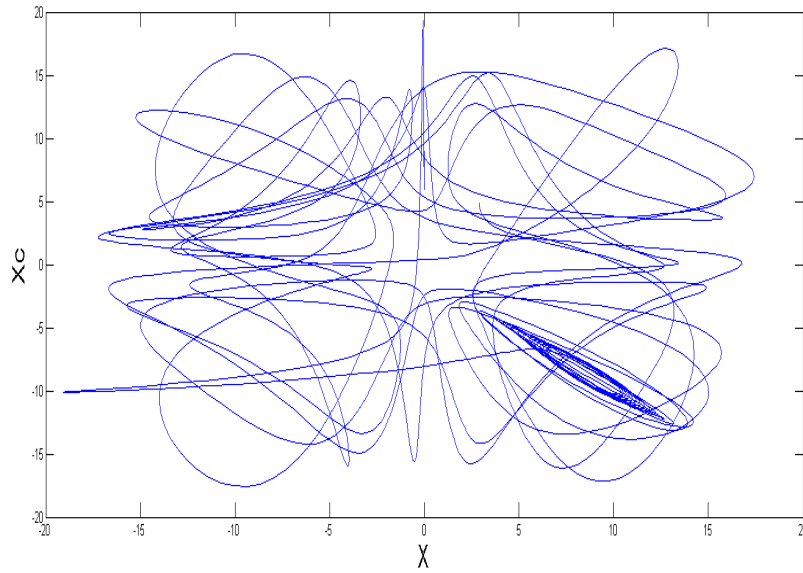
Eğer σ , r , b parametreleri aynı ise x ve x_r sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadeleri göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonunu yapalım:

Parametre değerleri σ , r , b , sırasıyla 10, 28, 8/3 olarak seçilmiş iki sistemin (X_0, Y_0, Z_0) = (0, -0.02, 10) ve (X_0, Y_0, Z_0) = (9, -4, 2) gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizasyon olmadan), X-durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.8.(a)'de, sinyal farkları ise Şekil 3.8.(b)'de görüldüğü gibi olur.

Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.



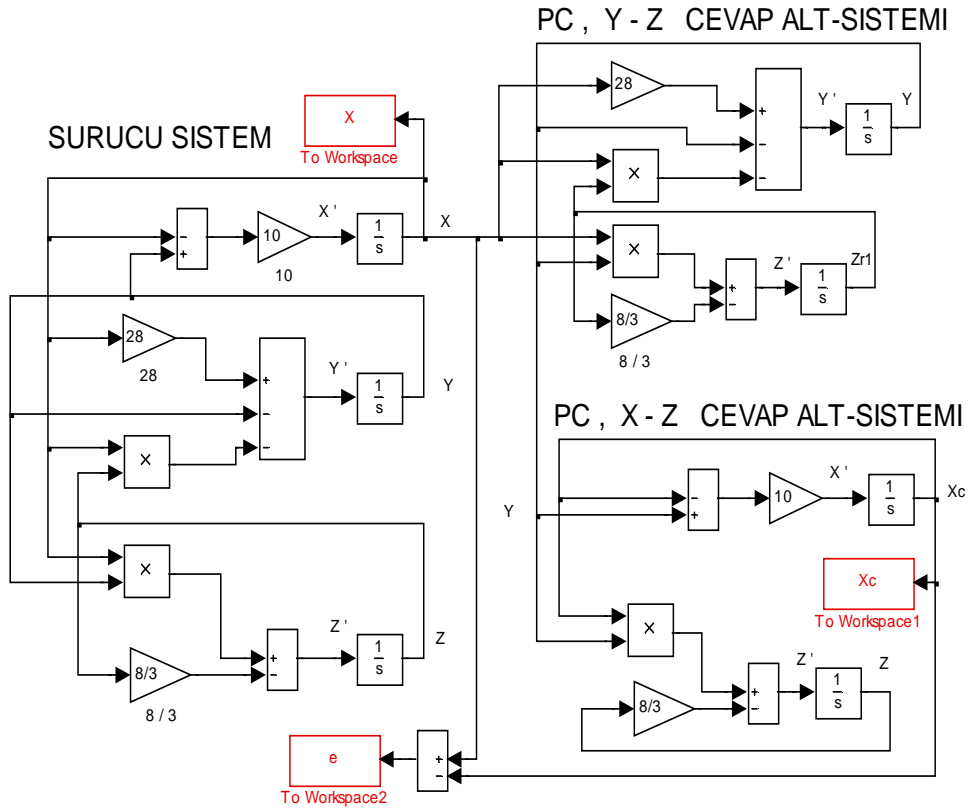
a)



b)

Şekil 3.8. (a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'in Xc'ye göre değişimi

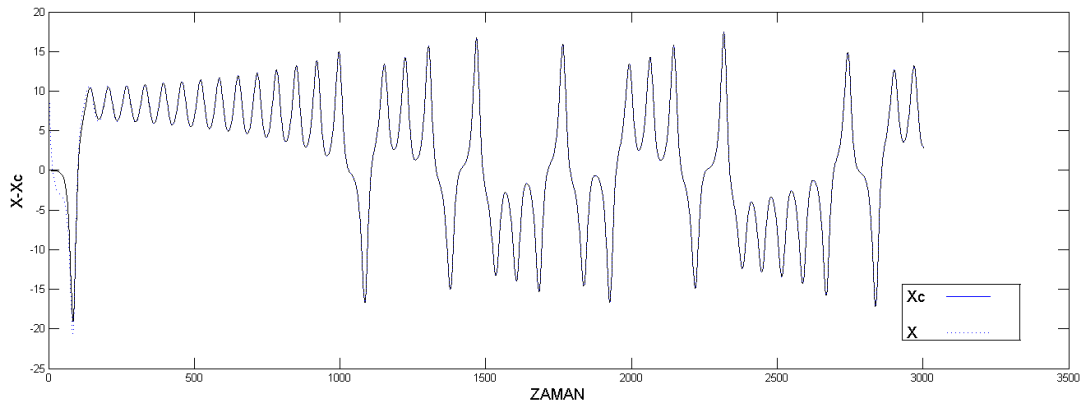
Senkronizasyon sonrası durumu gözlemek için oluşturulan, ilk şartları daha önceden verilmiş bu iki sisteme ait Matlab-Simulink senkronizasyon blok diyagramı Şekil 3.9.' de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. Lorenz sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

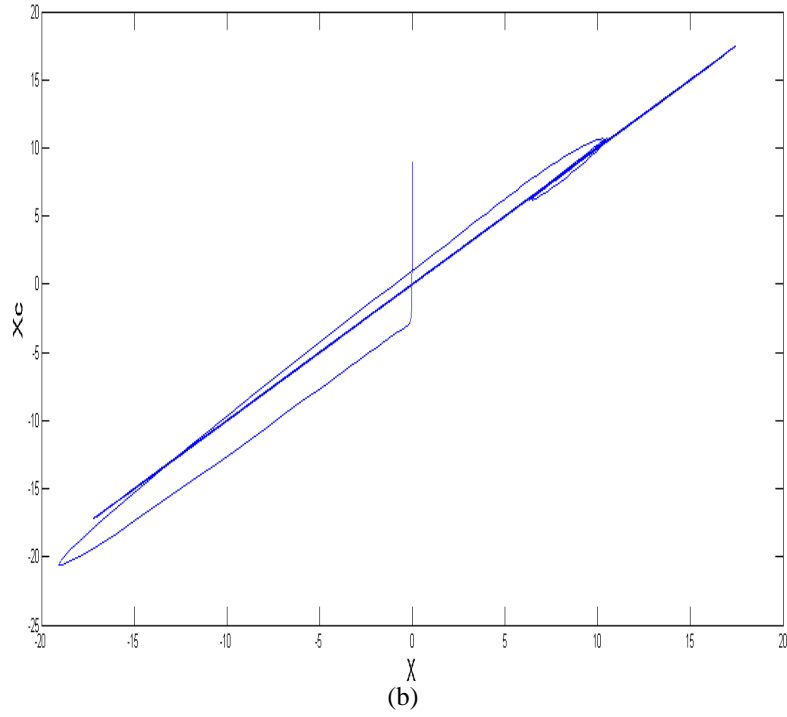
Simulasyon başlatıldığında, sürücü sinyali X ile cevap sinyali X_c 'nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.10.a).

Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.10.b'ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra "1" olduğu görülür.



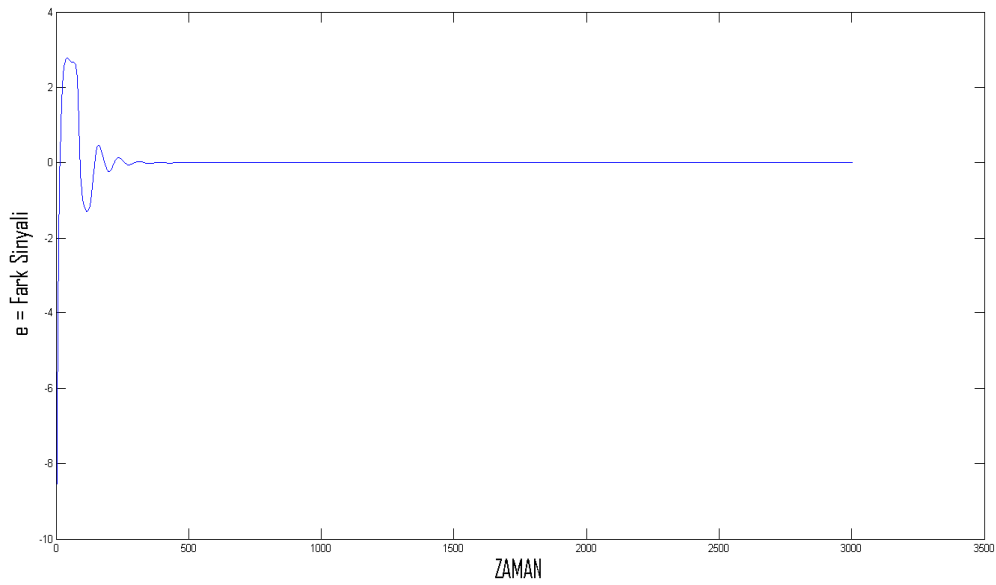
(a)

Şekil 3.10. (a) X ve X_c değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve X_c nin birbirine göre değişimi



Şekil 3.10. (Devamı)

X' den X_c' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark(e =hata) sinyali ise Şekil 3.11.' deki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.11. Senkronizasyon sonrası oluşan $X-X_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

3.5. Rucklidge Sistemi' nin Senkronizasyonu

Pecora-Carroll Senkronizasyon Metodu, Rucklidge sistemine ait dinamik denklemlere uygulandığında sürücü sistemden X değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilir. Senkronizasyondan sonra alıcı devrenin X_c sinyali, verici devrenin X sinyaline kısa sürede yaklaşacak ve senkronize olacaktır.

Rucklidge sistemi verici devresinin denklemleri şu şekildedir;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -K \cdot x + L \cdot y - y \cdot z \\ \dot{y} &= x \\ \dot{z} &= -z + y^2\end{aligned}\tag{3.11}$$

Verilen bu denklemler; (y', z') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}\dot{y}' &= x \\ \dot{z}' &= -z' + y'^2\end{aligned}\tag{3.12}$$

Şeklinde ve ikinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}\dot{x}'' &= -K \cdot x'' + L \cdot y' - y' \cdot z'' \\ \dot{z}'' &= -z'' + y'^2\end{aligned}\tag{3.13}$$

Şeklinde ayrıştırılabilir[25],[26].

Buna göre; ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -K \cdot x + L \cdot y - y \cdot z \\ \dot{y} &= x \\ \dot{z} &= -z + y^2\end{aligned}\tag{3.14}$$

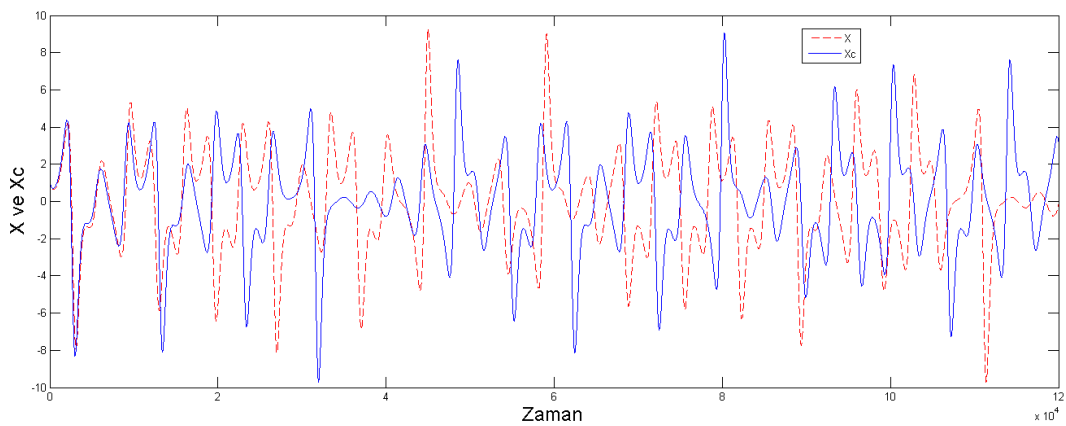
Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir, tek fark (y'' , z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen x sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}\dot{x}_r &= -K \cdot x + L \cdot y_r - y_r \cdot z_r \\ \dot{y}_r &= x \\ \dot{z}_r &= -z_r + y_r^2\end{aligned}\quad (3.15)$$

Eğer K ve L parametreleri aynı ise x ve x_r sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadelere göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonu aşağıdaki gibidir.

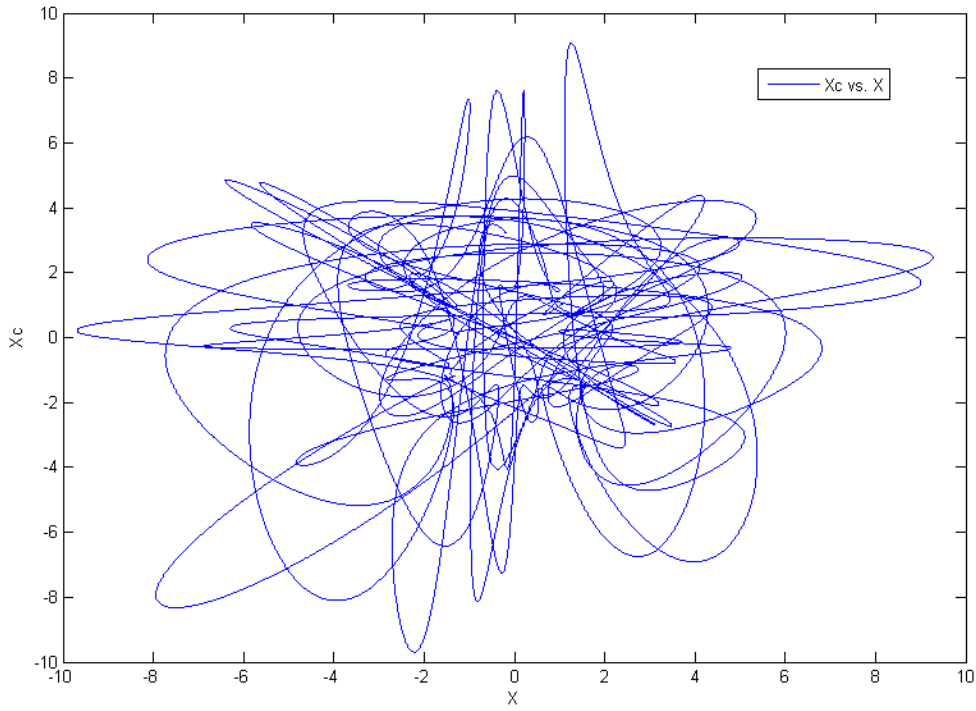
Parametre değerleri K ve L sırasıyla 2 ve 6.7 olarak seçilmiş iki sistemin $(X_0, Y_0, Z_0) = (1.1, 0, 5.1)$ ve $(X_0, Y_0, Z_0) = (1.09, 0, 3.9)$ gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizasyon olmadan) X -durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.12.'de, sinyal farkları ise Şekil 3.13.'de görüldüğü gibi olur.

Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.



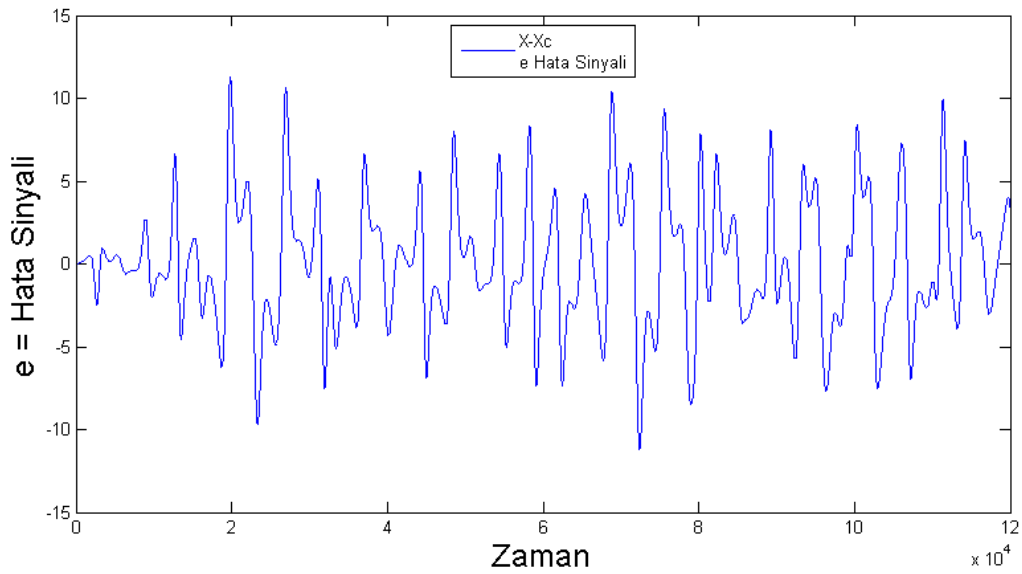
a)

Şekil 3.12. (a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'nin Xc'ye göre değişimi

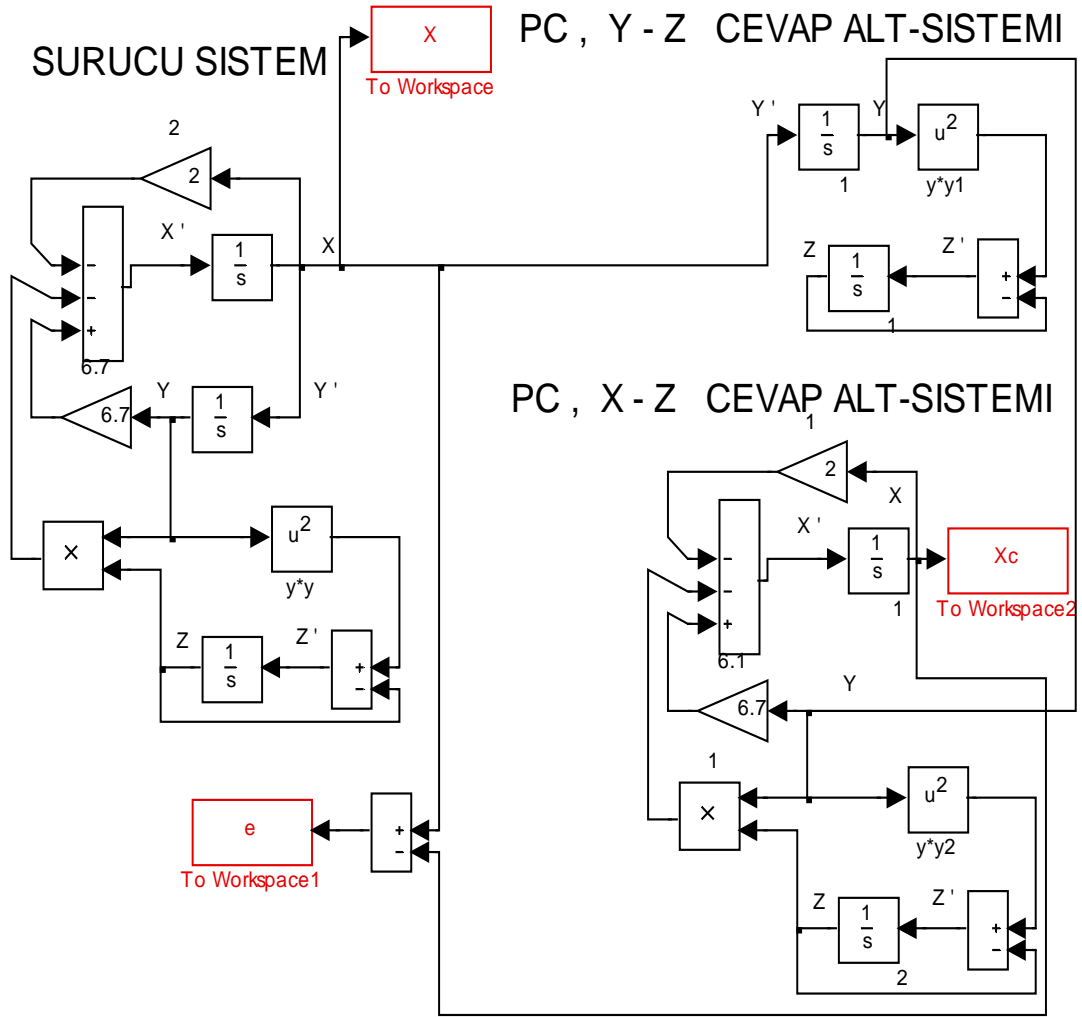


b)

Şekil 3.12. (Devamı)

Şekil 3.13. Senkronizasyon öncesi oluşan $X-X_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

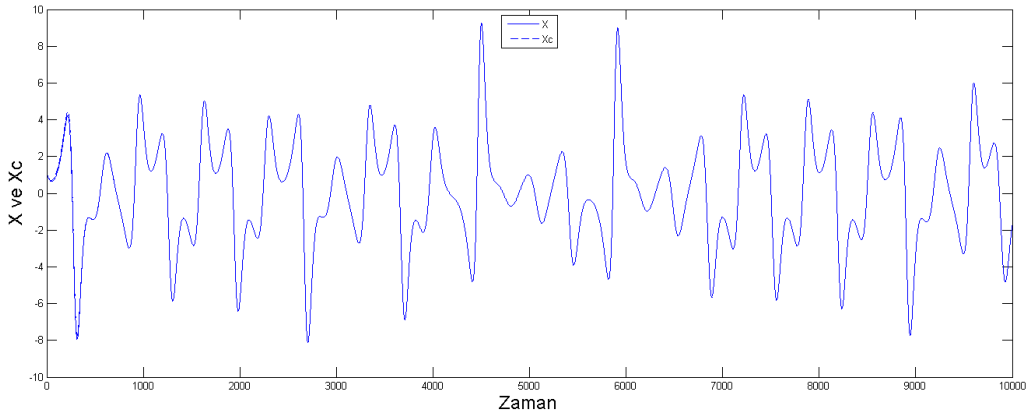
Senkronizasyon sonrası durumu gözlemek için oluşturulan, ilk şartları daha önceden verilmiş bu iki sisteme ait Matlab-Simulink senkronizasyon blok diyagramı Şekil 3.14.' de gösterildiği gibidir.



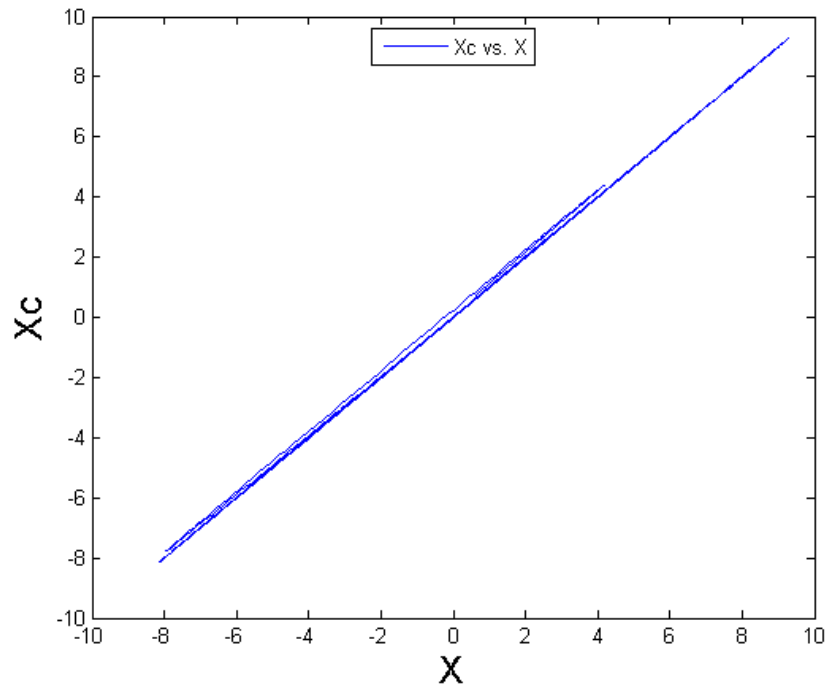
Şekil 3.14. Rucklidge sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

Simulasyon başlatıldığında, sürücü sinyali X ile cevap sinyali X_c 'nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.15.a).

Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.15.b'ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra "1" olduğu görülür.



(a)

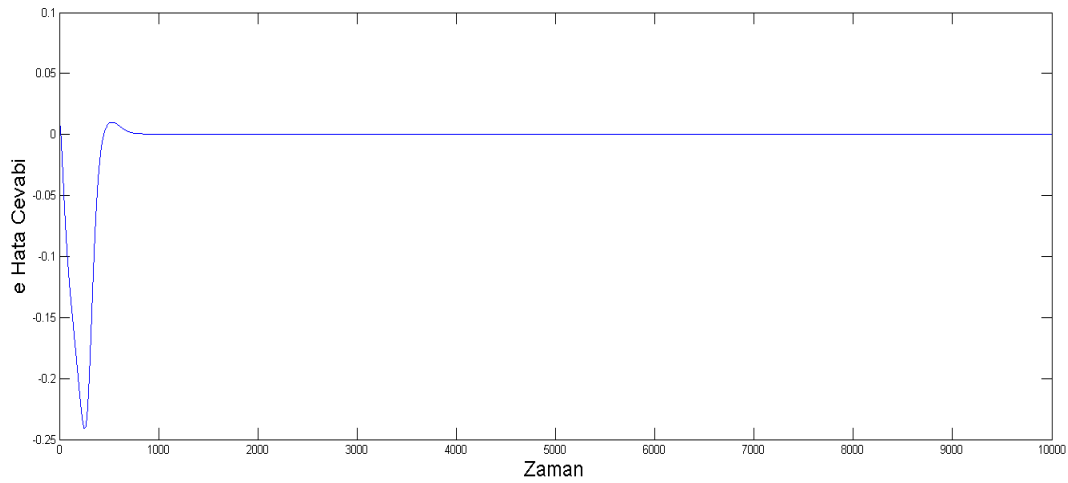


(b)

Şekil 3.15. (a) X ve X_c değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve X_c nin birbirine göre değişimi

X' den X_c ' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark (e =hata) sinyali ise Şekil 3.16.' de ki gibi olur.

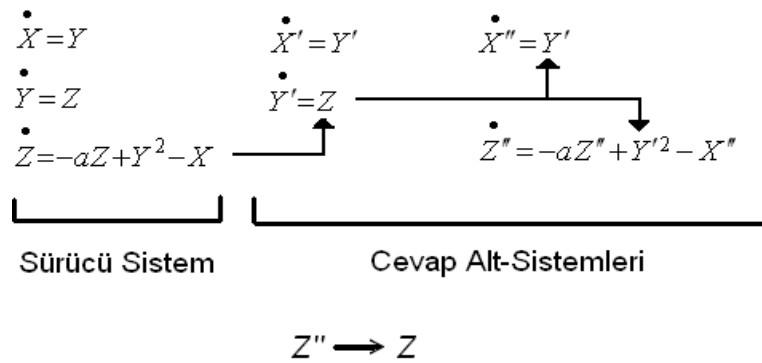
Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.16. Senkronizasyon sonrası oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata cevabı)

3.6. Sprott 97a Sistemi'nin Senkronizasyonu

Pecora-Carroll Senkronizasyon Metodu'nu Sprott 97a sistemine ait dinamik denklemlere uygularsak senkronizasyon şeması Şekil 3.17.' deki gibi olur. Bu çalışmada sürücü sistemden X değişkeni yerine Z değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilmiştir[24].



Şekil 3.17. Pecora-Carroll metodunun Sprott97a sistemine uygulanması

Sprott97a sistemi verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= y \\
\dot{y} &= z \\
\dot{z} &= -a \cdot z + y^2 - x
\end{aligned} \tag{3.16}$$

Verilen bu denklemler; (x', y') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}
\dot{x}' &= y' \\
\dot{y}' &= z
\end{aligned} \tag{3.17}$$

şeklinde ve ikinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}
\dot{x}'' &= y' \\
\dot{z}'' &= -a \cdot z'' + y'^2 - x''
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Şeklinde ayrıştırılabilir[25],[26].

Yapılan ayrıştırma işlemi kaotik sistemlerin kendinden senkronize olabileme özelliğinin arkasındaki bir sonucudur. Kaos senkronizasyonu iki ayrı kaotik osilatör birbirlerine master-slave konfigürasyonu ile bağlandığında da gösterilebilir. Ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= y \\
\dot{y} &= z \\
\dot{z} &= -a \cdot z + y^2 - x
\end{aligned} \tag{3.19}$$

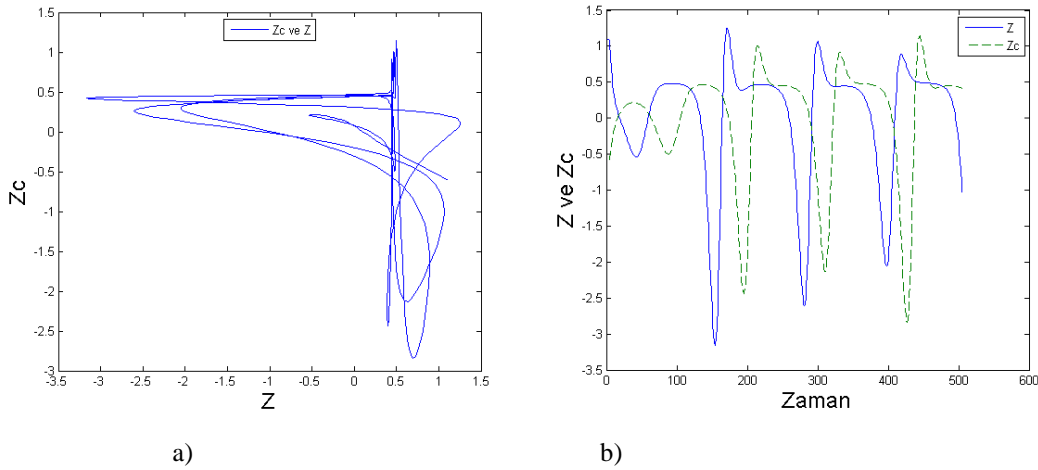
Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir. Tek fark (x'', z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen z sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}
\dot{x}_r &= y_r \\
\dot{y}_r &= z \\
\dot{z}_r &= -a \cdot z + y_r^2 - x_r
\end{aligned} \tag{3.20}$$

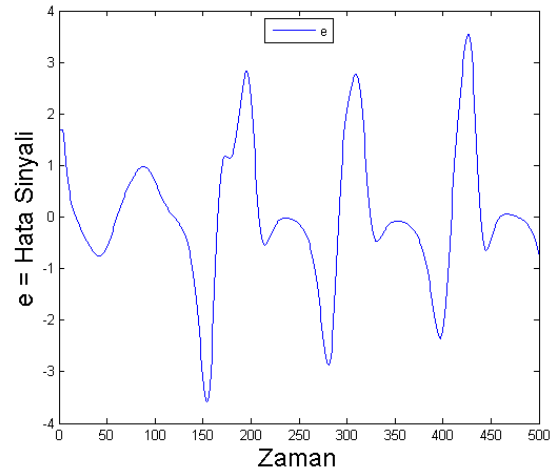
Eğer a parametresi aynı ise z ve z_r sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadelere göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonunu yapalım[24]:

Parametre değerleri $a = 2.017$ olarak seçilmiş iki sistemin $(X_0, Y_0, Z_0) = (0, 0, 1.1)$ ve $(X_0, Y_0, Z_0) = (0.00001, 0, -0.6)$ gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizesiz), Z -durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.18'de, sinyal farkları ise Şekil 3.19'de görüldüğü gibi olur.

Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

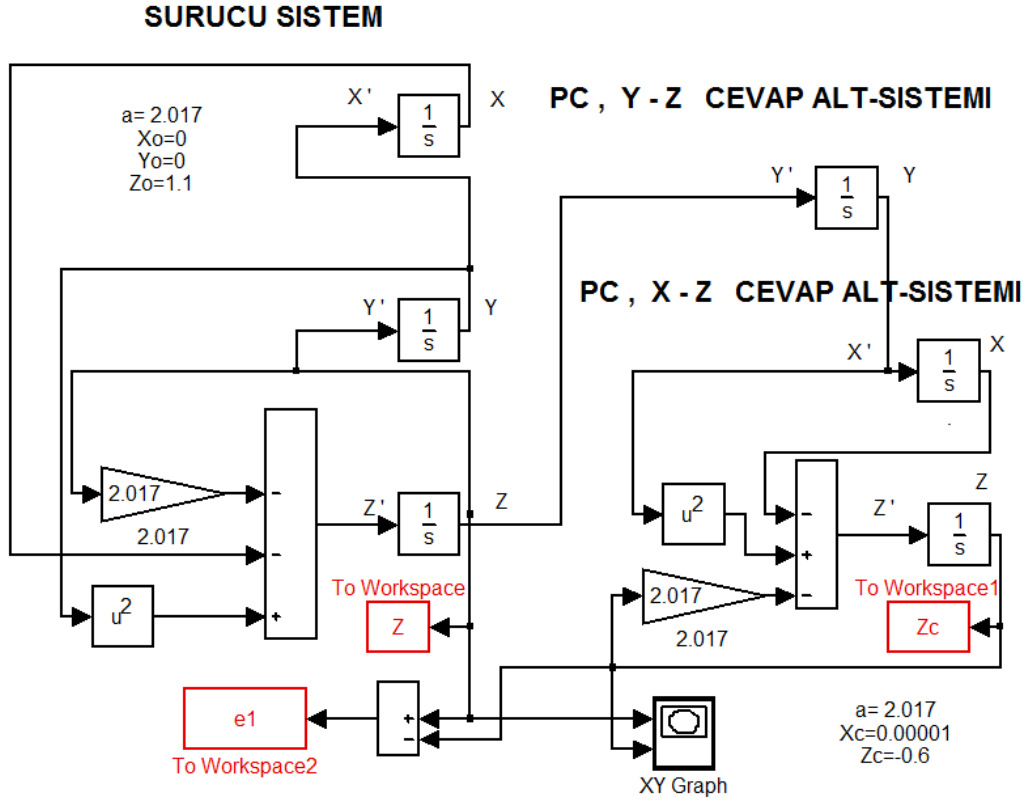


Şekil 3.18. (a) Z 'nin Z_c 'ye göre değişimi (b) Sürücü sinyali (Z), cevap sinyali (Z_c)



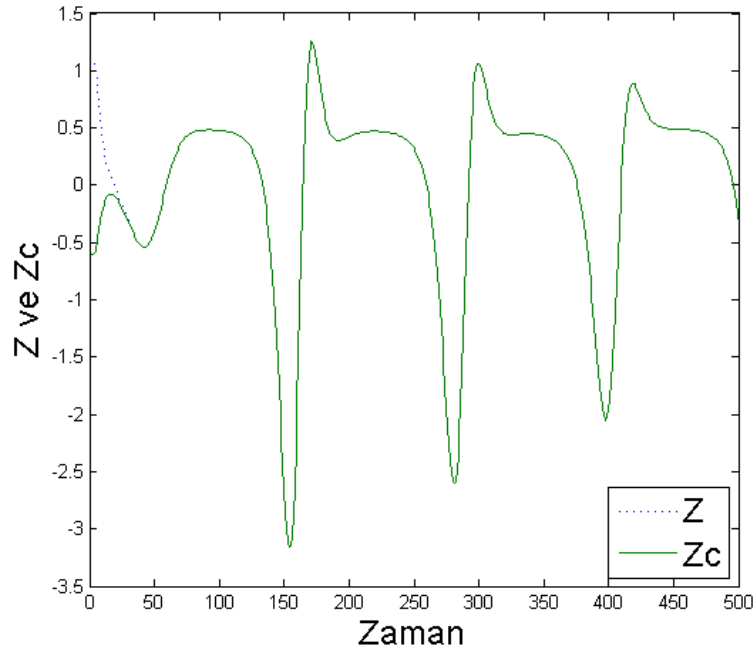
Şekil 3.19. Senkronizasyon öncesi oluşan $Z-Z_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

İlk şartları verilen bu iki sistemin senkronizasyonu için oluşturulan Matlab-Simulink blok diyagramı Şekil 3.20.' de gösterildiği gibidir.

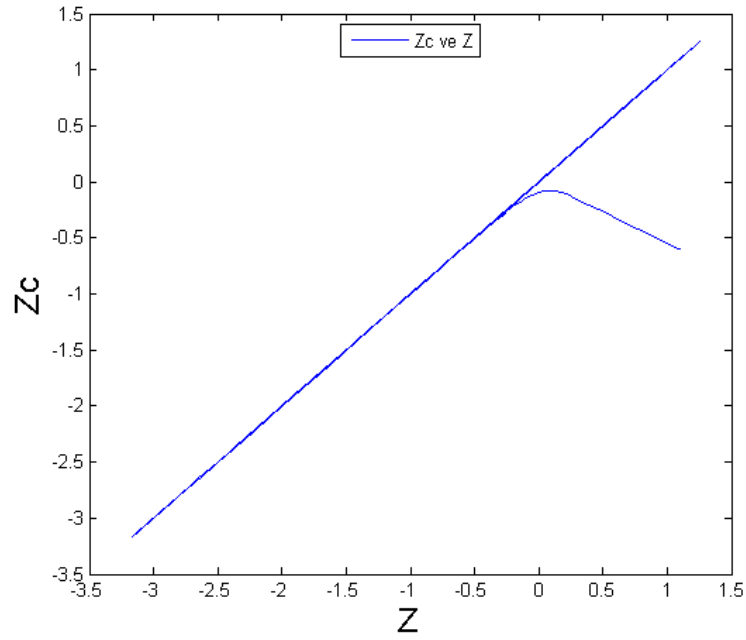


Şekil 3.20. Sprot97a sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

Matlab Simulasyonu başlatıldığında, sürücü sinyali Z ile cevap sinyali Z_c ' nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.21.a). Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.21.b' ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra "1" olduğu görülür.



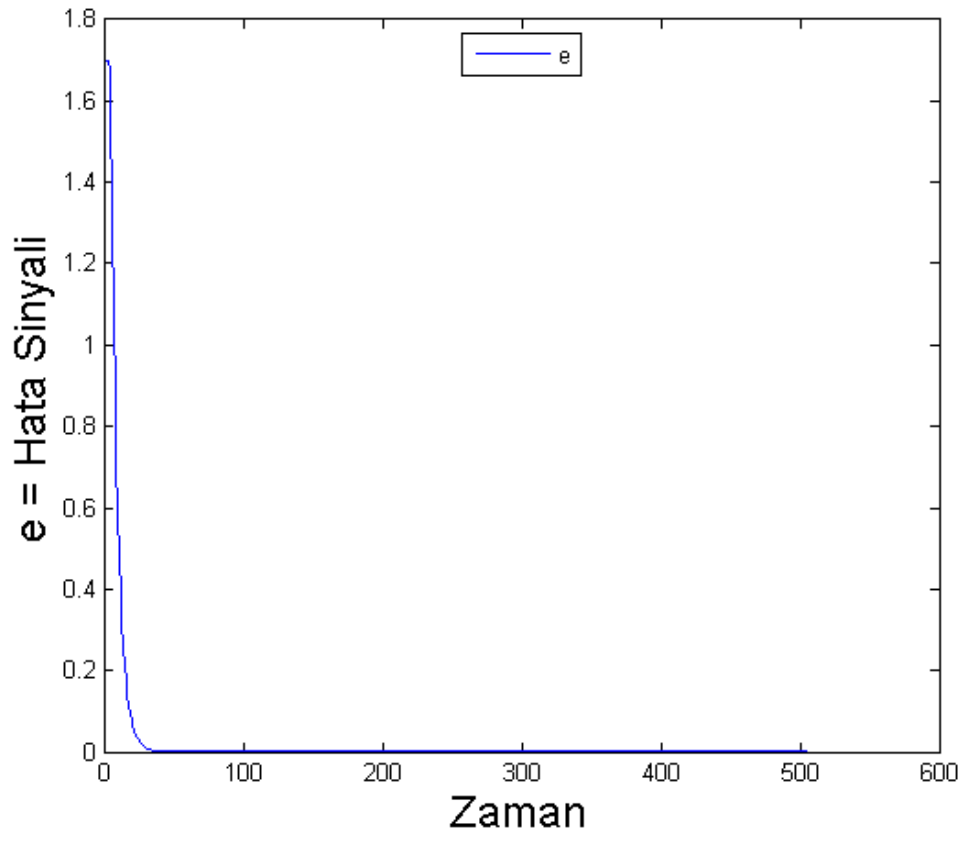
(a)



(b)

Şekil 3.21.(a) Z ve Z_c değerlerinin zamana göre değişimi (b) Z ve Z_c nin birbirine göre değişimi

Z' den Z_c' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark (e =hata) sinyali ise Şekil 3.22.' deki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.22. Senkronizasyon sonrası oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali)

BÖLÜM 4. KAOTİK SENKRONİZASYON VE ÖRNEK UYGULAMALARI

4.1. Haberleşme

İnsanoğlu, tarihin ilk yıllarından beri bilgiyi normal görme ve duyma sınırlarının ötesine taşıma yollarını, yani bilgiyi iletmenin yollarını araştırmıştır. Kızılderililerin dumanla, gemicilerin bayrakla iletişim kurmaları bilinen en eski haberleşme metodlarından bazılarıdır. İlerleyen zamanlarda insanlar varolan konuşma ve görme yetilerini direkt kullanmak istemişler ve daha kolay yöntemleri araştırmışlardır.

Eski Yunanca’ da ‘tele’ kelimesi ‘uzakta’ anlamındadır.”Fon” un anlamı “ses” ya da ”konuşma”, ”graf “ın anlamı “yazma” ya da “çizme” dir. Böylece günlük hayatta da sık kullanılan “telefon, televizyon, telgraf” terimleri ortaya çıkmıştır.

Haberleşme, bir zaman aralığında bir kaynaktaki bilginin (verici) farklı bir noktaya (alıcı) iletilmesi işlemidir. Haberleşme anlamına gelen telekomünikasyon kelimesinin tanımı; “Her türlü işaret, sembol, ses ve görüntünün ve elektrik sinyallerine dönüştürülebilen her türlü verinin kablo, telsiz, optik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, elektrokimyasal, elektromekanik ve diğer iletim sistemleri vasıtasıyla iletilmesi, gönderilmesi ve alınmasına telekomünikasyon denir[27].” şeklindedir.

Teknolojinin gelişmesi ile sistemlerin bilgiyi iletme hızı da artmıştır. Bilgi işaretini hedefe gönderme ya iletim hatları olarak adlandırılan ve uygun olarak yalıtılmış iletkenlerle ya da atmosfer içinde radyo frekansları ile yapılmaktadır[28].

Haberleşmede, “bilgi” enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür ve uzak mesafelere taşınır. Hedefte de bu gelen elektrik enerjisi tekrar orijinal şeklin dönüştürülür. Orijinal bilgi enerjisi öncelikle elektronik bilgi sinyalinin üretmek için elektriksel forma dönüştürülür. Bu işlem verilen herhangi bir enerji şeklini başka bir enerji şekline dönüştüren dönüştürücüler ile yapılır.

Modern iletişim sistemlerinde bilgi gönderilmeden önce sıraya konur, işlenir ve korunur. Gerçek anlamda gönderme işlemi gürültünün filtrelenmesi gerçekleştirildikten sonra sağlanır. Son safhada kod çözme, mesajı koruma ve bilgi algılama basamaklarından oluşan alma işlemi gelir. Bu konuda iletişim şekilleri; radyo-telefon, telgraf, noktadan noktaya yayın ve hareketli iletişim (ticari ya da askeri), bilgisayar iletişimi, radar, radyo-telemetre ve radyo ile yardım isteme gibi metotlardan oluşur[2].

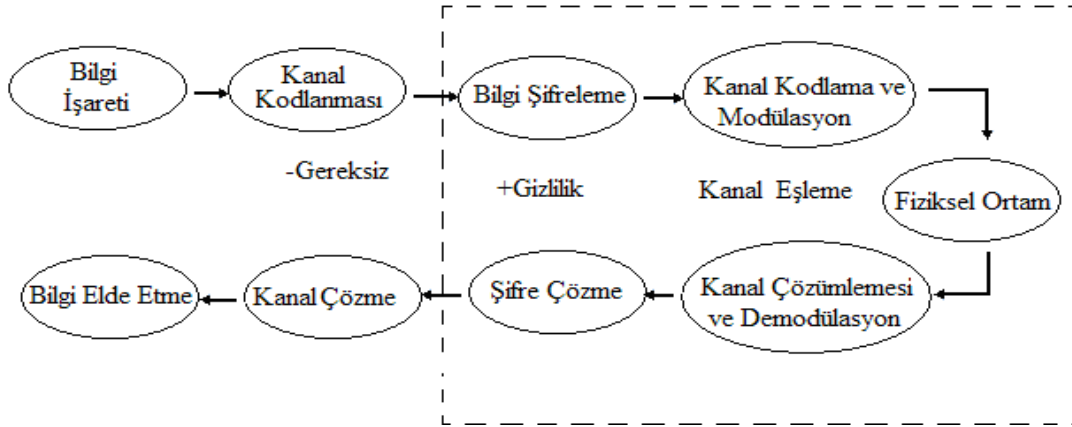
4.2. Kaotik Sistemlerin Gizleme Yöntemiyle (Masking) Haberleşmesi

Haberleşme sistemlerinde kaos üzerinden veriyi taşıma ve şifreleme fikri 1990 yılında iki adet farklı kaotik osilatörde senkronizasyonun mümkün olabileceğinin Pecora ve Carroll tarafından gösterilmesiyle ortaya çıkmıştır. Haberleşme konusunda yapılan ilk çalışma ise kaotik maskeleymedir.

1993’de, Cuomo ve Oppenheim[25-26], Lorenz denklem sistemini kullanarak güvenli haberleşme sistemini kurmuş ve göstermişlerdir. Cuomo ve Oppenheim’ın Lorenz devresini kullanmalarına karşın aynı kavramsal yaklaşımı Kocarev ve arkadaşları[30] kaotik sistem olarak Chua devresini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaların bir bilgi işaretine kaotik işaret ekleyerek, senkronizasyon kavramının bilgi işaretinin maskelenmesinde nasıl kullanılabileceğini göstermesi, kaotik haberleşme sistem tasarımında ilk uygulamalar olması açısından önemlidir.

Mevcut haberleşme sistemlerine ek olarak dâhil edilen sistemlerle bilgi iletimi daha güvenli bir ortamda gerçekleşmektedir. Bilgi kaotik bir işaret ile şifrelenerek alıcıya ulaştırılmaktadır. Alıcıda benzer bir yapı ile eşleme yaparak gerçekleşen sistem sayesinde gönderilen bilgiyi tekrar elde etmek mümkündür.

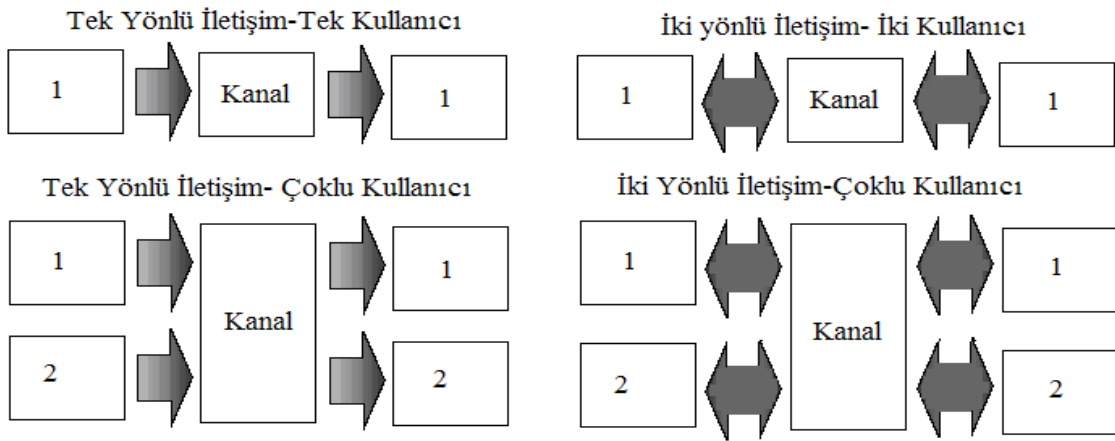
Verici olarak çalışan sistemde, bilgi işareti üretilerek bilginin kodlanması için Şekil 4.1 de 'Kanal Kodlama' bloğuna gelir. Bilgi kanalı kullanım yerlerine göre ve sınırlamaya göre değişik şekillerde olmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.2. şekillerde ihtiyaca göre sınıflandırılmış bilgi alışverişi için bağlantı kanalları gösterilmiştir. İhtiyaca göre seçim yapılarak, bilgi üretilecek ve gönderilecek kanal belirlenir.



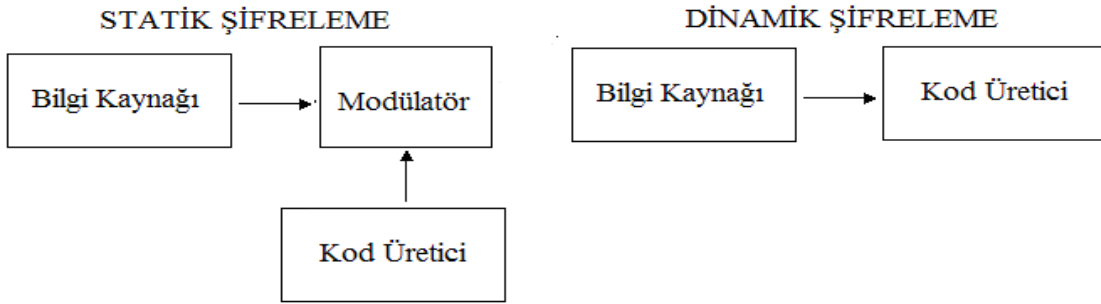
Şekil 4.1. Kaotik Haberleşme Genel Yapısı

Bu bölümde ayrıca tercih edilen kanala ilgili iletişim kuralları belirlenir. Bu işlem yapılırken çevresel etmenlerden dolayı bilgi işaretine ayrıca başka işaretler dâhil olur. Bunlar gürültü olarak tanımlanır ve gereksiz bilgi olarak nitelendirilir. Gürültü, sistemin verimi için çok önemli bir etkidir. Gürültü oranı bilgi işaretinde büyük ya da eşit ise bilgi kayıp olur. Böyle bir durumda bilgi tekrar ediniminden bahsedilemez. Kaotik maskeleyme konusunda gürültü üzerinde tekrar durulacaktır.

Tercih edilen kanal ile bilgi işareti, sistemde 'Bilgi Şifreleme' olarak gösterilen bölüme gelerek uygun bir şifreleme ile bilgi işareti şifrelenir. Bilgi şifreleme işlemi iki türlü gerçekleşmektedir: Bunlar statik ve dinamik şifrelemedir.



Şekil 4.2. Bilgi Kanalı Bağlantı Şekilleri

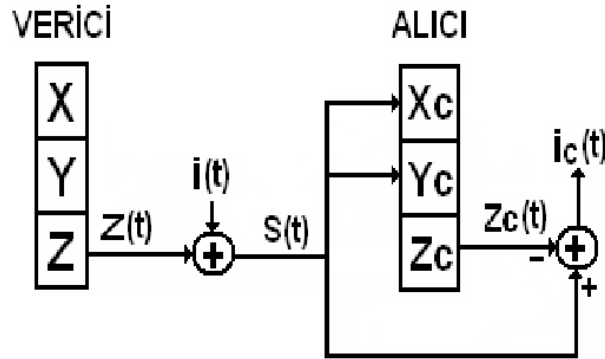


Şekil 4.3. Bilgi Şifreleme Sisteminin Genel Yapısı

Kaotik gizlemede (maskeleye) amaç, adından da anlaşılacağı gibi haber işaretini kaotik işaretle maskeleymeden geçirmektir. Üretilen kaotik işaret kanala verilmeden önce haber işaretiyle toplanmakta ve kanala verilmektedir[24]. Alıcı devrenin verici devre ile bağlantısı ise Pecora ve Carroll yöntemi ile yapılır. Demodülasyon ise, alıcının ürettiği kaotik işareti, vericiden gelen işaretten çıkartarak yapılır. Alıcının kaosta kalması ve senkronizasyonun gerçekleşmesi için haber işaretinin genliğinin kaotik işaretin genliğinden 15-20 dB lik küçük olması istenmektedir[3].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, kaos tabanlı güvenilir haberleşme amaçlı sistemlerde kullanılan metotlar dört ana grupta toplanabilir. Bunlar kaotik gizleme(maskeleye), kaotik modülasyon, kaotik anahtarlama ve tahminsel kontrol metotlarıdır. Bunlardan ilk ikisi analog işaretlerin iletiminde kullanılırken diğer ikisi de dijital işaretlerin iletiminde kullanılmaktadırlar. Bu tezde kaotik maskeleye metodu kullanılacaktır.

Kaotik gizleme haberleşmesinin mantığını gösteren blok diyagram Şekil 4.4.'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Kaotik gizleme yöntemiyle haberleşmenin mantığını gösteren blok diyagram [3]

Kaotik maskelemedeki temel prensip; analog olan $i(t)$ bilgi işaretini, verici kısımdaki $z(t)$ kaotik işaretiyle maskelemek ve bu şekilde iletmektir. Bu amaçla $i(t)$ bilgi işareti, maskeleyici $z(t)$ kaotik işaretiyle toplanır ve iletim ortamına aktarılır. İletilen $s(t)$ işareti ikisinin toplamıdır. Alıcı kısımda ise, bir önceki bölümde anlatılan Pecora-Carroll yöntemine göre gerçekleştirilen senkronizasyonla, maskeleyici $z(t)$ işaretinin aynı formu oluşturulmakta ve senkronize olmuş olan $z_c(t)$ kaotik işareti, iletim ortamından gelen $s(t)$ işaretinden çıkartılarak tekrar bilgi işareti elde edilmektedir.[3]Bu tezde;Tigan Sistemi ve Burke-Shaw olmak üzere iki sistemin kaotik maskeleme modellemesi yapılacaktır.

4.3. Tigan Sistemi

Günümüze dek bir çok kaotik sistem bulunmuş ve bunlar üzerinde çeşitli kaos kontrol ve senkronizasyon uygulamaları yapılmıştır. 2004 yılında Tigan yeni bir üç boyutlu kaotik sistem geliştirdi[31]. Daha sonra Tigan tarafından bu sistemin analizini yapılarak T sistemi olarak adlandırıldı[32]. Yaptıkları analiz sonucu buldukları kaotik sistemin daha önce çalışılmamış olduğunu tespit ettiler[33].

T kaotik sistemi aşağıdaki denklem takımıyla tanımlanmaktadır[34] [35]:

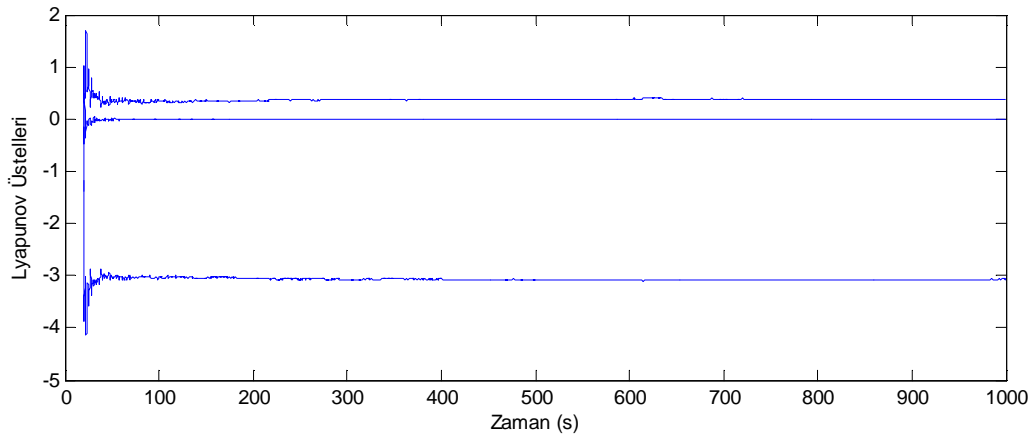
$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a(x_2 - x_1) \\ \dot{x}_2 = (c - a)x_1 - ax_1x_3 \\ \dot{x}_3 = -bx_3 + x_1x_2 \end{cases} \quad (4.1)$$

Burada a , b , c sistem parametreleri ve x_1 , x_2 , x_3 durum değişkenleridir. Denklemlerden görüldüğü gibi bu kaotik sistem, çarpım terimleriyle nonlinearlığı sağlayan 3. dereceden bir sistemdir. Sistemin denge noktalarını hesaplırsak

$$\begin{cases} a(x_2 - x_1) = 0 \\ (c - a)x_1 - ax_1x_3 = 0 \\ -bx_3 + x_1x_2 = 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

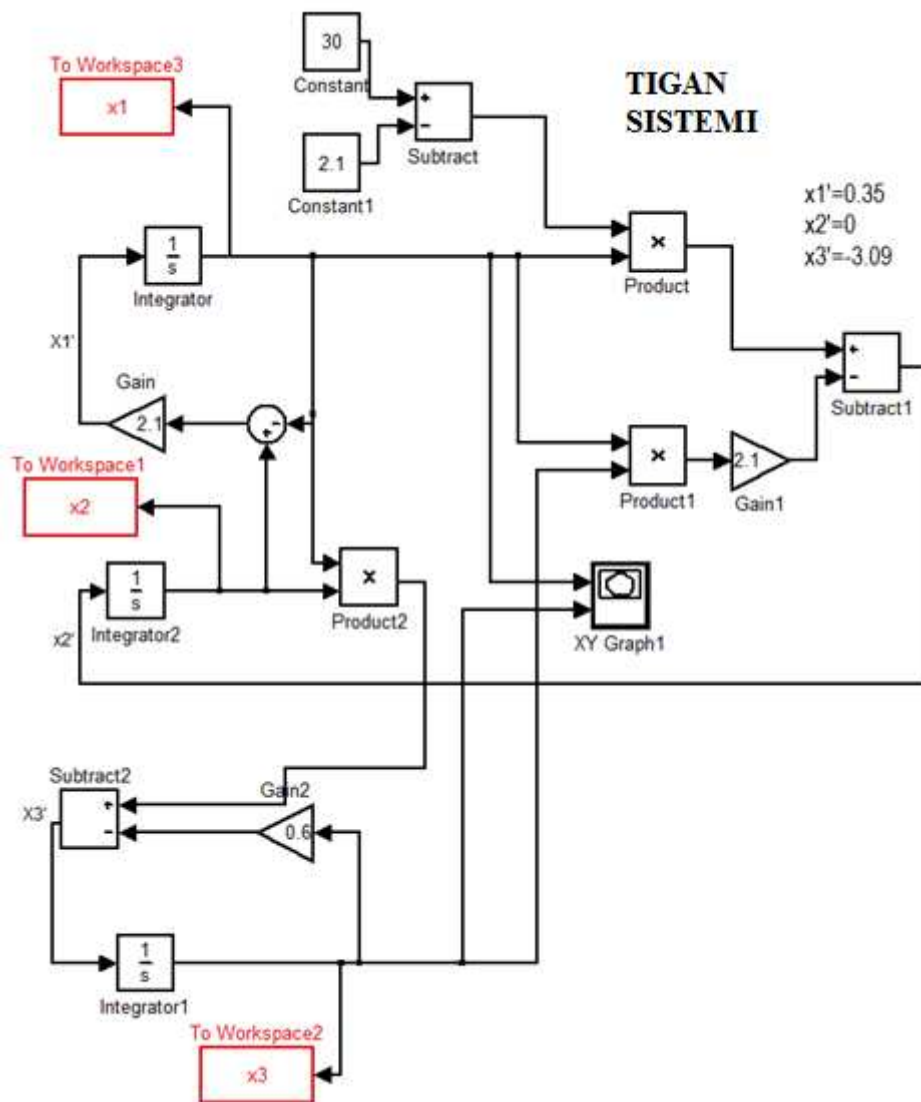
üç denge noktası buluruz. Denge noktaları; $Q_1(0, 0, 0)$, $Q_2\left(\sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, \sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, \frac{(c-a)}{a}\right)$ ve $Q_3\left(-\sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, -\sqrt{\frac{b(c-a)}{a}}, \frac{(c-a)}{a}\right)$ gibidir.

Parametreler $a = 2.1, b = 0.6, c = 30$ seçilerek, sistemin lyapunov üstelleri Şekil 4.5.' de görüldüğü gibi $\lambda_1 = 0.36 > 0, \lambda_2 = 0$ ve $\lambda_3 = -3.06 < 0$ olarak hesaplanır[34].

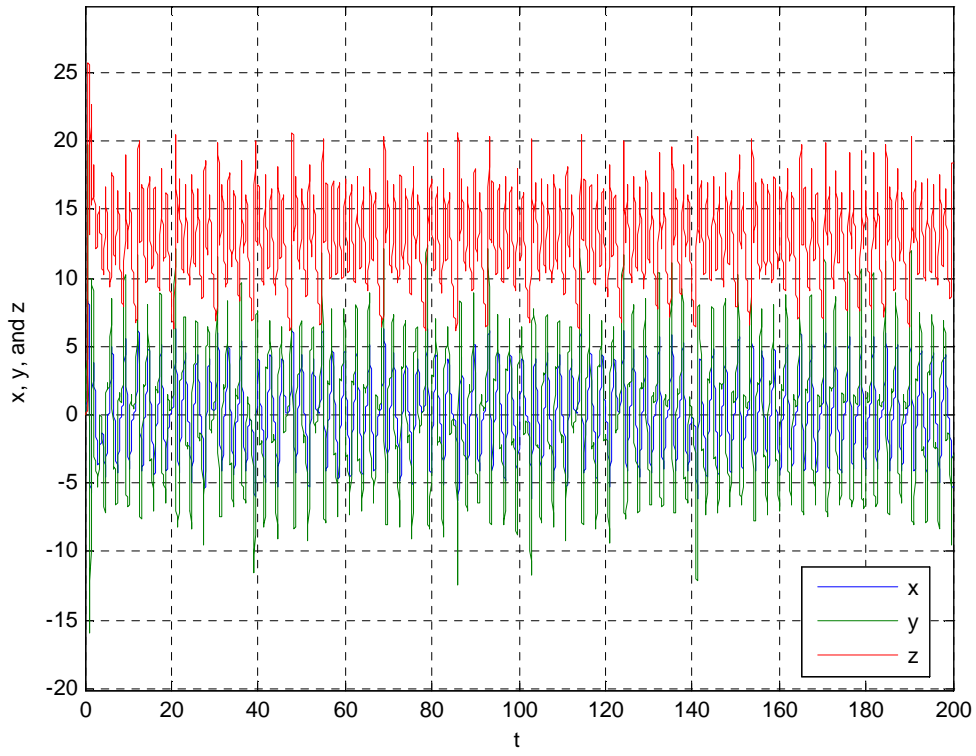


Şekil 4.5. Tigan Sistemi'nin Lyapunov Üstelleri

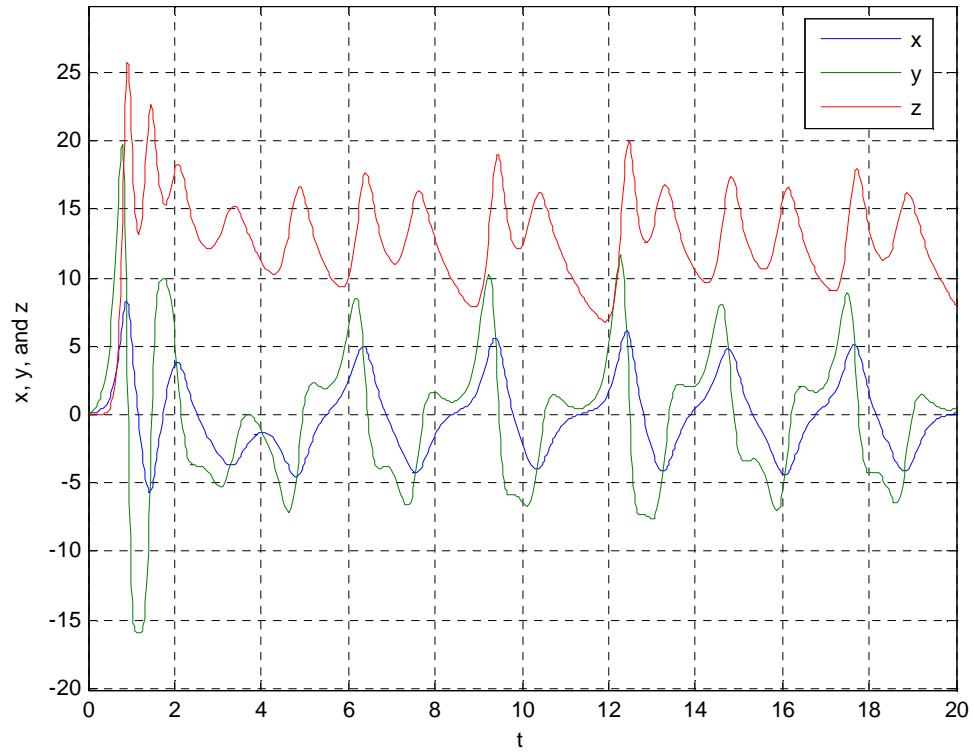
Sistemin lyapunov üstellerinden birincisi pozitif ikincisi sıfır ve diğeri negatif olduğundan sistem kaotik davranır. T çekicisinin Şekil 4.6.' de verilen Matlab-Simulink modeli kullanılarak x_1 , x_2 , x_3 zaman serileri ve $x_1x_2x_3$ düzlemi faz portreleri Şekil 4.7.' deki gibi elde edilmiştir.



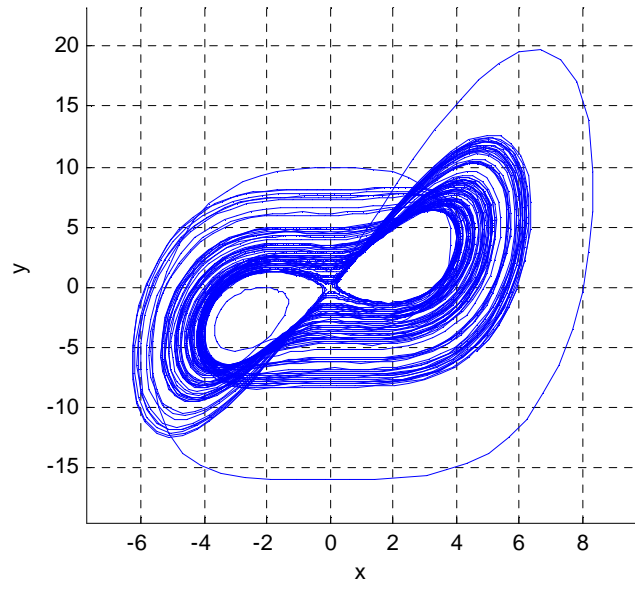
Şekil 4.6. Tigan Sistemi'nin Matlab-Simulink modellemesi



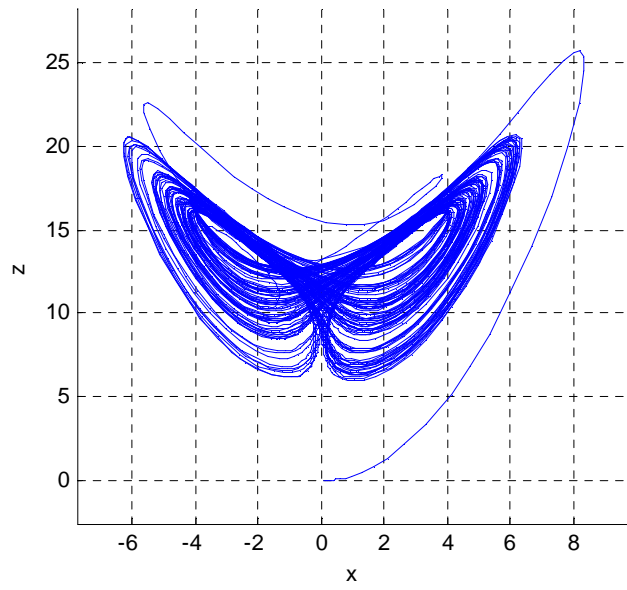
Şekil 4.7. Tigan Sistemi'nin x, y, z değişkenlerinin 200 ms içerisinde zamana göre değişimi



Şekil 4.8. Tigan Sistemi'nin x, y, z değişkenlerinin 20 ms içerisinde zamana göre değişimi

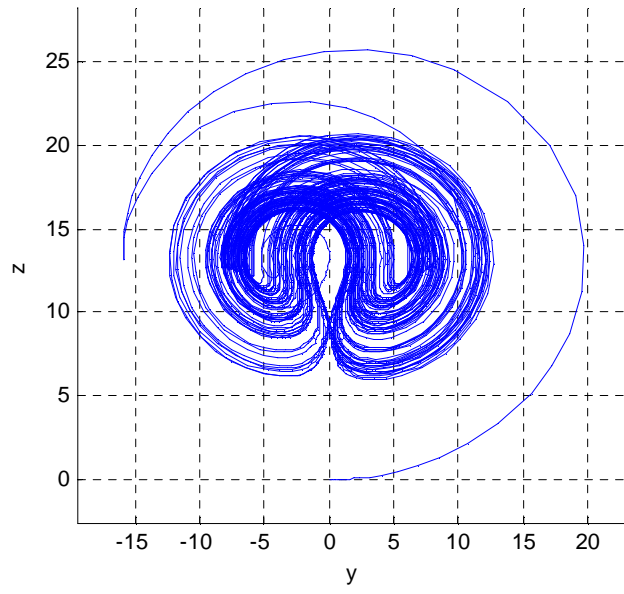


a)



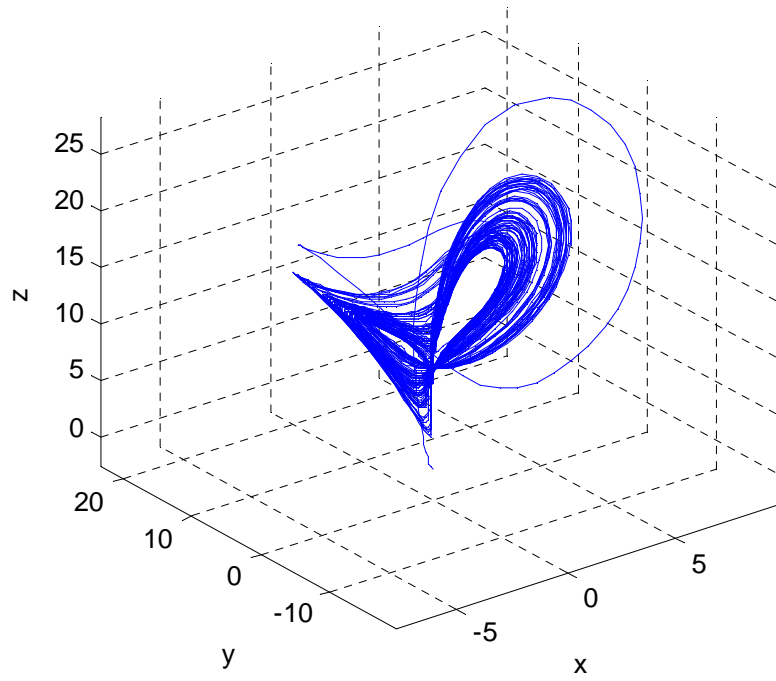
b)

Şekil 4.9. Tıgan Sistemi Matlab-Simulink Simülasyon Sonuçları a)x-y, b)x-z, d) y-z kaotik çekicileri



c)

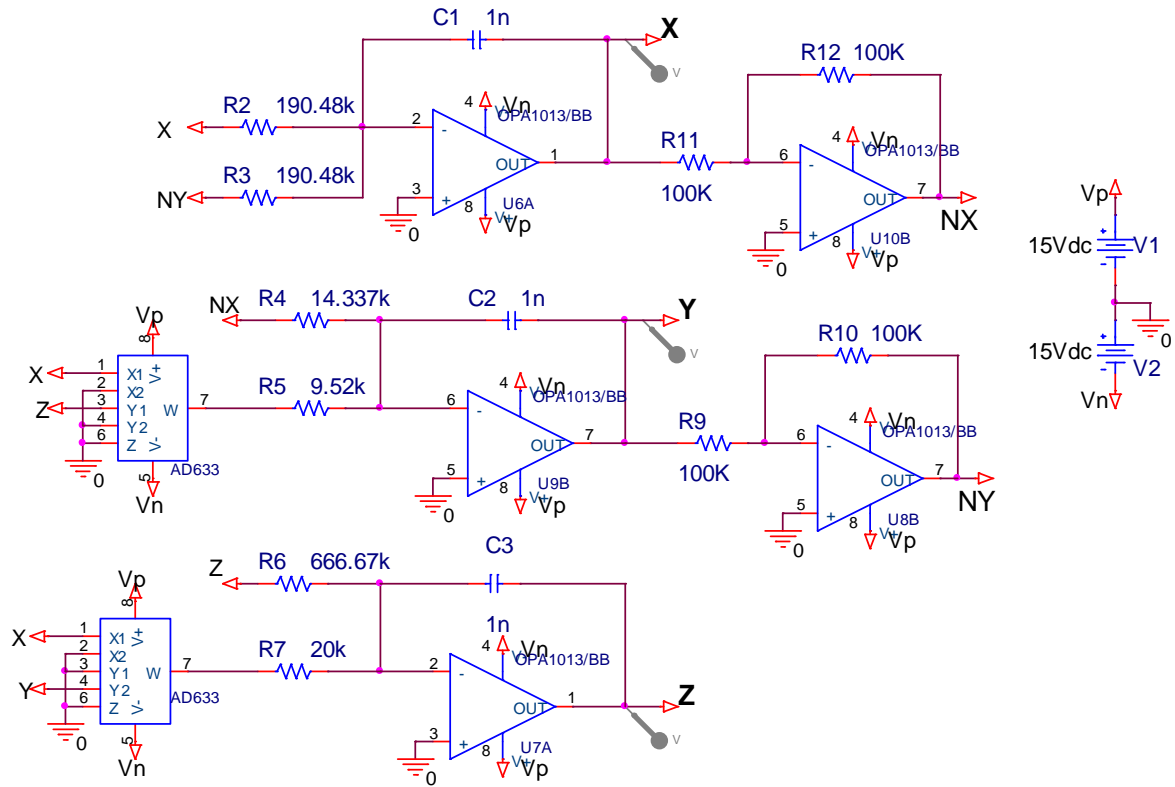
Şekil 4.9. (Devamı)



Şekil 4.10. Tigan Sistemi'nin Matlab-Simulink Programında x-y-z Faz Portresi

4.3.1. Tigan Sistemi'nin elektronik devre gerçektelemesi ve analizi

Tigan Sistemi (4.1) denklemlerinin elektronik devre gerçektelemesi (Bkz. Şekil 4.11.)'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Tigan Sistemi'nin Pspice simülasyon devresi

Tigan sisteminin Matlab'daki Şekil 4.7. ve 4.8. deki numerik simülasyon grafiklerinden görüleceği gibi y ve z durum değişkenlerinin değerleri, opamp'ın besleme sınırlarını çok aşmaktadır. Bu yüzden Tigan Sistemi'nin elektronik devre tasarımı yapılırken denklemlerin skala edilmesi gerekmektedir.

$$u = \frac{x}{2}, v = \frac{y}{2}, w = \frac{z}{2} \text{ alınırsa;}$$

$$x=2u$$

$$y=2v$$

$$z=2w$$

olur.

Dolayısıyla;

$$\dot{x} = 2\dot{u}$$

$$\dot{y} = 2\dot{v}$$

$$\dot{z} = 2\dot{w}$$

$$\dot{x} = a(y - x)$$

$$2\dot{u} = a(2v - 2u)$$

$$\dot{u} = a(v - u) \quad (4.3)$$

$$\dot{y} = (c - a)x - axz$$

$$2\dot{v} = (c - a)2u - a2u \cdot 2w$$

$$\dot{v} = (c - a)u - 2auw \quad (4.4)$$

$$\dot{z} = -bz + xy$$

$$2\dot{w} = -b \cdot 2w + 2u \cdot 2v$$

$$\dot{w} = -bw + 2uv \quad (4.5)$$

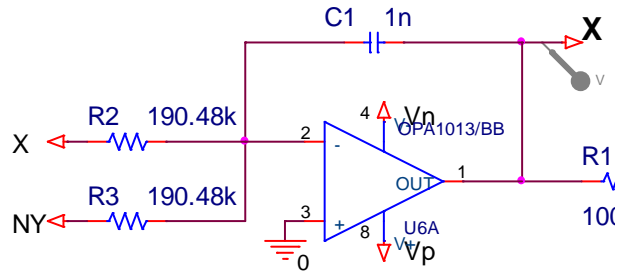
4.3, 4.4 ve 4.5 eşitlikleriyle elektrik devresi gerçekleştirilecek skala edilmiş Tigan denklemleri elde edilir.

$$\dot{u} = a(v - u)$$

$$\dot{v} = (c - a)u - 2auw$$

$$\dot{w} = -bw + 2uv \quad (4.6)$$

Bu devreyi analiz etmek için, her bir kısım u, v, ve w hesaplamalarını verecek şekilde 3 bölüme ayırabiliriz (Bkz. Şekil 4.12.- 4.13. - 4.14).



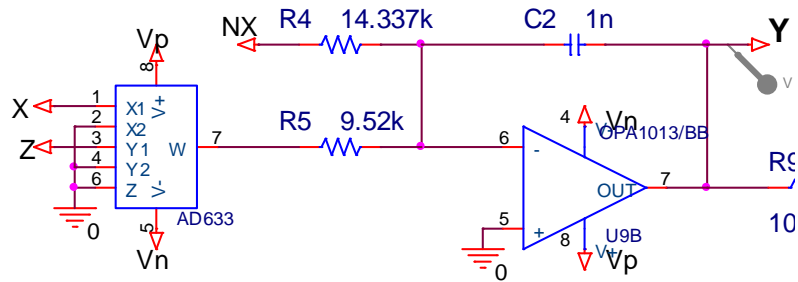
Şekil 4.12.Tigan Sistemi devre tasarımının X hesaplama devresi

Şekil 4.12.'yi analiz edersek,

$$X = \frac{-1/j \cdot w \cdot c_1}{R_2} \cdot X + \frac{-1/j \cdot w \cdot c_1}{R_3} \cdot -Y$$

$$X = \frac{-X}{c_1 R_2} \cdot \frac{1}{s} + \frac{Y}{c_1 R_3} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\dot{X} = \frac{1}{c_1} \left(\frac{-X}{R_2} + \frac{Y}{R_3} \right)$$



Şekil 4.13.Tigan Sistemi devre tasarımının Y hesaplama devresi

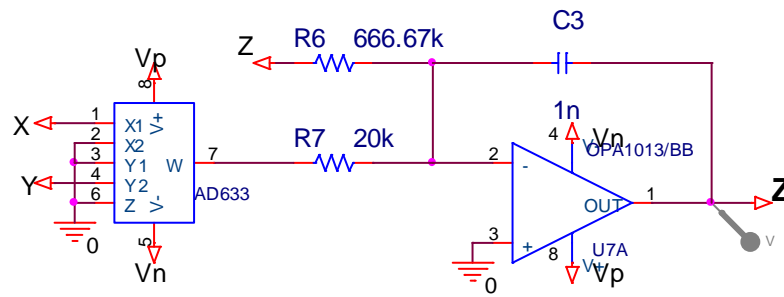
Şekil 4.13.'ü analiz edersek,

$$Y = \frac{-1/j \cdot w \cdot c_2}{R_5} \cdot (X \cdot Z) + \frac{-1/j \cdot w \cdot c_2}{R_4} \cdot -X$$

$$Y = \frac{-X \cdot Z}{c_2 R_5} \cdot \frac{1}{s} + \frac{Y}{c_2 R_4} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\dot{Y} = \frac{1}{c_2} \left(\frac{-X \cdot Z}{R_5} + \frac{Y}{R_4} \right)$$

elde edilir.



Şekil 4.14. Tigan Sistemi devre tasarımının Z hesaplama devresi

Şekil 4.14. ü analiz edersek,

$$Z = \frac{-1/j \cdot \omega \cdot c_3}{R_7} \cdot (X \cdot Y) + \frac{-1/j \cdot \omega \cdot c_3}{R_6} \cdot Z$$

$$Z = \frac{-X \cdot Y}{c_3 R_7} \cdot \frac{1}{s} - \frac{Z}{c_3 R_6} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\dot{Z} = \frac{1}{c_3} \left(\frac{-X \cdot Y}{R_7} - \frac{Z}{R_6} \right)$$

Bulunur. Elde edilen \dot{X} , \dot{Y} ve \dot{Z} ifadelerini birleştirirsek;

$$\dot{X} = \frac{1}{c_1} \left(\frac{-X}{R_2} + \frac{Y}{R_3} \right)$$

$$\dot{Y} = \frac{1}{c_2} \left(\frac{-X \cdot Z}{R_5} + \frac{Y}{R_4} \right)$$

(4.7)

$$\dot{Z} = \frac{1}{c_3} \left(\frac{-X \cdot Y}{R_7} - \frac{Z}{R_6} \right)$$

Sözkonusu devrede $R = R_1 = R_2$ 'dir. Kapasitörlerin değerleri devrenin zamanlama skalasını belirlemektedir. Cuomo ve Oppenheim'in yaptıkları çalışmaya göre[25] [26] zamanlama skalası 2505'dir. Charlesworth[36], problemin kendi çözümünde olan fiziksel zaman ile (problem zamanı), analog bilgisayarda incelenen çözüm zamanının(hesaplama zamanı) birbirinden çok farklı olabileceğini belirterek zamanlama skalasına duyulan ihtiyacın sebebini açıklamıştır. Charlesworth[36]' a

göre t = problem zamanı, τ = hesaplama(devre) zamanı, β = zaman skalalama faktörü olmak üzere $\tau = \beta \times t$ 'dir. Bu tezde de aynı şekilde bütün devre gerçeklemelerinde zaman skalalama faktörü $\beta = 2505$ alınmıştır[3]. (4.6 skala edilmiş u,v,w denklemleri) denklemini (4.7 Tigan Denklemleri) denklemi ile karşılaştırarak ve zaman skalalaması uygulayarak a, b ve c parametrelerinin matematiksel karşılıkları elde edilir.

a için: $\dot{u} = a(v - u) = \frac{1}{c_1} \left(\frac{-u}{R_2} + \frac{v}{R_3} \right)$ 'dir. Zaman skalalaması uygulanırsa $a = \frac{1}{2505.R_2.c_1} = \frac{1}{2505.R_3.c_1}$ elde edilir.

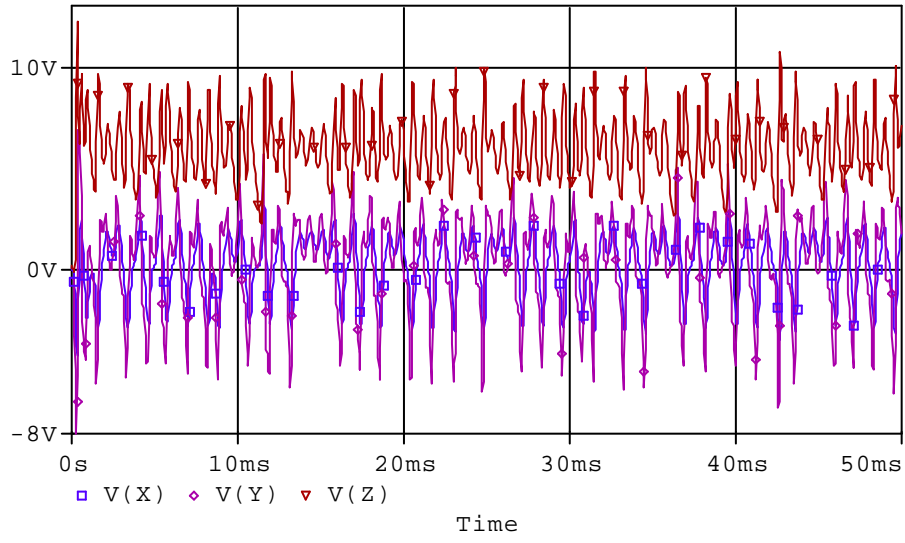
c için: $\dot{v} = (c - a)u - 2auw = \frac{1}{c_2} \left(\frac{-u.w}{R_5} + \frac{v}{R_4} \right)$ 'dir.

Buradan $c = \frac{1}{2505.R_4.c_2}$ elde edilir.

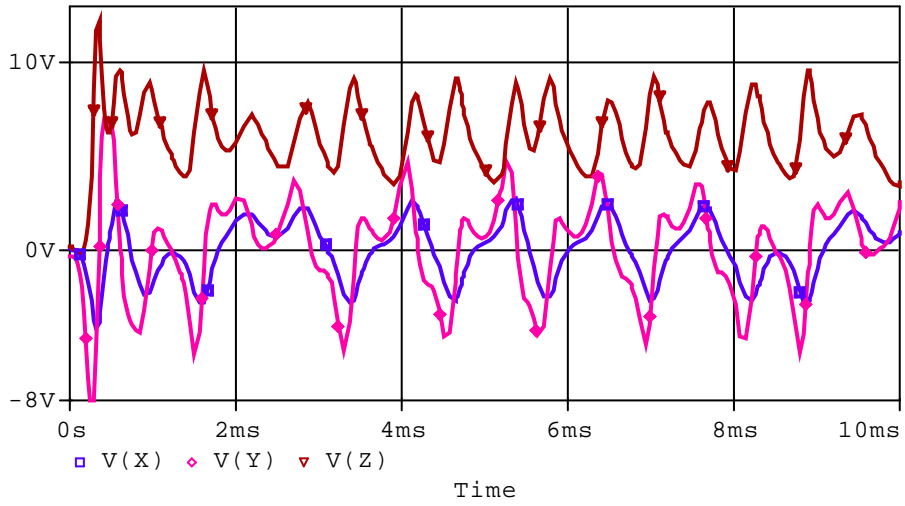
b için: $\dot{w} = -bw + 2uv = \frac{1}{c_3} \left(\frac{-u.v}{R_7} - \frac{w}{R_6} \right)$ 'dir.

Buradan $b = \frac{1}{2505.c_3.R_6}$ elde edilir.

$a = 2.1, b = 0.6, c = 30$ olarak bulunan bu parametre değerleri ile birlikte, (4.6) denklemi ile (4.5) denklemindeki diğer katsayılar karşılaştırılarak diğer direnç değerleri de tespit edilir. Örneğin $a = \frac{1}{2505.R_2.c_1} = \frac{1}{2505.R_3.c_1}$ 'yi analiz edersek; $2.1 = \frac{1}{2505.R_2.c_1}$ olur. Devrede $C_2 = 1$ nf alındığı düşünülürse buradan R_2 değeri kolayca $R_2 = 190.48$ K olarak hesaplanır. Aynı şekilde tüm direnç değerleri $R_2=R_3=190.48$ K, $R_9= R_{10}= R_{11}= R_{12}= 100$ K, $R_4=14.337$ K, $R_5=9.52$ K, $R_6=666.67$ K, $R_7=20$ K olarak elde edilir. Devrede $C_1=C_2=C_3=1$ nf 'dır.

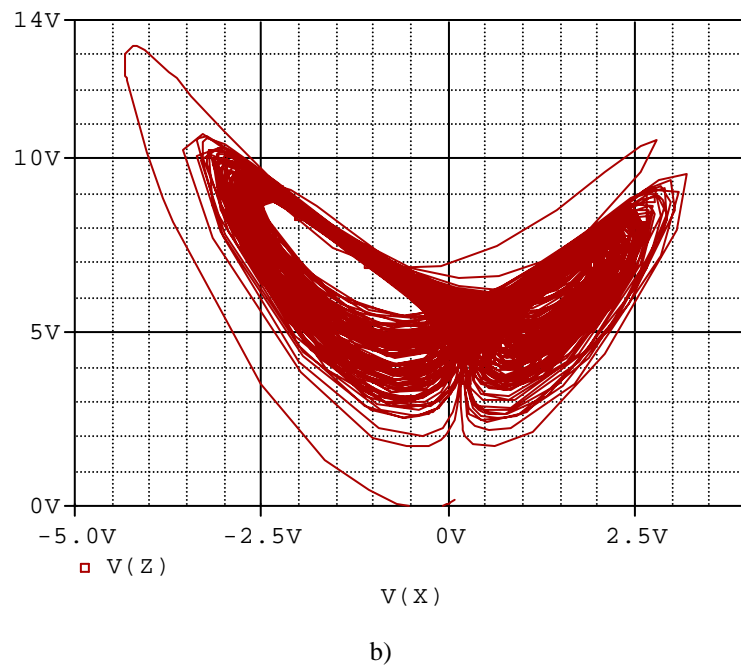
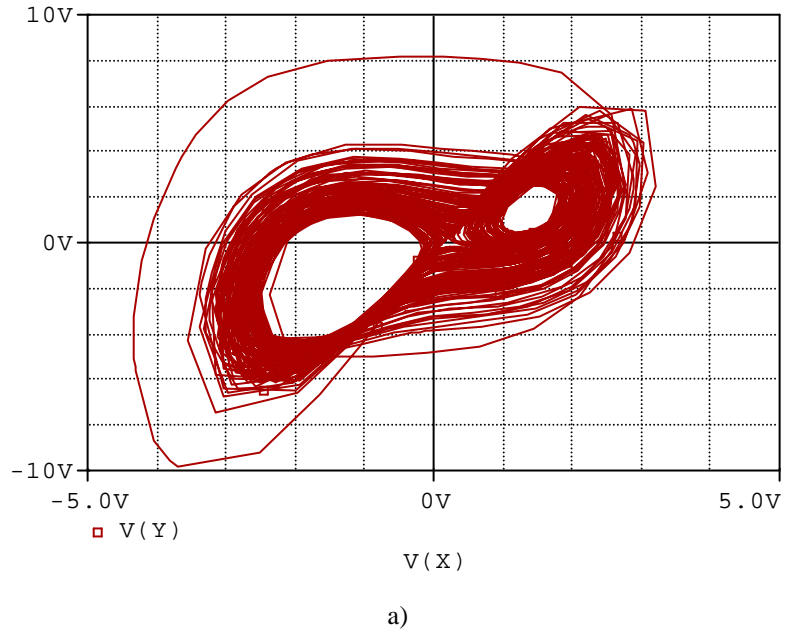


Şekil 4.15. Tigan devresinin x, y, z değişkenlerinin 50ms içerisinde zamana göre değişimi

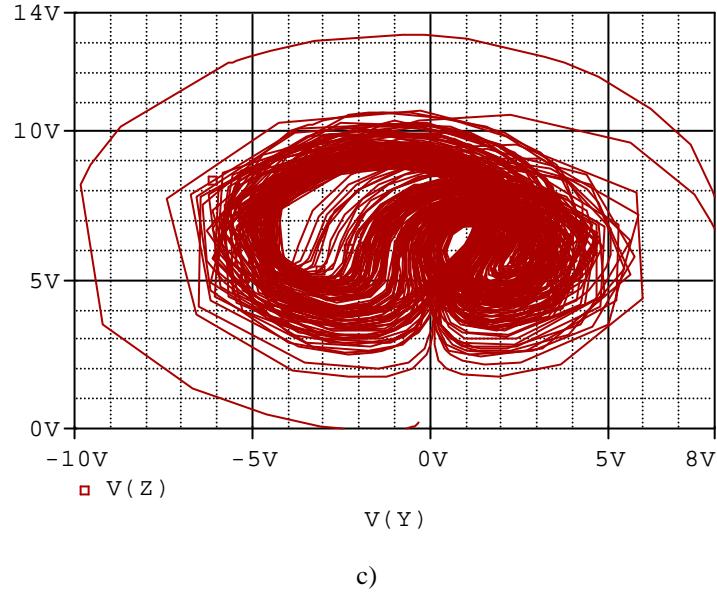


Şekil 4.16. Tigan devresinin x, y, z değişkenlerinin 10ms içerisinde zamana göre değişimi

Tigan devresinin Pspice simülasyon sonuçları Şekil 4.17'de verilmiştir.

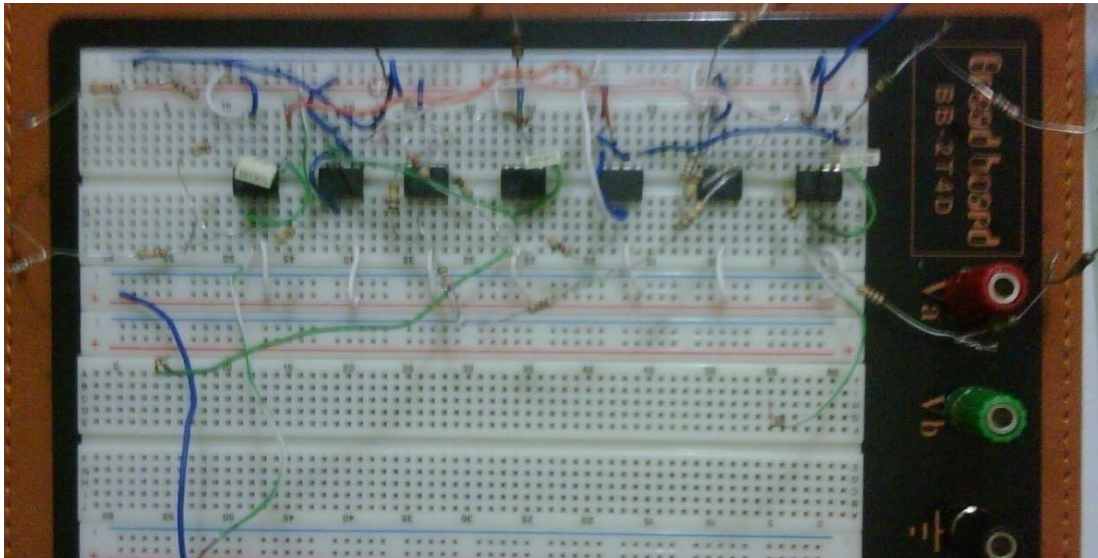


Şekil 4.17.Tigan devresi pspice simülasyon sonuçları a)x-y, b)x-z, d) y-z kaotik çekicileri



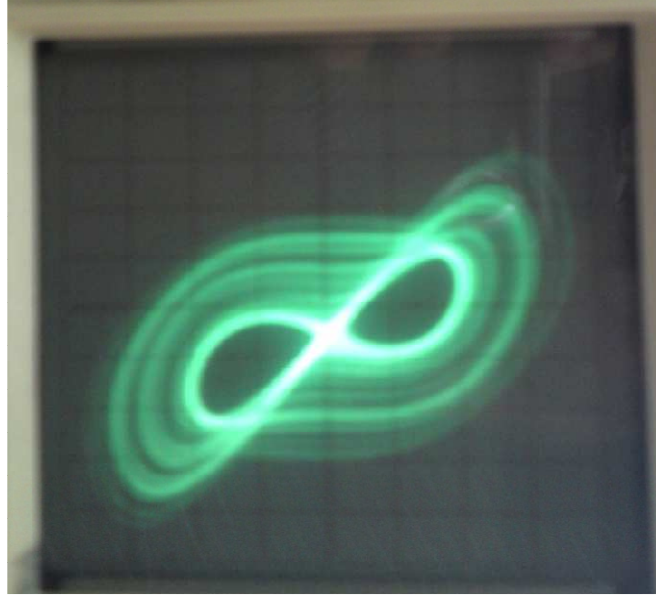
Şekil 4.17. (Devamı)

Tasarlanan Tigan devresi (Bkz. Şekil 4.11.)'nin deneysel olarak yapılan elektronik devre gerçekleştirilmesi Şekil 4.18.'de görülmektedir.

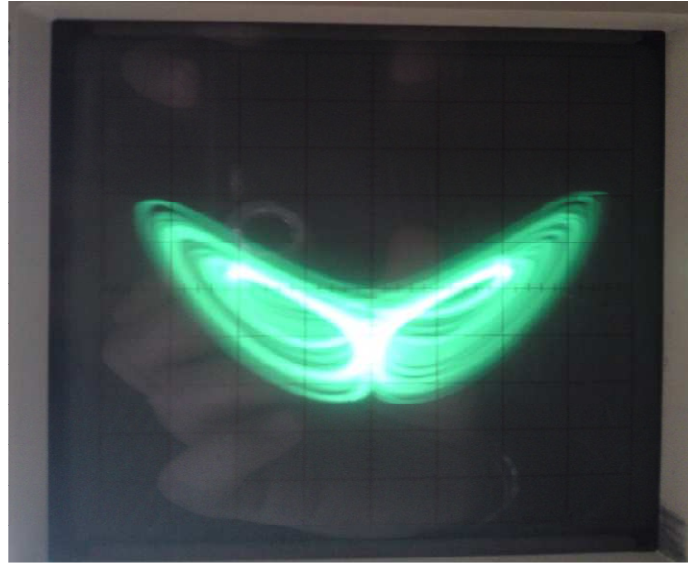


Şekil 4.18. Tigan sisteminin deneysel olarak kurulan elektronik devresi

Tigan elektronik devresinin x-y, x-z, ve y-z kaotik çekicilerinin osiloskop çıktıları Şekil 4.19.'da görülmektedir.

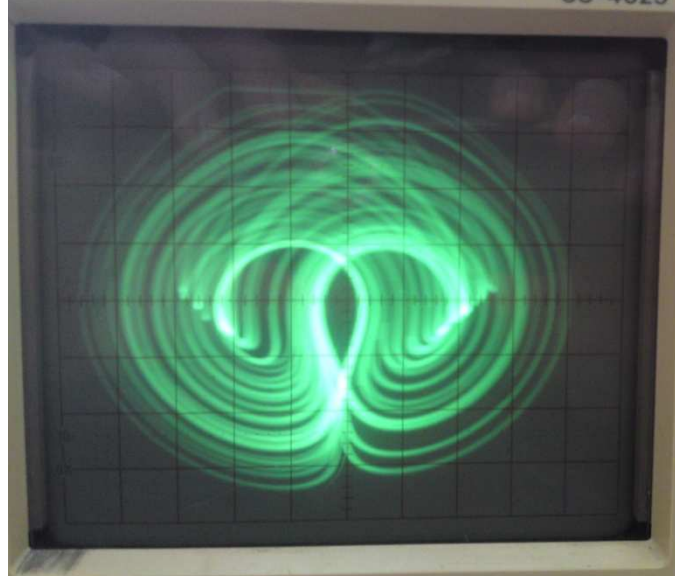


a)



b)

Şekil 4.19. Tigan elektronik devresinin kaotik a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicilerinin osilloskop çıkışları



c)

Şekil 4.19. (Devamı)

4.3.2. Tigan Sistemi'nin senkronizasyonu

Pecora-Carroll Senkronizasyon Metodu'nu Tigan Sistemi'ne ait dinamik denklemlere uygularsak senkronizasyon şeması Şekil 4.22.'deki gibi olur. Burada sürücü sistemden X değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilmiştir.

T sistemi verici devresinin denklemleri şu şekildedir;

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a(x_2 - x_1) \\ \dot{x}_2 = (c - a)x_1 - ax_1x_3 \\ \dot{x}_3 = -bx_3 + x_1x_2 \end{cases}$$

Verilen bu denklemler; (x_2', x_3') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned} \dot{x}_2' &= (c - a)x_1 - ax_1x_3' \\ \dot{x}_3' &= -bx_3' + x_1x_2' \end{aligned} \tag{4.8}$$

şeklinde ve ikinci bir (x_1'', x_3'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned} \dot{x}_1'' &= a(x_2' - x_1'') \\ \dot{x}_3'' &= -bx_3'' + x_1''x_2' \end{aligned} \quad (4.9)$$

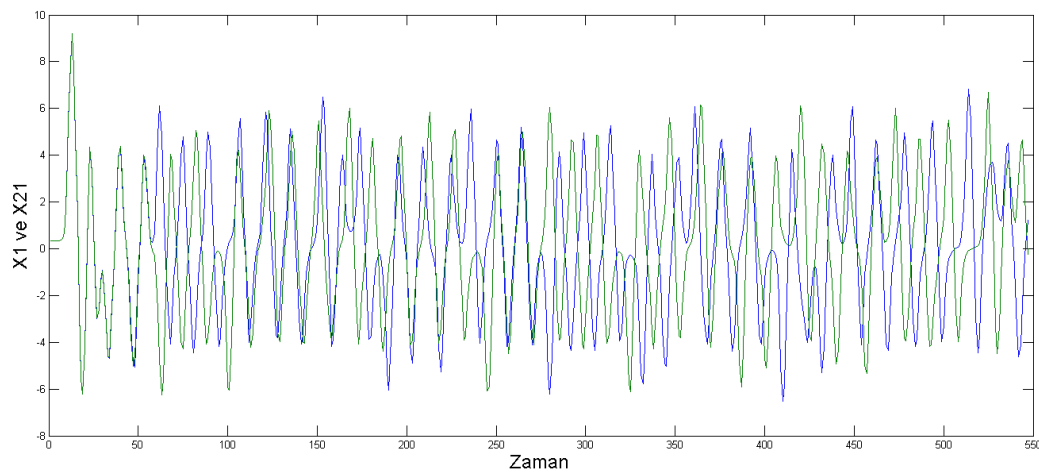
şeklinde ayrıştırılabilir.

Tabi (slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir. Tek farkı (x_2'', x_3'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen x sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi (slave) sistem şu şekilde olacaktır.

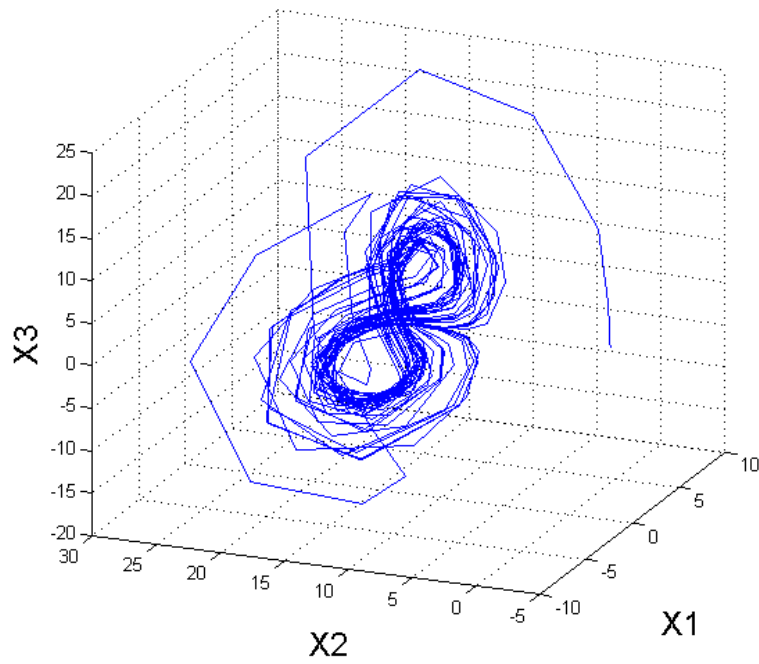
$$\begin{aligned} \dot{x}_{1r} &= a(x_{2r} - x_{1r}) \\ \dot{x}_{2r} &= (c - a)x_{1r} - ax_{1r}x_{3r} \\ \dot{x}_{3r} &= -bx_{3r} + x_{1r}x_{2r} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Eğer a, b, c parametreleri aynı ise x_1 ve x_{1r} sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadeleri göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonunu yapalım:

Parametre değerleri $a = 2.1, b = 0.6, c = 30$ olarak seçilmiş iki sistemin $(X_{10}, X_{20}, X_{30}) = (0,35, 0, -3.09)$ ve $(X_{10}, X_{20}, X_{30}) = (0,35, 0, -3.05)$ gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizasyon olmadan), X -durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 4.20. ve Şekil 4.21. görüldüğü gibi olur.

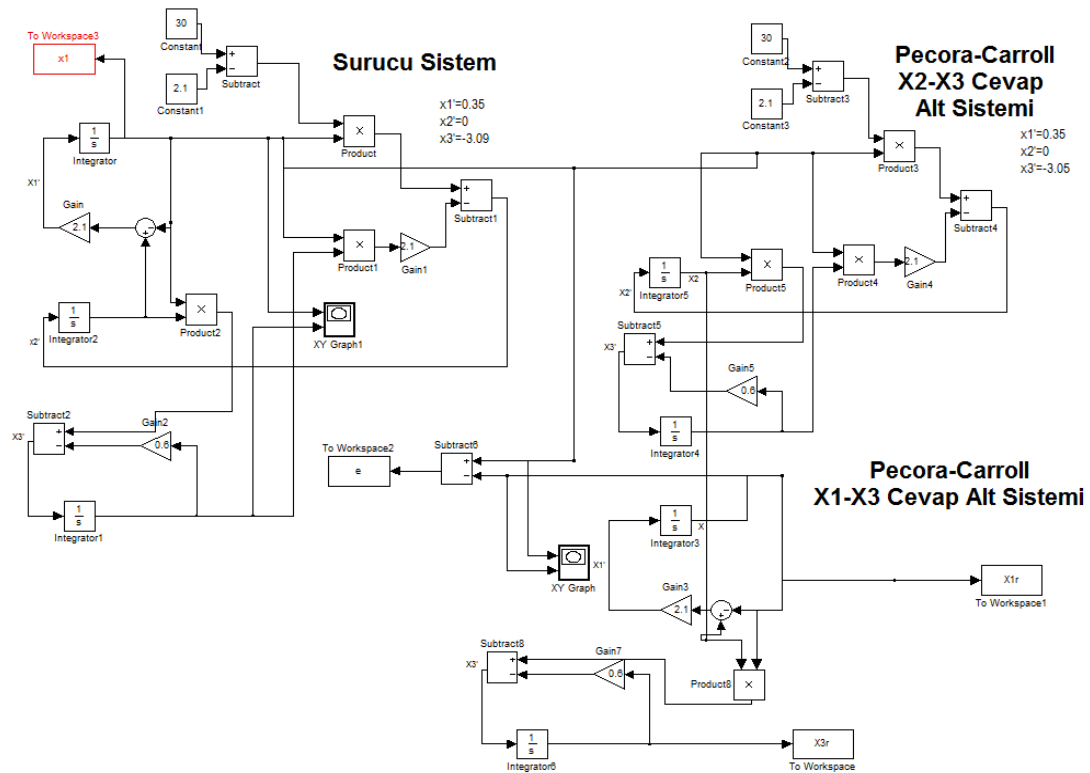


Şekil 4.20. Tigan Sistemi'nin senkronizasyon öncesi X_1 değişkenleri



Şekil 4.21. Tigan Sistemi'nin senkronizasyon öncesi X_1 - X_2 - X_3 Faz Portreleri

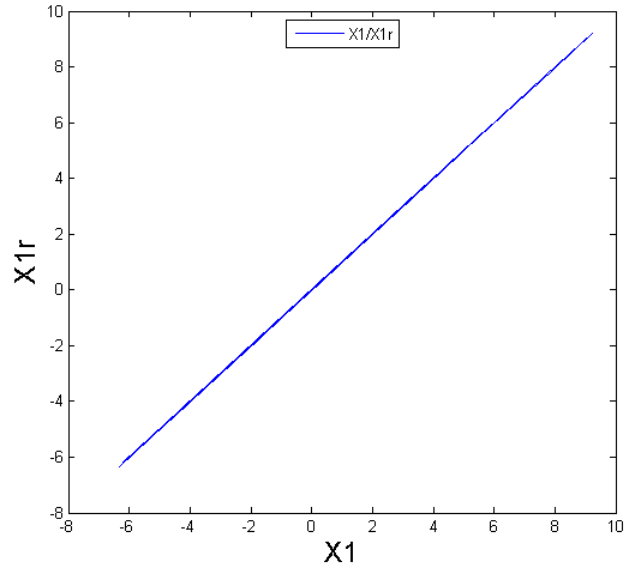
Senkronizasyon sonrası durumu gözlemek için oluşturulan, ilk şartları daha önceden verilmiş bu iki sisteme ait Matlab-Simulink senkronizasyon blok diyagramı Şekil 4.22.' de gösterildiği gibidir.



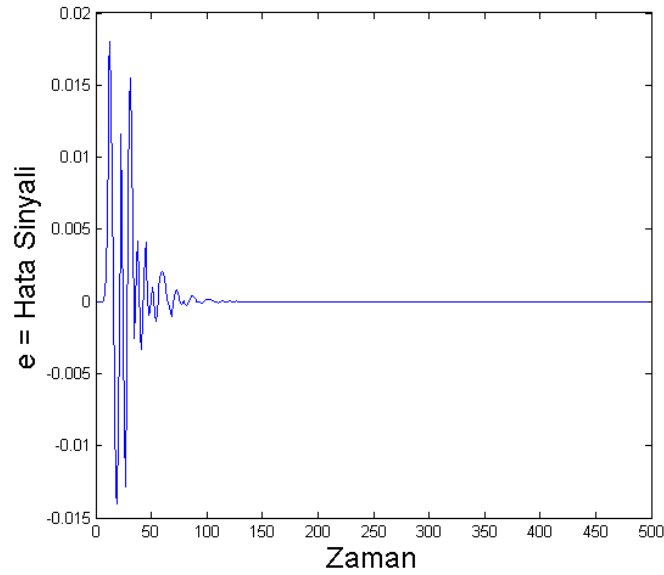
Şekil 4.22. Tigan Sistemi'nin Pecora-Carroll Yöntemiyle Senkronizasyon Modeli

Simulasyon başlatıldığında, sürücü sinyali X_1 ile cevap sinyali X_{1r} 'nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 4.23.a.).

Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 4.23. 'e dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra "1" olduğu görülür.



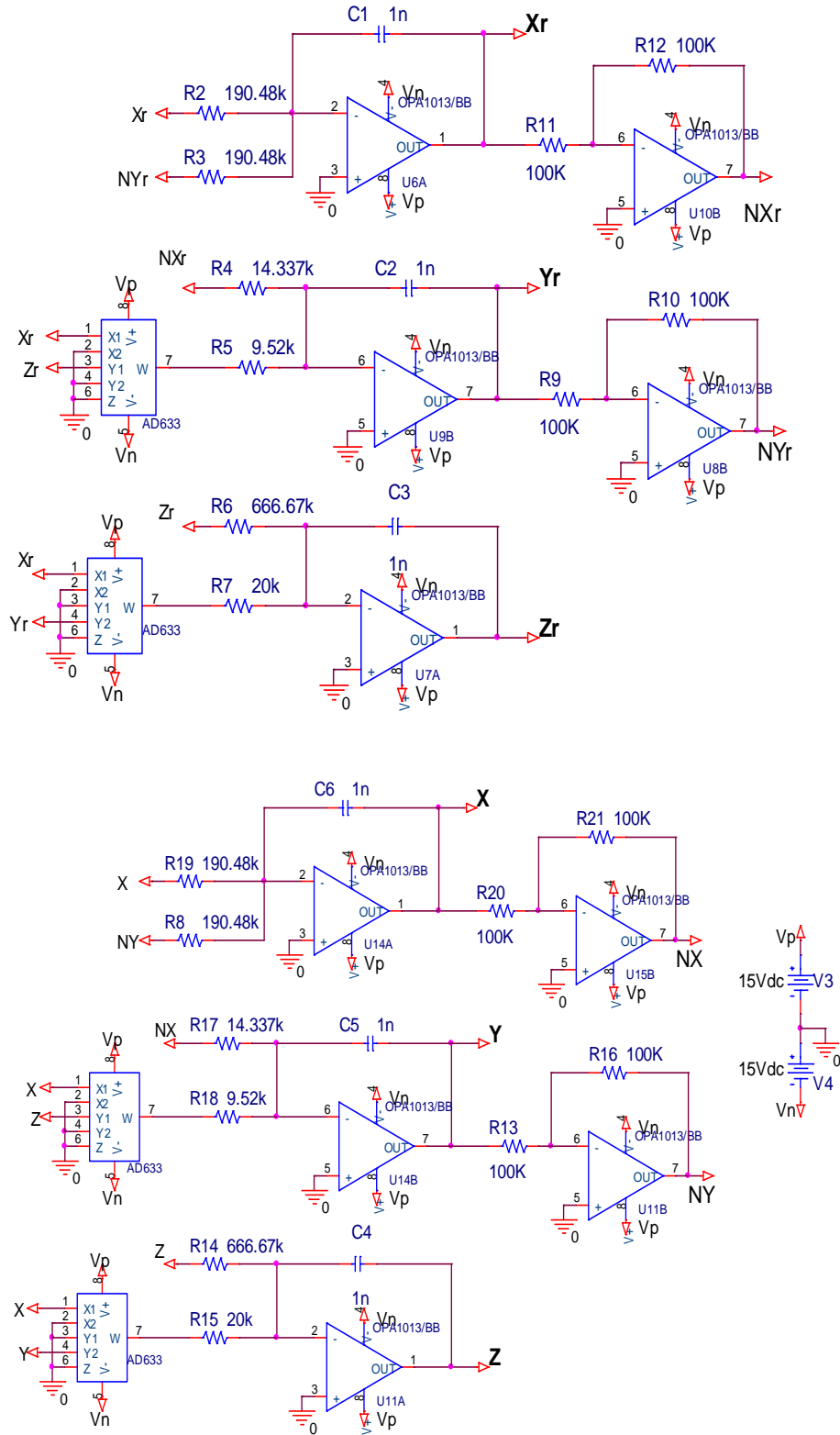
a)



b)

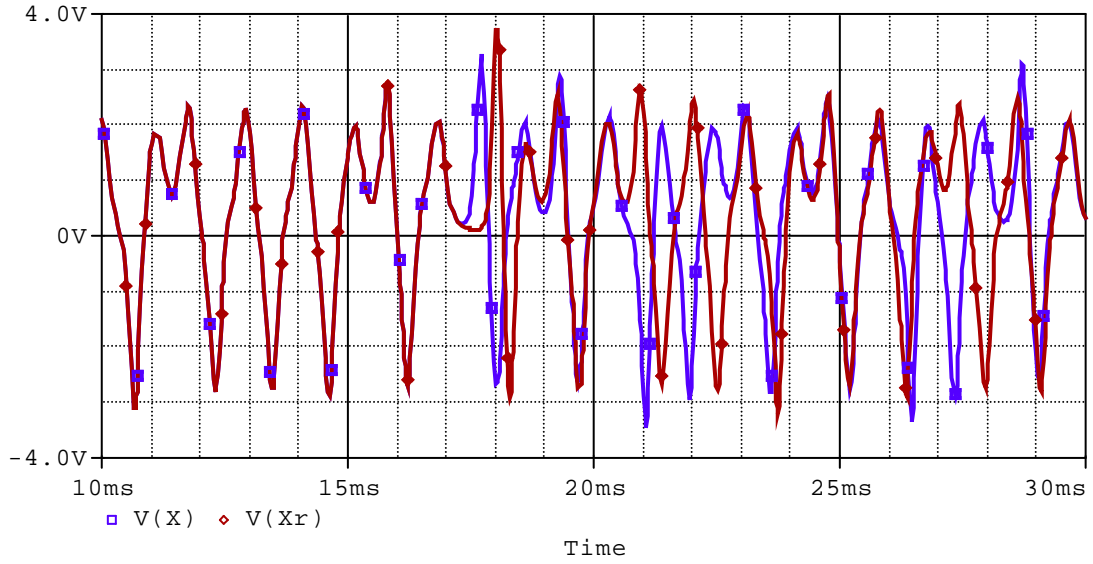
Şekil 4.23. Tıgan Sistemi'nin senkronizasyon sonrası oluşan $X_1 - X_{1r}$ fark sinyali (e=hata sinyali)

X_1 'den X_{1r} 'nin çıkarılmasıyla elde edilen fark (e=hata) sinyali ise Şekil 4.23.b' deki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.

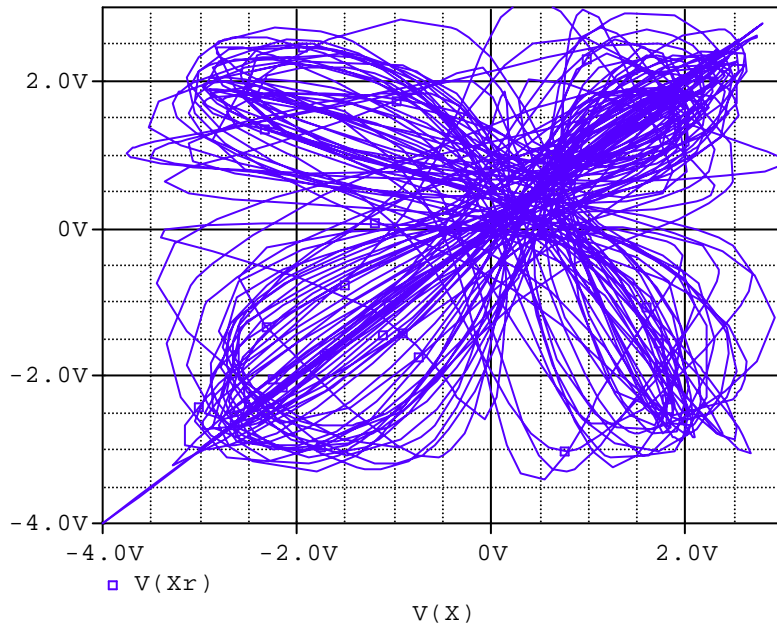


Şekil 4.24. Tigan Sistemi'nin Senkronizasyon Öncesi Pspice Modeli

Özdeş iki Tigan devresi Şekil. 4.24.' de görüldüğü üzere kurulmuştur. İki özdeş sistem, aynı parametre ve başlangıç şartlarıyla çalıştırılsalar bile farklı kaotik sinyalleri üretmektedir. Şekil 4.25. ve Şekil 4.26 de görüldüğü gibi x ve y arasında herhangi bir ilişki bulunmamaktadır.

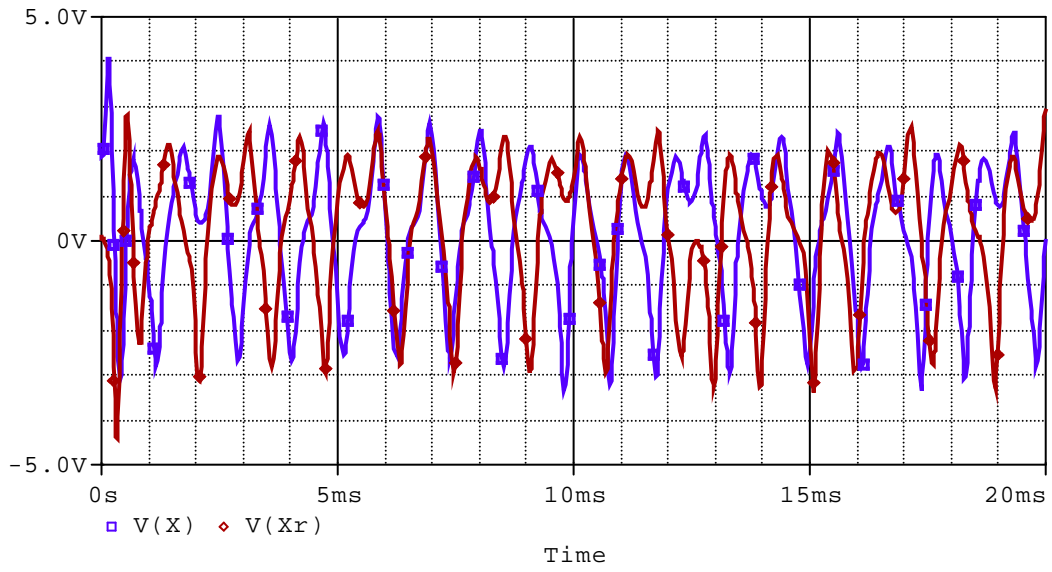


a)

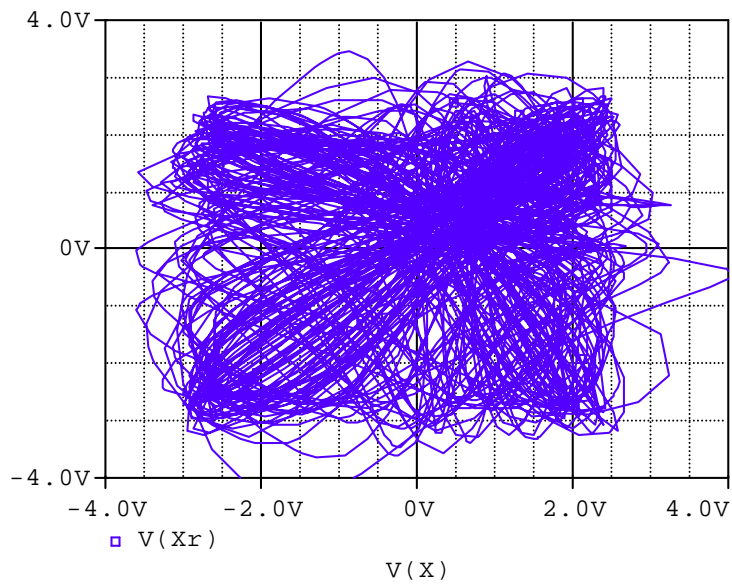


b)

Şekil 4.25. Tigan Sistemi Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xr) (b) X -Xc değişimi (senkronizasyondan önce)



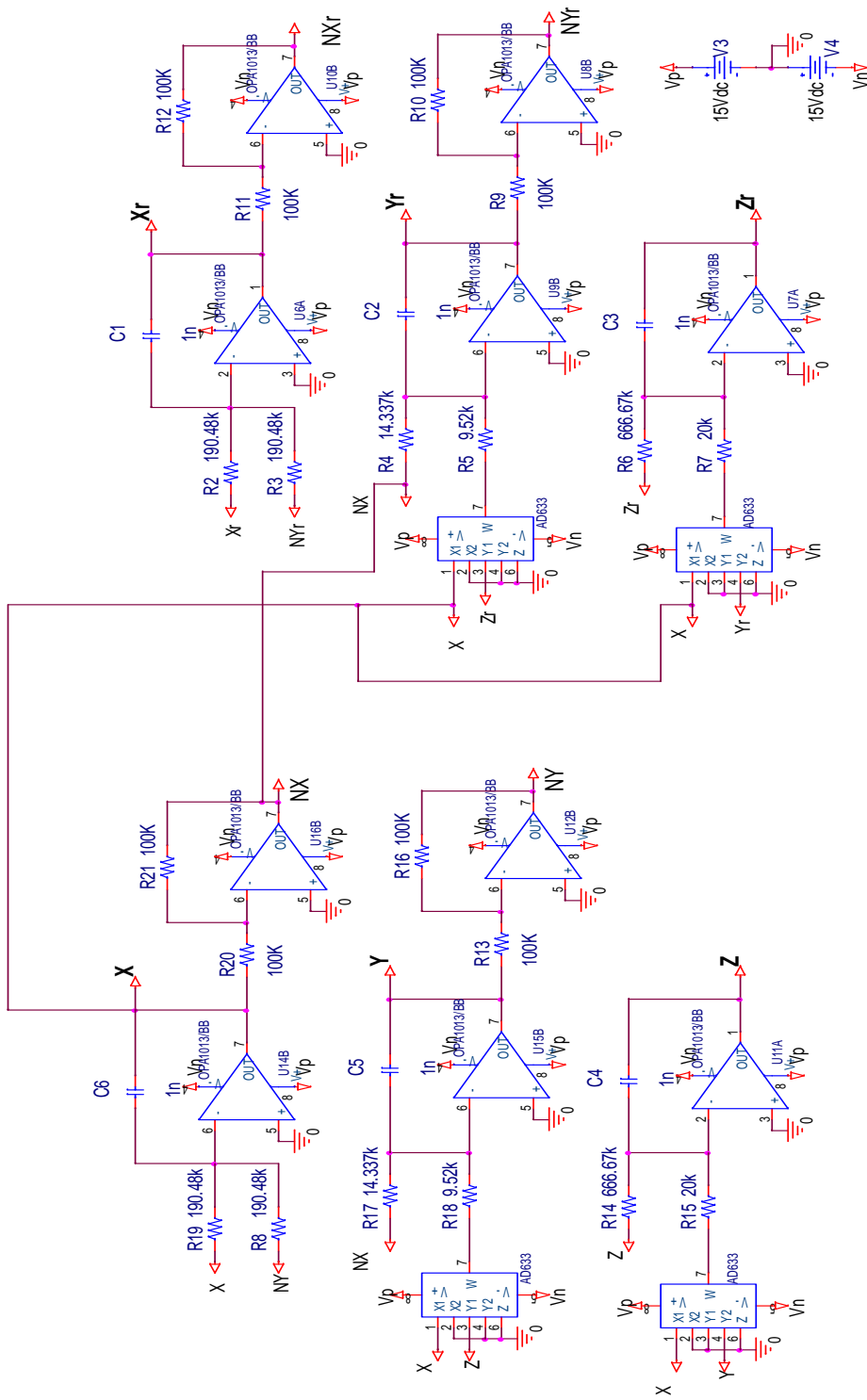
a)



b)

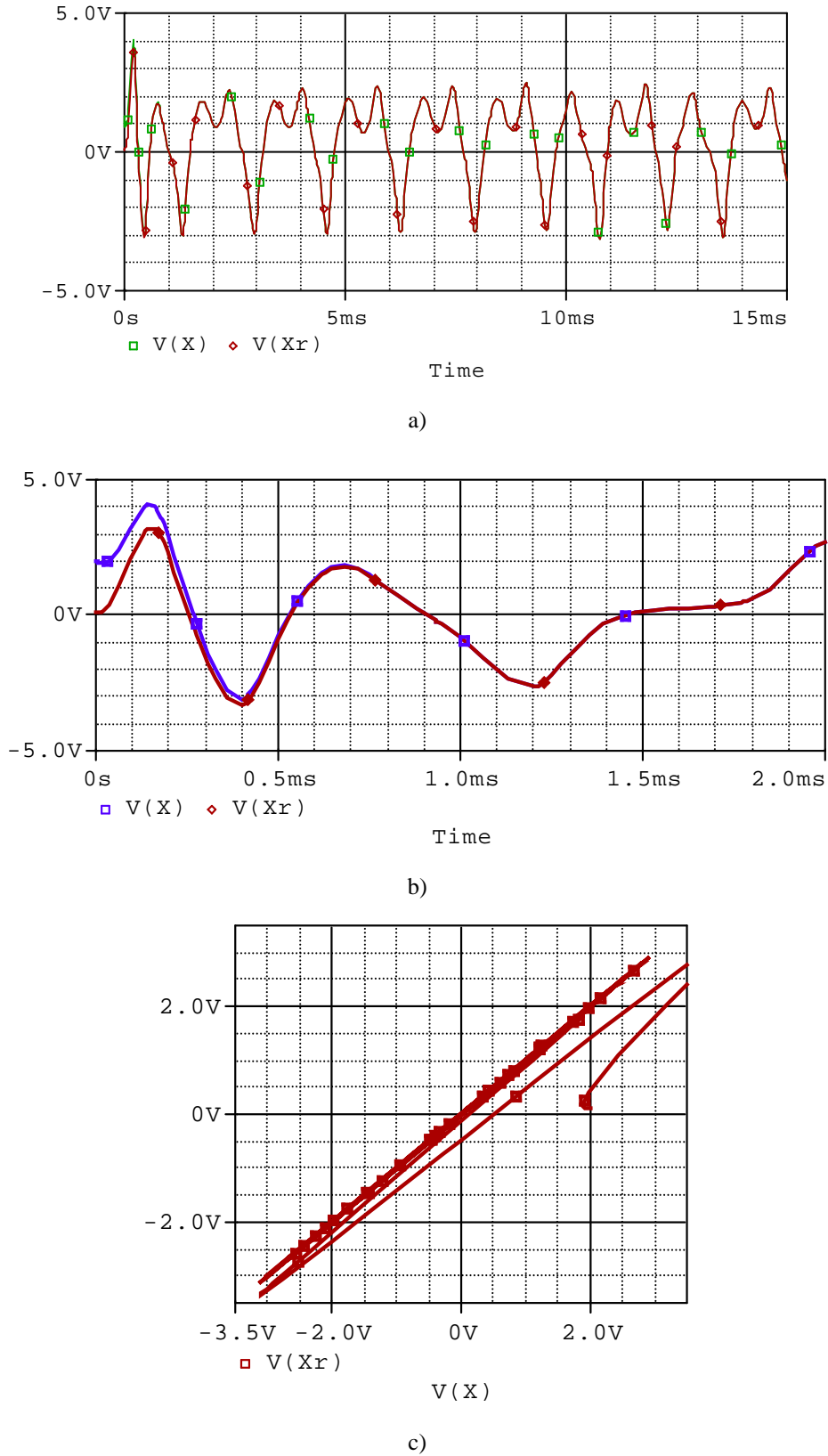
Şekil 4.26. Tigan Sistemi'nin farklı başlangıç şartlarıyla Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xr) (b) X -Xc değişimi (senkronizasyondan önce)

Tigan sisteminin tasarlanan Pspice P-C senkronizasyon devresi Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27. Tigan sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi

Tigan sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyonu Şekil 4.28.'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Tigan Sistemi Pspice P-C senkronizasyon devresi simülasyon sonuçları
(a) Sürücü(X) ve Cevap(Xr) kaotik sinyallerinin 15 ms içerisinde zamana göre değişimi, b) Sürücü(X) ve Cevap(Xr) kaotik sinyallerinin 2 ms içerisinde zamana göre değişimi, b) X-Xr değişimi (senkronizasyondan sonra)

4.3.3. Tigan Sistemi ile bilgi gizleme

T Sistem'in kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme için oluşturulması gereken verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

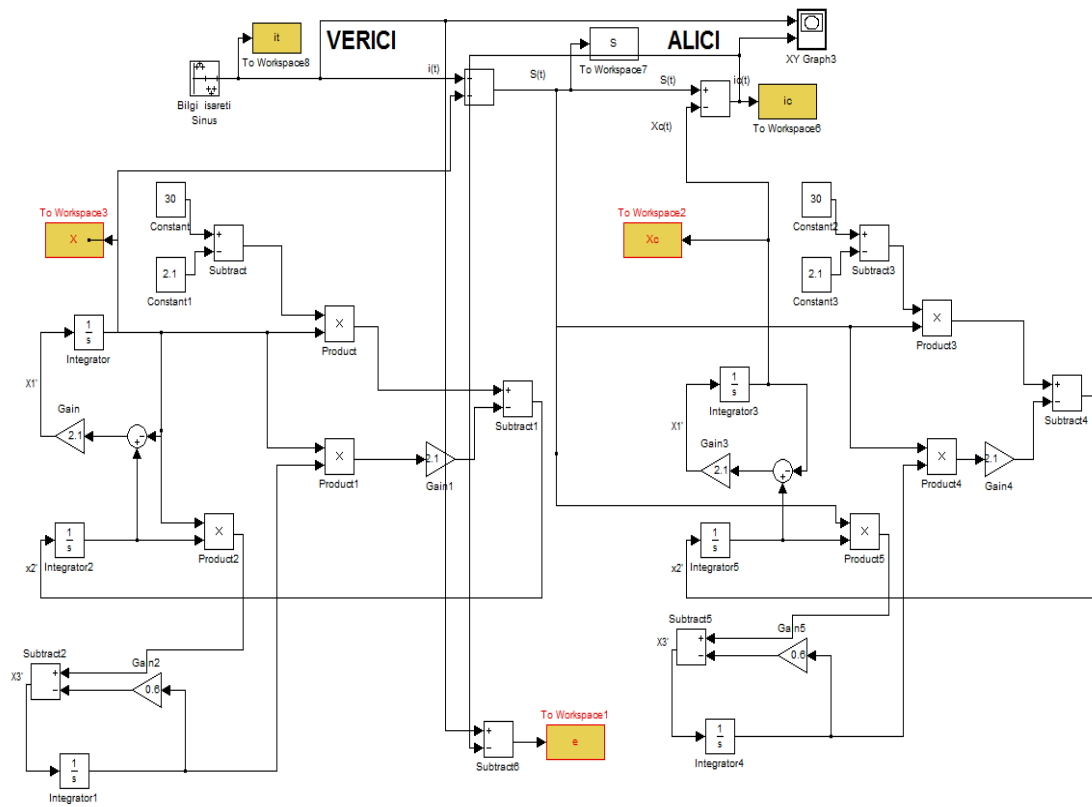
$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a(x_2 - x_1) \\ \dot{x}_2 &= (c - a)x_1 - ax_1x_3 \\ \dot{x}_3 &= -bx_3 + x_1x_2 \end{aligned}$$

Alıcı devresinin denklemleri aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\begin{aligned} \dot{x}_{1c} &= a(x_{2c} - x_{1c}) \\ \dot{x}_2 &= (c - a)s(t) - as(t)x_{3c} \\ \dot{x}_3 &= -bx_{3c} + s(t)x_{2c} \end{aligned} \quad (4.11)$$

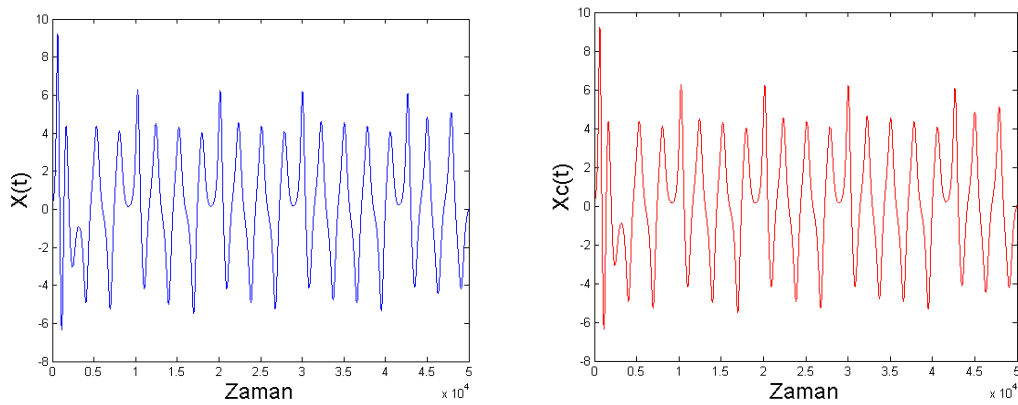
$i(t)$ bilgi işareti, maskeleyici $x(t)$ kaotik işaretiyle toplanır ve iletim ortamına aktarılır. İletilen $s(t)$ işareti ikisinin toplamıdır. Alıcıda, Pecaro Carroll yöntemine göre gerçekleşen senkronizasyonla maskeleyici $x(t)$ işaretinin aynı formu oluşturulmakta ve senkronize olan $x_c(t)$ kaotik işareti, iletim ortamından gelen $s(t)$ işaretinden çıkartılarak tekrar $i_c(t)$ bilgi işareti elde edilmektedir.

T Sistemi'nin Matlab-Simulink'de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modellemesi Şekil 4.29.'de verilmiştir.



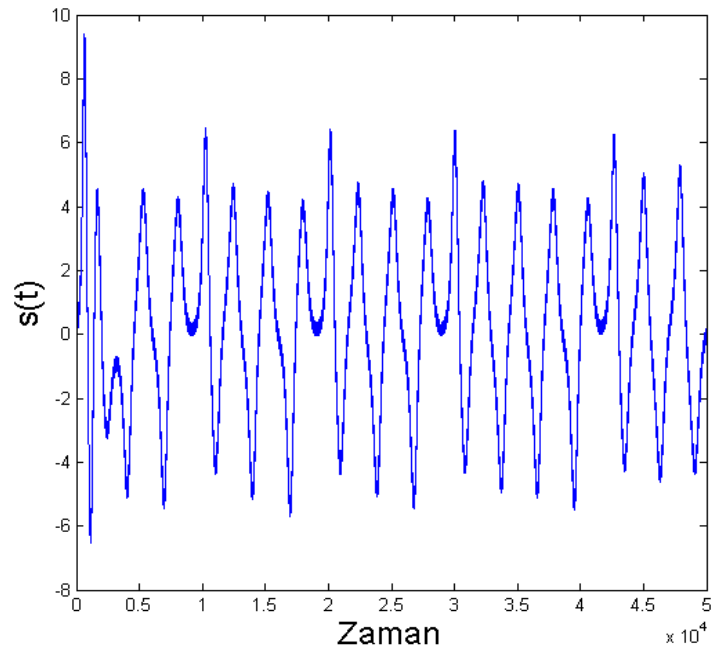
Şekil 4.29. T Sistem ile Güvenli Haberleşme Modeli

Simulink'te yapılan T Sistemi kaotik gizleme haberleşme modelinin simülasyon sonuçları Şekil 4.30.'da verilmiştir.

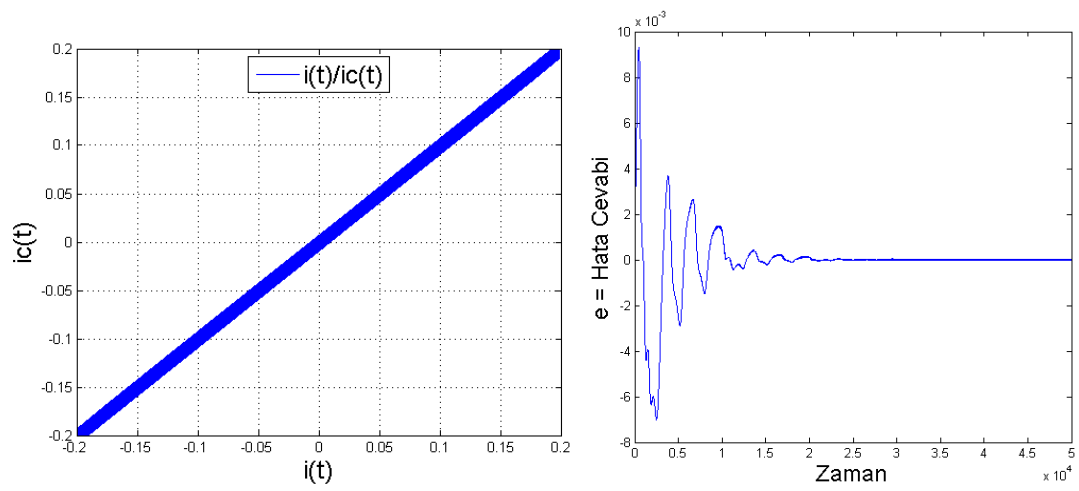


a)

Şekil 4.30. T Sistem'in Simulink'de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $X(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $X_c(t)$ sinyali'nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ 'nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $ic(t)$ 'nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi



b)



c)

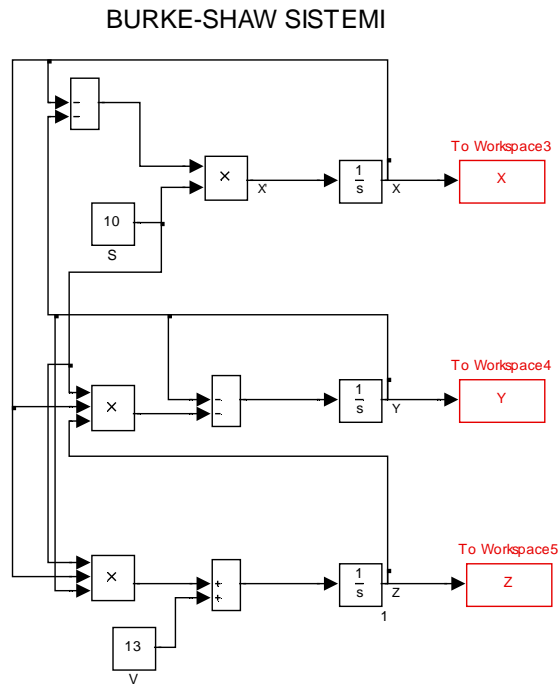
Şekil 4.30. (Devamı)

4.4. Burke-Shaw Sistemi

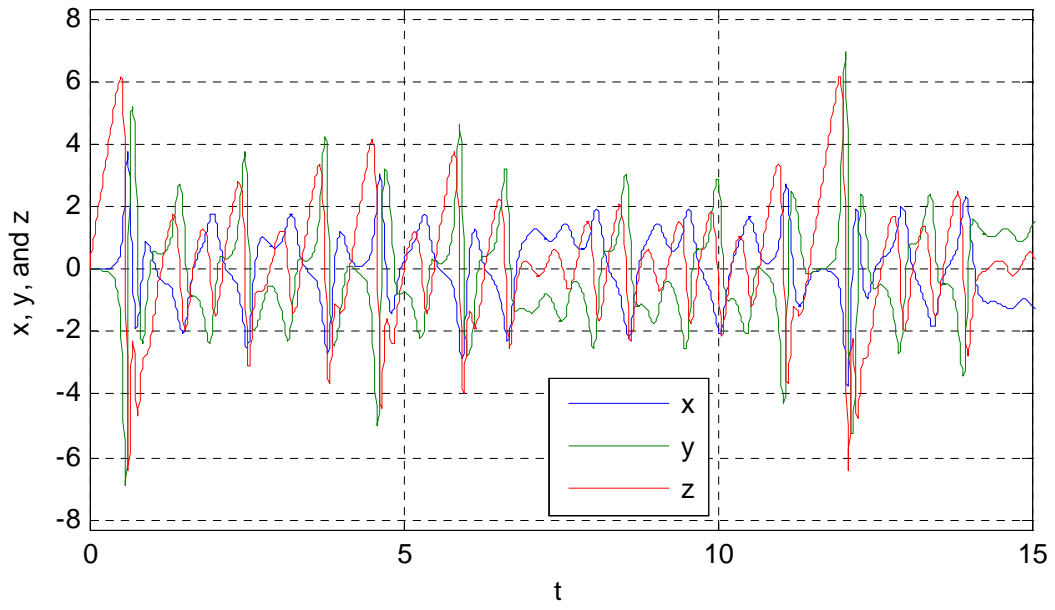
Shaw'ın 1981 yılında bulduğukaotik denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -Sx - Sy \\ \dot{y} &= -Sxz - y \\ \dot{z} &= Sxy + V\end{aligned}\quad (4.12)$$

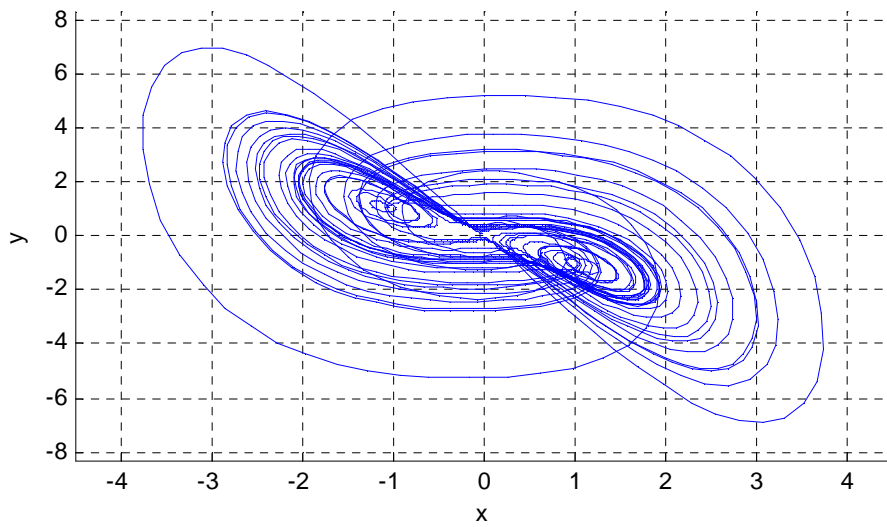
$S = 10$, $V = 13$ parametreleri ve $x_0 = 0.6$, $y_0 = 0$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler şekil 4.31'de, u boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi ise şekil 4.32.'de verilmiştir[24].



şekil 4.31. Burke-Shaw sisteminin Matlab-Simulink modellemesi

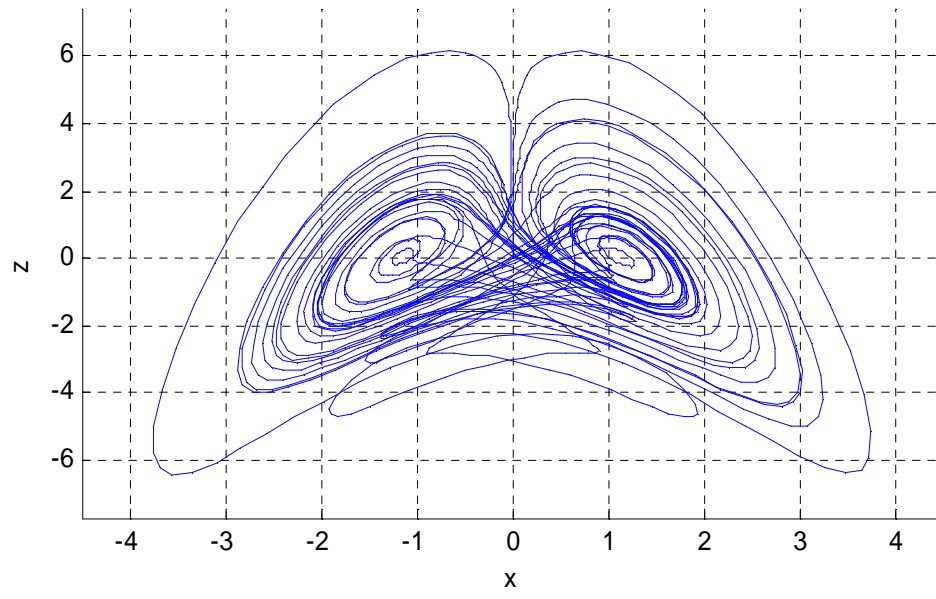


Şekil 4.32. Burke-Shaw Sistemi'nin x-y-z-zaman faz portresi

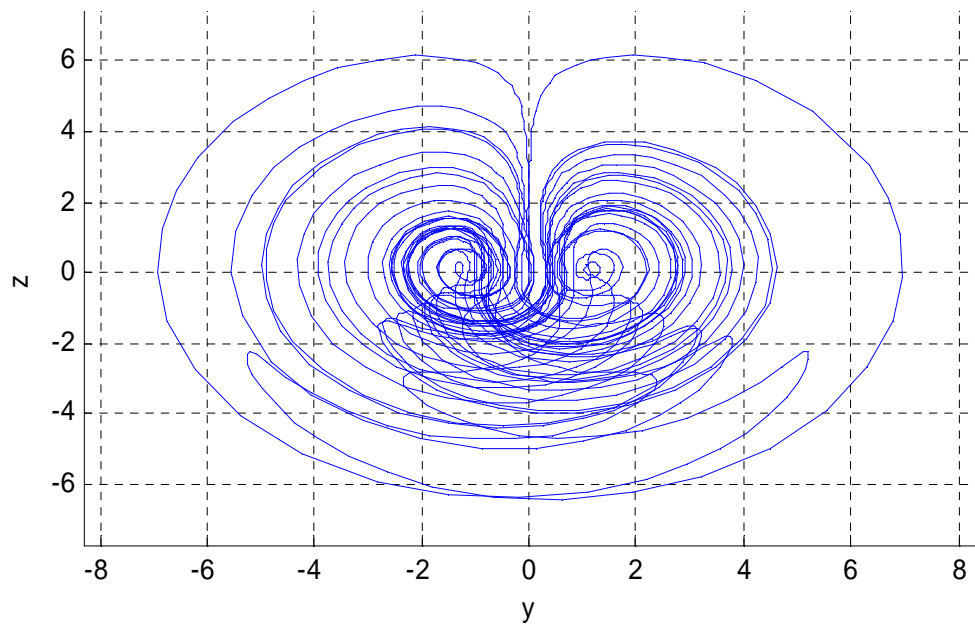


a)

Şekil 4.33. Burke-Shaw sisteminin Matlab-Simulink programında simülasyon çıktıları a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri

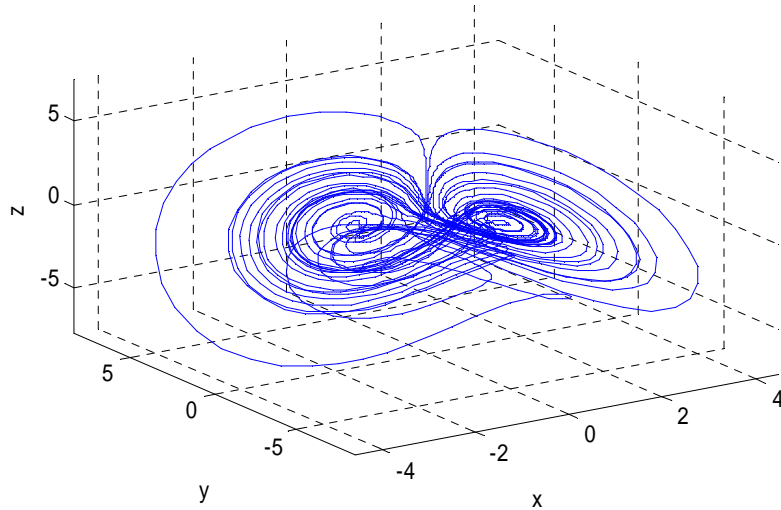


b)



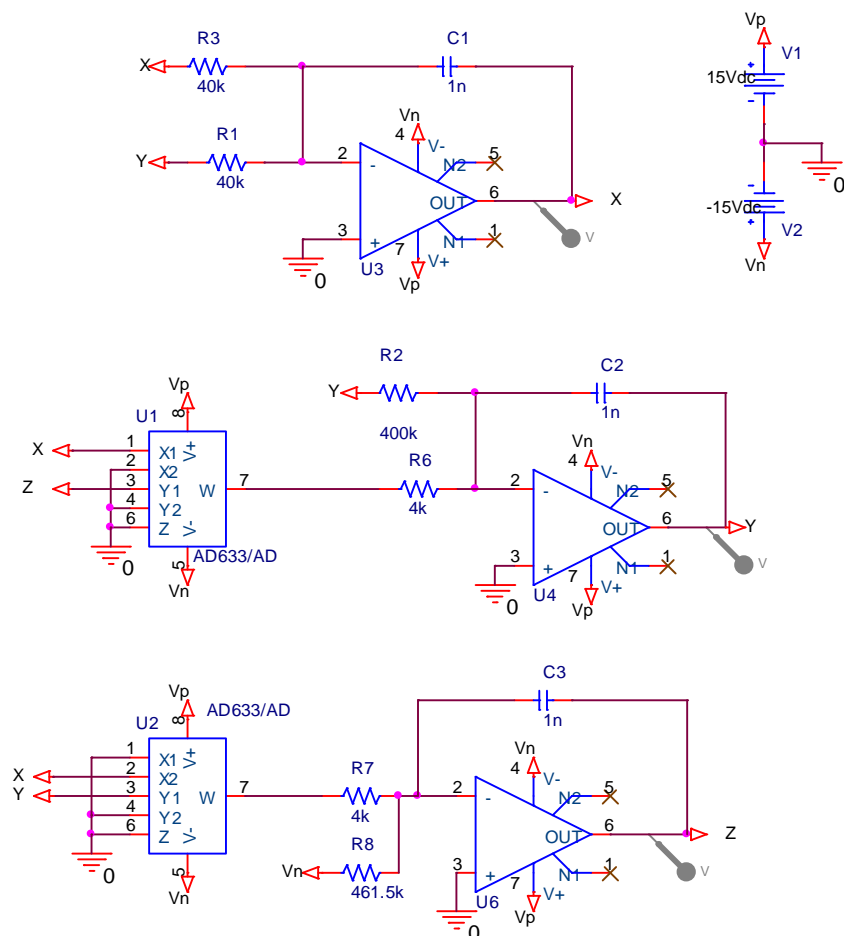
c)

Şekil 4.33. (Devamı)



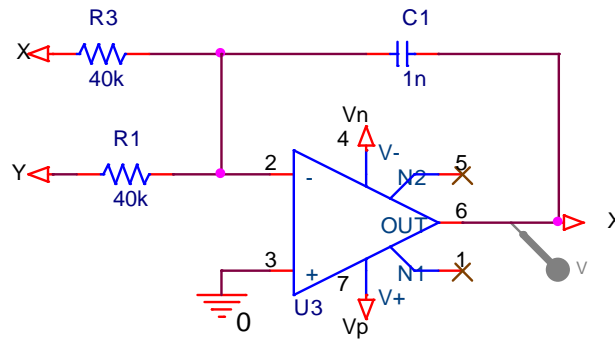
Şekil 4.34. Burke-Shaw sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

4.4.1 Burke-Shaw Sistemi'nin elektronik devre gerçekleştirilmesi ve analizi



Şekil 4.35. Burke-Shaw sisteminin devre tasarımı

Burke-Shaw sisteminin Matlab'daki Şekil 4.32, 4.33. ve 4.34. deki numerik simülasyon grafiklerinden görüleceği gibi x, y ve z durum değişkenlerinin değerleri, opamp'ın besleme sınırları içerisinde kalmaktadır. Dolayısıyla Burke-Shaw sisteminin elektronik devre tasarımı yapılırken skala edilmemesi gerekmektedir. Bu devreyi analiz etmek için, her bir kısım u, v, ve w hesaplamalarını verecek şekilde 3 bölüme ayırabiliriz (Bkz. Şekil 4.36.-4.38.).



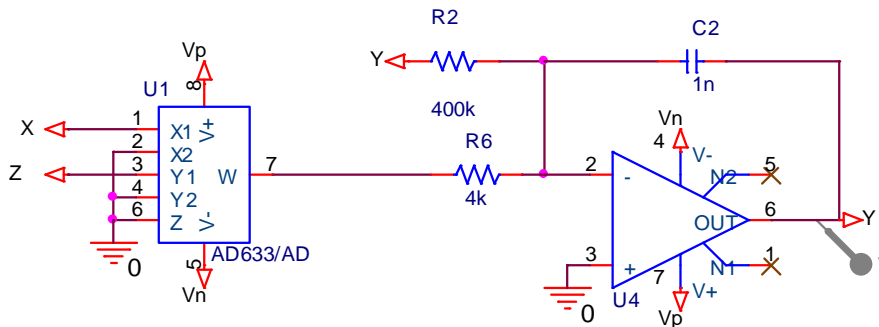
Şekil 4.36. Burke-Shaw Sistemi devre tasarımının X hesaplama devresi

Şekil 4.36.'yi analiz edersek,

$$X = \frac{-1/j \cdot w \cdot c_1}{R_3} \cdot X + \frac{-1/j \cdot w \cdot c_1}{R_1} \cdot Y$$

$$X = \frac{-X}{c_1 R_3} \cdot \frac{1}{s} - \frac{Y}{c_1 R_1} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\dot{X} = \frac{1}{c_1} \left(\frac{-X}{R_3} - \frac{Y}{R_1} \right)$$



Şekil 4.37. Burke-Shaw Sistemi devre tasarımının Y hesaplama devresi

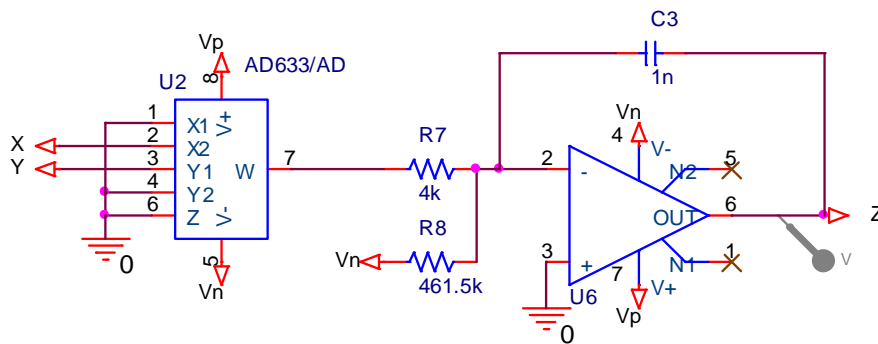
Şekil 4.37.'ü analiz edersek,

$$Y = \frac{-1/j \cdot \omega \cdot c_2}{R_6} \cdot (X \cdot Z) + \frac{-1/j \cdot \omega \cdot c_2}{R_2} \cdot Y$$

$$Y = \frac{-X \cdot Z}{c_2 R_6} \cdot \frac{1}{s} - \frac{Y}{c_2 R_2} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\dot{Y} = \frac{1}{c_2} \left(\frac{-X \cdot Z}{R_6} - \frac{Y}{R_2} \right)$$

elde edilir.



Şekil 4.38. Burke-Shaw Sistemi devre tasarımının Z hesaplama devresi

Şekil 4.38.'i analiz edersek,

$$Z = \frac{-1/j \cdot \omega \cdot c_3}{R_7} \cdot (-X \cdot Y) + \frac{-1/j \cdot \omega \cdot c_3}{R_8} \cdot V_n$$

$$Z = \frac{X \cdot Y}{c_3 R_7} \cdot \frac{1}{s} + \frac{V_n}{c_3 R_8} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\dot{Z} = \frac{1}{c_3} \left(\frac{X \cdot Y}{R_7} + \frac{V_n}{R_8} \right)$$

elde edilir.

Son durumda \dot{X} , \dot{Y} ve \dot{Z} durum değişkenleri aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\dot{X} = \frac{1}{c_1} \left(\frac{-X}{R_3} - \frac{Y}{R_1} \right)$$

$$\dot{Y} = \frac{1}{c_2} \left(\frac{-X \cdot Z}{R_6} - \frac{Y}{R_2} \right)$$

(4.13)

$$\dot{Z} = \frac{1}{c_3} \left(\frac{X.Y}{R_7} + \frac{V_n}{R_8} \right)$$

Sözkonusu devrede $R = R_1 = R_3$ 'dir. Kapasitörlerin değerleri devrenin zamanlama skalasını belirlemektedir. Cuomo ve Oppenheim'in yaptıkları çalışmaya göre[25] zamanlama skalası 2505'dir. Charlesworth[36], problemin kendi çözümünde olan fiziksel zaman ile (problem zamanı), analog bilgisayarda incelenen çözüm zamanının(hesaplama zamanı) birbirinden çok farklı olabileceğini belirterek zamanlama skalasına duyulan ihtiyacın sebebini açıklamıştır. Charlesworth[36]' a göre $t =$ problem zamanı, $\tau =$ hesaplama(devre) zamanı, $\beta =$ zaman skalalama faktörü olmak üzere $\tau = \beta \times t$ 'dir. Bu tezde de aynı şekilde bütün devre gerçeklemelerinde zaman skalalama faktörü $\beta = 2505$ alınmıştır.

$$S \text{ için: } \dot{x} = -Sx - Sy = \frac{1}{c_1} \left(\frac{-X}{R_3} - \frac{Y}{R_1} \right) \text{ 'dir.}$$

$$\text{Zaman skalalaması uygulanırsa } S = \frac{1}{2505.R_1.c_1} = \frac{1}{2505.R_3.c_1} \text{ elde edilir.}$$

$$S \text{ için: } \dot{y} = -Sxz - y = \frac{1}{c_2} \left(\frac{-X.Z}{R_6} - \frac{Y}{R_2} \right) \text{ 'dir.}$$

$$\text{Buradan } S = \frac{1}{2505.R_6.c_2} \text{ elde edilir.}$$

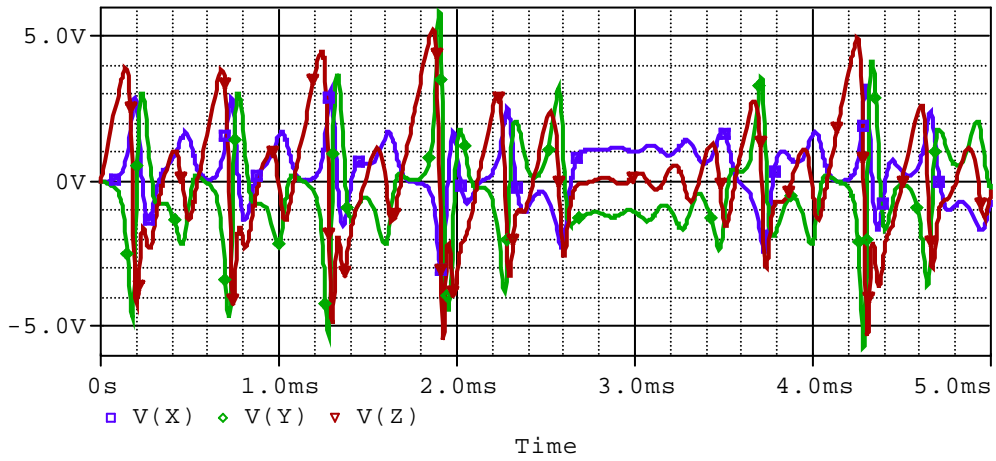
$$S \text{ için: } \dot{z} = Sxy + V = \frac{1}{c_3} \left(\frac{X.Y}{R_7} + \frac{V_n}{R_8} \right)$$

'dir.

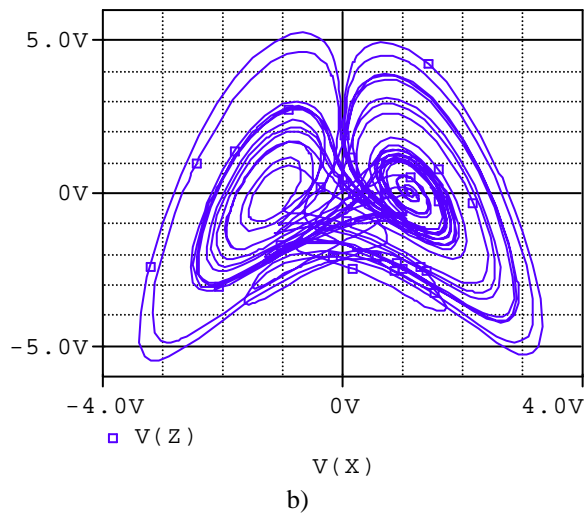
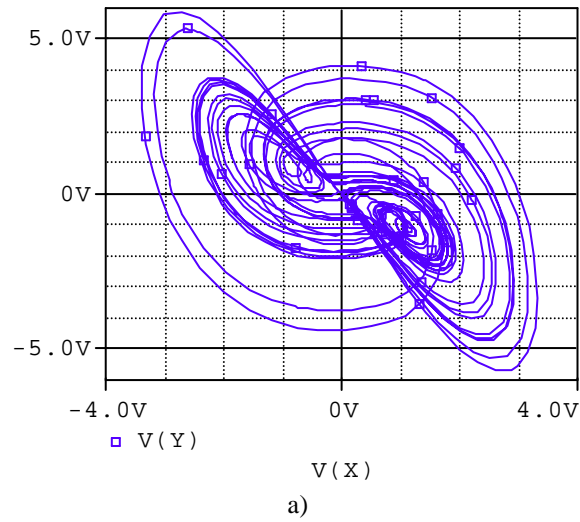
$$\text{Buradan } V = \frac{V_n}{2505.c_3.R_8} \text{ ve } S = \frac{1}{2505.c_3.R_7} \text{ elde edilir.}$$

$S = 10$, $V = 13$ olarak bulunan bu parametre değerleri ile birlikte, (4.6) denklemi ile (4.5) denklemindeki diğer katsayılar karşılaştırılarak diğer direnç değerleri de tespit edilir. Örneğin $S = \frac{1}{2505.R_1.c_1} = \frac{1}{2505.R_3.c_1}$ 'yi analiz edersek; $10 = \frac{1}{2505.R_1.c_1}$ olur.

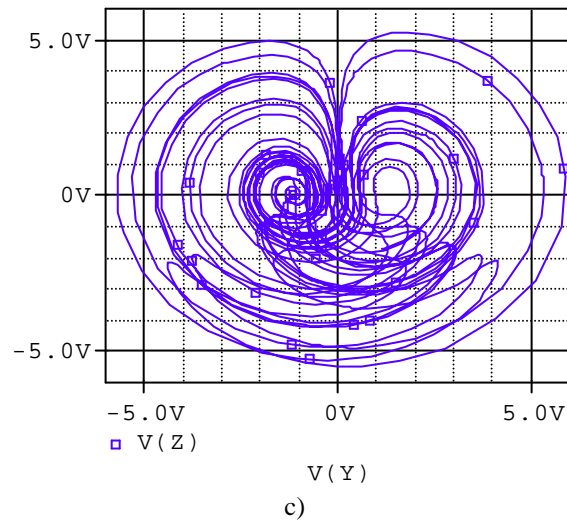
Devrede $C_1 = 1 \text{ nf}$ alındığı düşünülürse buradan R_1 değeri 40 K olarak hesaplanır. Aynı şekilde tüm direnç değerleri $R_1=R_3=40 \text{ K}$, $R_2 = 400\text{K}$, $R_6=4 \text{ K}$, $R_7=4 \text{ K}$, $R_8=461,5 \text{ K}$ olarak elde edilir. Devrede $C_1=C_2=C_3=1 \text{ nf}$ 'dır.



Şekil 4.39. Burke-Shaw devre tasarımının Pspice simülasyon sonuçları, kaotik x,y,z sinyallerinin zamana göre değişimi

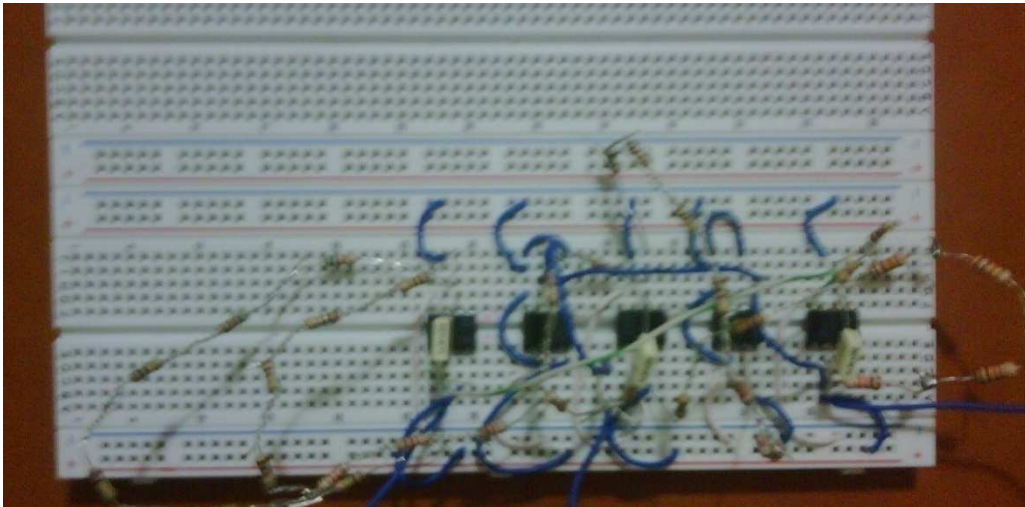


Şekil 4.40. Burke-Shaw devre tasarımının Pspice simülasyon sonuçları a) x-y b) x-z c) y-z kaotik çekicileri



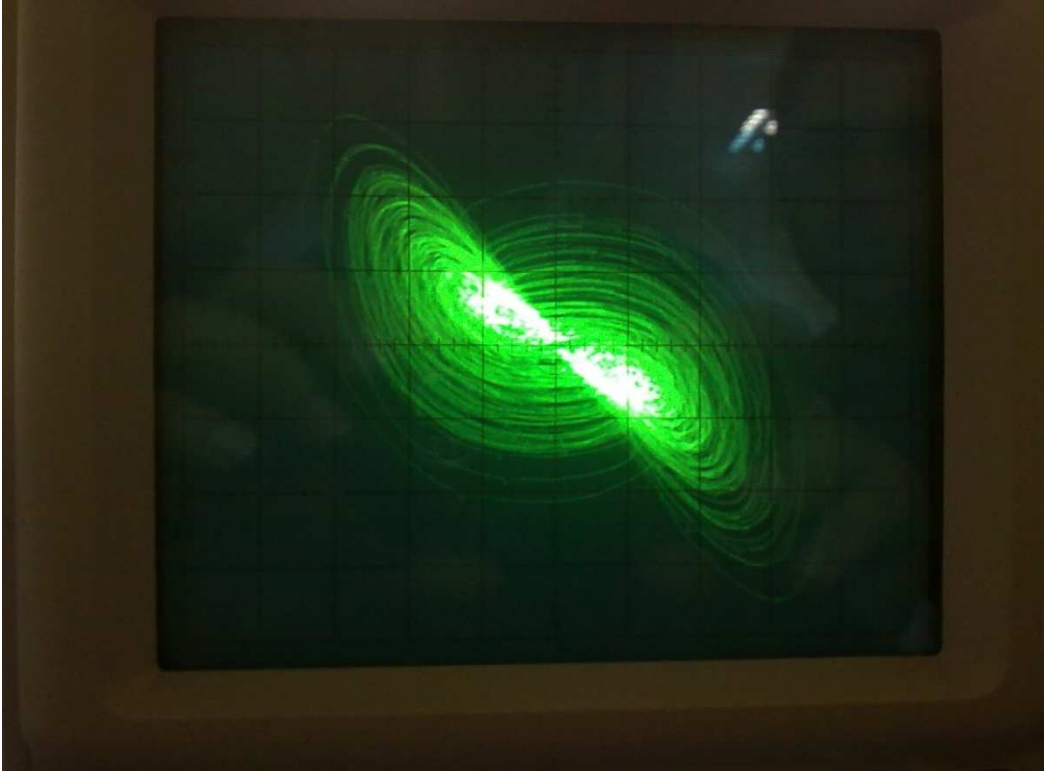
Şekil 4.40.(Devamı)

Tasarlanan Burke-Shaw devresi (Bkz. Şekil 4.35.)'in deneysel olarak yapılan elektronik devre gerçekleştirilmesi Şekil 4.41.'de görülmektedir.

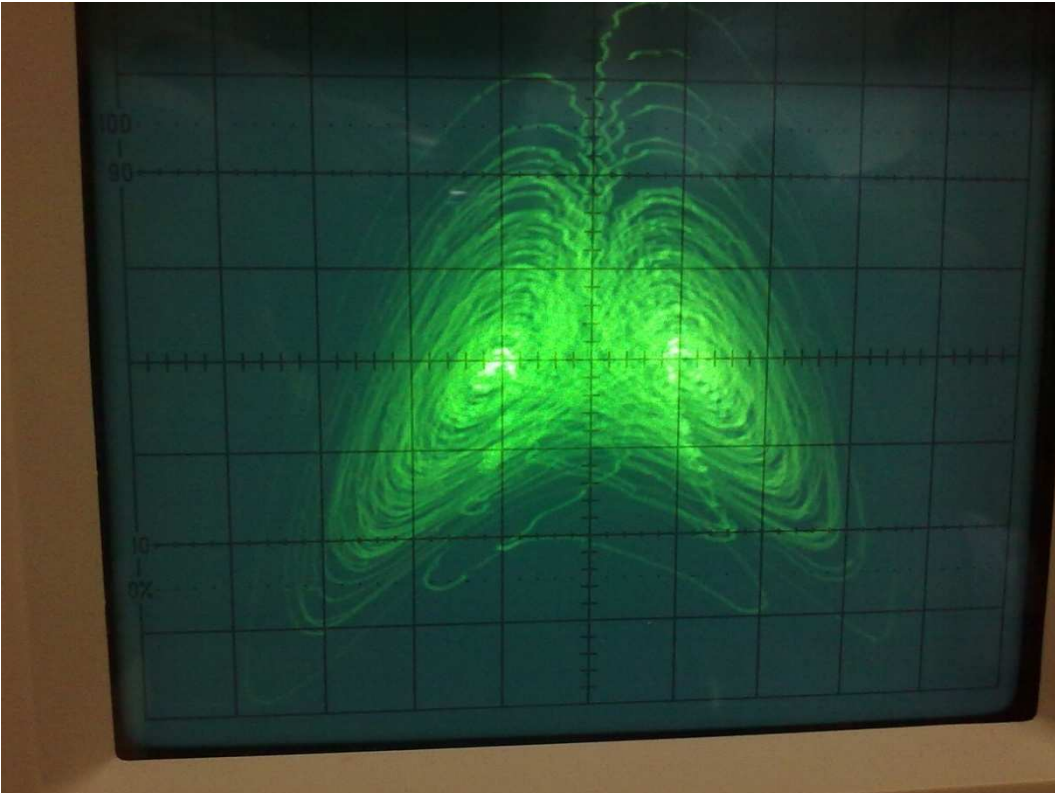


Şekil 4.41.Burke-Shaw sisteminin deneysel olarak kurulan elektronik devresi

Burke-Shaw elektronik devresinin x-y, x-z, ve y-z kaotik çekicilerinin osiloskop çıkışları Şekil 4.42.'de görülmektedir.

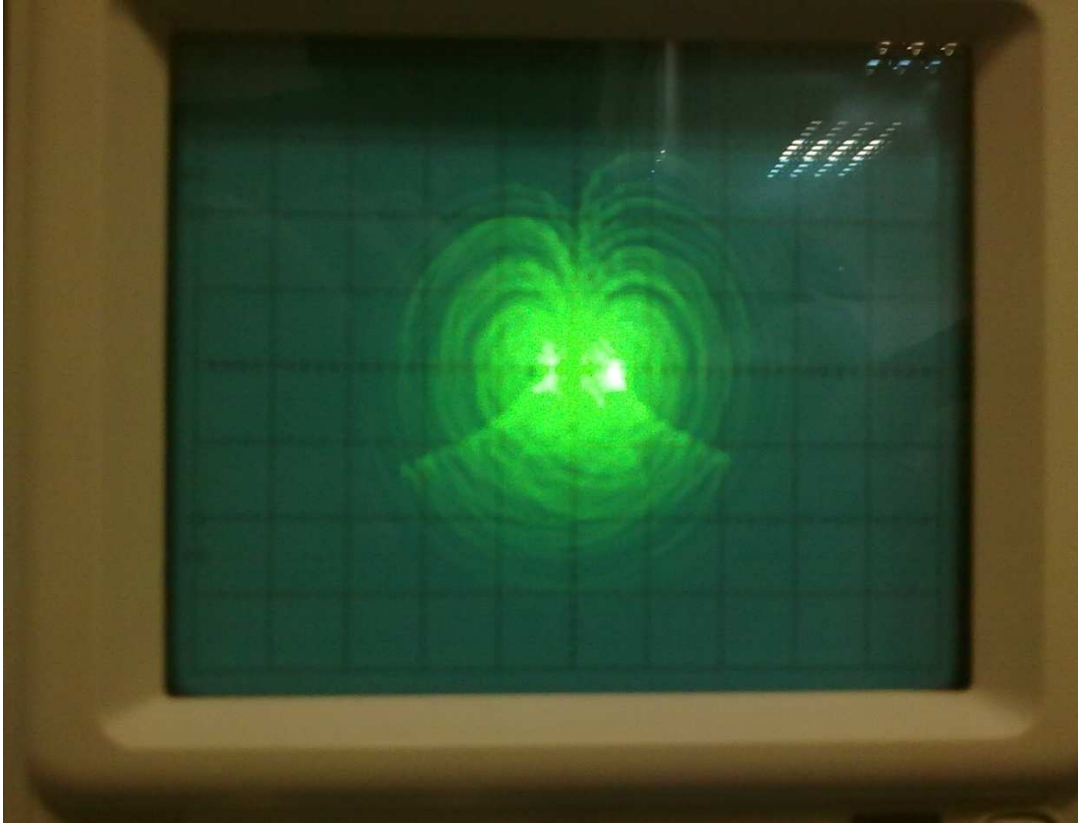


a)



b)

Şekil 4.42. Burke-Shaw elektronik devresinin kaotik a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicilerinin osiloskop çıkışları

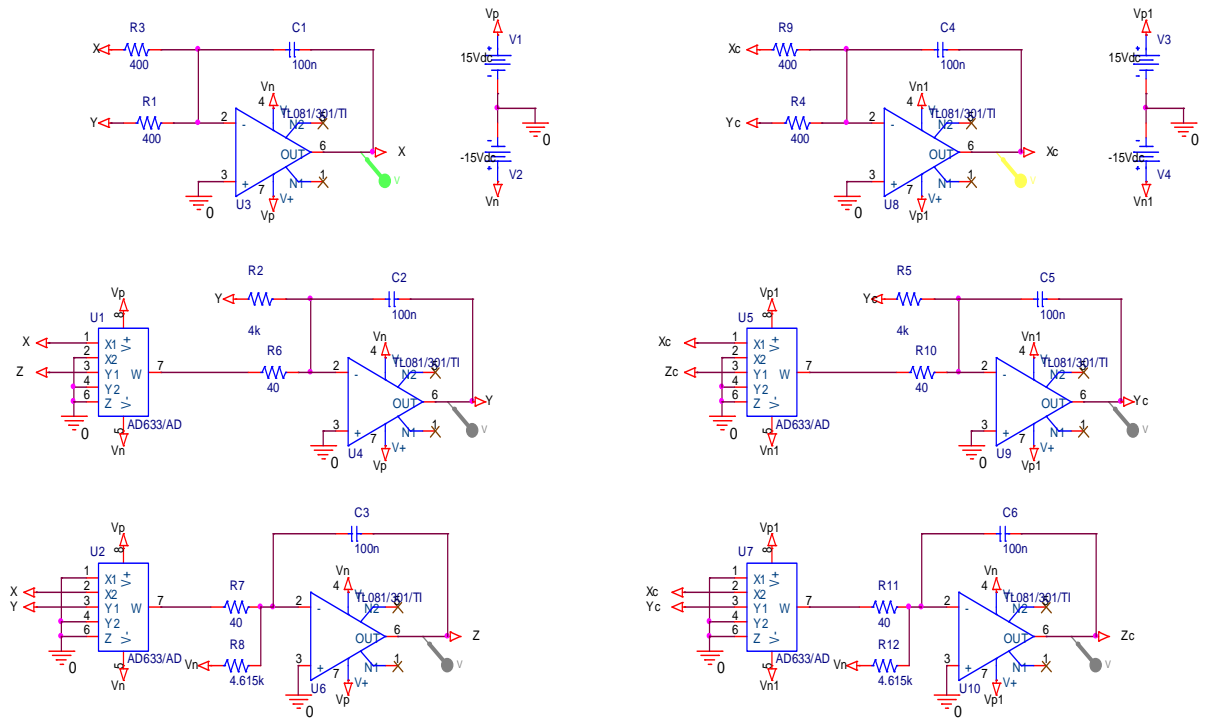


c)

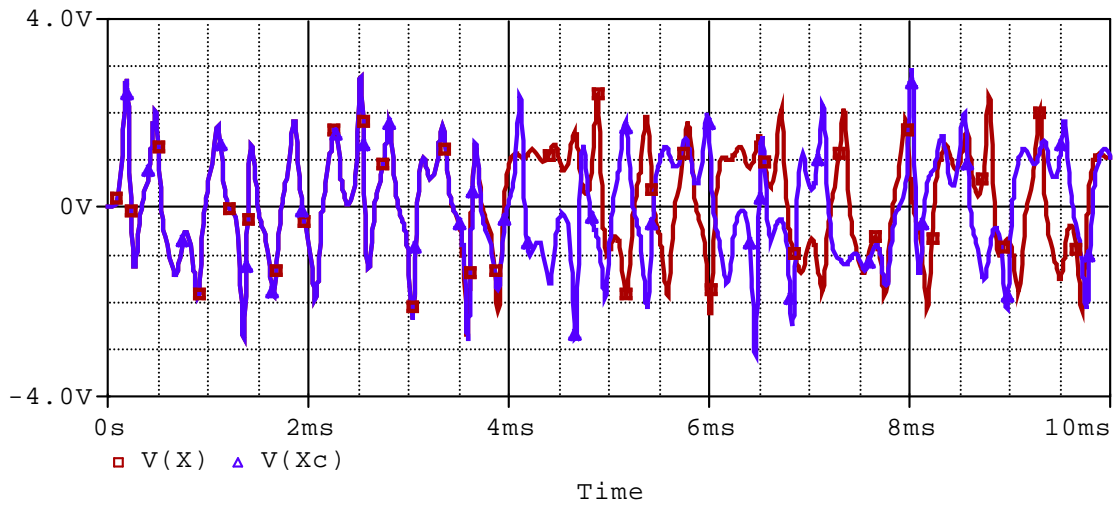
Şekil 4.42. (Devamı)

4.4.2. Burke-Shaw Sistemi'nin senkronizasyonu

Burke-Shaw sistemin senkronizasyon öncesinde durumunu gözlemlemek amacıyla bir devre kurulmuştur.

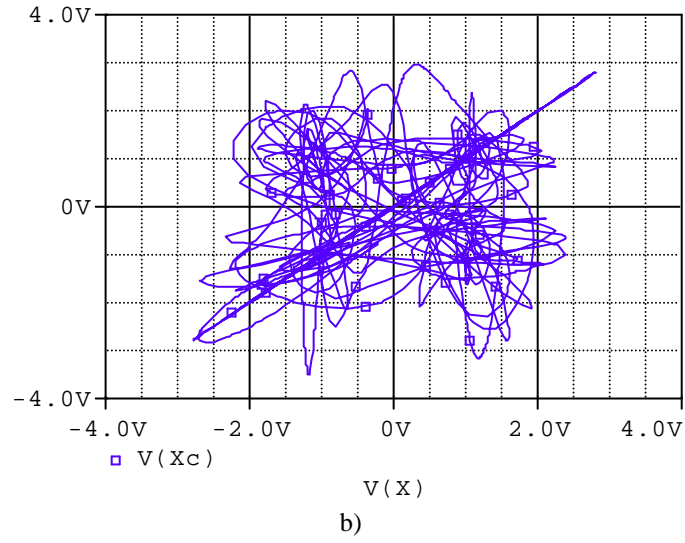


Şekil 4.43. Burke-Shaw sisteminin senkronizasyon öncesi için kurulan elektronik devresi

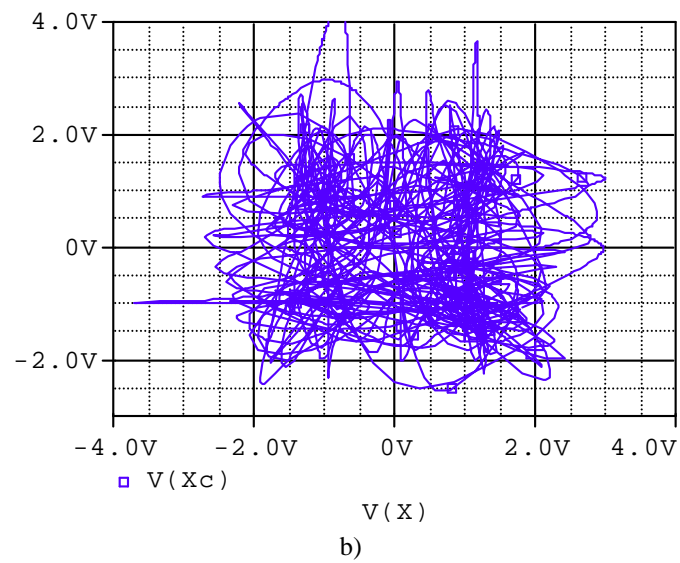
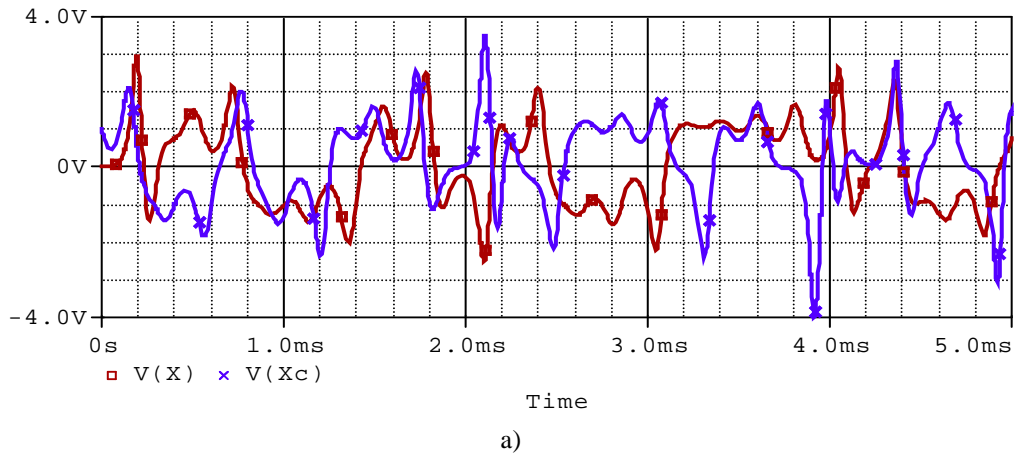


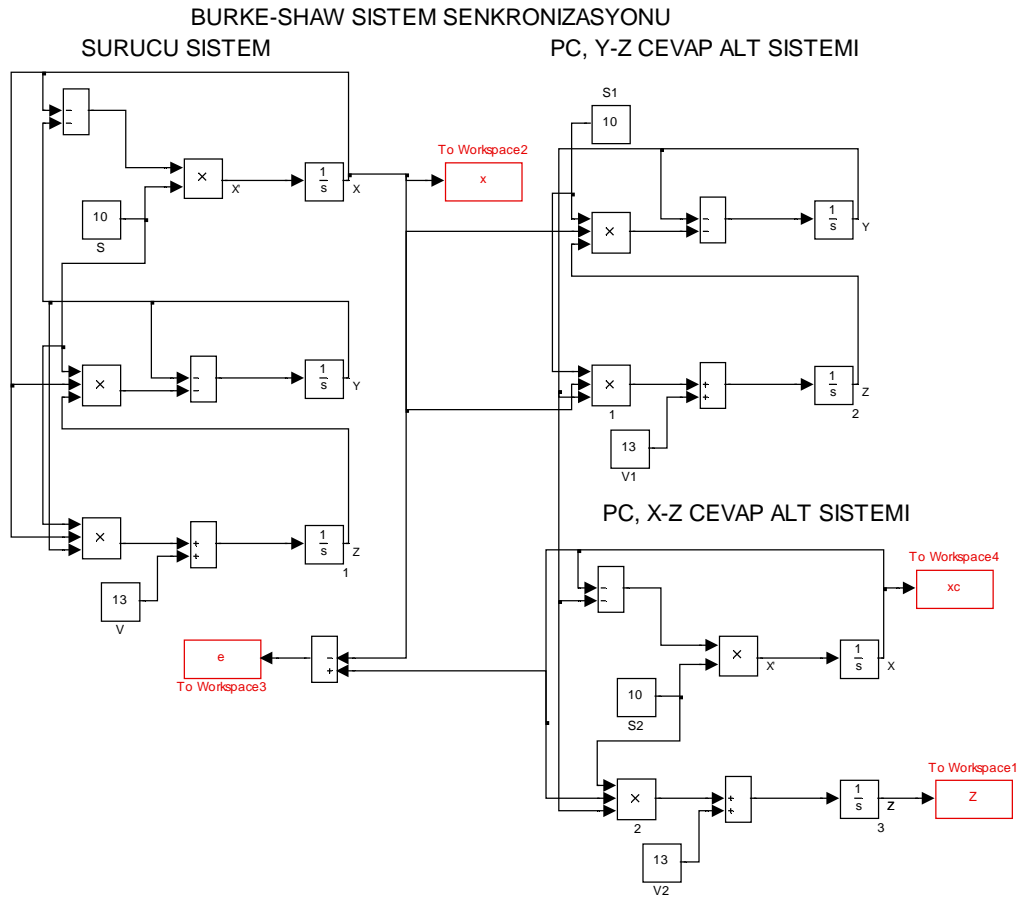
a)

Şekil 4.44. Burke-Shaw Sistemi'nin aynı başlangıç şartlarıyla Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü
(a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xr) (b) X -Xc değişimi

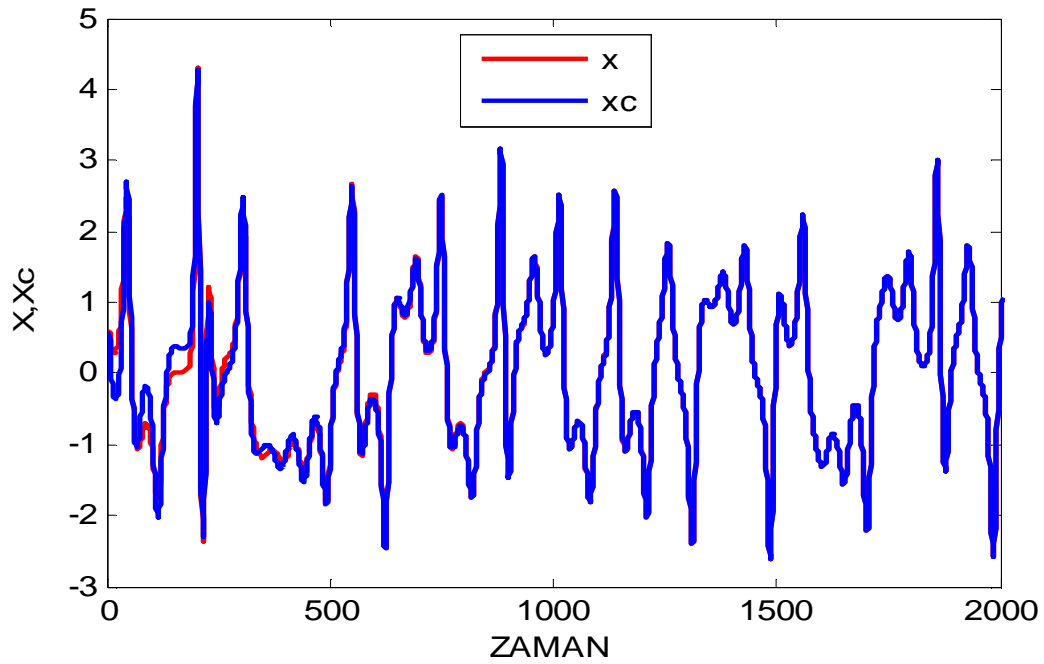


Şekil 4.44. (Devamı)

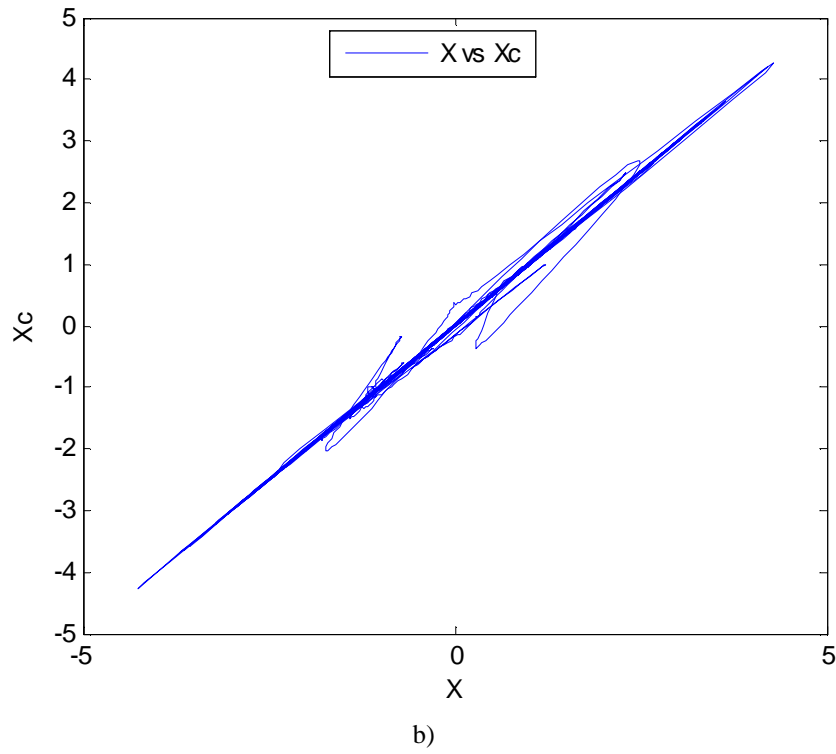
Şekil 4.45. Burke-Shaw Sistemi'nin farklı başlangıç şartlarıyla Pspice senkronizasyon öncesi görüntüsü (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(X_r) (b) X - X_c değişimi



Şekil 4.46. Burke-Shaw sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

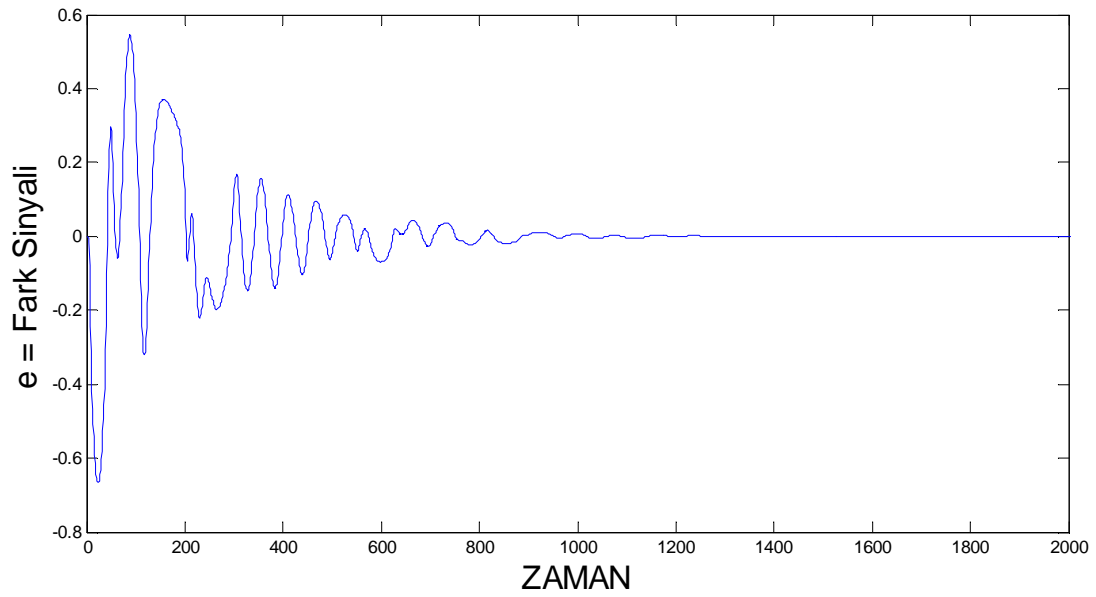


Şekil 4.47. (a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi

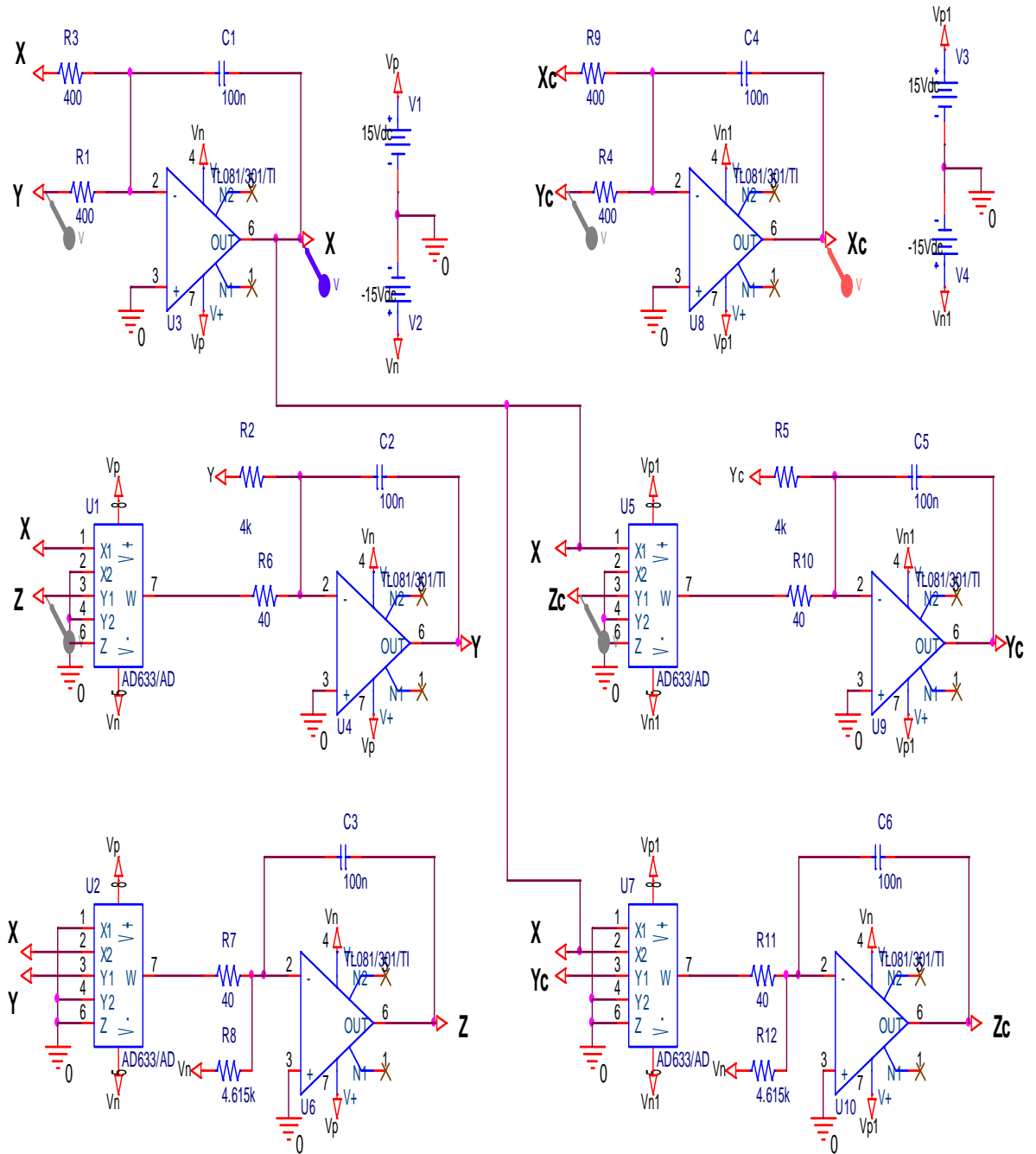


Şekil 4.47. (Devamı)

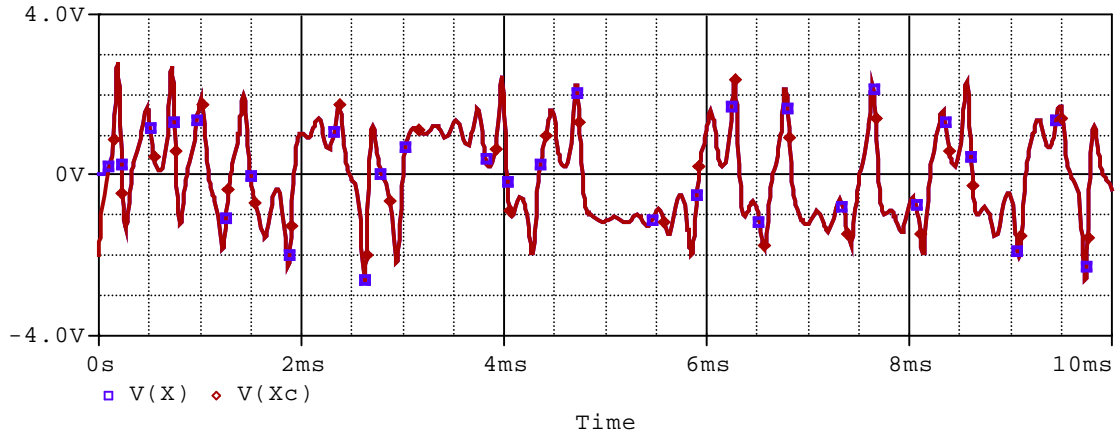
X' den X_c' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark (e =hata) sinyali ise Şekil 4.48.' deki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



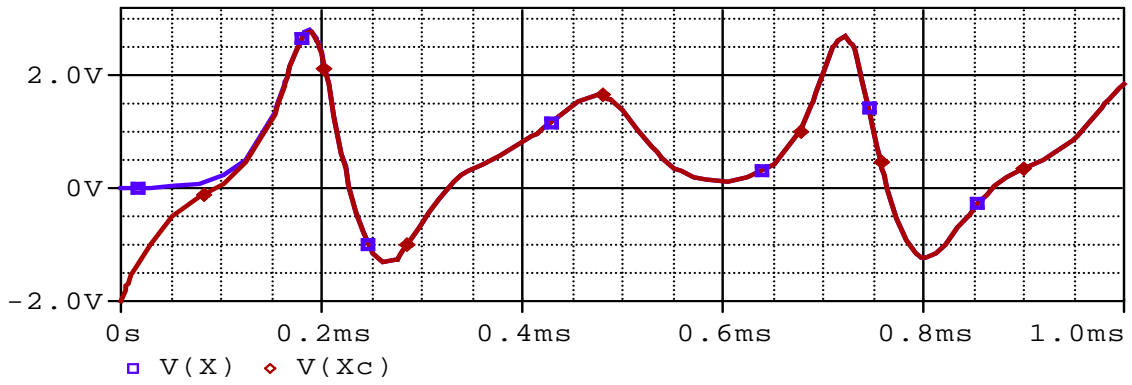
Şekil 4.48. Senkronizasyon sonrası oluşan $X-X_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)



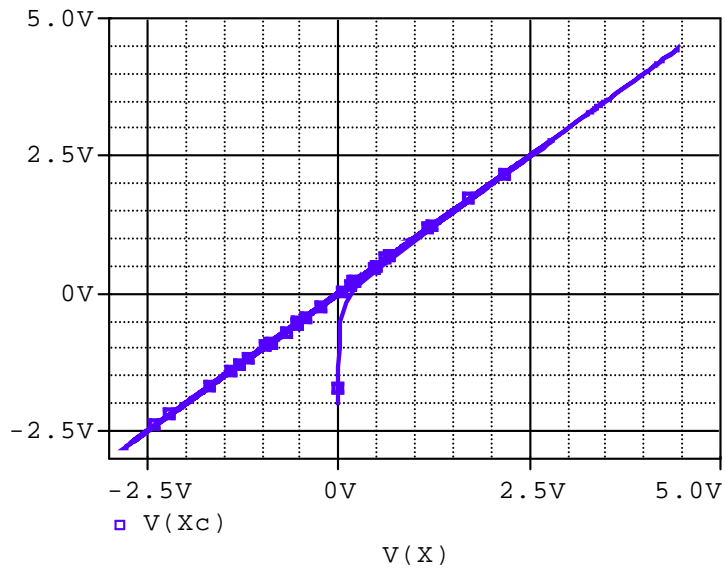
Şekil 4.49. Burke-Shaw sisteminin Pspice senkronizasyon modellemesi



a)



b)



c)

Şekil 4.50. Burke-Shaw Sistemi Pspice senkronizasyon sonuçları (a)Sürücü sinyal(X), cevap sinyali(Xc) 'nin 10 ms içerisinde zamana göre değişimi (b) X - Xc 1 ms içerisinde değişimi (c) X - Xc değişimi (senkronizasyondan sonra)

4.4.3 Burke-Shaw Sistemi ile bilgi gizleme

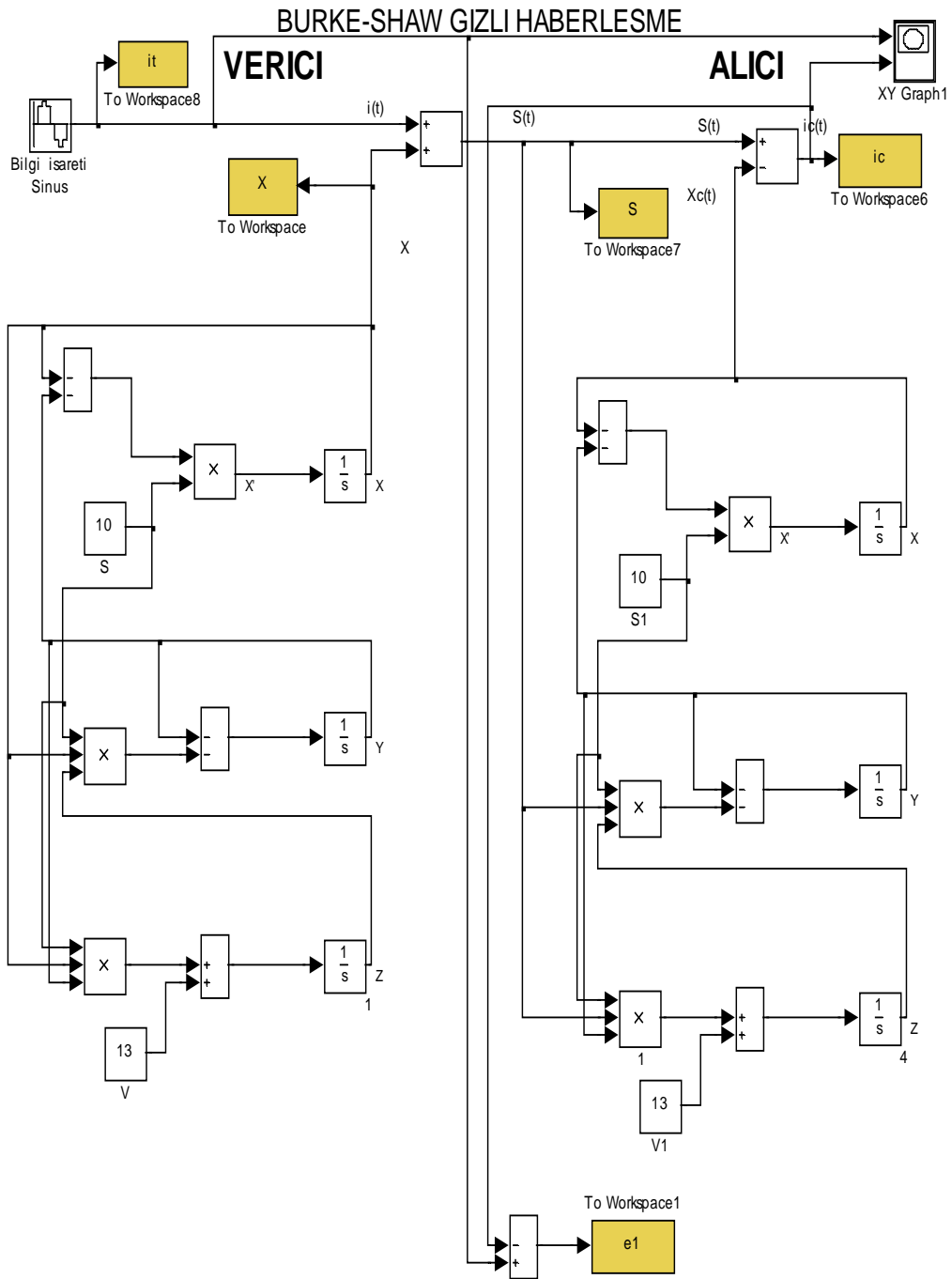
Burke-Shaw Sistem'in kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme için oluşturulması gereken verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -Sx - Sy \\ \dot{y} &= -Sxz - y \\ \dot{z} &= Sxy + V\end{aligned}\tag{4.14}$$

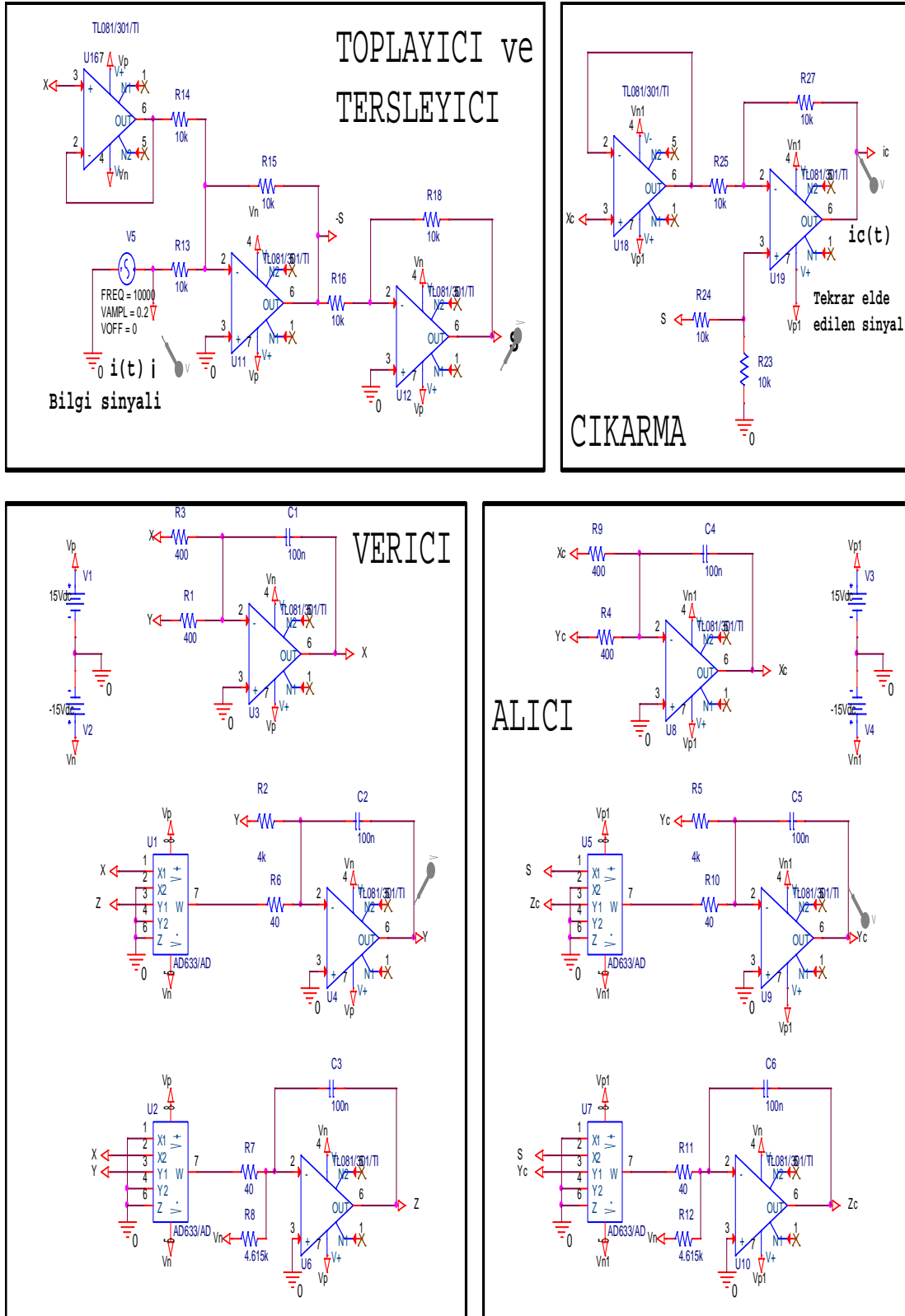
Alıcı devresinin denklemleri aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\begin{aligned}\dot{X}_c &= -Sx_c - Sy_c \\ \dot{Y}_c &= -Ss(t)z_c - y_c \\ \dot{Z}_c &= Ss(t)y_c + V\end{aligned}\tag{4.15}$$

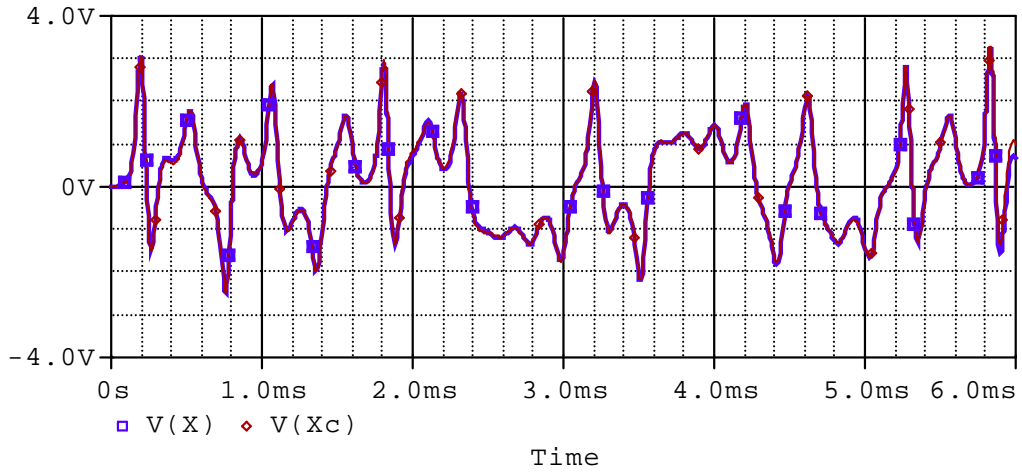
$i(t)$ bilgi işareti, maskeleyici $x(t)$ kaotik işaretiyle toplanır ve iletim ortamına aktarılır. İletilen $s(t)$ işareti ikisinin toplamıdır. Alıcıda, Pecaro Carroll yöntemine göre gerçekleşen senkronizasyonla maskeleyici $x(t)$ işaretinin aynı formu oluşturulmakta ve senkronize olan $x_c(t)$ kaotik işareti, iletim ortamından gelen $s(t)$ işaretinden çıkartılarak tekrar $i_c(t)$ bilgi işareti elde edilmektedir.



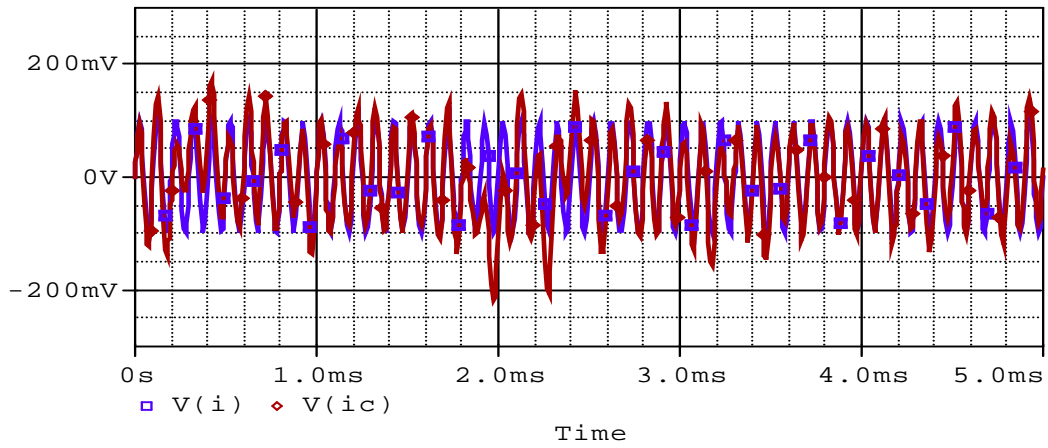
Şekil 4.51. Burke-Shaw sisteminin Matlab-Simulink simülasyonu için kaotik gizleme yöntemiyle yapılan haberleşme devresi



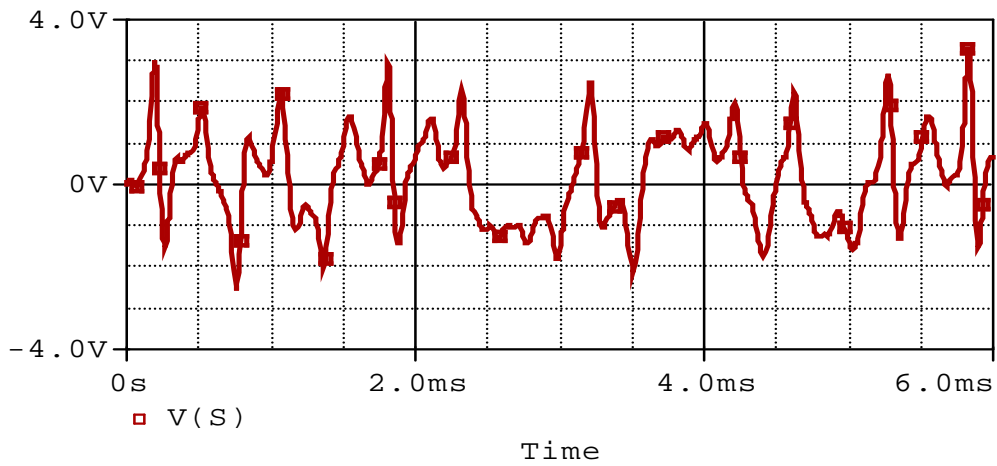
Şekil 4.52. Burke-Shaw sisteminin Pspice simülasyonu için kaotik gizleme yöntemiyle yapılan haberleşme devresi



a)

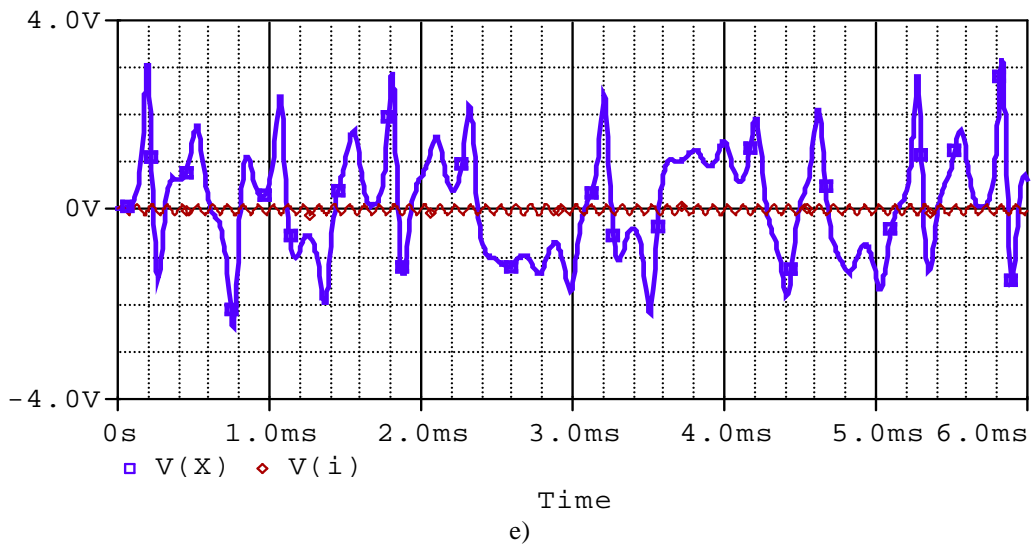
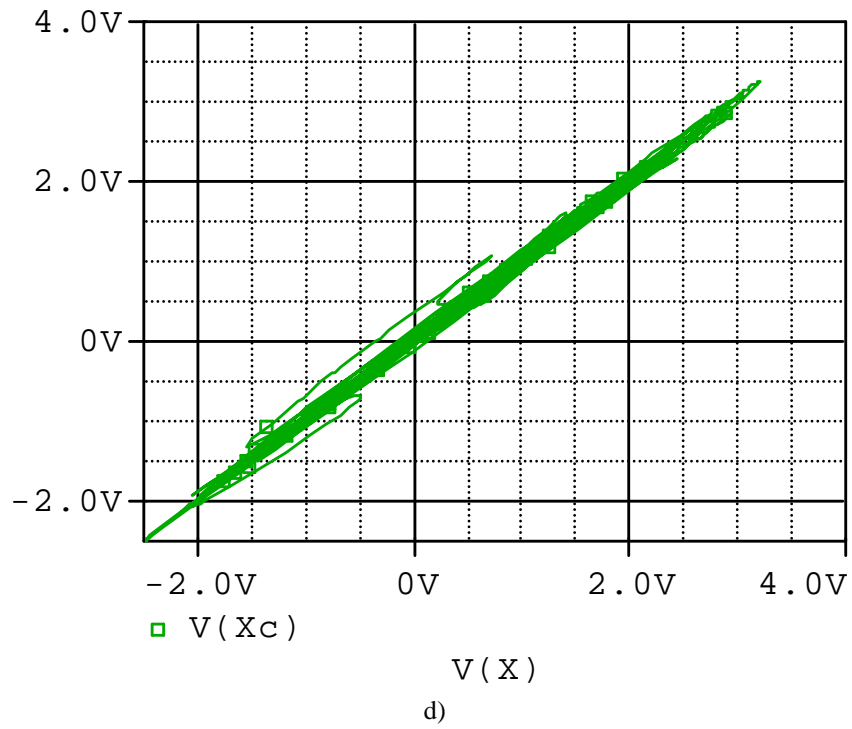


b)



c)

Şekil 4.53. Burke-Shaw sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin Pspice simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $X(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $X_c(t)$ sinyali'nin zamana göre değişimi, (b) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi sinyali $i_c(t)$ 'nin zamana göre değişimi (c) İletilen sinyal $S(t) = x(t) + i(t)$ (d) Verici sistemin $X(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $X_c(t)$ sinyali'nin birbirlerine göre değişimi (e) Verici sistemin $X(t)$ sinyali ve bilgi işareti $i(t)$



Şekil 4.53. (Devamı)

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kaotik sistemlerin senkronizasyonu ve senkronize kaotik sistemlerin güvenilir haberleşme amaçlı kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında zaman Chua, Lorenz gibi bilinen sistemlerin daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Konunun güvenli haberleşme olması nedeniyle, dinamik yapıları çok iyi bilinen, üzerinde çok fazla çalışılmış sistemlerin bu amaçla kullanılması güvenlik açısından bir dezavantaj oluşturabilecektir.

Tigan (T) ve Burke-Shaw kaotik sistemlerinin Pecora-Carroll(P-C) senkronizasyon yöntemiyle Matlab-Simulink ortamında senkronizasyon modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Orcad PSpice'da senkronizasyon modelinin elektronik devre tasarımları yapılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir.

Tigan (T) ve Burke-Shaw kaotik sistemlerinin Kaotik-Gizleme yöntemiyle Matlab-Simulink ortamında bilgi-gizleme modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Orcad PSpice'da kaotik bilgi gizleme modelinin elektronik devre tasarımları yapılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir.

Tigan sisteminin Matlab'daki Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9. ve Şekil 4.10 daki numerik simülasyon grafiklerinden görüleceği gibi y ve z durum değişkenlerinin değerleri, opamp'ın besleme sınırlarını çok aşmaktadır. Bu nedenle Tigan Sistemi'nin elektronik devre tasarımı yapılırken denklemlerin skala edilmesi gerektiği görülmüştür. Kaotik yapıların çok küçük bir değişikliğe bile duyarlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda yapılan skalama işleminin de orjinal Tigan sistemi yapısını bozabileceği dikkate alınmalıdır. Nitekim orjinal Tigan denklemleri ile gerçekleştirilen Matlab faz portreleri (Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.a-b-c) ile skala edilmiş Tigan denklemlerinin kullanıldığı PSpice (Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.a-b-c) benzetim sonuçlarının farklı olduğu görülmektedir.

Tigan Sistemi'nin yapılan benzetimlerde Pecora-Carroll yöntemi ile senkronize edilebileceği gösterilmiştir (Şekil 4.23. ve Şekil 4.28.). Aynı zamanda Tigan Sistemi'nin Pspice gerçekleştirmesinde 0.4 ms gibi çok kısa bir süre içerisinde senkronizasyonun gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 4.28.b).

Tigan Sistemi ile gerçekleştirilen bilgi gizleme çalışmasında bir sinus dalgası haber işareti olarak gönderilmiştir. (Şekil 4.29.) Alıcının kaosta kalması ve senkronizasyonun gerçekleşmesi için haber işaretinin genliğinin kaotik işaretin genliğinden 15-20 dB küçük olması istenmektedir. [3] Yapılan Matlab simülasyonunda veri işareti alıcı tarafta başarıyla oluşturulmuş ve sürekli zamanda gizli haberleşirmenin gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. (Şekil 4.30.)

Burke-Shaw sisteminin Matlab'da gerçekleştirilen Şekil 4.32, Şekil 4.33. ve Şekil 4.34. deki numerik simülasyon grafiklerinden görüleceği gibi x, y ve z durum değişkenlerinin değerleri opamp'ın besleme sınırları içerisinde kalmaktadır. Dolayısıyla Burke-Shaw sisteminin elektronik devre tasarımı yapılırken skala edilmesi gerekmemektedir.

Burke-Shaw Sistemi'nin senkronizasyon öncesi kurulan Pspice modellemesinde (Şekil 4.41.) aynı başlangıç şartlarıyla çalıştırılan iki devrenin 4 ms sonra birbirinden ayrılarak tamamen farklı karakteristik sergilediği görülmüştür (Şekil 4.42.a). Bu da kaotik senkronizasyona olan ihtiyacı tekrar göstermektedir.

Pacarro Carroll yöntemiyle gerçekleştirilen Burke-Shaw senkronizasyonunda (Şekil 4.44. ve Şekil 4.45.) iki senkronizasyon devresinin 0.12 ms ile oldukça hızlı senkronize olduğu görülmüştür.

Öneri olarak bu tezde senkronizasyon ve güvenli haberleşme simülasyonları yapılan Tigan ve Burke-Shaw sistemlerinin “kaotik modülasyon” ve “kaotik anahtarlama” gibi diğer kaos tabanlı haberleşme yöntemleri kullanılarak da haberleşme devreleri tasarlanabilir.

Bu tezde tanıtılan kaotik sistemler, tüm kaos tabanlı haberleşme uygulamalarının yanı sıra, kaos tabanlı kriptoloji, bilgi kodlama, bilgi sıkıştırma, rasgele sayı üretici, kaos tabanlı müzik ve resim üretimi, hassas desen tanıma vb. gibi uygulamalarda da kullanılabilecek potansiyel sistemlerdir.

KAYNAKLAR

- [1] BAILEY, A. S., Biomimetic control with a feedback coupled nonlinear oscillator: insect experiments, design tools, and hexapedal robot adaptation results. Mech. Eng. Progr. 2004; 18(3): 22.
- [2] KILIÇ, R., ALÇI M., TOKMAKÇI M. ‘The simulation of chaotic neuron model proposed for chaotic neural networks’ 2nd int. symposium on intelligent manufacturing systems. Syf. 303.Sakarya-August 1998
- [3] PEHLİVAN İ., ‘Yeni Kaotik Sistemler: Elektronik Devre Gerçeklemeleri, Senkronizasyon ve Güvenli Haberleşme Uygulamaları’, Sakarya Üniv. Doktora Tezi, 2007, Syf. 18,19,20,32,33,44,51,62,112,120
- [4] HENON, M., A two-dimensional mapping with a strange attractor, Comm. Math. Phys. 50 (1976)
- [5] RÖSSLER, O. E., An equation for continuous chaos, Physics Letters A, 57 (5), 397-398, 1976.
- [6] XU. D., BISHOP, S. T., (1996) Self-locating control of chaotic systems using Newton algorithm. Phys. Lett. A.
- [7] HOLMES, P. J., 1990, “Poincare celestial mechanics, dynamical-systems theory and “chaos” ”, Phys. Rep., 193(3):138-163.
- [8] ÖZER, A.B., , Elektriksel Sürücü Sistemlerinde Doğrusal Olmayan Olguların Kaotik Analizi ve Yumuşak Hesaplama Yöntemleri ile Denetimi, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, 2005
- [9] STROGATZ, S.H., 1994, Nonlinear Dynamics and Chaos, Perseus Books Publishing, New York, 498 Syf.101
- [10] LORENZ, E. N., 1963, “Deterministic nonperiodic flow”, J. Atmos. Sci., Syf. 20:130-141.
- [11] MATSUMOTO, T., CHUA, L. O. , KOMURO, M., The Double Scroll, IEEE Trans. On Circuit and Systems, Vol cas 32, no 8, Syf. 798-804, 1985
- [12] BANERJEE, S., VERGHESE, G.C., (Editors), 2001, Nonlinear Phenomena in Power Electronics, IEEE Pres, New York, Syf. 440
- [13] KAPITANIAK, T., 1998, Chaos for Engineers, Springer-Verlag, New

York, Syf. 140

- [14] UYAROĞLU, Y., GÜNDÜZ, S., YIĞINÇ, İ. H., KESKİN, H., Kaos Teorisindeki Lorenz Eşitliklerinin Matlab ve Simulink Ortamında Benzetimi ile Karakterize Edilmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009
- [15] GLEİCK, J, Tübitak Popüler Bilim Kitapları Kaos, 1987, Syf 65
- [16] CARTWRIGHT, M.L., "Balthazar Van Der Pol", J. London Math. Soc., 35, 367-376, (1960). Van der Pol, B., "On relaxation-oscillations", The London, Edinburgh and Dublin Phil. Mag. & J. of Sci., 2(7), Syf. 978-992 (1927).
- [17] DOTE, Y. And HOFT, R.G., 1998, Intelligent Control, Oxford Science Publications, New York, Syf. 209
- [18] ALIEV, R.A. and ALIEV, R.R., 2001, Soft Computing and Its Applications, Word Scientific, Singapore, Syf. 444
- [19] ZHENG, Y., LIU, Z., ZHOU, J., A new synchronization principle and application to Chua's circuits, International Journal of Bifurcation& Chaos in Applied Sciences & Engineering, 2002; Syf. 815-818.
- [20] HRAMOV, A. E., KORONOVSKİ, A.A., An approach to chaotic synchronization, Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 2004; Syf. 603-610
- [21] KOCAREV, L., HALLE, K.S., ECKERT, K., CHUA, L.O., PARLITZ, U., Experimental Demonstration of Secure Communications via Chaotic Synchronization, International J. of Bifurcation & Chaos, 1992; Syf. 2:709-713.
- [22] CARROLL, T.L., PECORA, L.M., Synchronizing Chaotic Circuits, IEEE Trans. On Circuits&Systems, 1991; Syf. 453-456.
- [23] PECORA, L.M., CARROLL, T.L., Driving systems with chaotic signals, Physical review A , 1991;44:2374-2383
- [24] GÖKYILDIRIM, A., '2. Ve 3. Derece En Basit Kaotik Akışlı Sistemlerin Senkronizasyonu ve Güvenli Haberleşmede Kullanılması', Sakarya Üniv. Yüksek Lisans Tezi, 2007, Syf 3,4,12,13,32,33,35,41
- [25] CUOMO, K.M., OPPENHEIM, A.V., Circuit Implementation of Synchronized Chaos with applications to Communication, Phys. Rev. Lett., 1993;71:65-68.
- [26] CUOMO, K.M., OPPENHEIM, A.V., STROGATZ, S. H., Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to

- communications, IEEE Trans. Circuits Syst., 1993;40(10):626–633.
- [27] 406 sayılı Telgraf ve Telefon Kanununun, “Temel İlkeler, Esaslar ve Tanımlar” ı düzenleyen 1 inci maddesinde Telekomunikasyon bu şekilde tanımlanmıştır.
- [28] Sayısal Haberleşme Sistemlerine Giriş, MEB Yayınları, 2004
- [29] ÖZTÜRK, A., ‘Mobil Telekomunikasyon Lisans Rejimi: Dünya örnekleri ve Türkiye Analizi’, Uzmanlık Tezi
- [30] KOCAREV, L., HALLE, K.S., ECKERT, K., CHUA, L.O., PARLITZ, U., Experimental Demonstration of Secure Communications via Chaotic Synchronization, International J. of Bifurcation&Chaos, 1992;2:709-713.
- [31] TIGAN, G.H., “Analysis of a dynamical system derived from the Lorenz system”, Sci. Bull. Politehnica Univ. Timisoara Tomul 50(64) (Fascicola 1), Syf, 61-72, 2005
- [32] TIGAN, G.H., “Analysis of a 3D chaotic system”, Chaos Soliton Fractals 36 Syf. 1315-1319, 2008.
- [33] TIGAN, G.H., Proceedings of the 3rd International Colloquium, Mathematics in Engineering and Numerical Physics, Romania, Bucharest (2004) pp. 265–272. [15] G.H. Tigan and D. Opris, Chaos, Solitons and Fractals 36 (2008) 1315.
- [34] EMİROĞLU, S., UYAROĞLU, Y., VARAN, M., YALÇIN, M.A. Kaotik Sisteminin Geri Besleme ile Kontrolü, 2010
- [35] CHEN, G. , DONG, X. From Chaos to Order: Perspectives, Methodologies and Applications, World Scientific, Singapore (1998).
- [36] CHARLESWORTH, A.S., FLETCHER, J.R., Systematic Analogue Computer Programming, 2nd edition, Unwin Brothers Limited, 1974

ÖZGEÇMİŞ

Afşin TAŞKIRAN, lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2002 yılından itibaren çeşitli firmalarda sistem yönetimi ve bilgi güvenliği konularında çalıştı. Bir çok projede proje müdürü olarak görev aldı. Halen bir GSM operatöründe yönetici olarak çalışmaktadır. Yazar evli ve bir çocuk babasıdır.