



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği**

**KAOTİK SİSTEMLERLE GÜVENLİ HABERLEŞME  
UYGULAMASI**

**Gözde KARGÜN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet KOÇ**

**BİLECİK, 2014**

**Referans No: 10043832**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği**

**KAOTİK SİSTEMLERLE GÜVENLİ HABERLEŞME  
UYGULAMASI**

**Gözde KARGÜN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet KOÇ**

**BİLECİK, 2014**



**BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSITY**  
**Graduate School Of Sciences**  
**Department of Electrical-Electronics Engineering**

**SECURE COMMUNICATION APPLICATION WITH  
CHAOTIC SYSTEMS**

**Gözde KARGÜN**  
**Master Thesis**

**Thesis Advisor**  
**Assist Prof. Dr. Mehmet KOÇ**

**BİLECİK, 2014**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK ELEKTRONİK**  
**MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS**  
**JÜRİ ONAY**  
**FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .....tarih ve ..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09.06.2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gözde KARGÜN 'ün "Kaotik Sistemlerle Güvenli Haberleşme Uygulaması " başlıklı tez çalışması Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

**ÜYE**

**(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KOÇ**

**ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Gürhan ERTAŞGIN**

**ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Salim CEYHAN**

**ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

**İMZA/MÜHÜR**

## ÖZET

Kaotik sistemler doğrusal olmayan dinamik sistemler olup en önemli özellikleri başlangıç şartlarına hassas duyarlılıkları, periyodik olmayan davranışlar sergilemeleri, gürültü benzeri geniş ve dağınık spektruma sahip olmalarıdır. Sistemlerin istenmeyen kaotik davranışlarını kontrol altına alan ve sistemlerin kaotik davranışlarını engelleyen çeşitli kontrol mekanizmaları ve algoritmaları geliştirilmiştir. Diğer taraftan, kaotik sistemlerin olumlu yönleri biyomedikal ve tıbbi uygulamalar, rastgele numaralandırıcılar, şifreleme, güvenli haberleşme gibi birçok alanda kullanılmıştır. Kaotik sistemler ve gürültü benzer geniş bant dağılmış tayfa sahiptirler. Bu benzerlik bilgi işaretinin güvenli bir yolla iletilmesini sağlar.

Güvenli haberleşme literatüründe, araştırmacılar genellikle Chua, Lorenz ve Rössler gibi sistemleri kullanırlar ve kaotik sistemleri OP-AMP kullanarak gerçeklerler. Bu tezde Sprott A, Sprott B, Sprott G, Sprott H ve Yayınımsız Lorenz sistemlerinin kaotik devreleri, Sprott A, Sprott B ve Yayınımsız Lorenz sistemlerinin haberleşme devreleri tasarlanmıştır. Tüm devreler OP-AMP yerine kaotik sistemlerde daha önceden işlevsel eleman olarak hiç kullanılmayan OTRA, CCII ve CCIII kullanılarak tasarlanmıştır. Akım modlu devreler voltaj modlu devrelere göre büyük bant genişliği, yüksek değişim hızı, daha geniş dinamik saha, düşük güç tüketimi, basit devre yapısı ve geniş doğrusallık sahası gibi karakteristik özellikleri taşıdıklarından tüm devreler ilk defa OTRA, CCII ve CCIII ile tasarlanmıştır.

### **Anahtar Kelime**

Kaotik sistem, Güvenli Haberleşme, İşlevsel Eleman, OP-AMP, OTRA, CCII, CCIII

## ABSTRACT

Chaotic systems are nonlinear dynamical systems and the most important features of the chaotic systems are sensitivity on initial conditions, having nonperiodic behavior and noise like wideband spread spectrum. Several control mechanisms and algorithms have been developed to control the unwanted chaotic behavior of the systems and to prevent the chaotic behavior of the systems. On the other hand, the positive aspects of the chaotic systems are used in many areas like biomedical and medical applications, random enumerators, encryption, secure communication. The chaotic systems and noise have similar wideband spread spectrum. This similarity allows the transmission of the information signal in a secure way.

In secure communications literature, the researchers generally use Chua, Lorenz, and Rössler systems and implement the chaotic systems using OP-AMP. In this thesis, chaotic circuits of Sprott A, Sprott B, Sprott G, Sprott H, and Diffusionless Lorenz systems and communications circuits of Sprott A, Sprott B, and Diffusionless Lorenz systems are designed. All circuits are designed using OTRA, CCII, and CCIII instead of OP-AMP and they are never used as a functional element in the chaotic systems. Since current mode circuits have larger bandwidth, higher exchange rate, wider dynamic range, lower power consumption, simpler circuit structures and larger linearity field like characteristics than voltage mode circuits, all circuits are designed with OTRA, CCII and CCIII for the first time.

### Key Words

Chaotic Systems, Secure Communication, Functional Elements, OP-AMP, OTRA, CCII, CCIII

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda bana yardımcı olan, çalıőmalarıma yön veren, ilgi ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KOÇ'a teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Gözde KARGÜN

Haziran, 2014

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>xix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÖRNEK KAOTİK OSİLATÖRLER .....</b>	<b>7</b>
2.1. Lorenz Kaotik Osilatörü.....	7
2.2. Sprot Systemleri.....	9
2.3. Van Der Pol Kaotik Osilatörü .....	11
2.4. Rucklidge Kaotik Osilatörü.....	13
2.5. Yayınimsız Lorenz .....	14
2.6. Arneodo Kaotik Sistemi .....	16
2.7. Rössler Kaotik Sistemi .....	17
2.8. Chen Kaotik Sistemi .....	19
2.9. Moore- Spiegel Kaotik Sistemi.....	20
<b>3. İŞLEVSEL ELEMANLAR İLE KURULAN TEMEL DEVRELER .....</b>	<b>22</b>

3.1. OP-AMP İle Kurulmuş Temel Devreler .....	22
3.1.1. OP-AMP gerilim takipçisi devresi .....	22
3.1.2. OP-AMP eviren yükselteç devresi .....	23
3.1.3. OP-AMP evirmeyen yükselteç devresi .....	23
3.1.4. OP-AMP toplayıcı devresi .....	24
3.1.5. OP-AMP integral alma devresi .....	25
3.2. OTRA İle Kurulmuş Temel Devreler .....	25
3.2.1. OTRA eviren yükselteç devresi .....	27
3.2.2. OTRA evirmeyen yükselteç devresi .....	27
3.2.3. OTRA toplama devresi .....	27
3.2.4. OTRA integral alma devresi .....	28
3.3. CCII İle Kurulmuş Temel Devreler .....	28
3.3.1. CCII eviren yükselteç devresi .....	30
3.3.2. CCII evirmeyen yükselteç devresi .....	31
3.3.3. CCII toplayıcı devresi .....	31
3.3.4. CCII integral alma devresi .....	32
3.4. CCIII İle Kurulmuş Temel Devreler .....	32
3.4.1. CCIII eviren yükselteç devresi .....	33
3.4.2. CCIII evirmeyen yükselteç devresi .....	34
3.4.3. CCIII toplayıcı devresi .....	34
3.4.4. CCIII integral alma devresi .....	35
<b>4. İŞLEVSEL ELEMANLAR İLE ÖRNEK KAOTİK DEVRE GERÇEKLEMELERİ, KOTİK DEVRE SENKRONİZASYONU VE KAOTİK DEVRELERİN HABERLEŞMEDE KULLANILMASI .....</b>	<b>36</b>
4.1. Kaotik Devre Gerçekleşmeleri .....	36
4.1.1. Sprot durum A (hoover) sistemi .....	41
4.1.2. Sprot durum B sistemi .....	45
4.1.3. Sprot durum G sistemi .....	49
4.1.4. Sprot durum H sistemi .....	53

4.1.5. Yayınımsız lorenz sistemi .....	57
4.2. Kaotik Devrelerin Senkronizasyonu .....	61
4.2.1. Sprot durum A senkronizasyon devreleri .....	62
4.2.1.1. OP-AMP ile kurulmuş senkronizasyon devreleri .....	62
4.2.1.2. OTRA ile kurulmuş senkronizasyon devreleri.....	63
4.2.1.3. CCII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri.....	64
4.2.1.4. CCIII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri .....	65
4.2.2. Sprot durum B senkronizasyon devreleri.....	66
4.2.2.1. OP-AMP ile kurulmuş senkronizasyon devreleri .....	66
4.2.2.2. OTRA ile kurulmuş senkronizasyon devreleri.....	67
4.2.2.3. CCII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri.....	68
4.2.2.4. CCIII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri .....	68
4.2.3. Yayınımsız lorenz senkronizasyon devreleri .....	69
4.2.3.1. OP-AMP ile kurulmuş senkronizasyon devreleri .....	70
4.2.3.2. OTRA ile kurulmuş senkronizasyon devreleri.....	70
4.2.3.3. CCII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri.....	71
4.2.3.4. CCIII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri .....	72
4.3. Kaotik Sistemlerin Gizleme Yöntemiyle Haberleşmesi .....	73
4.3.1. Sprot durum A haberleşme devreleri .....	74
4.3.1.1. Sprot durum A OP-AMP ile kurulmuş haberleşme devreleri.....	78
4.3.1.2. Sprot Durum A OTRA ile kurulmuş haberleşme devreleri .....	80
4.3.1.3. Sprot durum A CCII ile kurulmuş haberleşme devreleri .....	82
4.3.1.4. Sprot durum A CCIII ile kurulmuş haberleşme devreleri.....	83
4.3.2. Sprot durum B haberleşme devreleri .....	84
4.3.2.1. Sprot durum B OP-AMP ile kurulmuş haberleşme devreleri .....	88
4.3.2.2. Sprot durum B OTRA ile kurulmuş haberleşme devreleri .....	90
4.3.2.3. Sprot durum B CCII ile kurulmuş haberleşme devreleri .....	91
4.3.2.4. Sprot durum B CCIII ile kurulmuş haberleşme devreleri .....	93
4.3.3. Yayınımsız lorenz haberleşme devreleri .....	94
4.3.3.1. Yayınımsız lorenz OP-AMP ile kurulmuş haberleşme devreleri.....	98
4.3.3.2. Yayınımsız lorenz OTRA ile kurulmuş haberleşme devreleri.....	100

4.3.3.3. Yayınimsız lorenz CCII ile kurulmuş haberleşme devreleri.....	102
4.3.3.4. Yayınimsız lorenz CCIII ile kurulmuş haberleşme devreleri .....	103
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>105</b>
<b>6. EKLER.....</b>	<b>108</b>
6.1. Kaotik Devre Gerçekleştirmeleri .....	108
6.1.1. Sprott durum A Kaotik Devreleri.....	108
6.1.1.1. Sprott durum A OP-AMP ile kurulan kaotik devre .....	108
6.1.1.2. Sprott durum A OTRA ile kurulan kaotik devre.....	109
6.1.1.3. Sprott durum A CCII ile kurulan kaotik devre.....	110
6.1.1.4. Sprott durum A CCIII ile kurulan kaotik devre .....	111
6.1.2. Sprott durum B Kaotik Devreleri.....	112
6.1.2.1. Sprott durum B OP-AMP ile kurulan kaotik devre.....	112
6.1.2.2. Sprott durum B OTRA ile kurulan kaotik devre.....	113
6.1.2.3. Sprott durum B CCII ile kurulan kaotik devre.....	113
6.1.2.4. Sprott durum B CCIII ile kurulan kaotik devre .....	114
6.1.3. Sprott durum G Kaotik Devreleri.....	115
6.1.3.1. Sprott durum G OP-AMP ile kurulan kaotik devre .....	115
6.1.3.2. Sprott durum G OTRA ile kurulan kaotik devre.....	116
6.1.3.3. Sprott durum G CCII ile kurulan kaotik devre.....	117
6.1.3.4. Sprott durum G CCIII ile kurulan kaotik devre .....	118
6.1.4. Sprott durum H Kaotik Devreleri.....	119
6.1.4.1. Sprott durum H OP-AMP ile kurulan kaotik devre .....	119
6.1.4.2. Sprott durum H OTRA ile kurulan kaotik devre.....	120
6.1.4.3. Sprott durum H CCII ile kurulan kaotik devre.....	121
6.1.4.4. Sprott durum H CCIII ile kurulan kaotik devre .....	122
6.1.5. Yayınimsız Lorenz Kaotik Devreleri.....	123
6.1.5.1. Yayınimsız Lorenz OP-AMP ile kurulan kaotik devre.....	123
6.1.5.2. Yayınimsız Lorenz OTRA ile kurulan kaotik devre .....	124
6.1.5.3. Yayınimsız Lorenz CCII ile kurulan kaotik devre .....	125
6.1.5.4. Yayınimsız Lorenz CCIII ile kurulan kaotik devre.....	126

6.2. Senkronizasyon Devre Gerçekleştirmeleri.....	127
6.2.1. Sprot durum A Senkronizasyon Devreleri .....	127
6.2.1.1. Sprot durum A OP-AMP ile kurulan senkronizasyon öncesi devresi...	127
6.2.1.2. Sprot durum A OP-AMP ile kurulan senkronizasyon devresi.....	128
6.2.1.3. Sprot durum A OTRA ile kurulan senkronizasyon devresi .....	129
6.2.1.4. Sprot durum A CCII ile kurulan senkronizasyon devresi .....	130
6.2.1.5. Sprot durum A CCIII ile kurulan senkronizasyon devresi.....	131
6.2.2. Sprot durum B Senkronizasyon Devreleri .....	132
6.2.2.1. Sprot durum B OP-AMP ile kurulan senkronizasyon devresi .....	132
6.2.2.2. Sprot durum B OTRA ile kurulan senkronizasyon devresi .....	133
6.2.2.3. Sprot durum B CCII ile kurulan senkronizasyon devresi .....	134
6.2.2.4. Sprot durum B CCIII ile kurulan senkronizasyon devresi.....	135
6.2.3. Yayınimsız Lorenz Senkronizasyon Devreleri .....	136
6.2.3.1. Yayınimsız Lorenz OP-AMP ile kurulan senkronizasyon devresi .....	136
6.2.3.2. Yayınimsız Lorenz OTRA ile kurulan senkronizasyon devresi .....	137
6.2.3.3. Yayınimsız Lorenz CCII ile kurulan senkronizasyon devresi .....	138
6.2.3.4. Yayınimsız Lorenz CCIII ile kurulan senkronizasyon devresi.....	139
6.3. Haberleşme Devre Gerçekleştirmeleri .....	140
6.3.1. Sprot durum A Haberleşme Devreleri .....	140
6.3.1.1. Sprot durum A OP-AMP ile kurulan haberleşme devresi .....	140
6.3.1.2. Sprot durum A OTRA ile kurulan haberleşme devresi.....	141
6.3.1.3. Sprot durum A CCII ile kurulan haberleşme devresi.....	142
6.3.1.4. Sprot durum A CCIII ile kurulan haberleşme devresi .....	144
6.3.2. Sprot durum B Haberleşme Devreleri.....	145
6.3.2.1. Sprot durum B OP-AMP ile kurulan haberleşme devresi.....	145
6.3.2.2. Sprot durum B OTRA ile kurulan haberleşme devresi .....	146
6.3.2.3. Sprot durum B CCII ile kurulan haberleşme devresi.....	147
6.3.2.4. Sprot durum B CCIII ile kurulan haberleşme devresi.....	148
6.3.3. Yayınimsız Lorenz Haberleşme Devreleri.....	149
6.3.3.1. Yayınimsız lorenz OP-AMP ile kurulan haberleşme devresi .....	149
6.3.3.2. Yayınimsız lorenz OTRA ile kurulan haberleşme devresi .....	150

6.3.3.3. Yayınimsız lorenz CCII ile kurulan haberleşme devresi .....	151
6.3.3.4. Yayınimsız lorenz CCIII ile kurulan haberleşme devresi .....	152
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>153</b>
<b>KAYNAKLAR (DEVAM EDİYOR).....</b>	<b>154</b>
<b>KAYNAKLAR (DEVAM EDİYOR).....</b>	<b>155</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>156</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 4. 1:</b> Sprot A hata sinyal değerleri.....	75
<b>Çizelge 4. 2:</b> Sprot B hata sinyal değerleri.....	85
<b>Çizelge 4. 3:</b> Yayınımsız lorenz hata sinyal değerleri.....	95

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 2. 1: Lorenz sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. ....	8
Şekil 2. 2: Lorenz sisteminin x-y, x-z ve y-z kaotik çekicileri. ....	8
Şekil 2. 3: Lorenz sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi. ....	8
Şekil 2. 4: Sprottt sistemi denklemleri. ....	9
Şekil 2. 5: Sprottt durum A (nose- hoover sistemi). ....	10
Şekil 2. 6: Sprottt durum A kaotik çekiciler. ....	10
Şekil 2. 7: Sprottt durum B. ....	10
Şekil 2. 8: Sprottt durum B kaotik çekiciler. ....	11
Şekil 2. 9: Sprottt durum C. ....	11
Şekil 2. 10: Sprottt durum C kaotik çekiciler. ....	11
Şekil 2. 11: Van Der Pol sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. ....	12
Şekil 2. 12: Van Der Pol x-y kaotik faz portresi ( limit döngü). ....	12
Şekil 2. 13: Rucklidge sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. ....	13
Şekil 2. 14: Rucklidge kaotik çekicileri. ....	13
Şekil 2. 15: Rucklidge x-y-z kaotik faz portresi. ....	14
Şekil 2. 16: Yayınımsız lorenz sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. .	15
Şekil 2. 17: Yayınımsız lorenz kaotik çekicileri. ....	15
Şekil 2. 18: Yayınımsız lorenz x-y-z kaotik faz portresi. ....	15
Şekil 2. 19: Arneodo sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. .	16
Şekil 2. 20: Arneodo sistemi kaotik çekicileri. ....	17
Şekil 2. 21: Arneodo sistemi x-y-z faz portresi. ....	17
Şekil 2. 22: Rössler sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. ..	18
Şekil 2. 23: Rössler sistemi kaotik çekicileri. ....	18
Şekil 2. 24: Rössler sistemi x-y-z faz portresi. ....	18
Şekil 2. 25: Chen sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. ....	19
Şekil 2. 26: Chen sistemi kaotik çekicileri. ....	19
Şekil 2. 27: Chen sistemi x-y-z faz portresi. ....	20
Şekil 2. 28: Moore- Spiegel sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi. ....	20
Şekil 2. 29: Moore- Spiegel sisteminin x-y,x-z ve y-z kaotik çekicileri. ....	21

Şekil 2. 30: Moore- Spiegel sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi. ....	21
Şekil 3. 1: OP-AMP sembolü. ....	22
Şekil 3. 2: OP-AMP gerilim takipçisi devresi. ....	23
Şekil 3. 3: OP-AMP eviren yükselteç devresi. ....	23
Şekil 3. 4: OP-AMP evirmeyen yükselteç devresi. ....	24
Şekil 3. 5: OP-AMP toplama devresi. ....	24
Şekil 3. 6: OP-AMP integral alma devresi. ....	25
Şekil 3. 7: Devre sembolü (Çam vd, 2002). ....	26
Şekil 3. 8: OTRA elemanının gerçekleştirilmesi (Çam vd, 2002). ....	26
Şekil 3. 9: OTRA eviren yükselteç devresi. ....	27
Şekil 3. 10: OTRA evirmeyen yükselteç devresi. ....	27
Şekil 3. 11: OTRA toplama devresi. ....	27
Şekil 3. 12: OTRA integral alma devresi. ....	28
Şekil 3. 13: Akım taşıyıcı blok gösterimi ( Kuntman,2011). ....	29
Şekil 3. 14: CCII- nın CCII+ ile oluşturulması. ....	30
Şekil 3. 15: CCII+ AD844 entegresi. ....	30
Şekil 3. 16: CCII- eviren yükselteç devresi. ....	30
Şekil 3. 17: CCII+ evirmeyen yükselteç devresi. ....	31
Şekil 3. 18: CCII toplayıcı devresi. ....	31
Şekil 3. 19: CCII integral alma devresi. ....	32
Şekil 3. 20: CCIII blok gösterimi. ....	33
Şekil 3. 21: CCIII nın CCII ile oluşturulması. ....	33
Şekil 3. 22: CCIII eviren yükselteç devresi. ....	33
Şekil 3. 23: CCIII evirmeyen yükselteç devresi. ....	34
Şekil 3. 24: CCIII toplama devresi. ....	34
Şekil 3. 25: CCIII integral alma devresi. ....	35
Şekil 4. 1: AD633 çarpma entegresi blok diyagramı. ....	36
Şekil 4. 2: Hoover sistemi devre şeması. ....	37
Şekil 4. 3: X durum değişkeninin oluşturulması. ....	38
Şekil 4. 4: Y durum değişkeninin oluşturulması. ....	38
Şekil 4. 5: Z durum değişkeninin oluşturulması. ....	39
Şekil 4. 6: OP-AMP ile kurulan devrenin kaotik spektrumu. ....	40

<b>Şekil 4. 7:</b> OTRA ile kurulan devrenin kaotik spektrumu .....	40
<b>Şekil 4. 8:</b> Sprott durum A x-y kaotik çekici. ....	41
<b>Şekil 4. 9:</b> Sprott durum A x-z kaotik çekici. ....	41
<b>Şekil 4. 10:</b> Sprott durum A y-z kaotik çekici. ....	41
<b>Şekil 4. 11:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprott durum A pspice simülasyon sonuçları. ....	42
<b>Şekil 4. 12:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri. ....	42
<b>Şekil 4. 13:</b> OTRA ile kurulmuş sprott durum A pspice simülasyon sonuçları. ....	43
<b>Şekil 4. 14:</b> OTRA ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri.....	43
<b>Şekil 4. 15:</b> CCII ile kurulmuş sprott durum A pspice simülasyon sonuçları. ....	43
<b>Şekil 4. 16:</b> CCII ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri. ....	44
<b>Şekil 4. 17:</b> CCIII ile kurulmuş sprott durum A pspice simülasyon sonuçları.....	44
<b>Şekil 4. 18:</b> CCIII ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri. ....	44
<b>Şekil 4. 19:</b> Sprott durum B x-y kaotik çekici. ....	45
<b>Şekil 4. 20:</b> Sprott durum B x-z kaotik çekici. ....	45
<b>Şekil 4. 21:</b> Sprott durum B y-z kaotik çekici. ....	45
<b>Şekil 4. 22:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprott durum B pspice simülasyon sonuçları. ....	46
<b>Şekil 4. 23:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprott durum B kaotik çekicileri.....	46
<b>Şekil 4. 24:</b> OTRA ile kurulmuş sprott durum B pspice simülasyon sonuçları.....	47
<b>Şekil 4. 25:</b> OTRA ile kurulmuş sprott durum B kaotik çekicileri.....	47
<b>Şekil 4. 26:</b> CCII ile kurulmuş sprott durum B pspice simülasyon sonuçları. ....	47
<b>Şekil 4. 27:</b> CCII ile kurulmuş sprott durum B kaotik çekicileri.....	48
<b>Şekil 4. 28:</b> CCIII ile kurulmuş sprott durum B pspice simülasyon sonuçları.....	48
<b>Şekil 4. 29:</b> CCIII ile kurulmuş sprott durum B kaotik çekicileri. ....	48
<b>Şekil 4. 30:</b> Sprott durum G x-y kaotik çekici. ....	49
<b>Şekil 4. 31:</b> Sprott durum G x-z kaotik çekici. ....	49
<b>Şekil 4. 32:</b> Sprott durum G y-z kaotik çekici. ....	49
<b>Şekil 4. 33:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprott durum G pspice simülasyon sonuçları. ....	50
<b>Şekil 4. 34:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprott durum G kaotik çekicileri. ....	50
<b>Şekil 4. 35:</b> OTRA ile kurulmuş sprott durum G pspice simülasyon sonuçları. ....	51
<b>Şekil 4. 36:</b> OTRA ile kurulmuş sprott durum G kaotik çekicileri.....	51
<b>Şekil 4. 37:</b> CCII ile kurulmuş sprott durum G pspice simülasyon sonuçları. ....	51
<b>Şekil 4. 38:</b> CCII ile kurulmuş sprott durum G kaotik çekicileri. ....	52

<b>Şekil 4. 39:</b> CCIII ile kurulmuş sprot durum G pspice simülasyon sonuçları.....	52
<b>Şekil 4. 40:</b> CCIII ile kurulmuş sprot durum G kaotik çekicileri. ....	52
<b>Şekil 4. 41:</b> Sprot durum H x-y kaotik çekici. ....	53
<b>Şekil 4. 42:</b> Sprot durum H x-z kaotik çekici. ....	53
<b>Şekil 4. 43:</b> Sprot durum H y-z kaotik çekici. ....	53
<b>Şekil 4. 44:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprot durum H pspice simülasyon sonuçları. ....	54
<b>Şekil 4. 45:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprot durum H kaotik çekicileri. ....	54
<b>Şekil 4. 46:</b> OTRA ile kurulmuş sprot durum H pspice simülasyon sonuçları. ....	55
<b>Şekil 4. 47:</b> OTRA ile kurulmuş sprot durum H kaotik çekicileri.....	55
<b>Şekil 4. 48:</b> CCII ile kurulmuş sprot durum H pspice simülasyon sonuçları. ....	55
<b>Şekil 4. 49:</b> CCII ile kurulmuş sprot durum H kaotik çekicileri. ....	56
<b>Şekil 4. 50:</b> CCIII ile kurulmuş sprot durum H pspice simülasyon sonuçları.....	56
<b>Şekil 4. 51:</b> CCIII ile kurulmuş sprot durum H kaotik çekicileri. ....	56
<b>Şekil 4. 52:</b> Yayınımsız lorenz x-y kaotik çekici.....	57
<b>Şekil 4. 53:</b> Yayınımsız lorenz x-z kaotik çekici. ....	57
<b>Şekil 4. 54:</b> Yayınımsız lorenz y-z kaotik çekici.....	57
<b>Şekil 4. 55:</b> OP-AMP ile kurulmuş yayınımsız lorenz pspice simülasyon sonuçları. ....	58
<b>Şekil 4. 56:</b> OP-AMP ile kurulmuş yayınımsız lorenz kaotik çekicileri. ....	58
<b>Şekil 4. 57:</b> OTRA ile kurulmuş yayınımsız lorenz pspice simülasyon sonuçları. ....	59
<b>Şekil 4. 58:</b> OTRA ile kurulmuş yayınımsız lorenz kaotik çekicileri. ....	59
<b>Şekil 4. 59:</b> CCII ile kurulmuş yayınımsız lorenz pspice simülasyon sonuçları. ....	59
<b>Şekil 4. 60:</b> CCII ile kurulmuş yayınımsız lorenz kaotik çekicileri. ....	60
<b>Şekil 4. 61:</b> CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz pspice simülasyon sonuçları.....	60
<b>Şekil 4. 62:</b> CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz kaotik çekicileri. ....	60
<b>Şekil 4. 63:</b> PC senkronizasyonunun blok diagramı (Pehlivan vd. , 2007). ....	61
<b>Şekil 4. 64:</b> Hoover sistemi senkronizasyon öncesi X ve Xc zamana göre değişimi. ....	62
<b>Şekil 4. 65:</b> Hoover sistemi senkronizasyon öncesi X ve Xc değişimi. ....	63
<b>Şekil 4. 66:</b> Hoover sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi. ....	63
<b>Şekil 4. 67:</b> Hoover sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc değişimi. ....	63
<b>Şekil 4. 68:</b> Hoover sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi. ....	64
<b>Şekil 4. 69:</b> Hoover sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc değişimi. ....	64
<b>Şekil 4. 70:</b> Hoover sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi. ....	65

<b>Şekil 4. 71:</b> Hoover sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc değişimi. ....	65
<b>Şekil 4. 72:</b> Hoover sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.....	65
<b>Şekil 4. 73:</b> Hoover sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc değişimi. ....	66
<b>Şekil 4. 74:</b> Sprot B sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi....	66
<b>Şekil 4. 75:</b> Sprot B sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc değişimi.....	67
<b>Şekil 4. 76:</b> Sprot B sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.....	67
<b>Şekil 4. 77:</b> Sprot B sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc değişimi. ....	67
<b>Şekil 4. 78:</b> Sprot B sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.....	68
<b>Şekil 4. 79:</b> Sprot B sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc değişimi. ....	68
<b>Şekil 4. 80:</b> Sprot B sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi. ....	69
<b>Şekil 4. 81:</b> Sprot B sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc değişimi.....	69
<b>Şekil 4. 82:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(OP-AMP ile).....	70
<b>Şekil 4. 83:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc değişimi(OP-AMP ile). ....	70
<b>Şekil 4. 84:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi (OTRA ile). ....	71
<b>Şekil 4. 85:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc değişimi(OTRA ile). ....	71
<b>Şekil 4. 86:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(CCII ile). ....	71
<b>Şekil 4. 87:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc değişimi(CCII ile). ....	72
<b>Şekil 4. 88:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(CCIII ile).....	72
<b>Şekil 4. 89:</b> Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(CCIII ile).....	72
<b>Şekil 4. 90:</b> Kaotik sinyal gizlemenin blok diyagramı (Çavuşoğlu vd.,2014).....	73
<b>Şekil 4. 91:</b> Hata sinyali (OP-AMP ile tasarlanan).....	77
<b>Şekil 4. 92:</b> Hata sinyali (OTRA ile tasarlanan). ....	77
<b>Şekil 4. 93:</b> Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).....	77
<b>Şekil 4. 94:</b> Hata sinyali (CCII ile tasarlanan). ....	78
<b>Şekil 4. 95:</b> Y ve Yc' nin zamana göre değişimi (bilgi işareti 0.01V, 10 kHz).....	78
<b>Şekil 4. 96:</b> Y ve Yc' nin zamana göre değişimi (bilgi işareti 0.1V, 10 kHz).....	79
<b>Şekil 4. 97:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal $S(t) = Y(t) + i(t)$ ve alınan bilgi işareti (ic(t)) haberleşme hatası (e(t)) , $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi).....	79

- Şekil 4. 98:** OP-AMP ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ . ..... 79
- Şekil 4. 99:** Bilgi işareti 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanıldığında Y ve Yc' nin zamana göre değişimi. .... 80
- Şekil 4. 100:** Bilgi işareti 0.1V, 10 kHz sinüs sinyali kullanıldığında Y ve Yc' nin zamana göre değişimi. .... 80
- Şekil 4. 101:** OTRA ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, İletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi). .... 81
- Şekil 4. 102:** OTRA ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin i(t), ic(t) ve S(t) sinyalleri. .... 81
- Şekil 4. 103:** Bilgi işareti 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılarak CCII ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi). .... 82
- Şekil 4. 104:** Bilgi işareti 0.05V, 40 kHz sinüs sinyali kullanılarak CCII ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi). .... 83
- Şekil 4. 105:** Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu. .... 83
- Şekil 4. 106:** CCIII ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$  , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi). .... 84
- Şekil 4. 107:** CCIII ile kurulmuş sprot A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ . .... 84
- Şekil 4. 108:** Hata sinyali (OP-AMP ile tasarlanan). .... 87
- Şekil 4. 109:** Hata sinyali (OTRA ile tasarlanan). .... 87

<b>Şekil 4. 110:</b> Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).....	88
<b>Şekil 4. 111:</b> Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).....	88
<b>Şekil 4. 112:</b> Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.....	89
<b>Şekil 4. 113:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprot B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal $S(t) = Y(t) + i(t)$ ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi) .....	89
<b>Şekil 4. 114:</b> 5ms süre ile devre simülasyonu (i(t), ic(t), S(t), Y(t), Yc(t), e(t)).....	89
<b>Şekil 4. 115:</b> OP-AMP ile kurulmuş sprot B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin $S(t) = Y(t) + i(t)$ ve $e(t) = i(t) - ic(t)$ . .....	90
<b>Şekil 4. 116:</b> Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.....	90
<b>Şekil 4. 117:</b> OTRA ile kurulmuş sprot B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi). .....	91
<b>Şekil 4. 118:</b> OTRA ile kurulmuş sprot B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin i(t), ic(t) ve S(t) sinyalleri.....	91
<b>Şekil 4. 119:</b> Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.....	92
<b>Şekil 4. 120:</b> CCII ile kurulmuş sprot B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi). .....	92
<b>Şekil 4. 121:</b> Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.....	93
<b>Şekil 4. 122:</b> CCIII ile kurulmuş sprot B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal $S(t) = Y(t) + i(t)$ ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi). .....	93

<b>Şekil 4. 123:</b> 5ms süre ile devre simülasyonu ( $i(t)$ , $ic(t)$ , $S(t)$ , $Y(t)$ , $Yc(t)$ , $e(t)$ ).....	94
<b>Şekil 4. 124:</b> CCIII ile kurulmuş sprot B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin $s(t) = x(t) + i(t)$ ve $e(t) = i(t) - ic(t)$ . ....	94
<b>Şekil 4. 125:</b> Hata sinyali (OP-AMP ile tasarlanan).....	97
<b>Şekil 4. 126:</b> Hata sinyali (OTRA ile tasarlanan).....	97
<b>Şekil 4. 127:</b> Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).....	98
<b>Şekil 4. 128:</b> Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).....	98
<b>Şekil 4. 129:</b> Haberleşme devresinde X ve Xc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.....	99
<b>Şekil 4. 130:</b> OP-AMP ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin $x(t)$ sinyali, alıcı sistemin $xc(t)$ sinyali, iletilen sinyal $s(t) = x(t) + i(t)$ ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi sinyali $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).....	99
<b>Şekil 4. 131:</b> 5ms süre ile devre simülasyonu ( $i(t)$ , $ic(t)$ , $S(t)$ , $X(t)$ , $Xc(t)$ , $e(t)$ ).....	100
<b>Şekil 4. 132:</b> OP-AMP ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin $S(t) = X(t) + i(t)$ ve $e(t) = i(t) - ic(t)$ . ....	100
<b>Şekil 4. 133:</b> Haberleşme devresinde X ve Xc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.....	101
<b>Şekil 4. 134:</b> OTRA ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin $X(t)$ sinyali, alıcı sistemin $Xc(t)$ sinyali, iletilen sinyal $S(t) = X(t) + i(t)$ ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi sinyali $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi .....	101
<b>Şekil 4. 135:</b> 5ms süre ile devre simülasyonu ( $i(t)$ , $ic(t)$ , $S(t)$ , $X(t)$ , $Xc(t)$ , $e(t)$ ).....	102
<b>Şekil 4. 136:</b> OTRA ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin $S(t) = X(t) + i(t)$ ve $e(t) = i(t) - ic(t)$ . ....	102
<b>Şekil 4. 137:</b> CCII ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin $X(t)$ sinyali, alıcı sistemin $Xc(t)$ sinyali, iletilen sinyal $S(t) = X(t) + i(t)$ , bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi sinyali $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi). ....	103

- Şekil 4. 138:** CCII ile kurulmuş yayınımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $i(t)$ ,  $ic(t)$  ve  $S(t)$  sinyalleri..... 103
- Şekil 4. 139:** Haberleşme devresinde  $X$  ve  $X_c$  kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu..... 104
- Şekil 4. 140:** CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin  $X(t)$  sinyali, alıcı sistemin  $X_c(t)$  sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = X(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$  , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi ..... 104
- Şekil 4. 141:** CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = X(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ . ..... 104

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
C	: Kapasitör
CCI-	: Eviren Birinci Kuşak Akım Taşıyıcı
CCI+	: Evirmeyen Birinci Kuşak Akım Taşıyıcı
CCII	: İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı
CCII-	: Eviren İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı
CCII+	: Evirmeyen İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı
CCIII	: Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı
CCIII-	: Evirmeyen Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı
CCIII+	: Evirmeyen Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı
dB	: Ölçü Birimi
e	: Hata
f	: Frekans
I	: Akım
i(t)	: Bilgi işareti
ic(t)	: Alınan bilgi işareti
K	: Kazanç
OP-AMP	: Operasyonel Yükselteç
OTRA	: İşlevsel Geçiş Direnci Kuvvetlendirici
PC	: Pecora- Carroll
R	: Direnç
S(t)	: İletilen işaret
t	: Zaman
V	: Gerilim
x, y, z	: Kaotik Durum Değişkeni
X <sub>0</sub>	: Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
X <sub>c</sub>	: Alıcı Sisteminin Kaotik Durum Değişkeni
$\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$	: Durum Değişkeninin Türevi
Y <sub>0</sub>	: Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
Y <sub>c</sub>	: Alıcı Sisteminin Kaotik Durum Değişkeni

$Z_0$	:	Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
$Z_c$	:	Alıcı Sisteminin Kaotik Durum Değişkeni

## 1. GİRİŞ

Kaos düzensizlik içindeki düzeni ifade eder. Kompleks davranışlar göstermesine rağmen kendi iç düzenine sahiptir. Kaotik sistemler doğrusal olmayan dinamik sistemler olup en önemli özellikleri başlangıç şartlarına hassas duyarlılıkları, periyodik olmayan davranışlar sergilemeleri, gürültü benzeri geniş ve dağınık spektruma sahip olmalarıdır. Başlangıç şartlarında çok küçük bir değişiklik sistem üzerinde çok büyük değişikliklere sebep olabilir. Sanki birbiri ile ilişkisi yokmuş gibi görünen düzensiz ve karmaşık durumların incelendiğinde bir düzenin parçası olduğu klasik bilimden kaosa geçişi niteler. Kaotik sistemlerde rasgele gibi görünen veriler içinde aslında bir düzen bulunmaktadır.

Kaos kavramını fizikçi Jensen, “kompleks, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin düzensiz ve öngörülemez davranışı” olarak ifade etmiştir. (ÖĞE, 2005). Jensen’ in yaptığı tanımda kompleks karmaşıklık ifade etmekte olup, dinamik ifadesi sabit olmayan değişken yapıyı anlatmaktadır.

Kaos bilimi, yıldırım fırtınaları, köpüren nehirleri, kasırgaları, sivri dağ zirvelerini, girintili çıkıntılı kıyı boylarını ve nehir deltalarından vücudumuzdaki sinirlerle kan damarlarına kadar karmaşık yapıları meydana getiren hareketleri anlamaya yönelik bir girişimdir. Kaos gündelik yaşamda birçok yerde karşımıza çıkar. Bir akarsuda yüzen yaprağın davranışından, damlayan bir musluğa, insan kalbinin atışından salgın hastalıkların yayılmasına, sigara dumanının düzensiz helezonlar halinde yükselmesinden, meteorolojik olaylara, kimyasal reaksiyonlara vb. olaylara kadar birçok tabii olayda kaos ortaya çıkar.

Düzenli bir davranışın başlangıç koşulları değiştiğinde nasıl kaosa dönüştüğüne örnek olarak belli koşullar altında insan kalbinin atışı örnek olarak verilebilir. Kalbin atış hızı, ritmik aktiviteyi kontrol eden organ tarafından denetlenir. Kalbin herhangi bir atışının zamanlamasında meydana gelen çok küçük bir değişiklik, bir sonraki kalp atışında büyük bir değişikliğe neden olur. Kalp atışları kaotik bir hale gelir ve yaşamı tehdit eder ( Koçak, 2000).

Doğrusal olmayan sistem teorilerindeki ilerleme, yeni deneysel teknikler, pahalı ve işlem gücü yüksek bilgisayarların ucuzlayıp yaygınlaşması, karmaşık ve doğrusal olmayan davranışları daha iyi analiz etmeye ve anlamaya sebep olmuş ve sonuç olarak Kaos Bilimi gelişmiştir (Pehlivan ve Uyaroğlu, 2007).

Kaotik sistemlerle ilgili birçok uygulama alanları oluşmuştur. Bunlara örnek olarak; Kalp ritim ölçüm, epilepsi nöbetlerinin öngörülmesi, biyomedikal ve tıbbi uygulamalar, dinamik bilgi sıkıştırma ve kodlama, rastgele numaralandırıcılar, şifreleme, kaotik güvenilir haberleşme, hassas desen tanıma, kaotik dinamiklerin müzik ve sanat amaçlı kullanımı, güç elektroniği, uluslar arası ilişkiler, sosyoloji, kaotik titreşim ve salınımların belirlenmesi ve kontrol edilmesi, lazerlerin kontrolü, türbülans kontrolü, vinç ve gemi salınımlarının kontrolü, hava durumu tahmini, vb.'leri verilebilir.

19. yüzyılın sonlarında kaos teorisi ile ilgili ilk çalışmalar Jules Henri Poincare tarafından gerçekleştirilmiştir. Güneş sisteminin kararlı olup olmadığının tespit edilmeye çalışıldığı üç cisim problemi olarak bilinen çalışma için Henri Poincare ; Güneş Sisteminin çözümünün başlangıç koşullarına hassas bağımlı olduğunu ve haliyle evrenin başlangıç koşullarını bilemeyeceğimizden güneş sisteminin de kararlı olup olmadığının asla öngörülemediğini ispatlamış ve teknik anlamda ilk kez “kaos” terimini kullanmıştır (Yenialaca ve Gürel, 2013)

1960 yılında Edward Lorenz meteoroloji üzerinde hava tahmin yapabilmek için bilgisayarında biriktirdiği verileri inceleyerek sıcaklık değerlerini grafiklerken sıcaklık değerlerinde çok küçük değişiklikler yaptığında hiçbir değişiklik olmamasını beklerken yaptığı fonksiyonu tekrar çalıştırdığında çok küçük değişikliklerin grafik üzerinde çok büyük değişikliklere sebep olduğunu tespit etmiştir. Sonuçta çıkan grafiğin kelebeğe benzer desene neden olduğu gözlemlendi. Lorenz bu durumu doğru ve güvenilir bir uzun vadeli hava tahmininin kaotik davranışı nedeniyle belli bir süreyi aşamayacağı, bu nedenle periyodik olmayan davranış özellikleri gösteren hiçbir sistemde öngörü yapmanın mümkün olmadığı şeklinde yorumlamıştır ( Kendirli, 2006).

Edward Lorenz meteoroloji üzerine yaptığı çalışmada bulutların hareketlerini aperiodyk ve başlangıç şartlarına hassas bağımlılık olarak tanımlamıştır. Hava tahmini yapabilmek için bu kavramlara bağlı olarak hesaplamalar yapmıştır.

Edward Lorenz “ Kelebek Etkisi” kavramı ile kaos teorisinin oluşmasında ve geliştirilmesinde kaos bilimine katkı sağlamıştır. “Kelebek Etkisi” dünyanın bir ucundaki kelebeğin kanat çırpmasının dünyanın diğer ucunda bir süre sonra fırtınaya yol açması şeklinde tasvir edilen, bir sistemin başlangıç değerlerindeki küçük değişimlerin tahmin edilemeyecek boyuttaki sonuçlara neden olabileceğini açıklayan etkidir. Lorenz, ilk hesaplamasında 0,506127 sayısını başlangıç verisi olarak kullanırken ikinci hesaplamada ise yaklaşık 1/1000 (binde bir), yâni bir kelebeğin kanat çırpmasının yarattığı rüzgârla eşdeğerde 0,506 sayısını kullanmıştır. Binde bir oranında başlangıç verisinde değişiklik olmasına rağmen ikinci hesabın, birinci hesaba karşın çok daha farklı neticeler verdiği tespit edilmiştir.

Kaotik sistemlerin bilinmesine rağmen 1970 li yılların ortalarına kadar yüksek hızlı bilgisayarların bulunmaması kaos alanındaki ilerlemelerin önüne geçmiştir. Kaotik devrelerin karmaşık ve doğrusal olmayan davranışlar göstermesinden dolayı kavramsal olarak tanımlanamamış ve incelenememiştir. Bilgisayarların gelişmesi ile son 30 yıl içerisinde kaos alanında çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir.

Lorenz sisteminde iki adet ikinci dereceden doğrusal olmayan terim bulunurken, 1976 yılında Rössler bir adet ikinci dereceden doğrusal olmayan terim içeren sistem geliştirmiştir (Pehlivan ve Uyaroğlu, 2007).

Kaotik sistemler kimi zaman olumlu kimi zaman olumsuz sistemler olarak değerlendirilmiştir. Kaotik davranış görülmemesi istenen durumlarda sistemin kontrol altına alınması ve kaotik davranışlar göstermesinin önlenmesi için kontrol mekanizmaları ve algoritmaları geliştirilmiştir. Kaotik sistemlerin olumlu yönlerde değerlendirilmesi çalışmalarında ise sistemin olumlu özelliklerinden faydalanılmış ve kaotik sistemler güvenli haberleşme, dinamik bilgi sıkıştırma ve kodlama, rastgele numaralandırıcılar, şifreleme vb. çalışmalarda değerlendirilmiştir.

Kaotik sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılabilmesi için iki ya da daha fazla kaotik sistemin aynı anda aynı davranışı sergileyebilmeleri gerekmektedir. Teknolojik uyumsuzluklar ve gürültüden dolayı birebir aynı kaotik yapıları elde etmek mümkün olmadığından 1990 yılında Pecora- Carroll tarafından yapılan çalışma sonucunda kaotik sistemler sürücü ve cevaplayıcı olarak iki ayrı kısma ayrılarak senkronizasyon sağlanmıştır ( Günay vd., 2002).

Bu tezde Operasyonel Yükselteç (OP-AMP), İşlevsel Geçiş Direnci Kuvvetlendirici (OTRA), İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı (CCII), Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı (CCIII) işlevsel elemanlar kullanılarak kaotik devre gerçeklemleri yapılarak Pecora Carroll yöntemi (PC) ile senkronizasyon sağlanarak güvenli haberleşme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Sprott A, Sprott B, Sprott G, Sprott H ve Yayınımsız Lorenz sistemlerinin kaotik devreleri, Sprott A, Sprott B ve Yayınımsız Lorenz sistemlerinin haberleşme devreleri tasarlanmıştır. Tüm devreler OP-AMP dışında literatürde daha önce uygulamaları bulunmayan, OP-AMP yerine alternatif olarak kullanılabilen OTRA, CCII ve CCIII ile tasarlanmıştır. Akım modlu devreler voltaj modlu devrelere göre büyük bant genişliği, yüksek değişim hızı, daha geniş dinamik saha, düşük güç tüketimi, basit devre yapısı ve geniş doğrusallık sahası gibi karakteristik özellikler taşımaktadır (Uzunhisarcıklı ve Alçı, 2003). Tüm devreler OP-AMP ve ilk defa OTRA, CCII ve CCIII ile tasarlanmıştır. Böylece devrelerde iyileştirmeler amaçlanmıştır.

Akım modlu yapılar; daha geniş bant genişliğine ve değişim hızına sahip olup, giriş ve çıkış parametreleri akım ve/veya voltaj cinsindedir. Bilinen geleneksel opamp'lar bipolar teknolojisinde üretilirken, akım modlu yaklaşımların çoğunluğu, sayısal devrelerle uyum içinde olan, standart teknolojilerin kullanımını amaçlayan CMOS ile tasarlanmaktadır (Uzunhisarcıklı ve Alçı, 2003). OTRA'nın bant genişliğinin idealde kazancından bağımsız olması ve giriş ve çıkış empedanslarının çok düşük olması en önemli özellikleridir. (Duruk ve Kuntman, 2003). OP-AMP lara nazaran parazitik kapasite ve dirençlere duyarsızdırlar. Kazançları bant genişliğinden bağımsız olup giriş ve çıkış uçlarında düşük empedans göstermektedirler. Geleneksel OP-AMP larda giriş uçlarındaki gerilim farkı çıkışta kullanılan geri besleme direci ile giriş direnci oranına bağlı olarak bir kazanç sağlarken, OTRA elemanı girişlerdeki akım

farkını çıkışa gerilim olarak yansıtır. Band genişliğinin zahiri olarak geçiş direnci kazancından bağımsız olmasından ötürü yüksek frekans cevabı elde edilir. Giriş ve çıkış uçlarının düşük empedanslı olması durumunda devredeki aktif elemanların sayısı azaltılarak güç harcaması ve gürültüyü azaltılmasına olanak sağlanmaktadır. CCII'lar; OP-AMP ve OTRA gibi diğer aktif devre elemanlara göre daha geniş bir frekans bandında çalışabilen, çıkış akımları; giriş uçlarına uygulanan gerilim veya akımla denetlenebilen ve böylelikle devre sentezi açısından daha esnek bir kullanıma sahiptirler. CCII'lar yüksek frekanslardaki performansları, yüksek doğrusallıkları ve geniş dinamik çalışma sahaları ile ön plana çıkmış olup, hatta bazı işlem bloklarının CCII'larla gerçekleştirilenlerinin sonucu olarak bir ucu topraklı kapasite ve direnç içermelerinden tümdevreleştirilmeye daha elverişli olmuşlardır. Bundan dolayı CCII'larla gerçekleştirilen işlem blokları, opamp'larla gerçekleştirilenlere göre ilave bir üstünlüğe sahiptir (Uzunhisarcıklı ve Alçı, 2003). CCIII lar önemli özellikler düşük kazanç hataları veya yüksek doğrulukları, yüksek doğrusallık ve geniş frekans tepkileridir. Yüksek çıkış direncinden dolayı herhangi bir aktif elemana ihtiyaç duymadan kaskad bağlantı yapılabilmektedir. Düşük voltaj düşük güç özelliğinden dolayı avantaj sağlamışlardır (Singh vd., 2013).

Bu amaçlar doğrultusunda, tezin ikinci bölümünde literatürde kaotik devre olarak bilinen Lorenz, Sprott, Van Der Pol, Rucklidge, Yayınımsız Lorenz, Arneodo, Rössler, Chen, Moore- Spiegel sistemleri üzerinde Matlab odesolve.m programı kullanılarak kaotik analizler yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, işlevsel elemanların kaotik devre tasarımında kullanılması amacıyla OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII için temel devreler ( eviren, evirmeyen, toplama, integral alma) tasarlanmıştır.

Dördüncü bölümde, Sprott Durum A, Sprott Durum B, Sprott Durum G, Sprott Durum H ve Yayınımsız Lorenz devrelerinin OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII ile kaotik devreleri tasarlanmıştır. Sprott Durum A, Sprott Durum B, ve Yayınımsız Lorenz devrelerinin Orcad-Pspice programında OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII kullanılıp Pecora-Carroll yöntemi ile Orcad-Pspice ortamında senkronizasyon modelleri yapılarak haberleşme devreleri tasarlanmıştır. Bu çalışmalarda tüm sistemlerin ilk defa

farklı işlevsel elemanlar kullanılarak kaotik devre ve haberleşme devresi tasarımları gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçları gösterilmiştir.

Tezin beşinci bölümü sonuçları içermektedir. Altıncı bölüm ekler bölümü olup kaotik, senkronizasyon ve haberleşme devrelerinin devre şemalarını içermektedir.

## 2. ÖRNEK KAOTİK OSİLATÖRLER

Bu bölümde Lorenz, Sprott, Van Der Pol, Rucklidge, Yayınımsız Lorenz, Arneodo, Rössler, Chen, Moore- Spiegel kaotik sistemleri anlatılmış ve Matlab odesolve.m programı kullanılarak kaotik analizler yapılmıştır (Polking, 2003).

### 2.1. Lorenz Kaotik Osilatörü

Edward Lorenz tarafından atmosferdeki akışkan ısı yayılımı modellenmek istenmiş, bulunduğu denklemler oldukça basit olmasına rağmen elde edilen sistem davranışlarının şaşırtıcı karmaşık davranışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Benzetim yaparken bulunduğu denklemler kaos göstermekte olan doğrusal olmayan ilk sistemler olup başlangıç şartlarına hassas bağımlılık göstermektedir (Lorenz, 1963).

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

$$\dot{y} = rx - y - xz \quad (E.2.1)$$

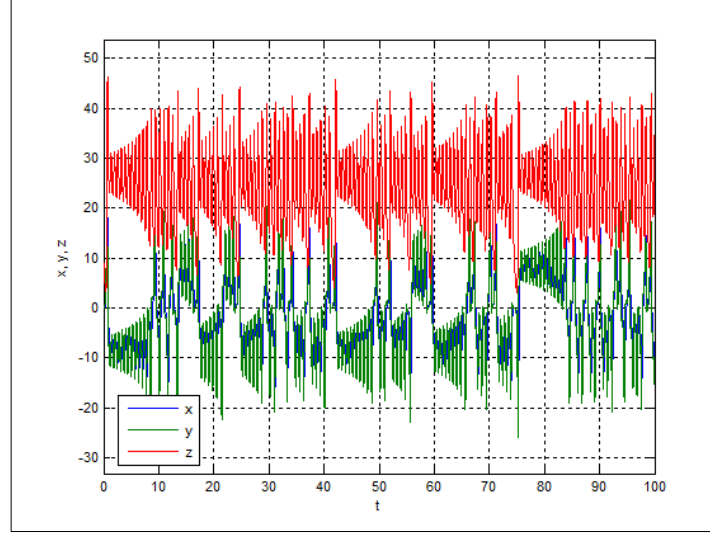
$$\dot{z} = xy - bz$$

Denklemlerde bulunan parametreler  $\sigma$ ,  $r$  ve  $b$  sistem parametreleri olup  $\sigma = 10$ ,  $r = 28$  ve  $b = 8/3$  tür. Denklemlerdeki  $x, y, z$  kaotik durum değişkenleri olup başlangıç şartları  $X_0 = 0$ ,  $Y_0 = -0.1$ ,  $Z_0 = 9$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

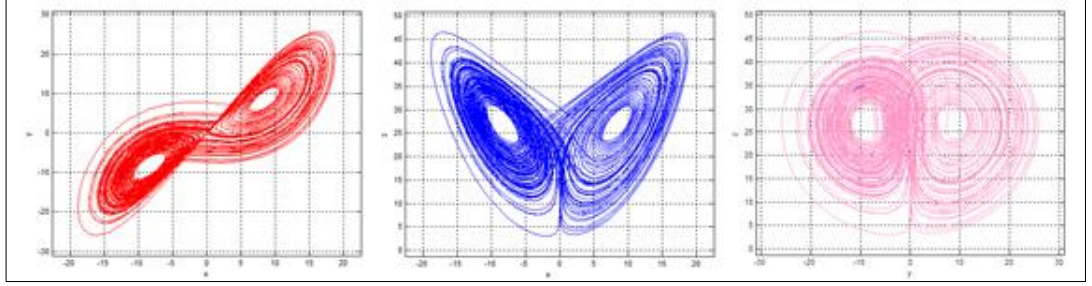
Denklemlerdeki başlangıç şartlarının çok küçük değerlerinde dahi sistemin cevabı oldukça değişmektedir. Lorenz, ilk hesaplamasında 0,506127 sayısını başlangıç verisi olarak kullanırken ikinci hesaplamada ise yaklaşık 1/1000 (binde bir), yani bir kelebeğin kanat çırpmasının yarattığı rüzgârla eşdeğerde 0,506 sayısını kullanmıştır. Binde bir oranında başlangıç verisinde değişiklik olmasına rağmen ikinci hesabın, birinci hesaba karşın çok daha farklı neticeler verdiği tespit edilmiştir.

Şekil 2.1. de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi, Şekil 2.2 de kaotik çekicileri ve Şekil 2.3. de üç boyutlu  $x-y-z$  faz portresi gösterilmiştir. Bu sayısal

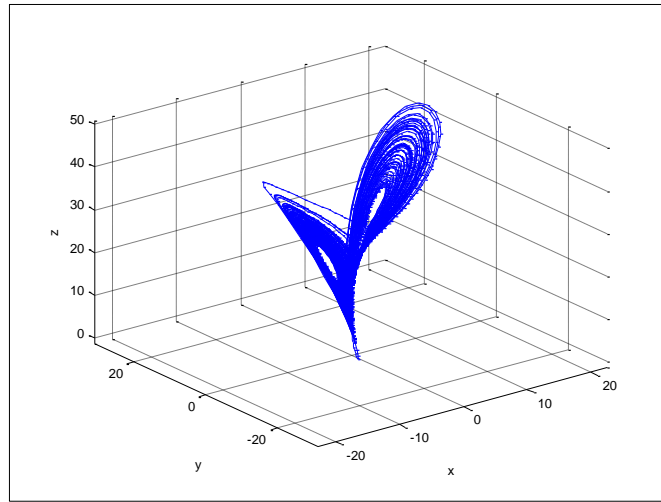
simülasyon sonuçları Matlab'da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).



**Şekil 2. 1.** Lorenz sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



**Şekil 2. 2.** Lorenz sisteminin x-y, x-z ve y-z kaotik çekicileri.



**Şekil 2. 3.** Lorenz sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi.

## 2.2. Sprot Systemleri

1994 yılında J.C Sprot 19 tane ‘‘A’’ dan ‘‘S’’ ye kadar etiklediği kaotik sistemler bulmuştur. , ‘A’ – ‘E’ arası olan denklemler, 2 adet ikinci dereceden-doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam 5 terimli, ‘F’ – ‘S’ arası olan denklemler ise bir adet ikinci dereceden-doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam 6 terimli denklemlerdir (Sprot,1994).

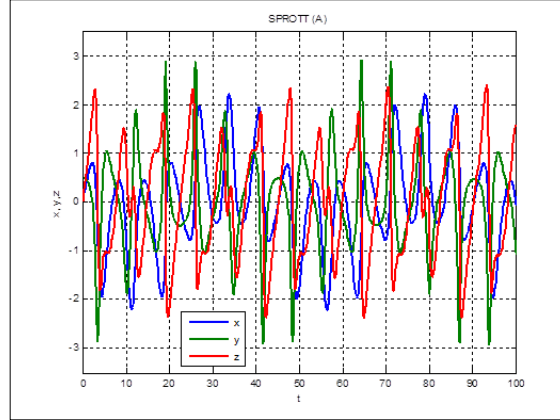
A	B	C	D	E	F
$\dot{x}=y$	$\dot{x}=yz$	$\dot{x}=yz$	$\dot{x}=-y$	$\dot{x}=yz$	$\dot{x}=y+z$
$\dot{y}=-x+yz$	$\dot{y}=x-y$	$\dot{y}=x-y$	$\dot{y}=x+z$	$\dot{y}=x^2-y$	$\dot{y}=-x+0.5y$
$\dot{z}=1-y^2$	$\dot{z}=1-xy$	$\dot{z}=1-x^2$	$\dot{z}=xz+3y^2$	$\dot{z}=1-4x$	$\dot{z}=x^2-z$
G	H	I	J	K	L
$\dot{x}=0.4x+z$	$\dot{x}=-y+z^2$	$\dot{x}=-0.2y$	$\dot{x}=2z$	$\dot{x}=xy-z$	$\dot{x}=y+3.9z$
$\dot{y}=xz-y$	$\dot{y}=x+0.5y$	$\dot{y}=x+z$	$\dot{y}=-2y+z$	$\dot{y}=x-y$	$\dot{y}=0.9x^2-y$
$\dot{z}=-x+y$	$\dot{z}=x-z$	$\dot{z}=x+y^2-z$	$\dot{z}=-x+y+y^2$	$\dot{z}=x+0.3z$	$\dot{z}=1-x$
M	N	O	P	Q	
$\dot{x}=-z$	$\dot{x}=-2y$	$\dot{x}=y$	$\dot{x}=2.7y+z$	$\dot{x}=-z$	
$\dot{y}=-x^2-y$	$\dot{y}=x+z^2$	$\dot{y}=x-z$	$\dot{y}=-x+y^2$	$\dot{y}=x-y$	
$\dot{z}=1.7+1.7x+y$	$\dot{z}=1+y-2z$	$\dot{z}=x+xz+2.7y$	$\dot{z}=x+y$	$\dot{z}=3.1x+y^2+0.5z$	
R	S				
$\dot{x}=0.9-y$	$\dot{x}=-x-4y$				
$\dot{y}=0.4+z$	$\dot{y}=x+z^2$				
$\dot{z}=xy-z$	$\dot{z}=1+x$				

Şekil 2. 4. Sprot sistemi denklemleri.

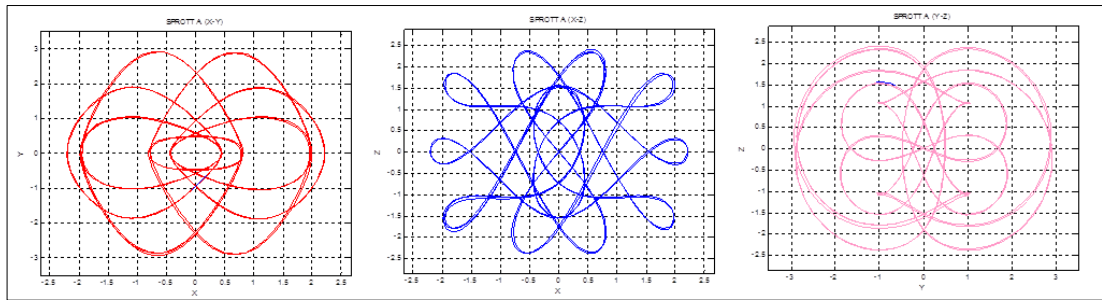
‘‘A’’ dışında bütün denklemler için ilk şartları  $X_0= 0.05$ ,  $Y_0= 0.05$ ,  $Z_0= 0.05$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir. ‘‘A’’ durumu için başlangıç şartları  $X_0= 0$ ,  $Y_0= 0.5$ ,  $Z_0= 0$  alınmıştır.

Sprott A, B ve C durumları için durum değişkenlerinin zamana göre değişimi ve kaotik çekicileri gösterilmiştir. Bu sayısal simülasyon sonuçları Matlab'da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).

Durum A:

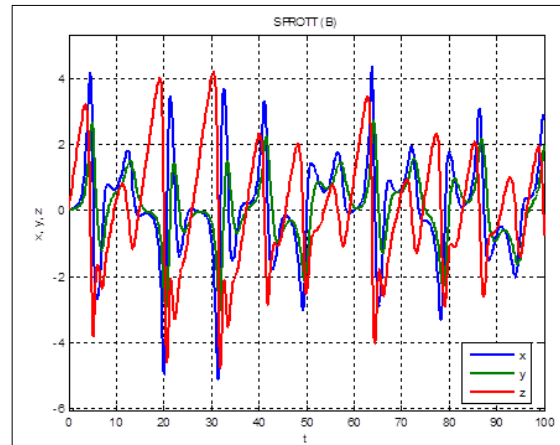


Şekil 2. 5. Sprott durum A (nose- hoover sistemi).

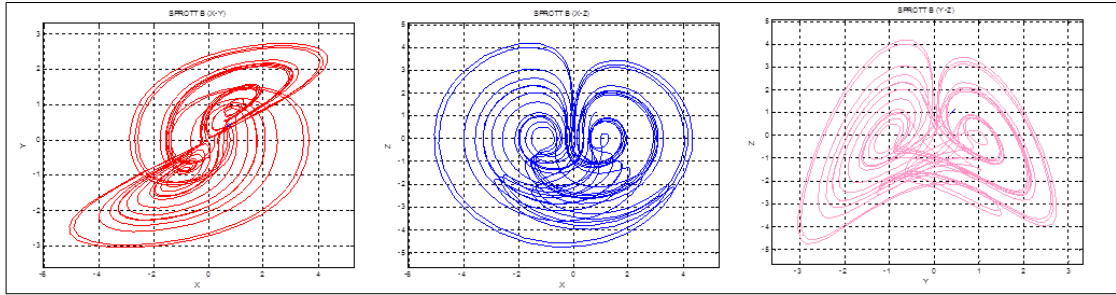


Şekil 2. 6. Sprott durum A kaotik çekiciler.

Durum B:

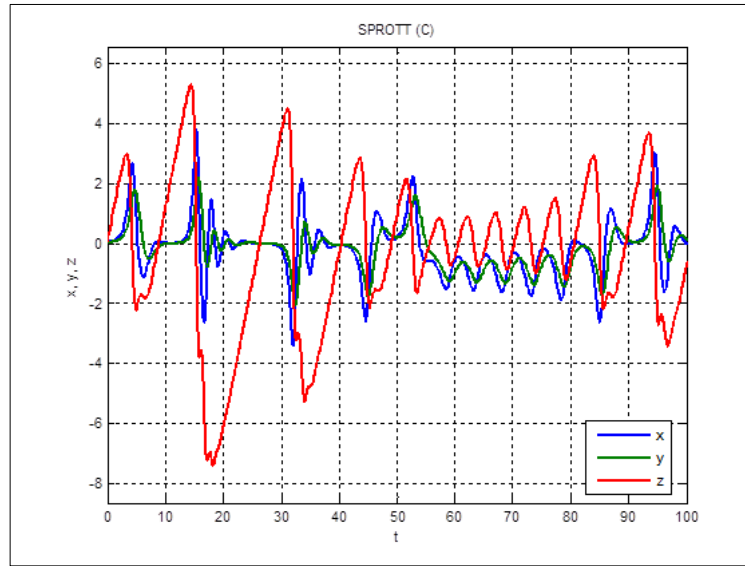


Şekil 2. 7. Sprott durum B.

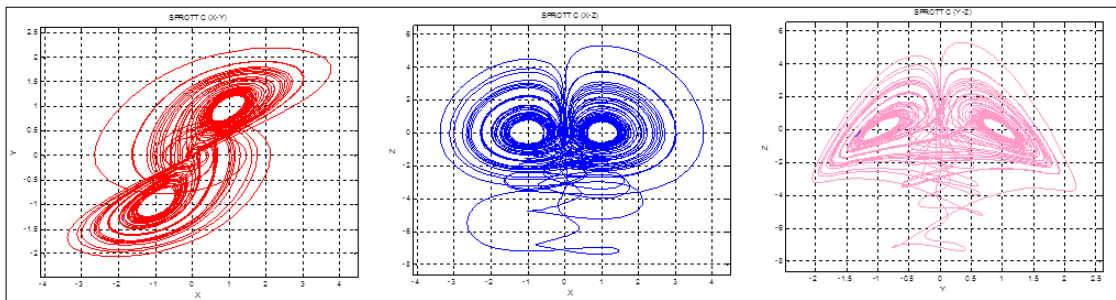


Şekil 2. 8. Sprott durum B kaotik çekiciler.

Durum C:



Şekil 2. 9. Sprott durum C.



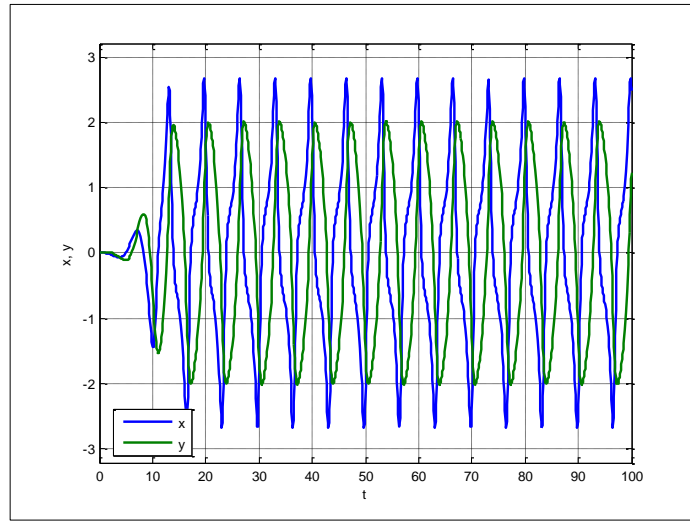
Şekil 2. 10. Sprott durum C kaotik çekiciler.

### 2.3. Van Der Pol Kaotik Osilatörü

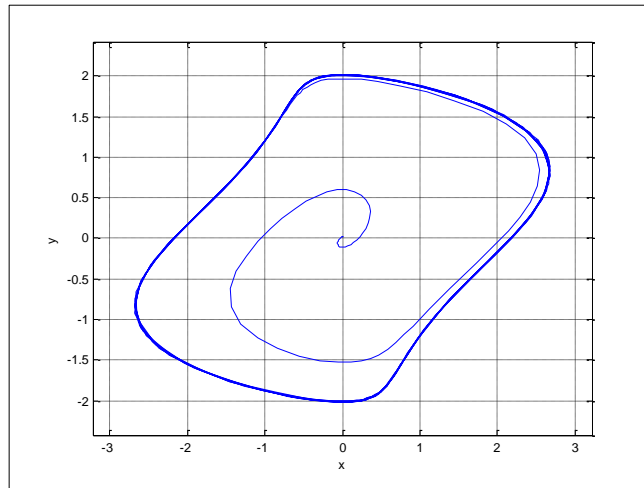
Van Der Pol dinamik denklemleri E.2.21 de verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -x(1-y^2) - y \\ \dot{y} &= x\end{aligned}\tag{E.2.2}$$

X değişkeninin Y değişkenine göre değişimi incelendiğinde kapalı bir eğri üzerinde bir noktanın hareketi şeklindedir. Başlangıç şartları  $X_0=0.01$ ,  $Y_0=0.01$  alınarak matlab simülasyonu sonucu Şekil 2.10. ve Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Görünen şekil “Limit Döngü” olarak isimlendirilir (Pamuk,2013).



**Şekil 2. 11.** Van Der Pol sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



**Şekil 2. 12.** Van Der Pol x-y kaotik faz portresi ( limit döngü).

## 2.4. Rucklidge Kaotik Osilatörü

Rucklidge sistem denklemleri E.2.22. de gösterilmiştir (Rucklidge, 1992).

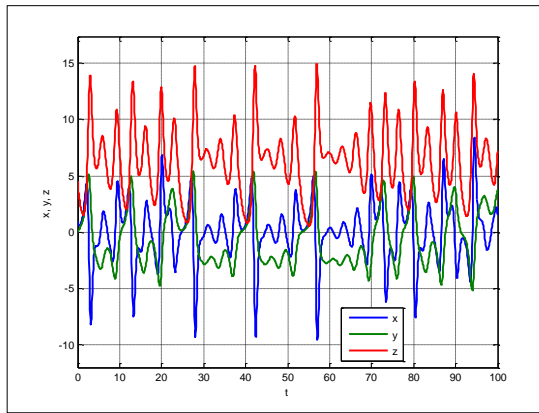
$$\dot{x} = -Mx + Ly - yz \quad (E.2.3)$$

$$\dot{y} = x$$

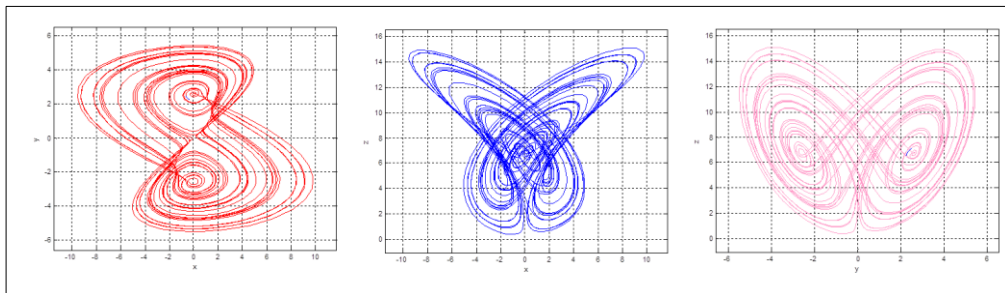
$$\dot{z} = -z + y^2$$

Denklemlerde bulunan parametreler  $M$ ,  $L$  sistem parametreleri olup  $M = 2$ ,  $L = 6.7$  dir. Denklemlerdeki  $x, y, z$  durum değişkenleri olup başlangıç şartları  $X_0 = 1$ ,  $Y_0 = 0$ ,  $Z_0 = 4.5$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

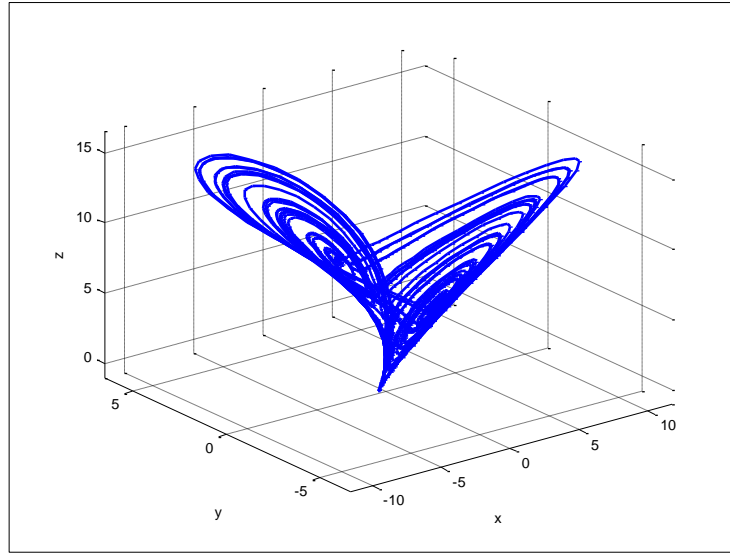
Şekil 2.12 de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi, Şekil 2.13 de kaotik çekicileri ve Şekil 2.14. de üç boyutlu  $x-y-z$  faz portresi gösterilmiştir. Bu sayısal simülasyon sonuçları Matlab'da, `odesolve.m` programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).



Şekil 2. 13. Rucklidge sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



Şekil 2. 14. Rucklidge kaotik çekicileri.



**Şekil 2. 15.** Rucklidge x-y-z kaotik faz portresi.

## 2.5. Yayınimsız Lorenz

Lorenz sisteminin tek parametreliliği olan Yayınimsız Lorenz Sistemi 2000 yılında Van Der Schrier ve Maas tarafından bulunmuştur. Sistem fiziksel olarak difüzyonsuz ısı yayımına karşılık gelmektedir (Pehlivan vd., 2008).

$$\dot{x}=y-x$$

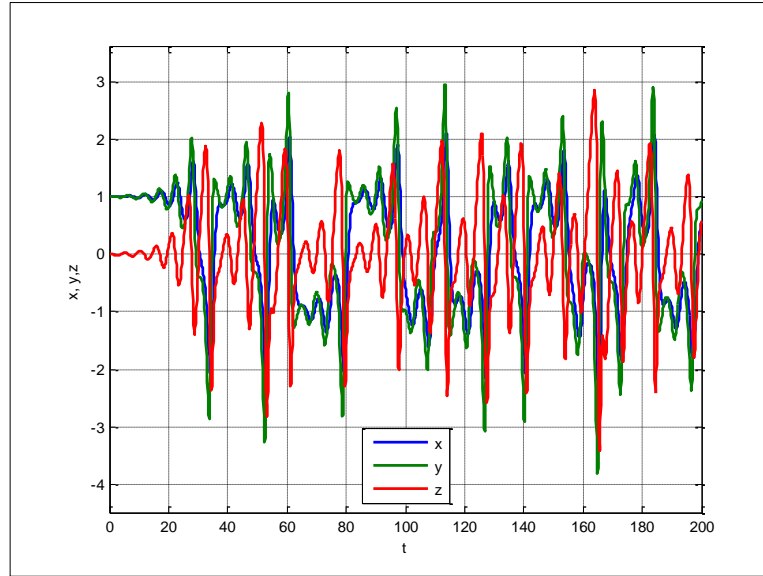
$$\dot{y}=xz$$

$$\dot{z}=-xy+1$$

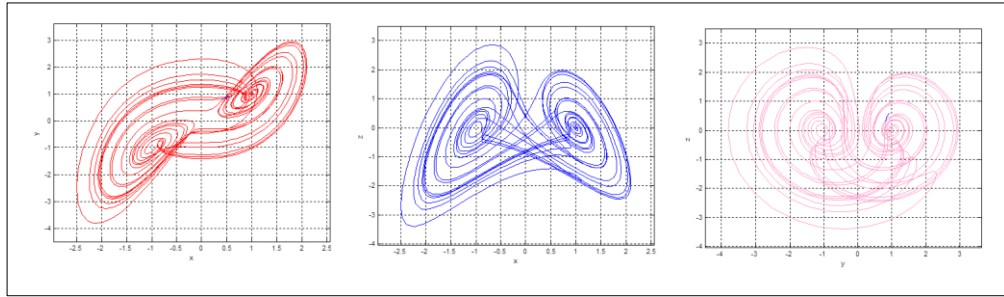
(E.2.4)

Denklemdaki  $x,y,z$  durum değişkenleri olup başlangıç şartları  $X_0= 1$  ,  $Y_0= -1$  ,  $Z_0= 0.01$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

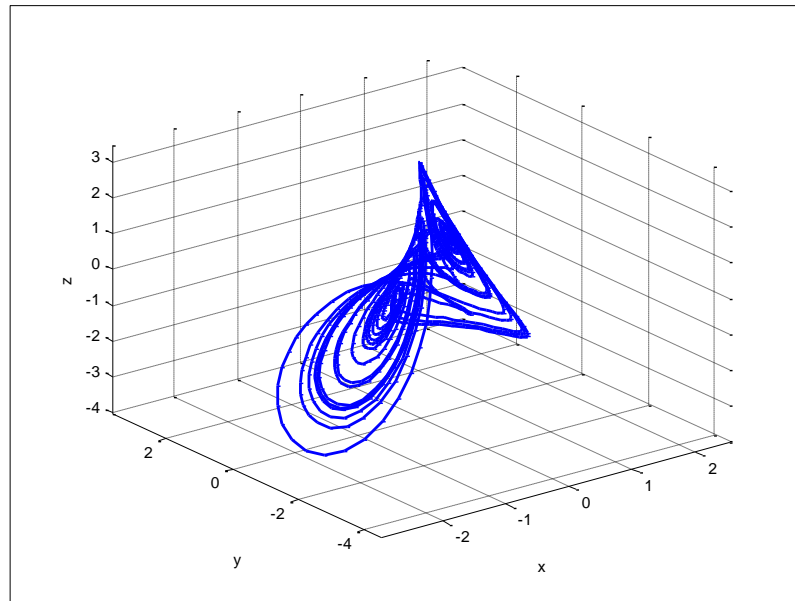
Şekil 2.15 de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi, Şekil 2.16 da kaotik çekicileri ve Şekil 2.17. de üç boyutlu x-y-z faz portresi gösterilmiştir. Bu sayısal simülasyon sonuçları Matlab'da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).



Şekil 2. 16. Yayınımsız lorenz sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



Şekil 2. 17. Yayınımsız lorenz kaotik çekicileri.



Şekil 2. 18. Yayınımsız lorenz x-y-z kaotik faz portresi.

## 2.6. Arneodo Kaotik Sistemi

A. Arneodo, P.Couillet, E Speigel ve C. Tresser'in tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir (Arneodo vd. , 1985).

$$\dot{x}=y$$

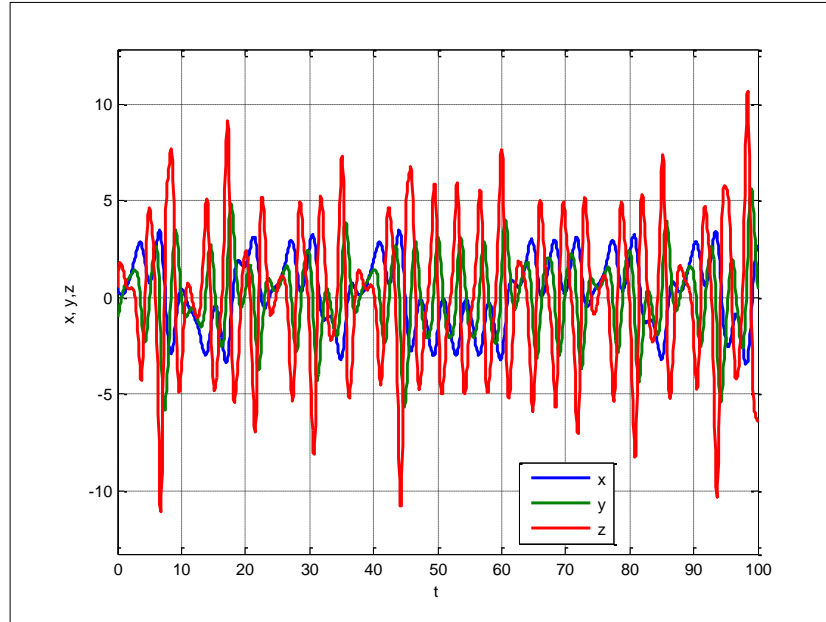
$$\dot{y}=z$$

(E.2.5)

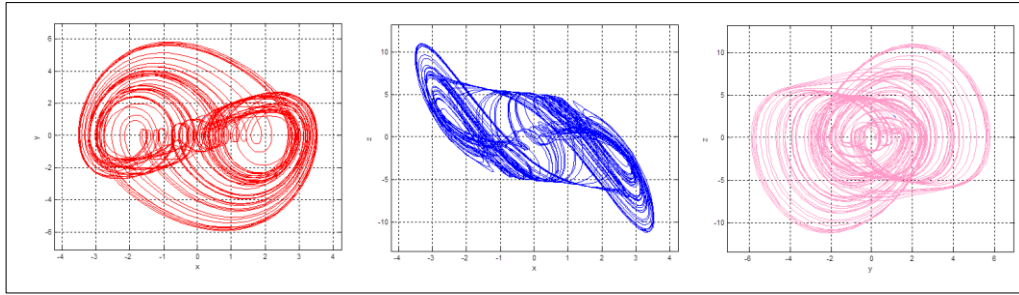
$$\dot{z}=-b_1 x-b_2 y-b_3 z+b_4 x^3$$

Denklemden bulunan parametreler  $b_1=-5.5$ ,  $b_2=3.5$ ,  $b_3=1$ ,  $b_4=-1$  dir. Denklemden  $x,y,z$  durum değişkenleri olup başlangıç şartları  $X_0=0.5$ ,  $Y_0= -1$ ,  $Z_0= 0.5$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

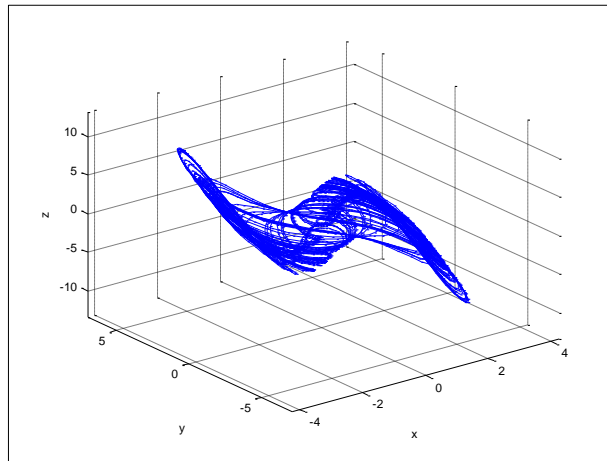
Şekil 2.18. de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi, Şekil 2.19. da kaotik çekicileri ve Şekil 2.20. de üç boyutlu x-y-z faz portresi gösterilmiştir. Bu sayısal simülasyon sonuçları Matlab'da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).



**Şekil 2. 19.** Arneodo sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



Şekil 2. 20. Arneodo sistemi kaotik çekicileri.



Şekil 2. 21. Arneodo sistemi x-y-z faz portresi.

## 2.7. Rössler Kaotik Sistemi

Kaotik işaretler üreten diğer bir sistem olan Rössler sistem denklemleri E.2.24 de gösterilmiştir (Rössler, 1976).

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

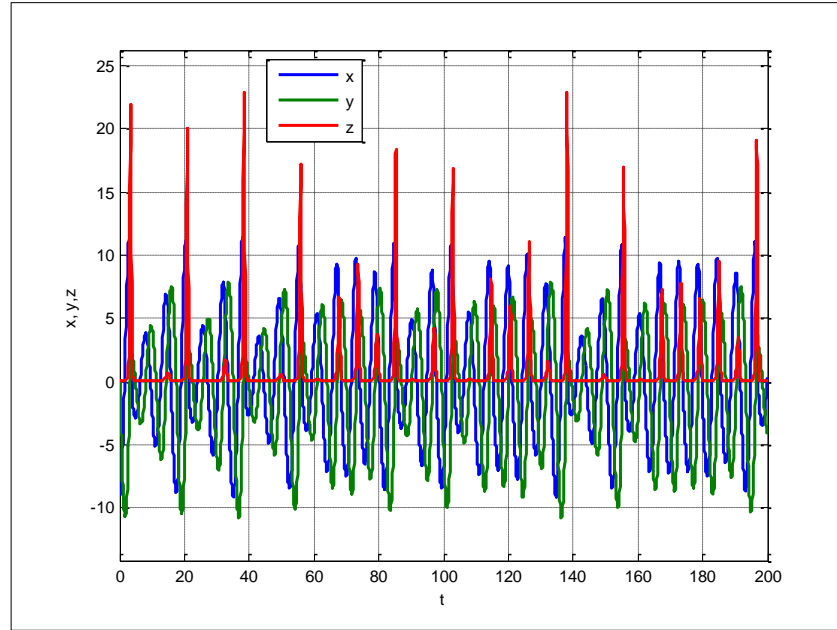
$$\dot{y} = x + ay \tag{E.2.6}$$

$$\dot{z} = b + z(x - c)$$

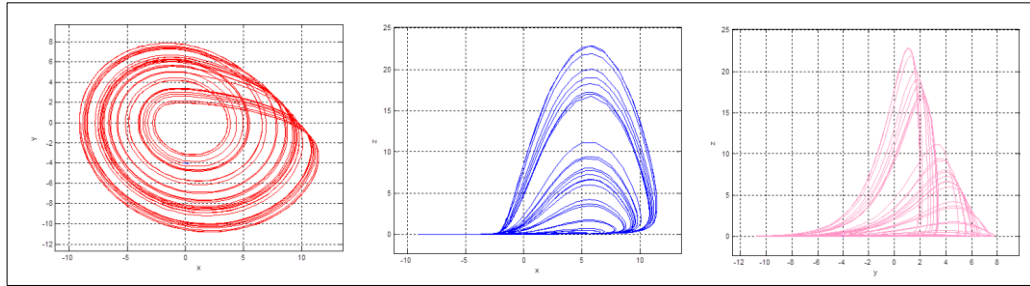
Denklemden bulunan parametreler  $a = -0.2$ ,  $b = 0.2$ ,  $c = 5.7$  dir. Denklemden  $x, y, z$  durum değişkenleri olup başlangıç şartları  $X_0 = -9$ ,  $Y_0 = 0$ ,  $Z_0 = 0$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 2.21. de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Rössler sisteminin kaotik çekicileri Şekil 2.22 ,üç boyutlu x-y-z faz portresi ise Şekil

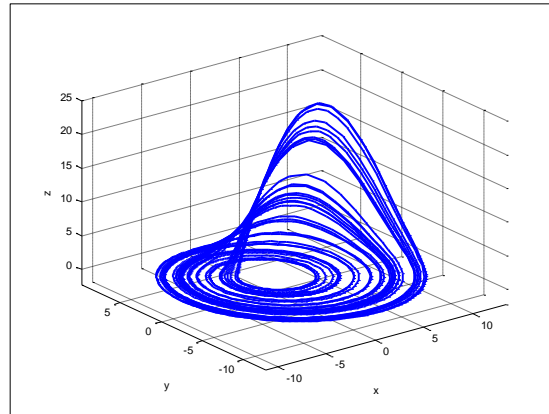
2.23 de verilmiştir. Bu sayısal simülasyon sonuçları Matlab'da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).



Şekil 2. 22. Rössler sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



Şekil 2. 23. Rössler sistemi kaotik çekicileri.



Şekil 2. 24. Rössler sistemi x-y-z faz portresi.

## 2.8. Chen Kaotik Sistemi

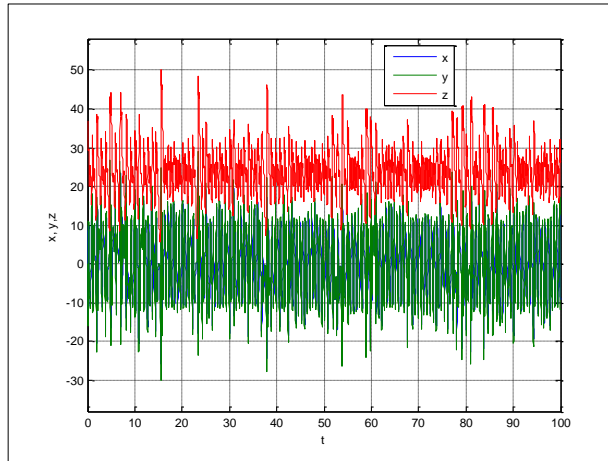
1999 yılında Guanrong Chen ve Ueta tarafından Chen Sistemi olarak adlandırdıkları kaotik sistemi bulmuşlardır (Chen ve Ueta, 1999).

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

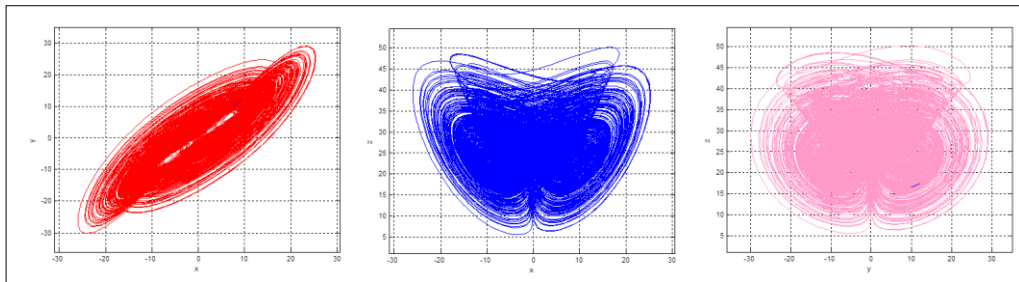
$$\dot{y}=(c-a)x-xz+cy \quad (E.2.7)$$

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

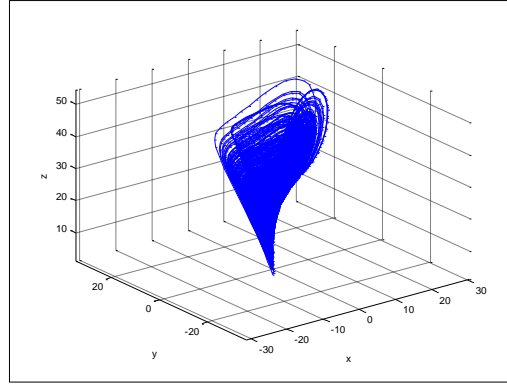
Denklemlerde bulunan parametreler  $a=-35$ ,  $b=3$ ,  $c=28$  dir.  $X_0=-10$ ,  $Y_0=0$ ,  $Z_0=37$  başlangıç şartlarında sistemin durum değişkenlerinin zamana göre değişimi Şekil 2.24, kaotik çekicileri Şekil 2.25. , üç boyutlu  $x$ - $y$ - $z$  kaotik yörüngesi Şekil 2.26. da gösterilmiştir. Bu sayısal simülasyon sonuçları Matlab'da, `odesolve.m` programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).



Şekil 2. 25. Chen sisteminin durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



Şekil 2. 26. Chen sistemi kaotik çekicileri.



Şekil 2. 27. Chen sistemi x-y-z faz portresi.

## 2.9. Moore- Spiegel Kaotik Sistemi

1966 yılında Moore ve Spiegel tarafından bulunan Moore- Spiegel kaotik sistemine ilişkin denklemler E.2.27 de gösterilmiştir (Moore ve Spiegel, 1966).

$$\dot{x}=y$$

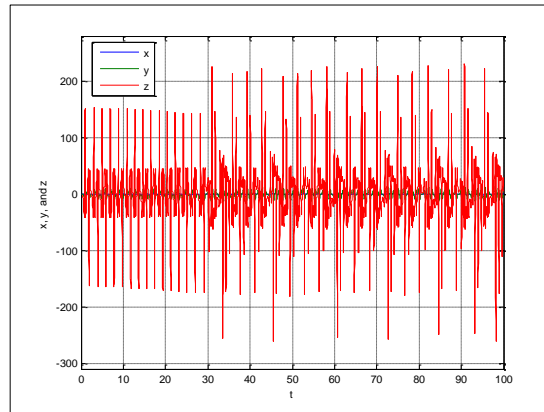
$$\dot{y}=z$$

(E.2.8)

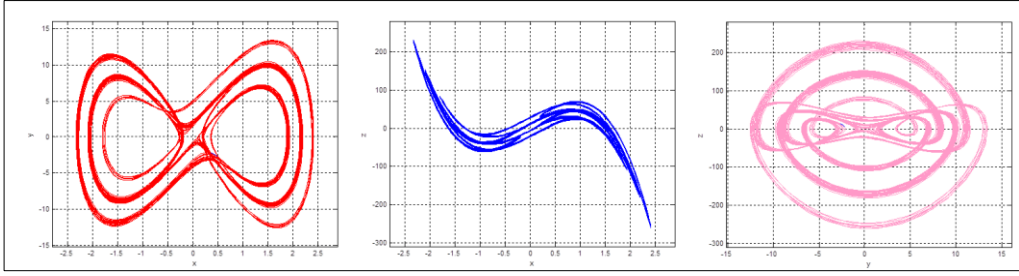
$$\dot{z}=-z-(26-\tau+\tau x^2)y-26x$$

Denklemden bulunan parametre  $\tau=100$  dir. Başlangıç şartları  $X_0=0.1, Y_0=0, Z_0=0$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

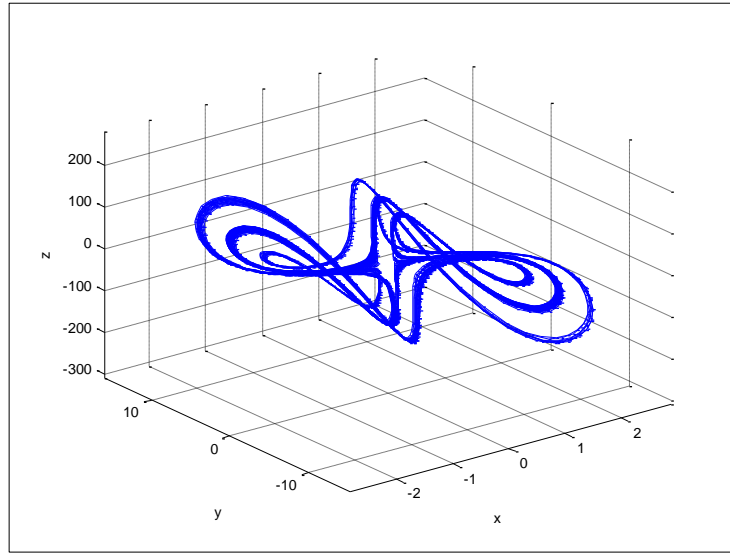
Matlab simulasyon sonuçları Şekil 2.28. de gösterilmiştir. Üç boyutlu x-y-z kaotik yörüngesi Şekil 2.29. da gösterilmiştir. Bu sayısal simülasyon sonuçları Matlab'da ,odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiştir (Polking, 2003).



Şekil 2. 28. Moore- Spiegel sistemi değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi.



Şekil 2. 29. Moore- Spiegel sisteminin x-y,x-z ve y-z kaotik çekicileri.

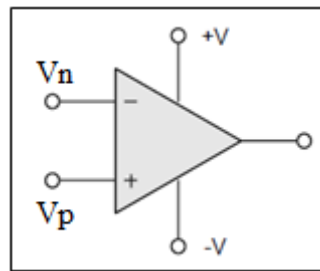


Şekil 2. 30. Moore- Spiegel sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi.

### 3. İŞLEVSEL ELEMANLAR İLE KURULAN TEMEL DEVRELER

#### 3.1. OP-AMP İle Kurulmuş Temel Devreler

Operasyonel (işlemsel) yükselteçler, kısaca “OP-AMP” olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde birçok alanda kullanılmakta olup bunlara örnek olarak haberleşme, bilgisayar, güç ve işaret kaynakları, gösterge düzenleri, test ve ölçü sistemleri v.b verilebilir. Karşılaştırma, yükseltme, filtreleme, osilatör, gerilim izleme vb. amaçlarla kullanılmaktadır. Mimarisi incelendiğinde işlemsel yükselteç bir tümdevredir ve içinde birçok transistor, direnç ve az sayıda kapasite bulundurulur. Operasyonel yükselteçler geniş frekans sınırlarında sinyal yükseltmek amacıyla tasarlanmış, direkt eşlemeli ve yüksek kazançlı gerilim yükselteçleridir.



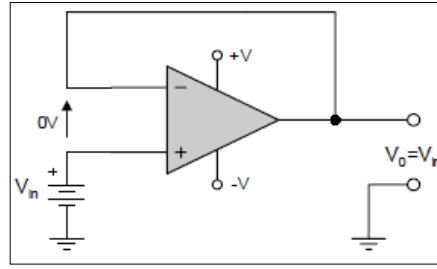
Şekil 3. 1. OP-AMP sembolü.

OP-AMP ideal durum tanım denklemleri:

$$\begin{aligned} \dot{I}_p = \dot{I}_n = 0 \\ V_p - V_n = 0 \end{aligned} \quad (E.3.1)$$

##### 3.1.1. OP-AMP gerilim takipçisi devresi

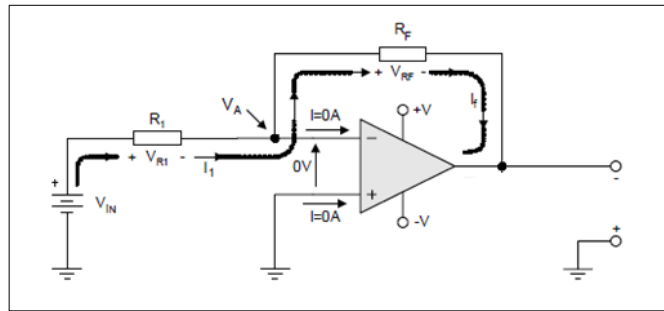
Gerilim takipçisi devreler; yüksek giriş, alçak çıkış empedansa sahip olmaları nedeniyle pek çok uygulama ve tasarımda sıklıkla kullanılırlar. Gerilim takipçisi devre, evirmeyen yükselteç devresinin özel bir halidir. Temel bir gerilim izleyici devre Şekil 3.2.'de verilmiştir. Bu devrede geri besleme direkt yapılmıştır. OP-AMP girişleri arasında gerilim farkı olmadığından çıkış gerilimi  $V_o$ , giriş gerilimi ile aynıdır ( $V_o = V_{in}$ ). Devrede gerilim kazancı yoktur. Bu nedenle bu tip devrelere gerilim takipçisi denir.



Şekil 3. 2. OP-AMP gerilim takipçisi devresi.

### 3.1.2. OP-AMP eviren yükselteç devresi

OP-AMP kazancının kontrol edilebilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Eviren yükselteç, girişine uygulanan sinyali kazanç kadar yükselterek 180 derece faz farkı ile çıkışa vermektedir. Bu devrenin kazancı  $R_F/R_1$  formülü ile hesaplanabilir. Şekil 3.3. de eviren yükselteç devresi gösterilmiş olup, devrede dolaşan akımlar ve gerilim düşümleri devre üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. OP-AMP eviren yükselteç devresi.

$V_{in}$  giriş işareti ile  $V_o$  çıkış işareti arasındaki bağıntı  $R_1$  ve  $R_F$  dirençleri ile ifade edilir.

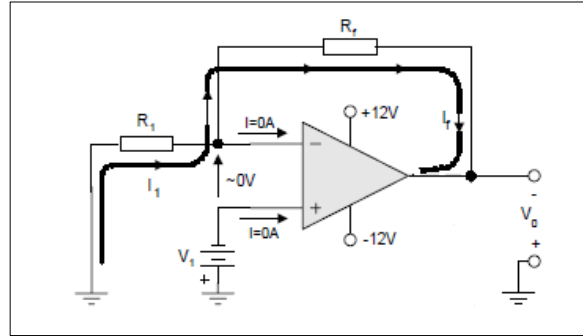
Bu devrenin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$V_o = \left(-\frac{R_F}{R_1}\right) V_{in} \quad (E.3.2)$$

### 3.1.3. OP-AMP evirmeyen yükselteç devresi

Evirmeyen yükselteç devresinde giriş işareti ile çıkış işareti aynı fazdadır. Yani giriş ile çıkış işareti arasında faz farkı yoktur. Bu devrenin kazancı  $1+R_F/R_1$  formülü ile

hesaplanabilir. Şekil 3.6. da evirmeyen yükselteç devresi gösterilmiş olup, devrede dolaşan akımlar ve gerilim düşümleri devre üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. OP-AMP evirmeyen yükselteç devresi.

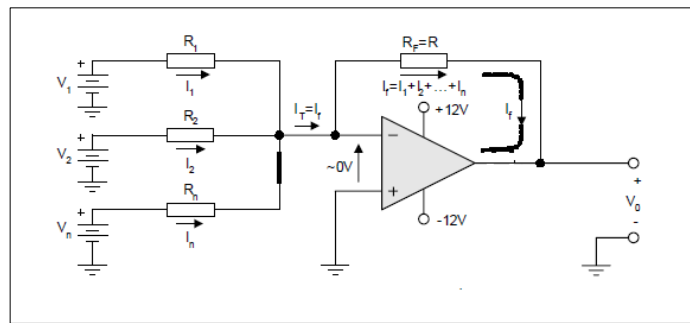
$V_{in}$  giriş işareti ile  $V_o$  çıkış işareti arasındaki bağıntı  $R_1$  ve  $R_F$  dirençleri ile ifade edilir.

Bu devrenin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) V_{in} \quad (E.3.3)$$

### 3.1.4. OP-AMP toplayıcı devresi

Toplayıcı devrede girişlerine uygulanan sinyalleri toplar ve çıkışa tersleyerek verir. Her bir giriş sinyalinin kazancı ayrı ayrı ayarlanabilir. Devreye daha fazla giriş ucu bağlayarak daha fazla sayıda giriş toplanabilir.



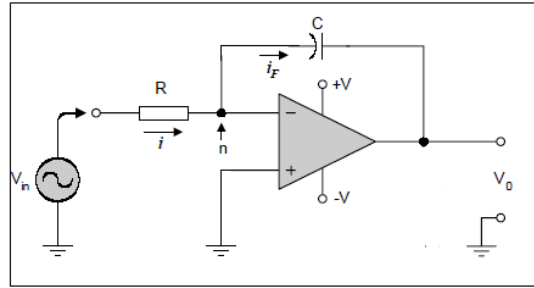
Şekil 3. 5. OP-AMP toplama devresi.

Bu devrenin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$V_o = -R_F \left( \left( \frac{V_1}{R_1} \right) + \left( \frac{V_2}{R_2} \right) + \left( \frac{V_n}{R_n} \right) \right) \quad (\text{E.3.4})$$

### 3.1.5. OP-AMP integral alma devresi

İntegral alma devresi, girişe uygulanan işaretin integralini alarak çıkışa aktarır. Şekil 3.12 de integral alma devresi gösterilmiş olup, devrede geri besleme bir kondansatör yardımı ile yapılmaktadır.



Şekil 3. 6. OP-AMP integral alma devresi.

Devrenin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

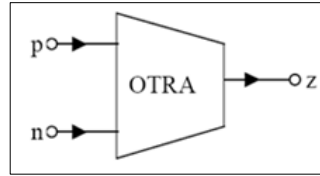
$$V_{in}(t) = V_o(0) - \frac{1}{RC} \int_0^t V_o(t) dt \quad (\text{E.3.5})$$

### 3.2. OTRA İle Kurulmuş Temel Devreler

OTRA, geleneksel OP-AMP lara nazaran parazitik kapasite ve dirençlere duyarsızdırlar. Kazançlarının band genişliğinden bağımsız olması, giriş ve çıkış uçlarındaki düşük empedans göstermeleri nedeniyle, yüksek frekansın kullanıldığı haberleşme devrelerinde son yıllarda kullanımı yaygınlaşmıştır. OTRA'nın band genişliğinin idealde kazancından bağımsız olması ve giriş ve çıkış empedanslarının çok düşük olması en önemli özellikleridir (Duruk ve Kuntman, 2003).

Ticari olarak Norton kuvvetlendiricisi ismi ile üretilmektedir. Akım-modlu devrelerin son yıllarda çok hızlı gelişmesi ve CMOS teknolojisinin analog devrelerde daha çok kullanılmaya başlaması ile OTRA elemanına olan ilgi artmaya başlamıştır.

Osilatör tasarımında ve parazitik elemanların yok edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Çam vd, 2002).



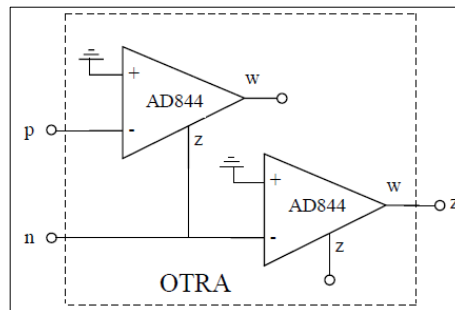
Şekil 3. 7. Devre sembolü (Çam vd, 2002).

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ R_m & -R_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ I_z \end{bmatrix} \quad (\text{E.3.6})$$

Geleneksel OP-AMP larda giriş uçlarındaki gerilim farkı çıkışta kullanılan geri besleme direnci ile giriş direnci oranına bağlı olarak bir kazanç sağlarken, OTRA elemanı girişlerdeki akım farkını çıkışa gerilim olarak yansıtır. Bant genişliğinin zahiri olarak geçiş direnci kazancından bağımsız olmasından ötürü yüksek frekans cevabı elde edilir. Giriş ve çıkış uçlarının düşük empedanslı olması durumunda devredeki aktif elemanların sayısı azaltılarak güç harcaması ve gürültüyü azaltılmasına olanak sağlanmaktadır.

OP-AMP lar ile gerçekleştirilen eviren yükselteç, evirmeyen yükselteç, türev ve integral devreleri OTRA elemanı ile gerçekleştirilebilmektedir. OP-AMP larda kullanılan denklem ve diğer bağıntılar OTRA elemanı için geçerli olmaktadır.

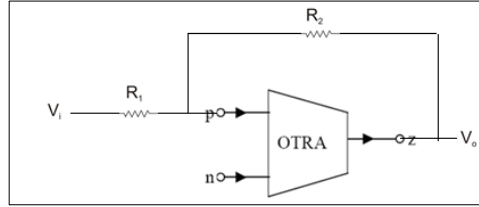
Şekil 3.16.'da verilen 2 adet AD844 tümleşik devresi ile gerçekleştirilen OTRA yapısı görülmektedir.



Şekil 3. 8. OTRA elemanının gerçekleştirilmesi (Çam vd, 2002).

### 3.2.1. OTRA eviren yükselteç devresi

Girişindeki sinyali evirerek kuvvetlendirerek çıkışa verir.

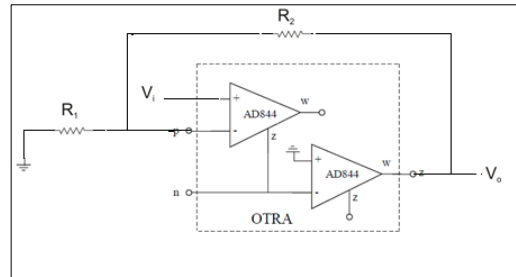


Şekil 3. 9. OTRA eviren yükselteç devresi.

$$V_o = \left( \frac{R_2}{R_1} \right) V_i \quad (\text{E.3.7})$$

### 3.2.2. OTRA evirmeyen yükselteç devresi

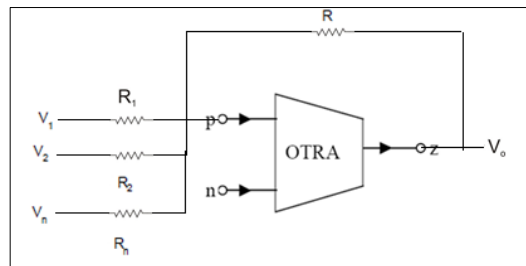
Girişindeki sinyali evirmeden kuvvetlendirerek çıkışa verir.



Şekil 3. 10. OTRA evirmeyen yükselteç devresi.

### 3.2.3. OTRA toplama devresi

Şekil 3.23.'de verilen bu devre girişlerindeki sinyalleri toplayıp kuvvetlendirerek çıkışa verir.

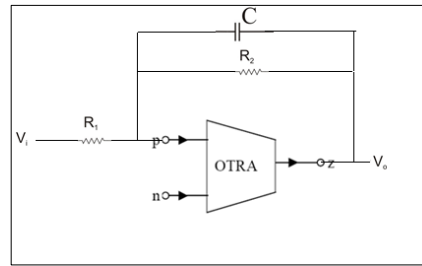


Şekil 3. 11. OTRA toplama devresi.

### 3.2.4. OTRA integral alma devresi

Elektronik bir integral alıcının çıkışı giriş dalga şeklinin altındaki alan ile orantılıdır. İntegral almak için kuvvetlendiricinin geri besleme hattına bir kondansatör bağlanır. Bununla birlikte girişteki herhangi bir DC gerilim, çıkış geriliminin mümkün olan maksimum değerine kadar yükselmesine ve düşmesine neden olur. Bu istenmeyen durumu ortadan kaldırmak için geri besleme direnci kondansatöre paralel bağlanır. İntegral alma işlemi sadece geri besleme direnci tarafından oluşan kesim frekansının üstündeki değerlerde gerçekleşir.

E.3.7 formülü kullanılarak kesim frekansı hesaplanabilir. İntegral alma devresinin OTRA ile gerçekleştirilmesinin olumlu sonuç vermesi, kaotik devre tasarlanabileceğini göstermektedir.



Şekil 3. 12. OTRA integral alma devresi.

$$f = \left( \frac{1}{2\pi R_f C_f} \right) \quad (E.3.8)$$

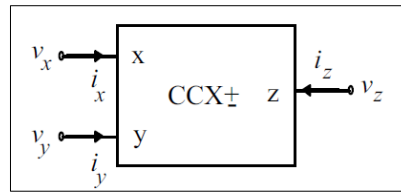
### 3.3. CCII İle Kurulmuş Temel Devreler

Akım taşıyıcılar zaman içerisinde geliştirilmiş ve ikinci kuşak akım taşıyıcılar CCII'ler, üçüncü kuşak akım taşıyıcılar CCIII'ler elde edilmiştir. Bu aktif elemanlar gerilim ve akım kaynaklarının her ikisi tarafından da sürülebilme özelliğine sahiptirler.

Akım taşıyıcılar ile ilgili uygulamalar ilk ortaya atılışlarından bu yana uzunca bir süre geçmiş olmasına rağmen, son yıllarda büyük ölçüde önem kazanmışlardır. Akım taşıyıcıların en belirgin özelliği OP-AMPlara göre daha yüksek bir gerilim kazancına ve daha büyük band genişliğine sahip olmalarıdır. Bütün OP-AMP uygulamaları akım

taşıyıcılar ile yapılabilmektedir. Akım taşıyıcılar, kontrollü kaynaklar, aktif filtreler, empedans çeviricileri, jirator, gerilim yükselteci, fark alıcı, integral alıcı ve toplayıcı gibi değişik analog işlem elemanları gerçeklemelerinde OP-AMPlara karşı başarılı bir alternatif olmuştur. Akım taşıyıcıları OP-AMPlardan üstün kılan özellik, akım taşıyıcılı gerilim kuvvetlendiricilerinde kazancın band genişliğinden bağımsız olmasıdır. Akım taşıyıcılar uygulamada daha geniş band genişliğine ve daha yüksek gerilim kazancına sahiptir.

Gerilim modlu devrelerde yüksek değerli direnç elemanları ve kaçak kapasiteler düşük frekans değerinde bir baskın kutup yaratmakta bu da çalışma bandını sınırlamaktadır. Akım modlu devrelerde genel olarak düğüm empedansları düşük ve gerilim salınımları küçüktür. Büyük gerilim salınımları için problem olan parazitik kapasitelerin dolma boşalma süreleri ve bunun getirdiği zaman sabiti ve dolayısıyla yükselme eğimi problemi minimumdur (Kuntman, 2011).

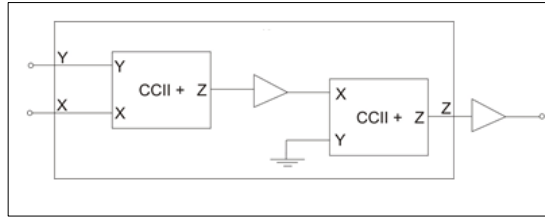


**Şekil 3. 13.** Akım taşıyıcı blok gösterimi ( Kuntman,2011).

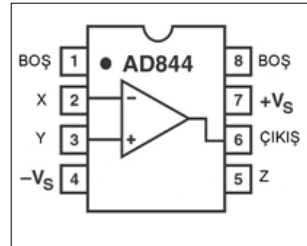
$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ i_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (\text{E.3.9})$$

E.3.9 da akım taşıyıcı tanım denklemi gösterilmiş olup,  $a=1$  olduğunda ortaya çıkan yapılar birinci kuşak akım taşıyıcılar CCI,  $a=0$  olduğunda elde edilen yapılar ise CCII olarak adlandırılırlar. CCI için  $b=1$  ise faz döndürmeyen veya evirmeyen birinci kuşak akım taşıyıcılar (CCI+),  $b=-1$  olması durumunda da eviren birinci kuşak akım taşıyıcılar (CCI-) elde edilir. CCII  $b=1$  için evirmeyen ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII+) ve  $b=-1$  için de eviren ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII-) yapılar tanımlanmaktadır (Kuntman, 2011).

Bu tezde pozitif tip akım taşıyıcı olan AD844 elemanı kullanılacaktır. CCII- tipinde akım taşıyıcı 2 adet CCII+ kullanılarak elde edilebilir.



Şekil 3. 14. CCII- nin CCII+ ile oluşturulması.



Şekil 3. 15. CCII+ AD844 entegresi.

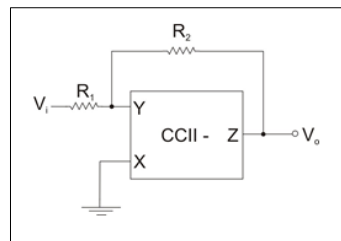
$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ i_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (\text{E.3.10})$$

$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ i_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (\text{E.3.11})$$

E.3.10 CCII- , E.3.11 CCII+ tanım denklemleri gösterilmiştir.

### 3.3.1. CCII eviren yükselteç devresi

Girişindeki sinyali evirerek kuvvetlendirerek çıkışa verir. Devrede CCII- tipi akım taşıyıcı kullanılmıştır. 2 adet CCII+ elemanını gösterildiği gibi bağlayarak CCII- elde edilmiştir.

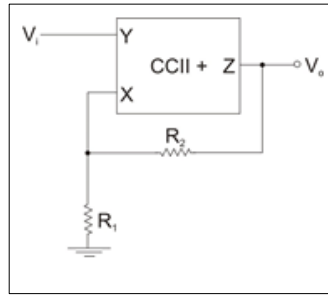


Şekil 3. 16. CCII- eviren yükselteç devresi.

$$V_o = \left( -\frac{R_2}{R_1} \right) V_i \quad (\text{E.3.12})$$

### 3.3.2. CCII evirmeyen yükselteç devresi

Bu devreler girişindeki sinyali evirmeden kuvvetlendirerek çıkışa verir. Devrede CCII+ tipi akım taşıyıcı kullanılmıştır.

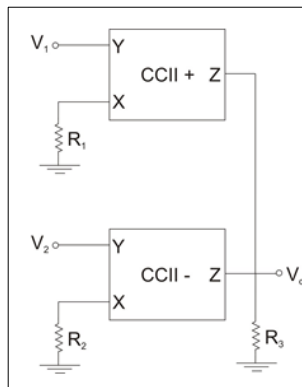


Şekil 3. 17. CCII+ evirmeyen yükselteç devresi.

$$V_o = \left( 1 + \frac{R_2}{2R_1} \right) V_i \quad (\text{E.3.13})$$

### 3.3.3. CCII toplayıcı devresi

Devre girişlerindeki sinyalleri toplayıp kuvvetlendirerek çıkışa verir.

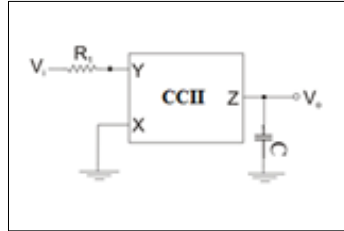


Şekil 3. 18. CCII toplayıcı devresi.

$$V_o = \left( \frac{R_3}{R_1} V_1 - \frac{R_3}{R_2} V_2 \right) \quad (\text{E.3.14})$$

### 3.3.4. CCII integral alma devresi

Devre girişlerindeki sinyalin integralin alıp çıkışa verir.



Şekil 3. 19. CCII integral alma devresi.

$$V_o = \frac{1}{RC} \int V_i dt \quad (\text{E.3.15})$$

Pspice ortamında AD844 kullanarak  $R=400k$  ve  $C=1$  nF değerleri ile kurduğumuzda kazancı çok yüksek bir integral devresi elde edilir.

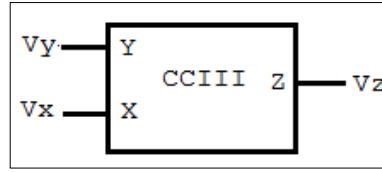
$$f = \left( \frac{1}{2\pi R_f C_f} \right) \quad (\text{E.3.16})$$

### 3.4. CCIII İle Kurulmuş Temel Devreler

1968 yılında akım taşıyıcılar ortaya çıkmış ve 1970 yılında terminal değişkenleri arasında değişiklik yapılarak CCII'lar, 1995 yılında ise CCIII sunulmuştur. Kazancı bir olan akım kontrollü akım kaynağı olarak tanımlanabilmektedir (Uzunhisarcıklı ve Alçı, 2003).

Sinyal İşleme, Aktif Devre Sentezi, Osilatör Tasarımı vb. alanlarda III. Kuşak akım taşıyıcılar kullanılmaktadır. Şekil 3.47 de CCIII blok şeması gösterilmiştir.

E.3.17 de CCIII- ve E.3.18 de CCIII+ için tanım denklemleri gösterilmiştir. Z terminalinden akan akımın pozitif olması evirmeyen üçüncü kuşak akım taşıyıcı (CCIII+) yapısını, negatif olması da evirmeyen üçüncü kuşak akım taşıyıcı (CCIII-) yapısını gösterir. Terminal akımları kazancı 1'dir.

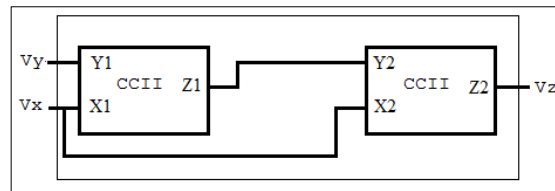


Şekil 3. 20. CCIII blok gösterimi.

$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ i_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (\text{E.3.17})$$

$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ i_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (\text{E.3.18})$$

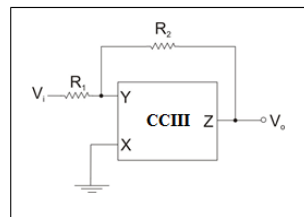
Tek çıkışlı CCI Kullanılarak CCII+ ya da CCII- gerçekleştirme şekllinden yararlanarak tasarlanmış Tek Çıkış İkinci Kuşak Akım Taşıyıcılar ile, aynı yöntemle oluşturulan Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı gerçekleştirme Şekil 3.48. de görülmektedir. CCIII uygulamalarında iki adet CCII'nin Şekil 3.49 da tasarlanan şekilde birleştirilmesi sağlanmış ve tüm uygulamalarda bu form kullanılmıştır. Hazırlanan tasarıma uygun olarak yeni nesil CCII olan MAX477ESA/MXM Entegresi kullanılmıştır.



Şekil 3. 21. CCIII nın CCII ile oluşturulması.

### 3.4.1. CCIII eviren yükselteç devresi

Girişindeki sinyali evirerek kuvvetlendirerek çıkışa verir.

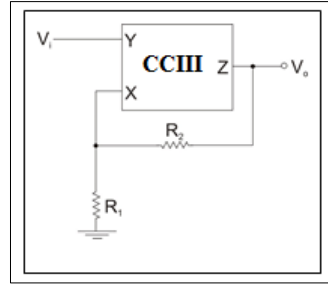


Şekil 3. 22. CCIII eviren yükselteç devresi.

$$V_o = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) V_i \quad (\text{E.3.19})$$

### 3.4.2. CCIII evirmeyen yükselteç devresi

Bu devreler girişindeki sinyali evirmeden kuvvetlendirerek çıkışa verir

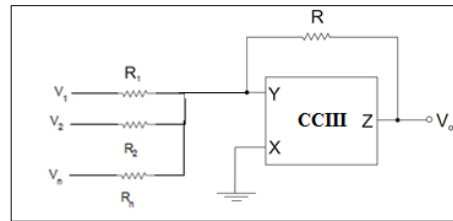


Şekil 3. 23. CCIII evirmeyen yükselteç devresi.

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{2R_1}\right) V_i \quad (\text{E.3.20})$$

### 3.4.3. CCIII toplayıcı devresi

Devre girişlerindeki sinyalleri toplayıp kuvvetlendirerek çıkışa verir.



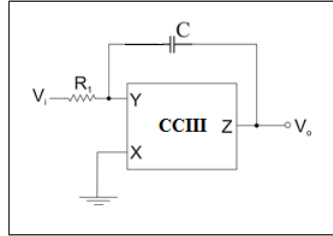
Şekil 3. 24. CCIII toplama devresi.

Bu devrenin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$V_o = -R_F \left( \left(\frac{V_1}{R_1}\right) + \left(\frac{V_2}{R_2}\right) + \left(\frac{V_n}{R_n}\right) \right) \quad (\text{E.3.21})$$

### 3.4.4. CCIII integral alma devresi

Devre girişlerindeki sinyalin integralini alıp çıkışa verir.



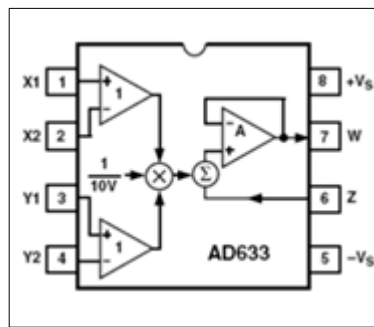
Şekil 3. 25. CCIII integral alma devresi.

## 4. İŞLEVSEL ELEMANLAR İLE ÖRNEK KAOTİK DEVRE GERÇEKLEMELERİ, KOTİK DEVRE SENKRONİZASYONU VE KAOTİK DEVRELERİN HABERLEŞMEDE KULLANILMASI

### 4.1. Kaotik Devre Gerçekleşmeleri

Kaotik sistemlerin gerçeklemelerinde kaotik sistemler diferansiyel denklemlerden oluştuğundan denklemleri modellemek için toplama, işaret tersleme, sabit sayı ile çarpma, analog çarpma, integral alma, türev alma vb. işlemler uygulanır. Gürültünün sinyalin bozulması üzerindeki etkisi türev alma işleminde kuvvetlenmesine rağmen integral alma işleminde etkinin azalmasından dolayı integral alma işlemi türev alma işlemine göre daha kolaydır.

Blok diyagramların elektronik devre gerçeklemelerinde kullanılan işlevsel elemanlar ve temel işlem devreleri 3. Bölümde açıklanmıştır. Kaotik sistemlerin modellenmesi için çarpma işleminde analog çarpma entegresi kullanılmıştır. Bu tezde AD633 entegresi kullanılmış olup -10V ile +10V arasında kabul edilebilir fark giriş gerilimine sahiptir. Çıkış geriliminin çarpma ile çok büyüyerek besleme gerilimini geçmemesi için, çıkış gerilimi çarpma işleminden sonra 10'a bölünmektedir. AD633 entegresinin transfer fonksiyonu ve blok diyagramı Şekil 4.1. de gösterilmiştir.



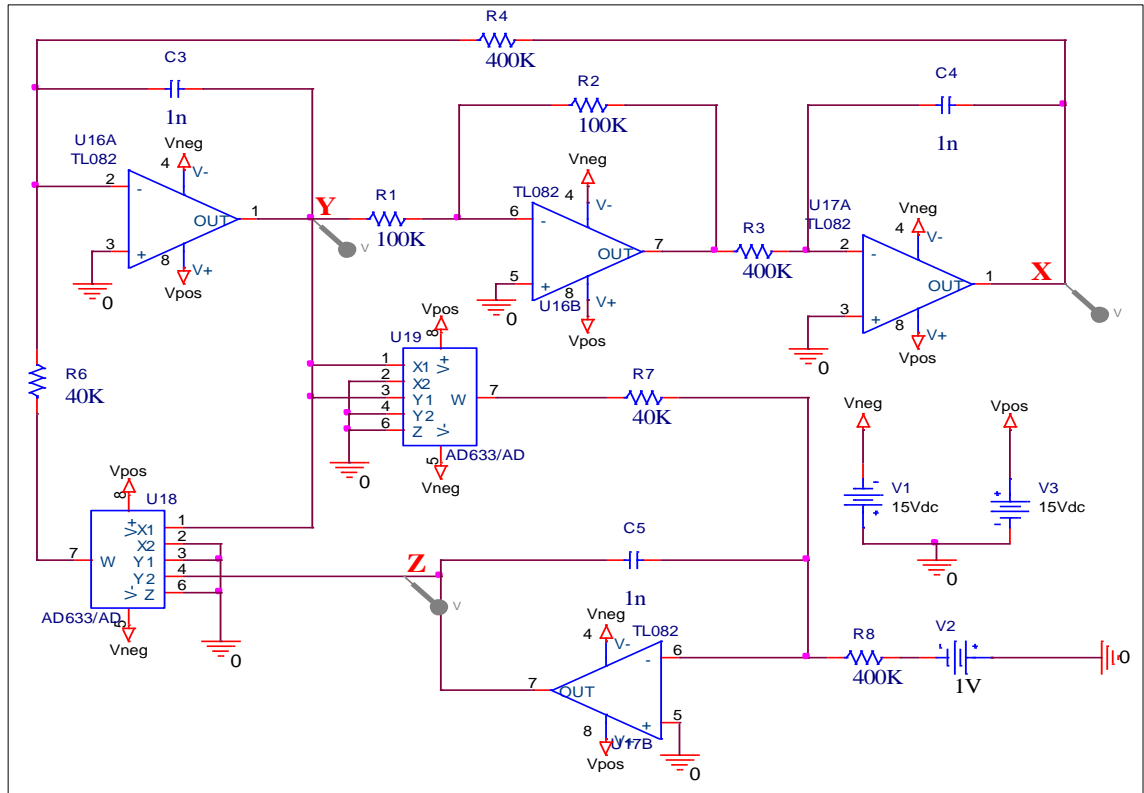
Şekil 4. 1. AD633 çarpma entegresi blok diyagramı.

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z \quad (E.4.1)$$

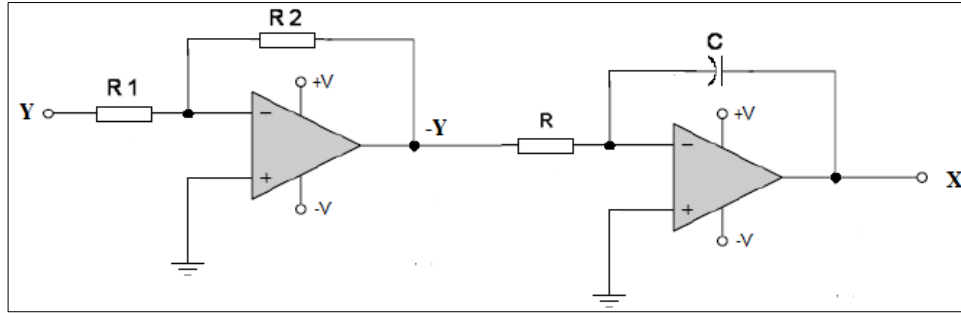
Devredeki kapasitörlerin değerleri devrenin zamanlama skalasını belirlemektedir. Cuomo ve Oppenheim'in yaptıkları çalışmalar sonucunda zamanlama skalası 2505'dir. Problemin kendi çözümünde olan fiziksel zaman ile, analog bilgisayarda incelenen çözüm zamanının(hesaplama zamanı) birbirinden çok farklı olabileceğini belirterek zamanlama skalasına duyulan ihtiyacın sebebini açıklamıştır.

$$b = \frac{1}{2505 * C * R} \quad (E.4.2)$$

Devrelere ilişkin direnç ve kapasitör değerlerinin nasıl hesaplandığını göstermek amacıyla opamp işlevsel elemanı kullanılarak tasarlanmış Hoover sistemine ilişkin devre şeması kullanılarak hesaplamalar gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. Hoover sistemi devre şeması.

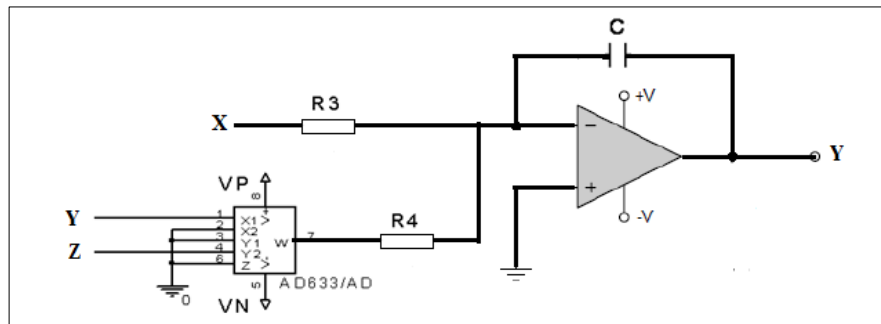


Şekil 4. 3. X durum değişkeninin oluşturulması.

$$\frac{-Y}{R} = -\frac{X}{1/j\omega C} \quad (\text{E.4.3})$$

$$\frac{Y}{RC} = j\omega X \quad (\text{E.4.4})$$

$$\dot{X} = Y \left( \frac{1}{RC} \right) \quad (\text{E.4.5})$$

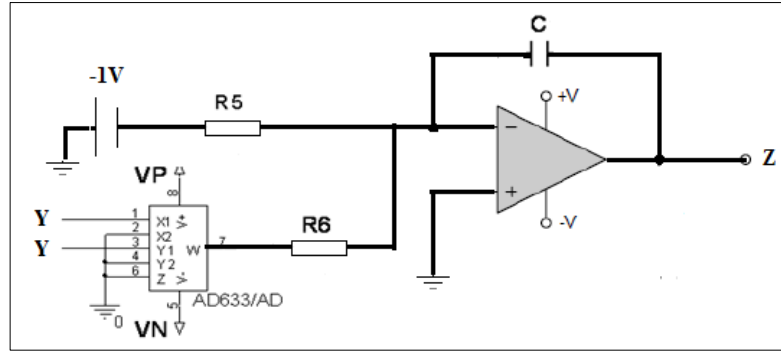


Şekil 4. 4. Y durum değişkeninin oluşturulması.

$$\frac{X}{R_3} - \frac{Y.Z}{R_4} = -\frac{Y}{1/j\omega C} \quad (\text{E.4.6})$$

$$j\omega Y = -\frac{X}{CR_3} + \frac{Y.Z}{CR_4} \quad (\text{E.4.7})$$

$$\dot{Y} = -X \left( \frac{1}{CR_3} \right) + YZ \left( \frac{1}{CR_4} \right) \quad (\text{E.4.8})$$



Şekil 4. 5. Z durum değişkeninin oluşturulması.

$$\frac{Y.Y}{R_6} - \frac{1}{R_5} = -\frac{Z}{1/j\omega C} \quad (\text{E.4.9})$$

$$j\omega Z = -\frac{Y.Y}{CR_6} + \frac{1}{CR_5} \quad (\text{E.4.10})$$

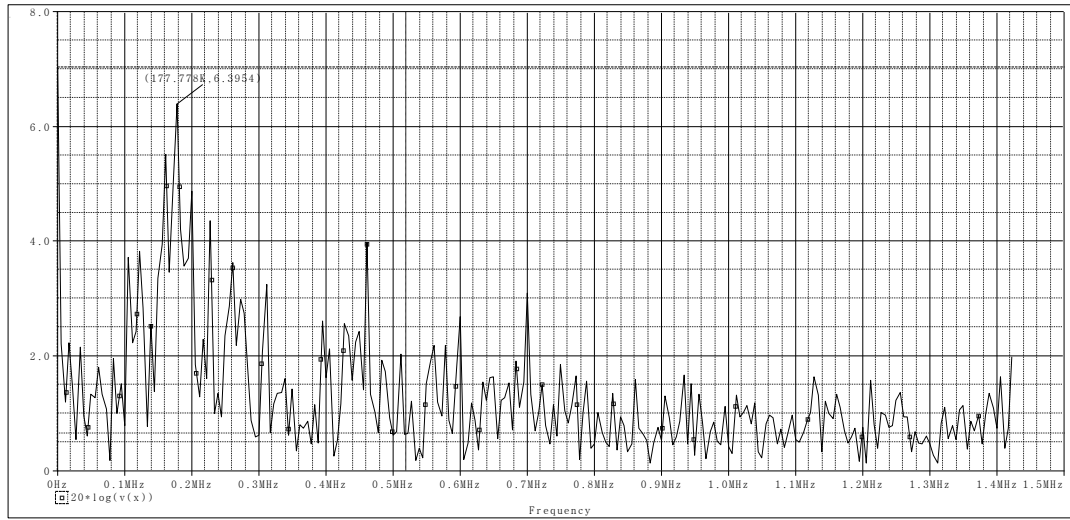
$$\dot{Z} = \left(\frac{1}{CR_5}\right) - Y^2 \left(\frac{1}{CR_6}\right) \quad (\text{E.4.11})$$

E.4.1 kullanılarak devrede  $R1= R2= 100K$  ,  $C=1$  nF seçilmiştir. Kapasitör değerleri 1nF olduğuna göre katsayısı 1 olan terimlere ait R direnç değerleri  $R=R3=R5=400K$  olarak bulunur. İkinci ve üçüncü denklemdaki Y.Z ve Y.Y terimlerine ait katsayı 1 olmasına rağmen çarpma entegresi sinyalleri çarparken çıkışa 10 kat küçülterek verdiği için dolayı, sinyali tekrar gerçek değerine çekmek için R4 ve R6 direnç değerleri 400K yerine 40K olarak seçilmiştir.

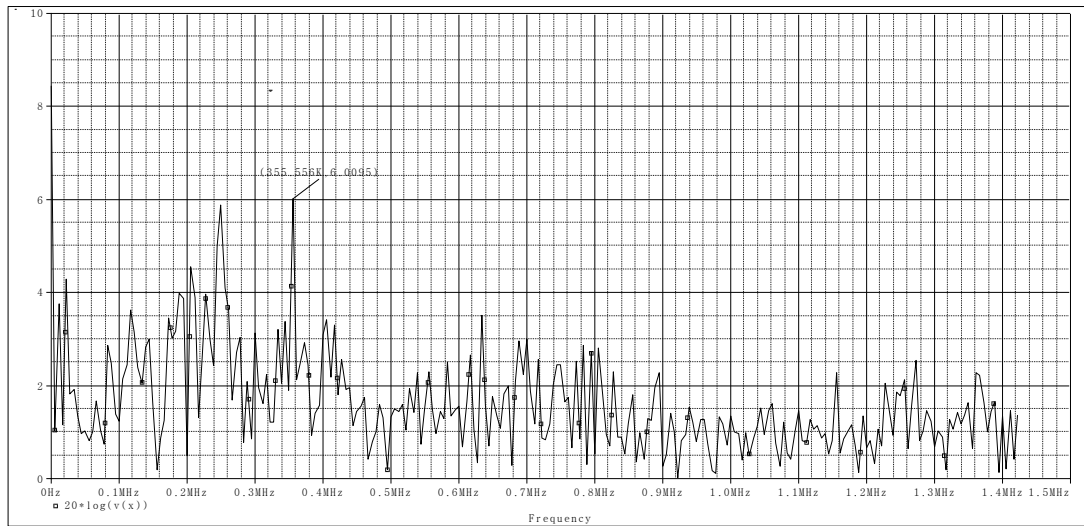
Hoover, Sprott durum B, Sprott durum G, Sprott durum H ve Yayınımsız Lorenz sistemlerine ilişkin farklı işlevsel elemanlar kullanılarak devre gerçeklemelerinin yapılabildiği gösterilmiş olup çalışma performanslarının incelenmesi amacıyla yüksek frekanslardaki kaotik devre çalışmaları incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda OTRA ile tasarlanan devrelerin OP-AMP a göre daha yüksek frekansta çalışabildiği görülmüştür. CCII ve CCIII işlevsel elemanları kullanılarak yapılan tasarımlarda aynı performans gözlemlenememiştir.

Devrelerin karşılaştırılması amacıyla Sprott durum B sistemi kullanılmıştır. Tüm deneysel çalışmalarda dirençlerin parametre değerleri sabit alınmıştır: Farklı frekans

sahalarında özellikle de yüksek frekanslarda devrenin çalışmasını göstermek için devredeki kapasitör parametreleri değiştirilmiştir. OP-AMP ile yapılan tasarımda kaotik spektrumun temel frekans bileşeni 177 kHz civarındayken, OTRA ile yapılan tasarımda temel frekans bileşeni 355 KHz e kadar yüksek frekansta çalışabildiği görülmüştür. Böylece OTRA ile kurulan kaotik devrelerin OP-AMP a göre daha yüksek frekansta çalışabildiği görülmüştür. Şekil 4.6. ve şekil 4.7. de kaotik devre spektrumları gösterilmiştir.



**Şekil 4. 6.** OP-AMP ile kurulan devrenin kaotik spektrumu.



**Şekil 4. 7.** OTRA ile kurulan devrenin kaotik spektrumu

#### 4.1.1. Sprott durum A (hoover) sistemi

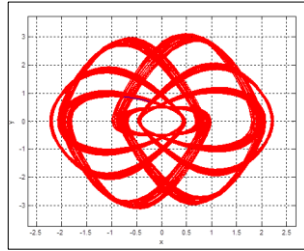
İşlevsel elemanlar kullanılarak Sprott Sistemleri A durumuna ilişkin kaotik devreler Orcad Pspice programında kurularak kaotik devre gerçeklemeleri sağlanmıştır.

$$\dot{x}=y$$

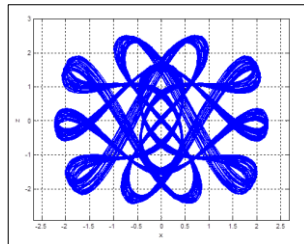
$$\dot{y}=-x+yz \quad (\text{E.4.1})$$

$$\dot{z}=1-y^2$$

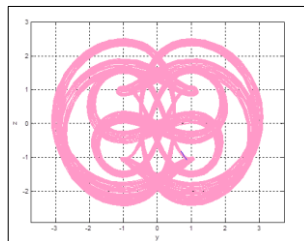
“A” durumu için başlangıç şartları  $X_0= 0$ ,  $Y_0= 0.5$ ,  $Z_0= 0$  olarak alınmıştır. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 de Matlab’da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiş kaotik çekiciler gösterilmiş olup Orcad devre simülasyon sonuçlarının bu sonuçlarla aynı olması beklenecek sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 4. 8. Sprott durum A x-y kaotik çekici.

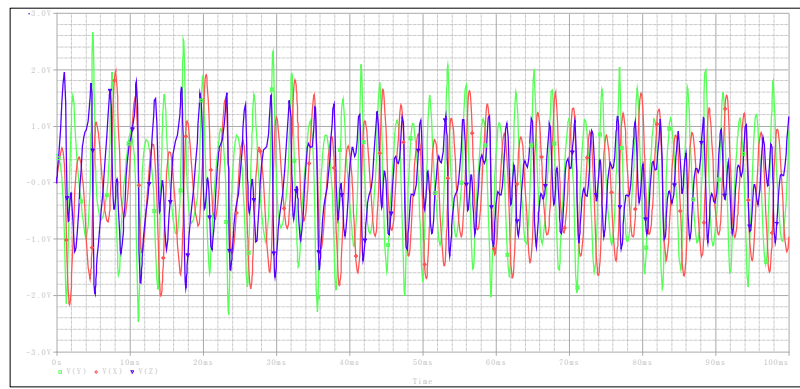


Şekil 4. 9. Sprott durum A x-z kaotik çekici.

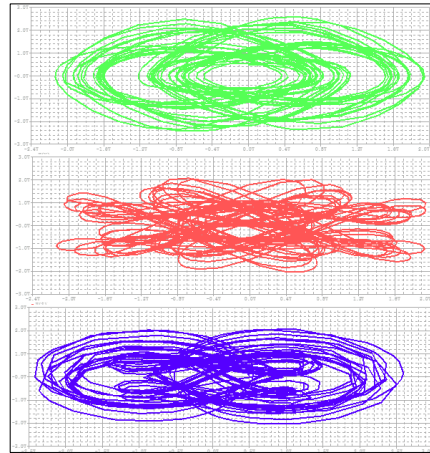


Şekil 4. 10. Sprott durum A y-z kaotik çekici.

Sprott A kaotik sistemi OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.1 'de gösterilmiştir. OTRA işlevsel elemanın band genişliğinden bağımsız olması, giriş ve çıkış uçlarındaki düşük empedans göstermeleri nedeniyle, yüksek frekansın kullanıldığı haberleşme devrelerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. OTRA ile yapılan tasarımların daha yüksek frekanslarda çalışabildiği görülmüştür. CCII ve CCIII ile tasarlanan devrelerde yüksek frekanslarda OP-AMP a göre daha iyi performans sağlanamamıştır. Farklı işlevsel elemanlar kullanarak devrenin gerçekleştirilebileceği gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

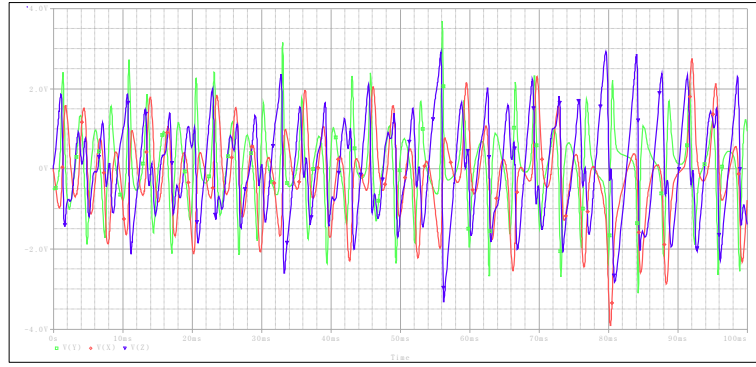


**Şekil 4. 11.** OP-AMP ile kurulmuş sprott durum A pspice simülasyon sonuçları.

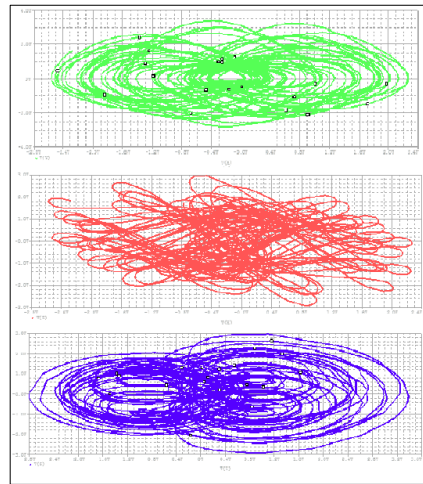


**Şekil 4. 12.** OP-AMP ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri.

OTRA kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.1.2'de gösterilmiştir.

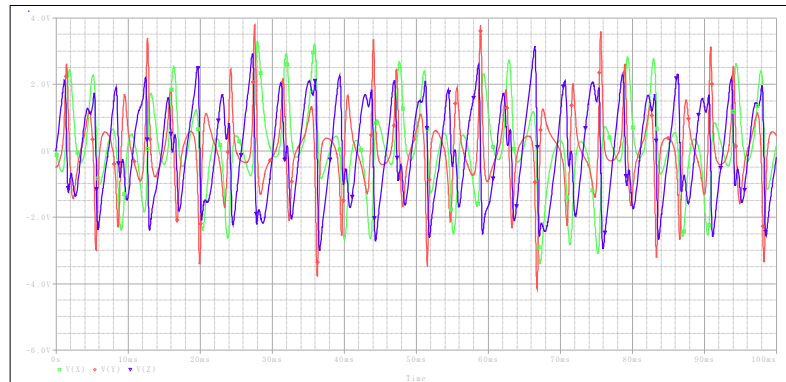


Şekil 4. 13. OTRA ile kurulmuş sprott durum A pspace simülasyon sonuçları.

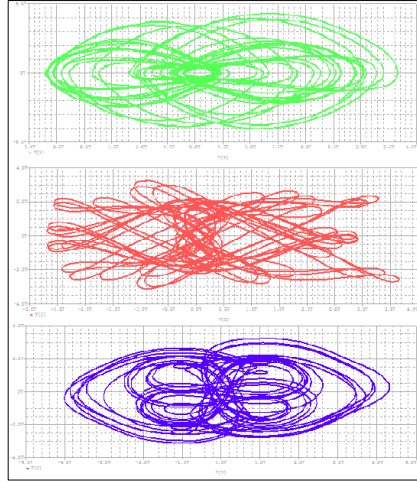


Şekil 4. 14. OTRA ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri.

CCII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.1.3'de gösterilmiştir.

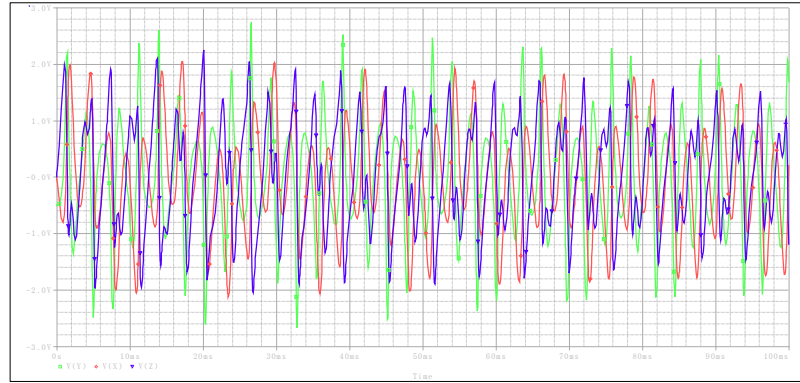


Şekil 4. 15. CCII ile kurulmuş sprott durum A pspace simülasyon sonuçları.

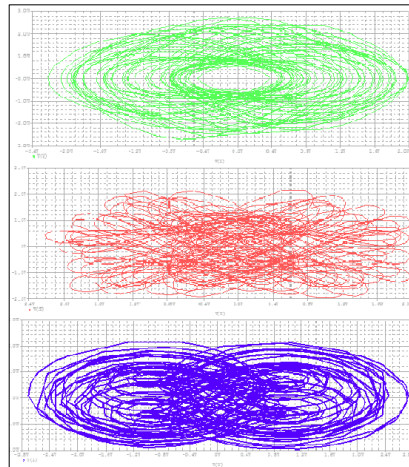


Şekil 4. 16. CCII ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri.

CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 17. CCIII ile kurulmuş sprott durum A pspice simülasyon sonuçları.



Şekil 4. 18. CCIII ile kurulmuş sprott durum A kaotik çekicileri.

#### 4.1.2. Sprott durum B sistemi

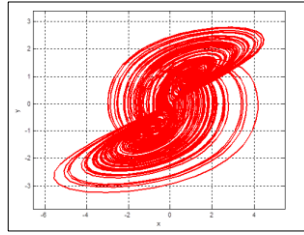
İşlevsel elemanlar kullanılarak Sprott Sistemleri B durumuna ilişkin kaotik devreler Orcad Pspice programında kurularak kaotik devre gerçeklemeleri sağlanmıştır.

$$\dot{x}=yz$$

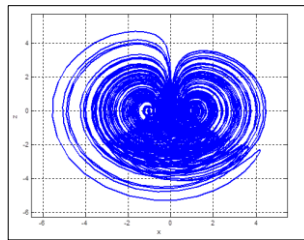
$$\dot{y}=x-y \tag{E.4.2}$$

$$\dot{z}=1-xy$$

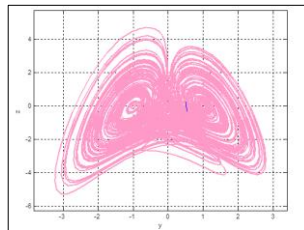
“B” durumu için ilk şartlar  $X_0= 0.05$ ,  $Y_0= 0.05$ ,  $Z_0= 0.05$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.17, Şekil 4.18. ve Şekil 4.19 da Matlab’da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiş kaotik çekiciler gösterilmiş olup Orcad devre simülasyon sonuçlarının bu sonuçlarla aynı olması beklenerek sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 4. 19. Sprott durum B x-y kaotik çekici.

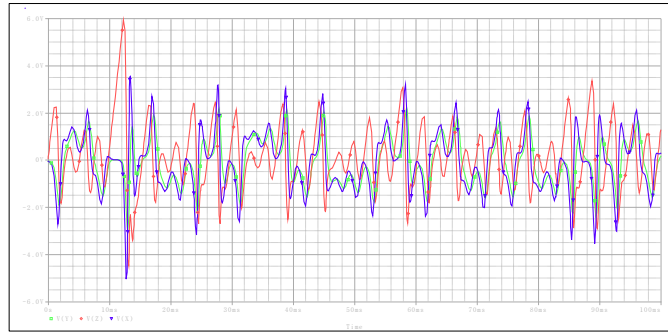


Şekil 4. 20. Sprott durum B x-z kaotik çekici.

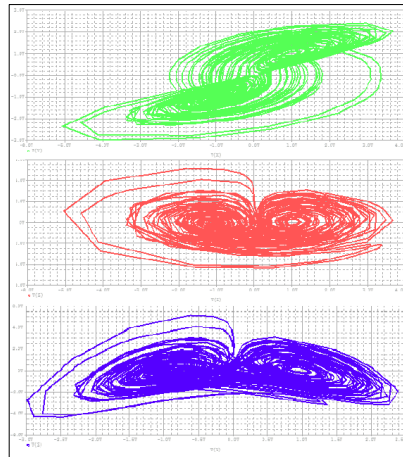


Şekil 4. 21. Sprott durum B y-z kaotik çekici.

Sprot B kaotik sistemi OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.2’de gösterilmiştir. OTRA işlevsel elemanın band genişliğinden bağımsız olması, giriş ve çıkış uçlarındaki düşük empedans göstermeleri nedeniyle, yüksek frekansın kullanıldığı haberleşme devrelerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. OTRA ile yapılan tasarımların daha yüksek frekanslarda çalışabildiği görülmüştür. CCII ve CCIII ile tasarlanan devrelerde yüksek frekanslarda OP-AMP a göre daha iyi performans sağlanamamıştır. Farklı işlevsel elemanlar kullanarak devrenin gerçekleştirilebileceği gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

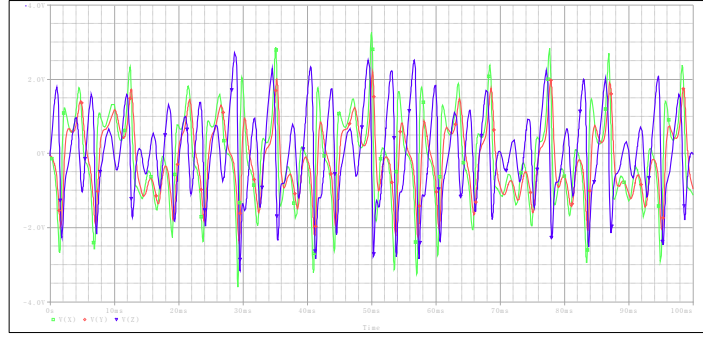


Şekil 4. 22. OP-AMP ile kurulmuş sprot durum B pspice simülasyon sonuçları.

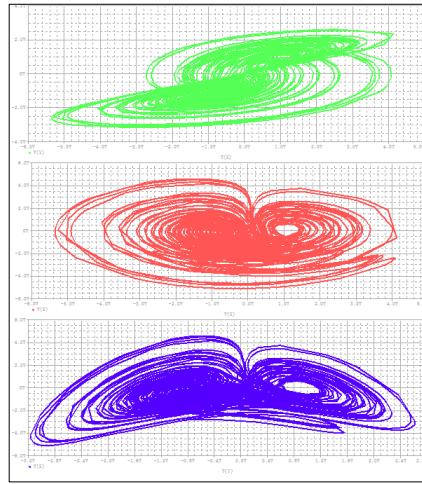


Şekil 4. 23. OP-AMP ile kurulmuş sprot durum B kaotik çekicileri.

OTRA kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.2.2’de gösterilmiştir.

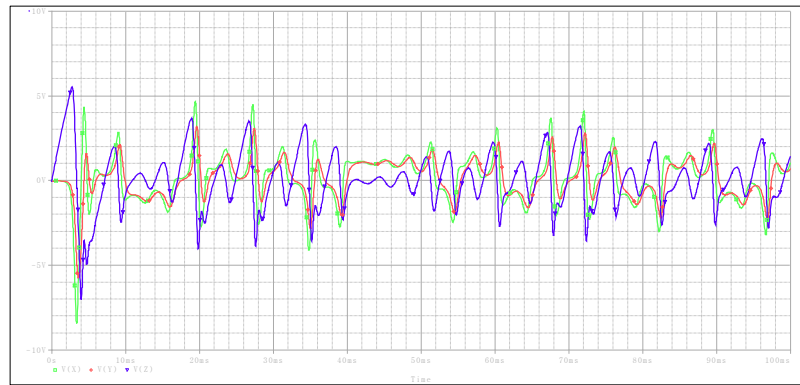


**Şekil 4. 24.** OTRA ile kurulmuş sprott durum B pspice simülasyon sonuçları.

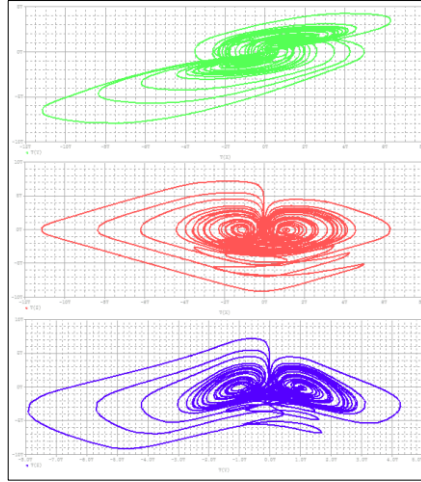


**Şekil 4. 25.** OTRA ile kurulmuş sprott durum B kaotik çekicileri.

CCII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.2.3'de bölümünde gösterilmiştir.

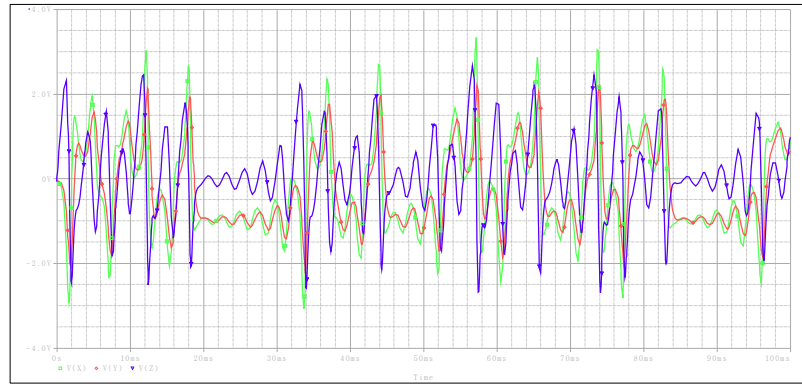


**Şekil 4. 26.** CCII ile kurulmuş sprott durum B pspice simülasyon sonuçları.

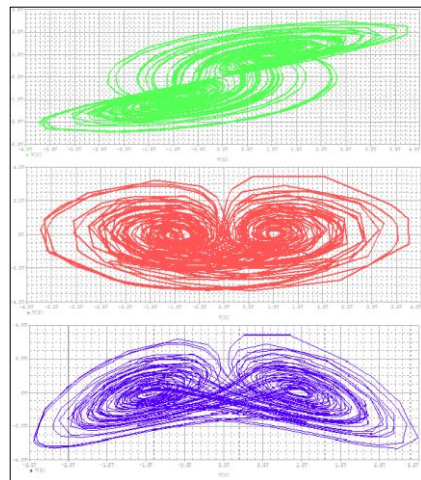


Şekil 4. 27. CCII ile kurulmuş sprott durum B kaotik çekicileri.

CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 28. CCIII İle kurulmuş sprott durum B pspice simülasyon sonuçları.



Şekil 4. 29. CCIII ile kurulmuş sprott durum B kaotik çekicileri.

### 4.1.3. Sprott durum G sistemi

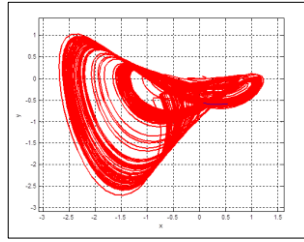
İşlevsel elemanlar kullanılarak Sprott Sistemleri G durumuna ilişkin kaotik devreler Orcad Pspice programında kurularak kaotik devre gerçeklemeleri sağlanmıştır.

$$\dot{x}=0.4x+z$$

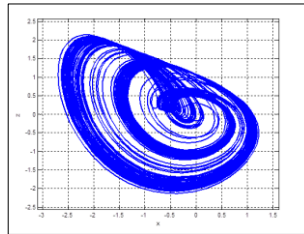
$$\dot{y}=xz-y \quad (E.4.3)$$

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

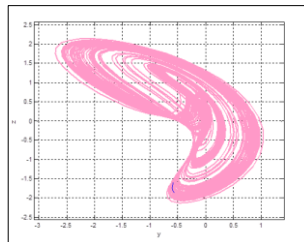
”G” durumu için ilk şartlar  $X_0= 0.05$ ,  $Y_0= 0.05$ ,  $Z_0= 0.05$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir. Şeki 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 de Matlab’da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiş kaotik çekiciler gösterilmiş olup Orcad devre simülasyon sonuçlarının bu sonuçlarla aynı olması beklenerek sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 4. 30. Sprott durum G x-y kaotik çekici.

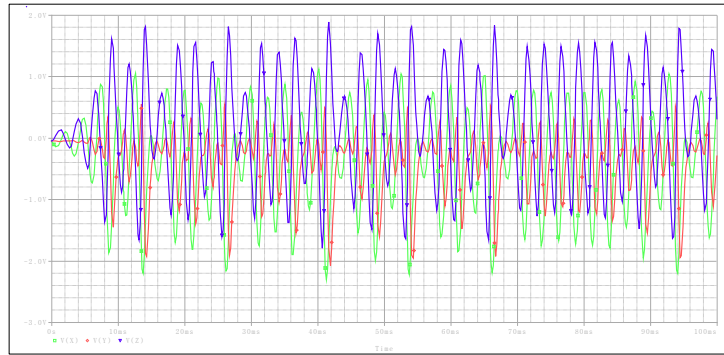


Şekil 4. 31. Sprott durum G x-z kaotik çekici.

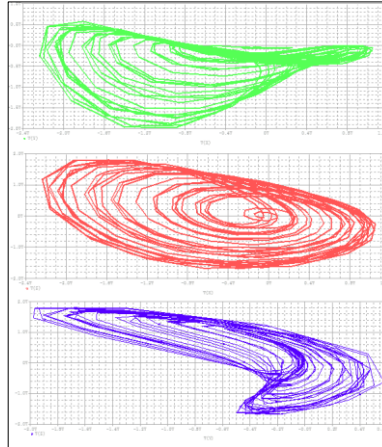


Şekil 4. 32. Sprott durum G y-z kaotik çekici.

Sprot G kaotik sistemi OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.3’de gösterilmiştir. OTRA işlevsel elemanının band genişliğinden bağımsız olması, giriş ve çıkış uçlarındaki düşük empedans göstermeleri nedeniyle, yüksek frekansın kullanıldığı haberleşme devrelerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. OTRA ile yapılan tasarımların daha yüksek frekanslarda çalışabildiği görülmüştür. CCII ve CCIII ile tasarlanan devrelerde yüksek frekanslarda OP-AMP a göre daha iyi performans sağlanamamıştır. Farklı işlevsel elemanlar kullanarak devrenin gerçekleştirilebileceği gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

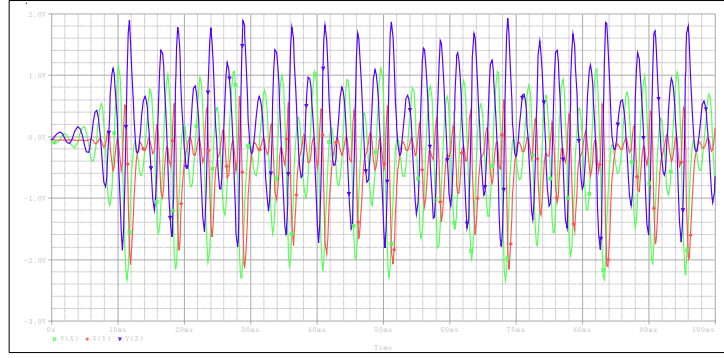


Şekil 4. 33. OP-AMP ile kurulmuş sprot durum G pspice simülasyon sonuçları.

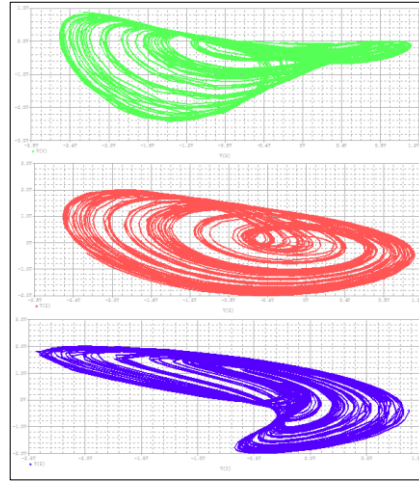


Şekil 4. 34. OP-AMP ile kurulmuş sprot durum G kaotik çekicileri.

OTRA kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 35. OTRA ile kurulmuş sprott durum G pspice simülasyon sonuçları.

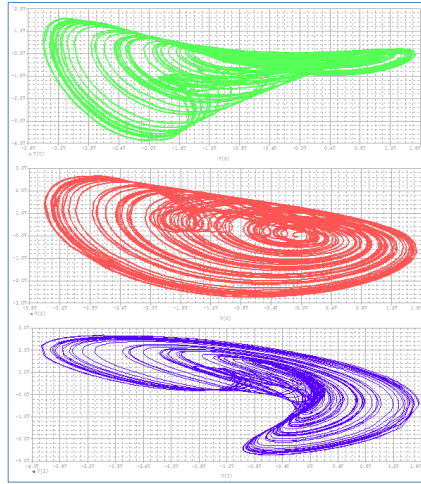


Şekil 4. 36. OTRA ile kurulmuş sprott durum G kaotik çekicileri.

CCII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.3.3'de gösterilmiştir.

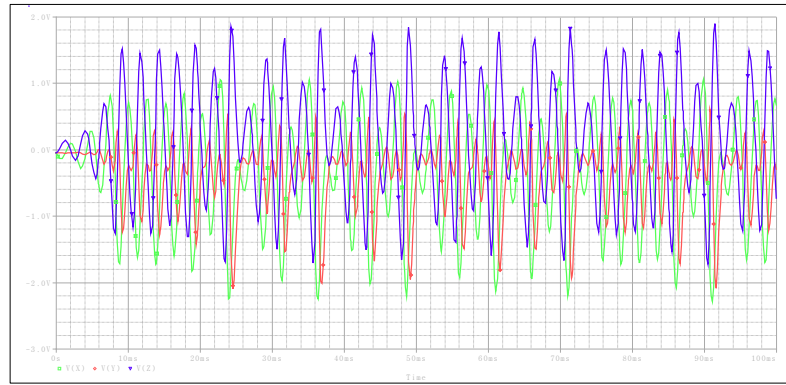


Şekil 4. 37. CCII ile kurulmuş sprott durum G pspice simülasyon sonuçları.

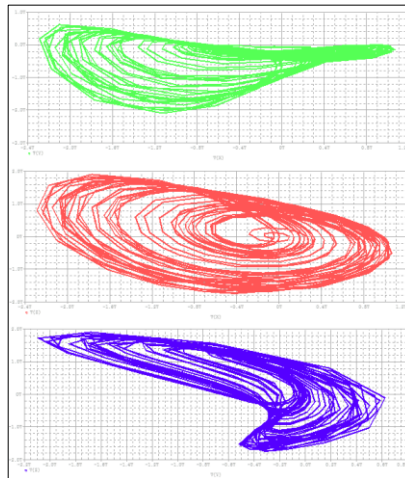


Şekil 4. 38. CCII ile kurulmuş sprott durum G kaotik çekicileri.

CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 39. CCIII ile kurulmuş sprott durum G psipice simülasyon sonuçları.



Şekil 4. 40. CCIII ile kurulmuş sprott durum G kaotik çekicileri.

#### 4.1.4. Sprott durum H sistemi

İşlevsel elemanlar kullanılarak Sprott Sistemleri H durumuna ilişkin kaotik devreler Orcad Pspice programında kurularak kaotik devre gerçeklemeleri sağlanmıştır.

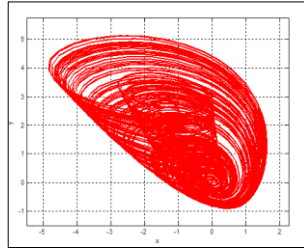
$$\dot{x} = -y + z^2$$

$$\dot{y} = x + 0.5y$$

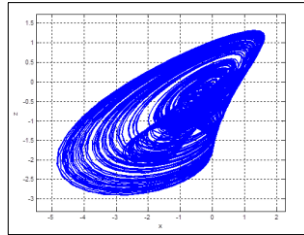
$$\dot{z} = x - z$$

(E.4.4)

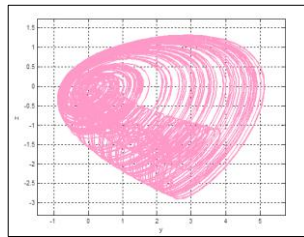
”H” durumu için ilk şartlar  $X_0 = 0.05$ ,  $Y_0 = 0.05$ ,  $Z_0 = 0.05$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.47, Şekil 4.48 ve Şekil 4.49 da Matlab’da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiş kaotik çekiciler gösterilmiş olup Orcad devre simülasyon sonuçlarınının bu sonuçlarla aynı olması beklenerek sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 4. 41. Sprott durum H x-y kaotik çekici.

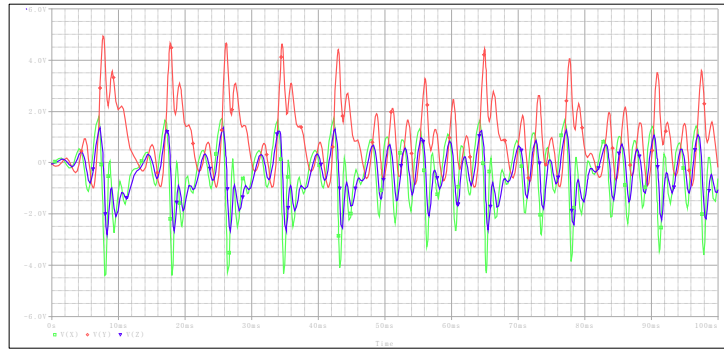


Şekil 4. 42. Sprott durum H x-z kaotik çekici.

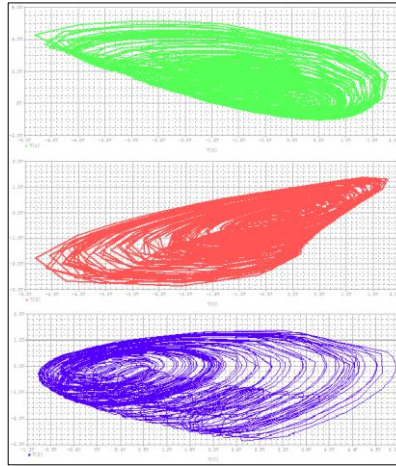


Şekil 4. 43. Sprott durum H y-z kaotik çekici.

Sprot H kaotik sistemi OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.4'de gösterilmiştir. OTRA işlevsel elemanın band genişliğinden bağımsız olması, giriş ve çıkış uçlarındaki düşük empedans göstermeleri nedeniyle, yüksek frekansın kullanıldığı haberleşme devrelerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. OTRA ile yapılan tasarımların daha yüksek frekanslarda çalışabildiği görülmüştür. CCII ve CCIII ile tasarlanan devrelerde yüksek frekanslarda OP-AMP a göre daha iyi performans sağlanamamıştır. Farklı işlevsel elemanlar kullanarak devrenin gerçekleştirilebileceği gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

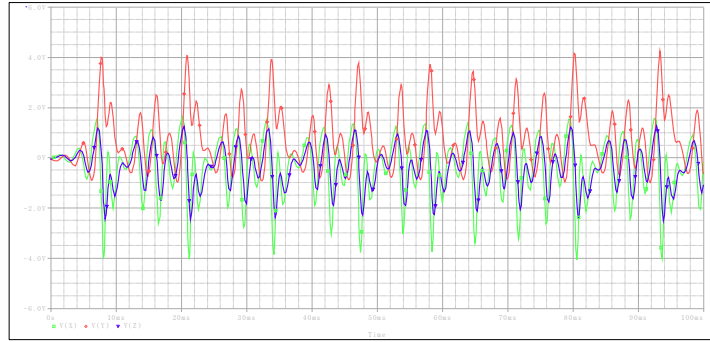


Şekil 4. 44. OP-AMP ile kurulmuş sprot durum H pspice simülasyon sonuçları.

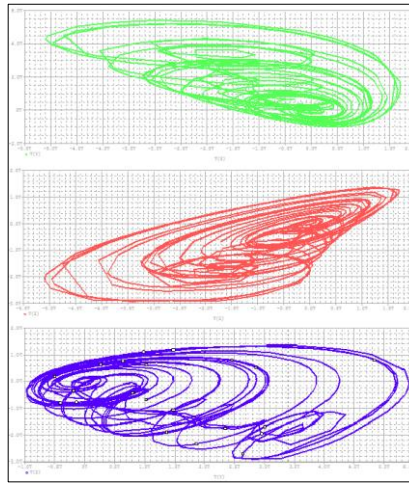


Şekil 4. 45. OP-AMP ile kurulmuş sprot durum H kaotik çekicileri.

OTRA kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 46. OTRA ile kurulmuş sprott durum H pspice simülasyon sonuçları.

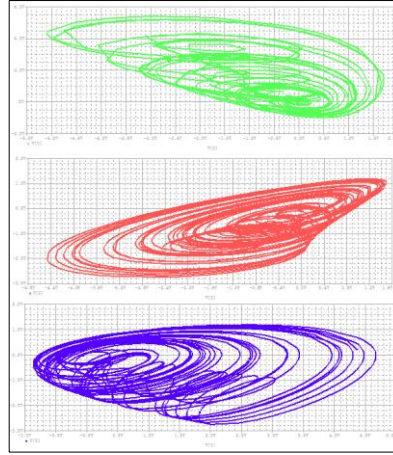


Şekil 4. 47. OTRA ile kurulmuş sprott durum H kaotik çekicileri.

CCII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.4.3'de gösterilmiştir.

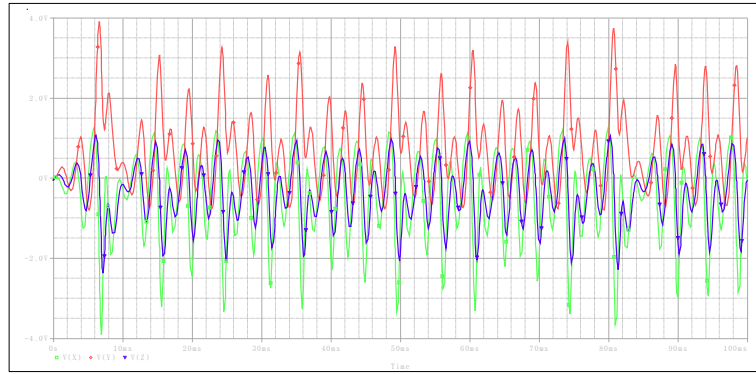


Şekil 4. 48. CCII ile kurulmuş sprott durum H pspice simülasyon sonuçları.

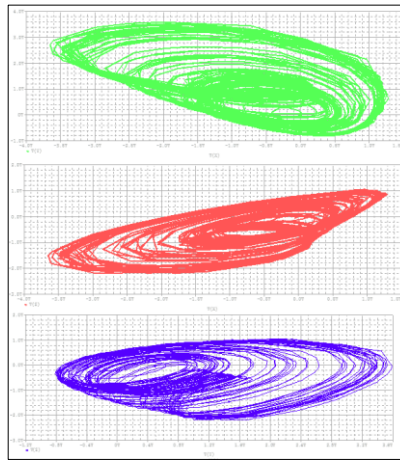


**Şekil 4. 49.** CCII ile kurulmuş sprott durum H kaotik çekicileri.

CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.4.4' de bölümünde gösterilmiştir.



**Şekil 4. 50.** CCIII ile kurulmuş sprott durum H pspice simülasyon sonuçları.



**Şekil 4. 51.** CCIII ile kurulmuş sprott durum H kaotik çekicileri.

#### 4.1.5. Yayınımsız lorenz sistemi

İşlevsel elemanlar kullanılarak Yayınımsız Lorenz sistemine ilişkin kaotik devreler Orcad Pspice programında kurularak kaotik devre gerçeklemeleri sağlanmıştır.

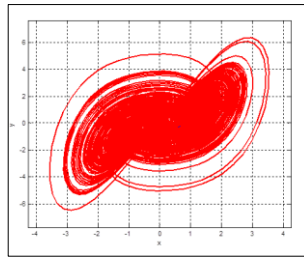
$$\dot{x}=y-x$$

$$\dot{y}=xz$$

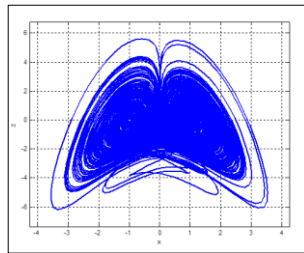
$$\dot{z}=-xy+1$$

(E.4.5)

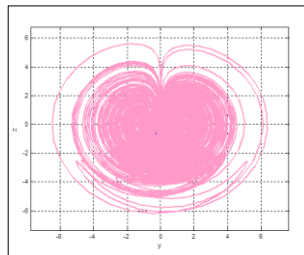
Denklemdaki  $x,y,z$  durum değişkenleri olup başlangıç şartları  $X_0= 1$  ,  $Y_0= -1$  ,  $Z_0= 0.01$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.62 , Şekil 4.63 ve Şekil 4.64 de Matlab'da, odesolve.m programı yardımı ile elde edilmiş kaotik çekiciler gösterilmiş olup Orcad devre simülasyon sonuçlarının bu sonuçlarla aynı olması beklenecek sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 4. 52. Yayınımsız lorenz x-y kaotik çekici.

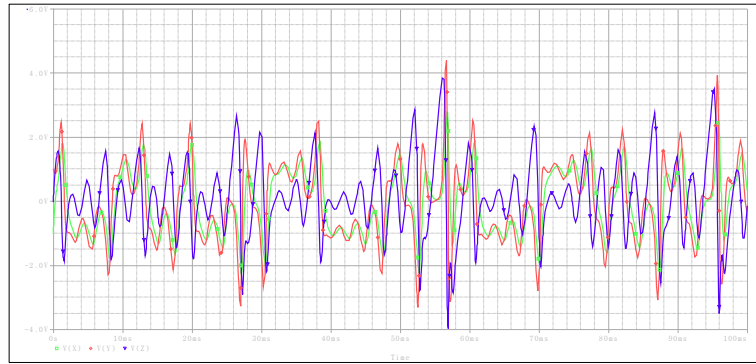


Şekil 4. 53. Yayınımsız lorenz x-z kaotik çekici.

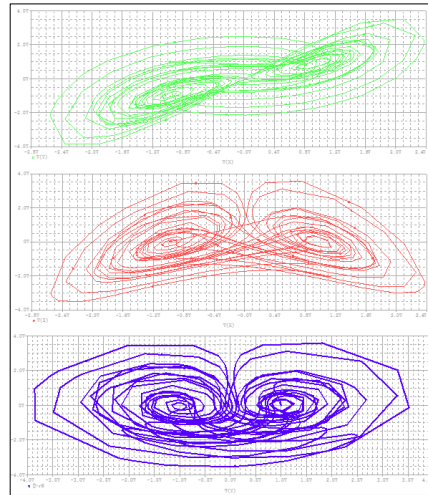


Şekil 4. 54. Yayınımsız lorenz y-z kaotik çekici.

Yayımsız Lorenz kaotik sistemi OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.5’de gösterilmiştir. OTRA işlevsel elemanının band genişliğinden bağımsız olması, giriş ve çıkış uçlarındaki düşük empedans göstermeleri nedeniyle, yüksek frekansın kullanıldığı haberleşme devrelerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. OTRA ile yapılan tasarımların daha yüksek frekanslarda çalışabildiği görülmüştür. CCII ve CCIII ile tasarlanan devrelerde yüksek frekanslarda OP-AMP a göre daha iyi performans sağlanamamıştır. Farklı işlevsel elemanlar kullanarak devrenin gerçekleştirilebileceği gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

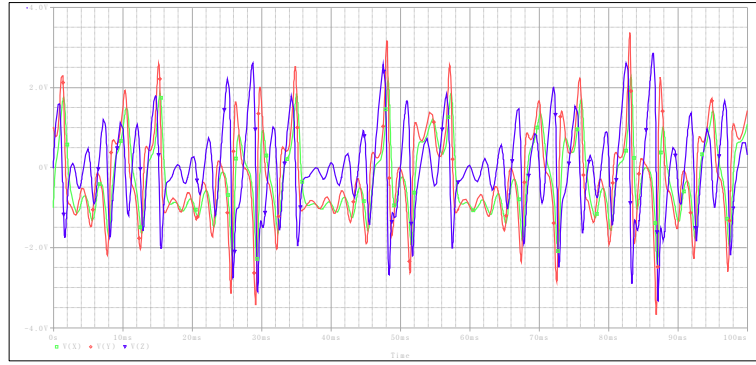


**Şekil 4. 55.** OP-AMP ile kurulmuş yayımsız lorenz psipice simülasyon sonuçları.

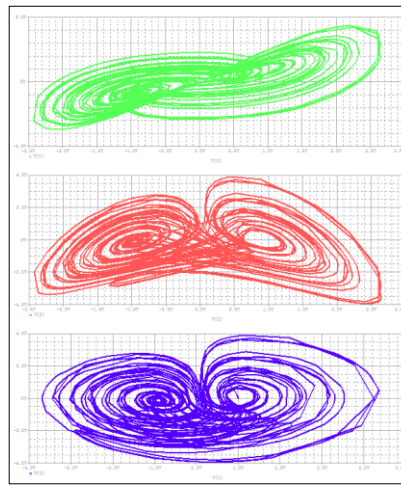


**Şekil 4. 56.** OP-AMP ile kurulmuş yayımsız lorenz kaotik çekicileri.

OTRA kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.5.2’de bölümünde gösterilmiştir.

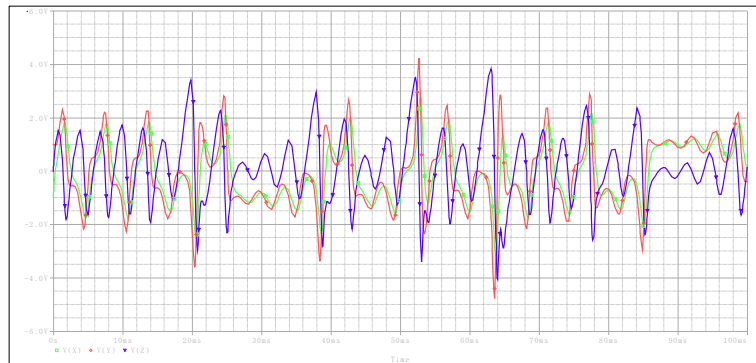


Şekil 4. 57. OTRA ile kurulmuş yayınımsız lorenz pspice simülasyon sonuçları.

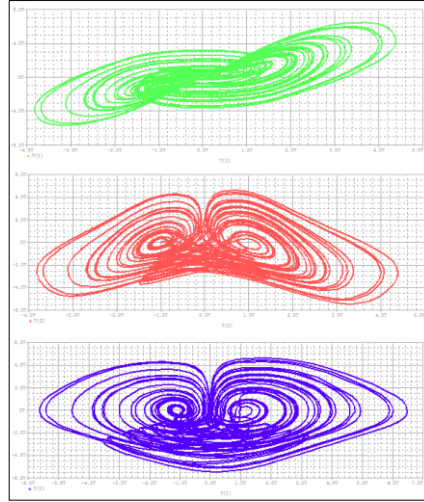


Şekil 4. 58. OTRA ile kurulmuş yayınımsız lorenz kaotik çekicileri.

CCII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.5.3'de gösterilmiştir.

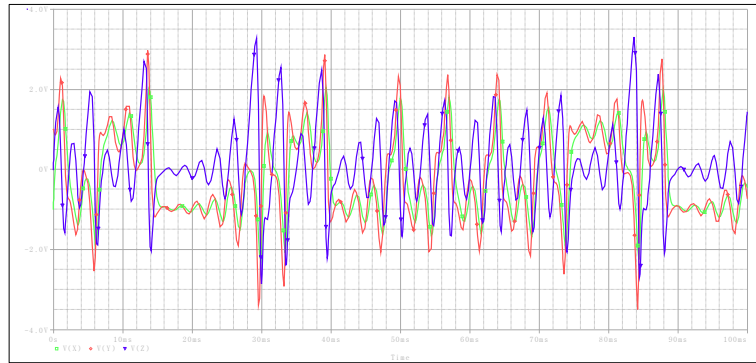


Şekil 4. 59. CCII ile kurulmuş yayınımsız lorenz pspice simülasyon sonuçları.

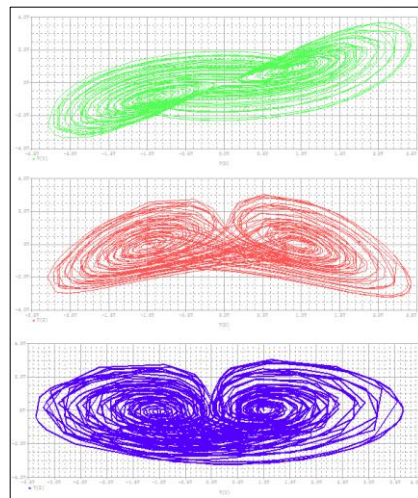


Şekil 4. 60. CCII ile kurulmuş yayınımsız lorenz kaotik çekicileri.

CCIII kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hazırlanan simülasyon devreleri bölüm 6.1.5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 61. CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz pspice simülasyon sonuçları.



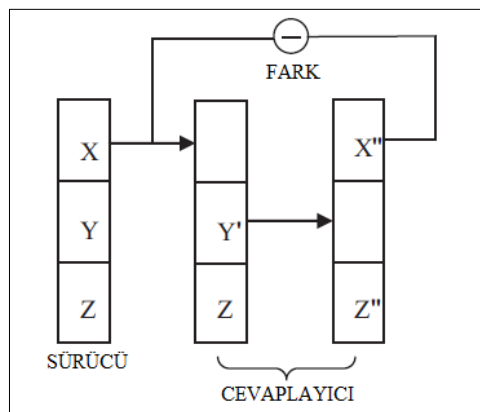
Şekil 4. 62. CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz kaotik çekicileri.

## 4.2. Kaotik Devrelerin Senkronizasyonu

Kaotik sistemlerin yaygın spektruma sahip olmaları kaotik işaretlerin haberleşmeyi güvenli ve gürültüye bağışık kılacağı fikrini oluşturmuştur. Güvenli haberleşmede kaotik devrelerin kullanılabilmesi için kaotik sistemlerin aynı anda aynı davranışı sergileyebilmeleri gerekmektedir. Kaotik senkronizasyon, kaotik bir sistemi başka bir kaotik sistemle aynı davranışları göstermeye zorlamaktır. Yaygın spektruma sahip olan kaotik işaretlerin güvenli haberleşmede kullanılabileceği fikriyle birlikte gönderilen bilginin alıcıda tekrar çözülebilmesi için senkronizasyon kavramı ortaya çıkmıştır.

İki kaotik sistemin senkron çalışabilmesi için hem birebir aynı olması hem de aynı başlangıç şartlarının uygulanması gerekir. Ancak pratikte aynı başlangıç şartlarını uygulamak mümkün olmadığından çok kısa bir süre sonra birbirlerinden ayrıldıkları görülür. Kaotik işaretlerin özelliklerinden biri olan başlangıç noktasına duyarlılık, alıcı açısından problem olacağından alıcı ve vericiyi bir birine senkronize edecek sistemler önerilmiştir.

Özdeş yapıdaki kaotik sistemleri senkron çalıştırmak için kullanılan farklı metotlar vardır. Bu tezde PC yöntemi kullanılarak kaotik sistemlerin senkronizasyonu sağlanacaktır. Kaotik sistem sürücü ve cevaplayıcı olarak iki ayrı kısma ayrılarak cevaplayıcı kısımda sürücü kısmın aynısı oluşturulup sürücü kısımdaki bir durum değişken ile cevaplayıcı kısım sürüldüğünde kaotik senkronizasyon sağlanabilmektedir.



Şekil 4. 63. PC senkronizasyonunun blok diagramı (Pehlivan vd. , 2007).

#### 4.2.1. Sprottt durum A senkronizasyon devreleri

İşlevsel elemanlar kullanılarak (OP-AMP, OTRA, CCII, CCIII) Sprottt Sistemleri A durumuna ilişkin Orcad Pspice programında PC yöntemi ile senkronizasyon devreleri tasarlanarak devre sonuçları değerlendirilmiştir.

$$\dot{x}=y$$

$$\dot{y}=-x+yz$$

(E.4.6)

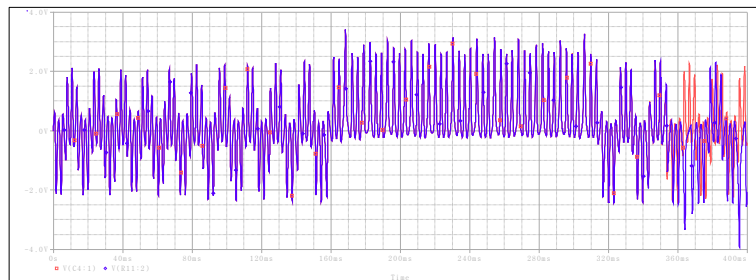
$$\dot{z}=1-y^2$$

“A” durumu için başlangıç şartları  $X_0=0$ ,  $Y_0=0.5$ ,  $Z_0=0$  olarak alınmıştır.

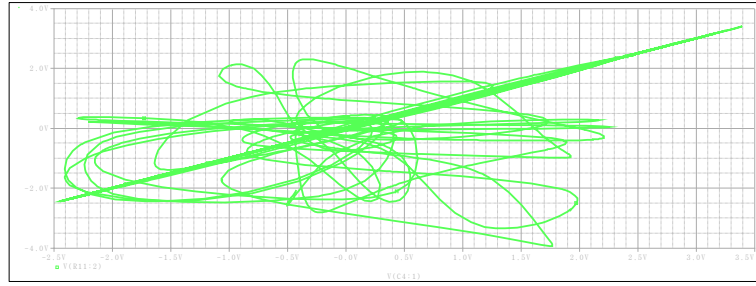
##### 4.2.1.1. OP-AMP ile kurulmuş senkronizasyon devreleri

Hoover(Sprottt94A) sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon öncesi ve senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OP-AMP kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.1.2’de gösterilmiştir.

Senkronizasyon öncesinde birebir aynı iki kaotik devre çalıştırılarak aynı durum değişkenleri incelendiğinde belirli bir süreden sonra işaretlerin birbirinden farklılaştığı görülmüştür. Senkronizasyon öncesi X ve Xc sinyallerinin zamana göre değişimi şekil 4.58 ve X sinyalinin Xc ye göre değişimi şekil 4.59. da gösterilmiştir.

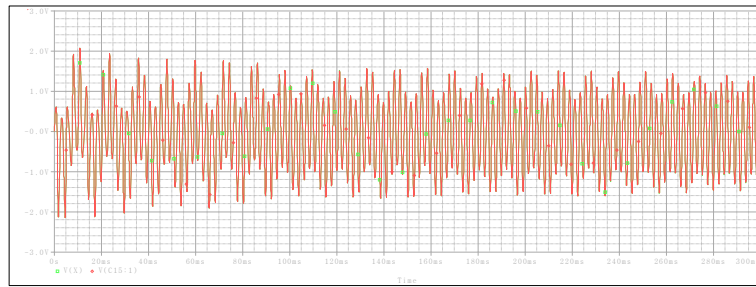


Şekil 4. 64. Hoover sistemi senkronizasyon öncesi X ve Xc zamana göre değişimi.

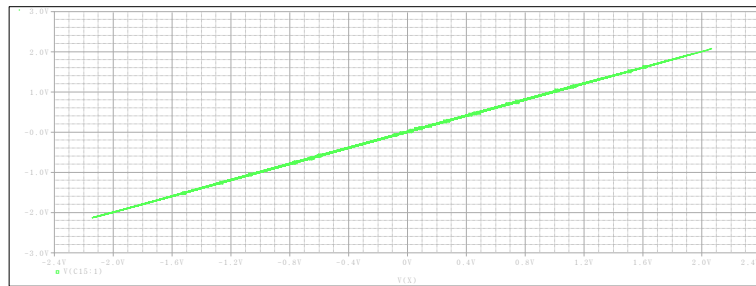


**Şekil 4. 65.** Hoover sistemi senkronizasyon öncesi X ve Xc değişimi.

PC yöntemi ile senkronizasyon devresi bölüm 6.2.1.2’de gösterilmiş olup devre sonuçları Şekil 4.60 ve 4.61. de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda kaotik devrelerin haberleşmede kullanılmasına olanak sağlamıştır.



**Şekil 4. 66.** Hoover sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.

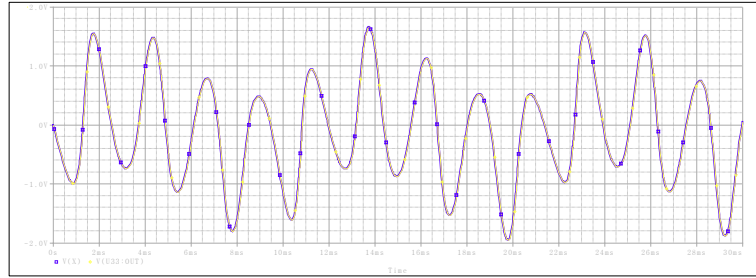


**Şekil 4. 67.** Hoover sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

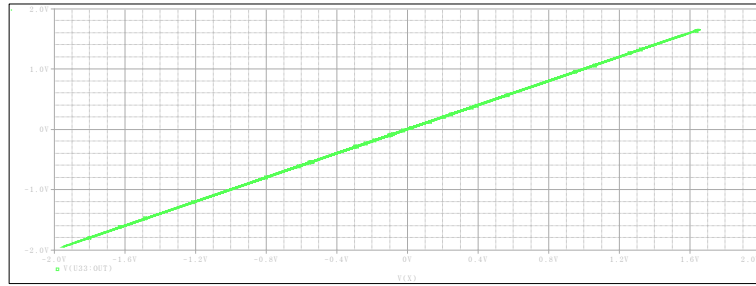
#### **4.2.1.2. OTRA ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Hoover(Sprott94A) sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OTRA kullanılarak senkronizasyon devreleri

tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.1.3’de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda OTRA işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.62. ve şekil 4.63 de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



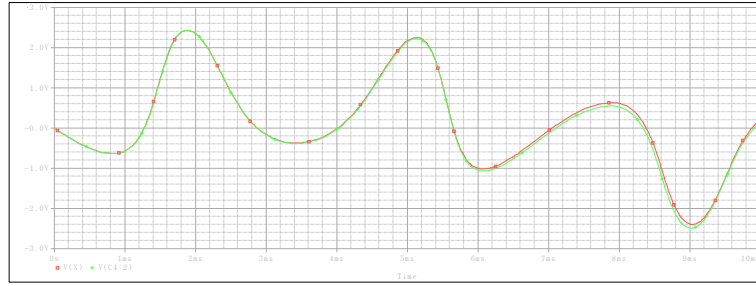
Şekil 4. 68. Hoover sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.



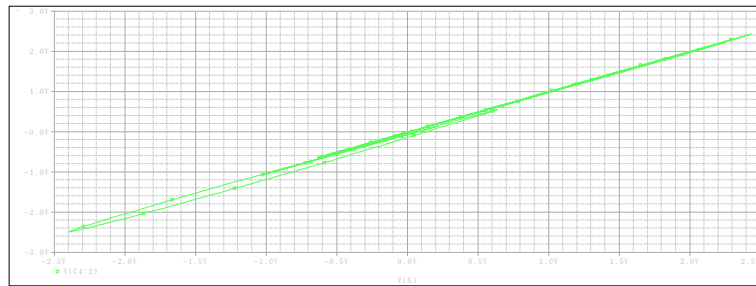
Şekil 4. 69. Hoover sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

#### **4.2.1.3. CCII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Hoover(Sprott94A) sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CCII kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.1.4’de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda CCII işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.64. ve şekil 4.65 de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



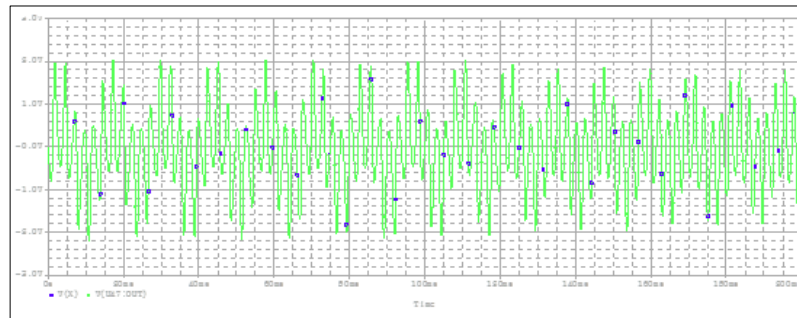
Şekil 4. 70. Hoover sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.



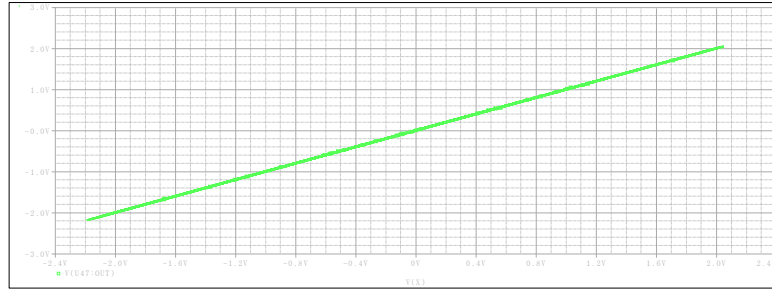
Şekil 4. 71. Hoover sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

#### **4.2.1.4. CCIII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Hoover(Sprott94A) sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CCIII kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.1.5’de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda CCIII işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.66. ve şekil 4.67. de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4. 72. Hoover sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.



Şekil 4. 73. Hoover sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

#### 4.2.2. Sprott durum B senkronizasyon devreleri

İşlevsel elemanlar kullanılarak Sprott Sistemleri B durumuna ilişkin kaotik devreler Orcad Pspice programında kurularak kaotik devre gerçeklemeleri sağlanmıştır.

$$\dot{x}=yz$$

$$\dot{y}=x-y$$

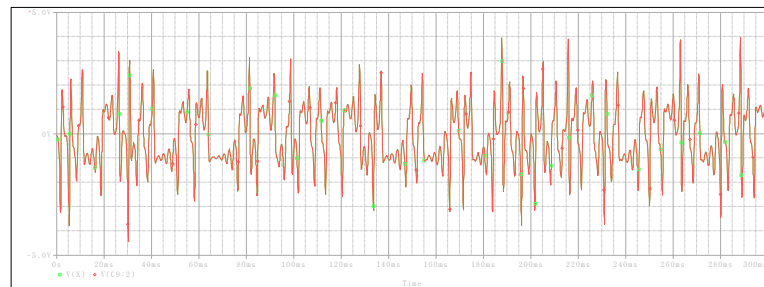
(E.4.7)

$$\dot{z}=1-xy$$

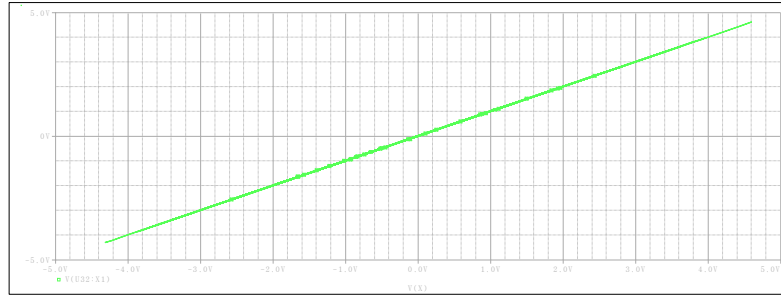
“B” durumu için ilk şartlar  $X_0= 0.05$ ,  $Y_0= 0.05$ ,  $Z_0= 0.05$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

##### 4.2.2.1. OP-AMP ile kurulmuş senkronizasyon devreleri

Sprott durum B sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OP-AMP kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.2.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.68. ve şekil 4.69. da sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



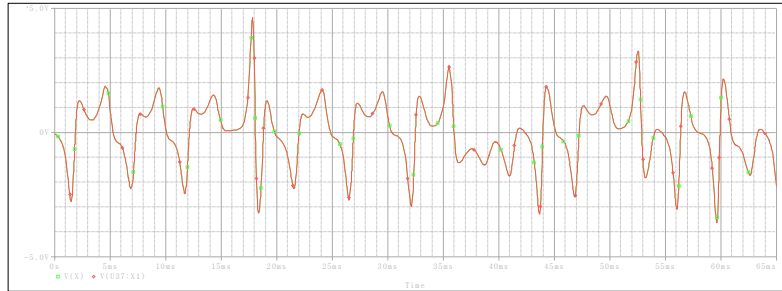
Şekil 4. 74. Sprott B sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.



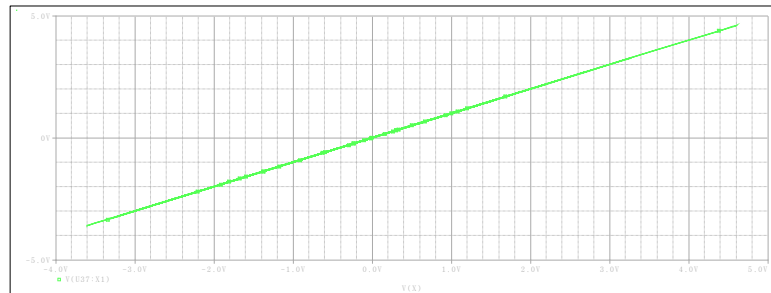
Şekil 4. 75. Sprott B sistemi OP-AMP ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

#### **4.2.2.2. OTRA ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Sprott durum B sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OTRA kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.2.2’de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda OTRA işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.70. ve şekil 4.71. de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



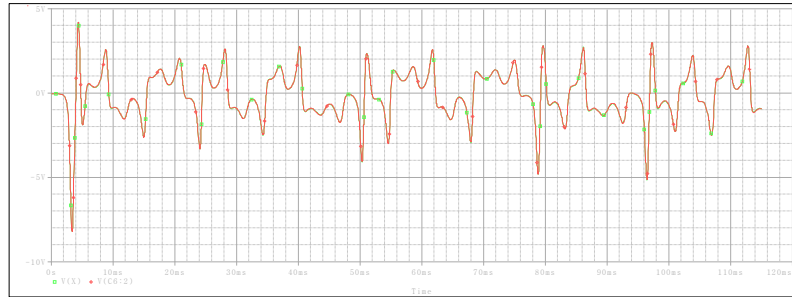
Şekil 4. 76. Sprott B sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.



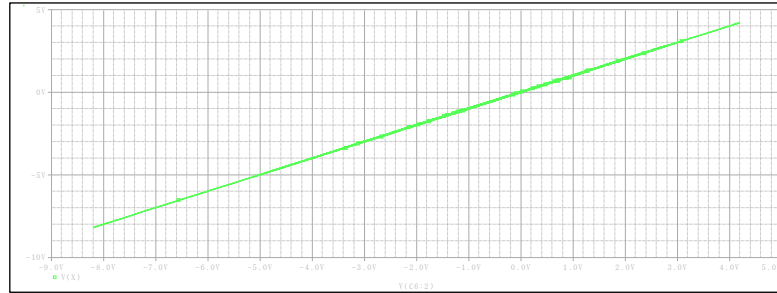
Şekil 4. 77. Sprott B sistemi OTRA ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

#### **4.2.2.3. CCII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Sprott durum B sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CCII kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.2.3'de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda CCII işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.72. ve şekil 4.73. de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4. 78. Sprott B sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.

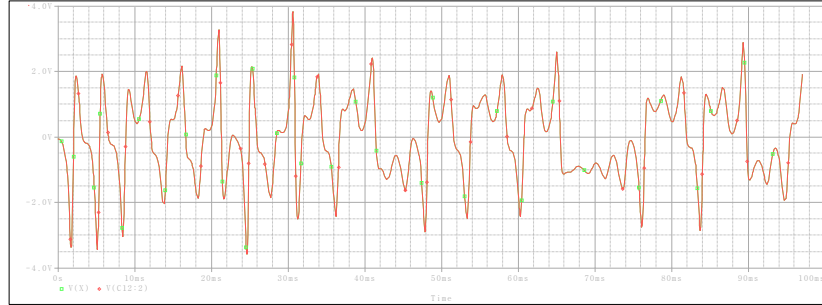


Şekil 4. 79. Sprott B sistemi CCII ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

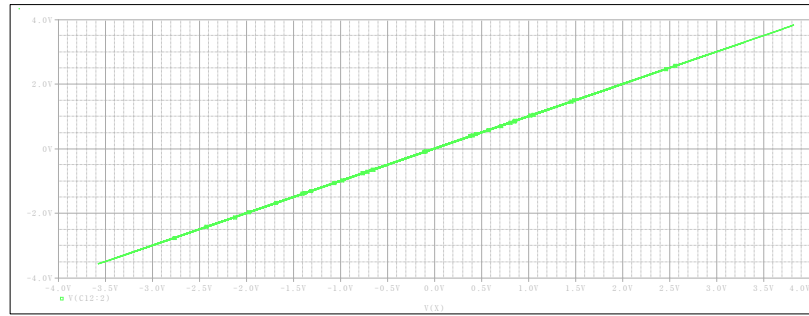
#### **4.2.2.4. CCIII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Sprott durum B sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CCIII kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.2.4'de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir.

Senkronizasyonun sağlanması sonucunda CCIII işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.74. ve şekil 4.75. de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4. 80. Sprot B sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc zamana göre değişimi.



Şekil 4. 81. Sprot B sistemi CCIII ile kurulmuş X ve Xc değişimi.

#### 4.2.3. Yayınımsız lorenz senkronizasyon devreleri

İşlevsel elemanlar kullanılarak Yayınımsız Lorenz sistemine ilişkin kaotik devreler Orcad Pspice programında kurularak kaotik devre gerçeklemeleri sağlanmıştır.

$$\dot{x}=y-x$$

$$\dot{y}=xz$$

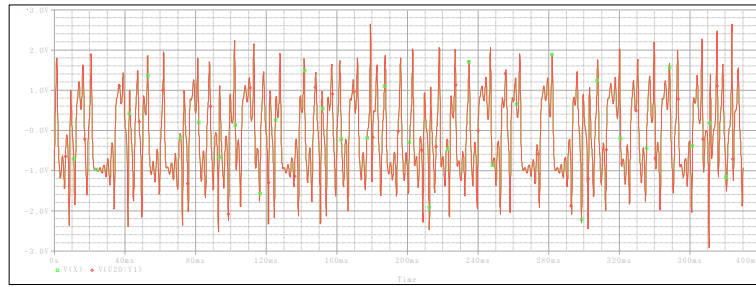
$$\dot{z}=-xy+1$$

(E.4.8)

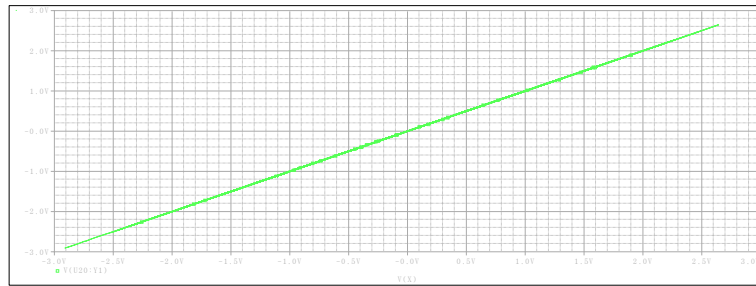
Denklemdaki x,y,z durum değişkenleri olup başlangıç şartları  $X_0= 1$  ,  $Y_0= -1$  ,  $Z_0= 0.01$  olarak düzenlendiğinde kaotik sonuçlar elde edilmiştir.

#### **4.2.3.1. OP-AMP ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Yayınımsız Lorenz sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OP-AMP kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.3.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.76. ve şekil 4.77. de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



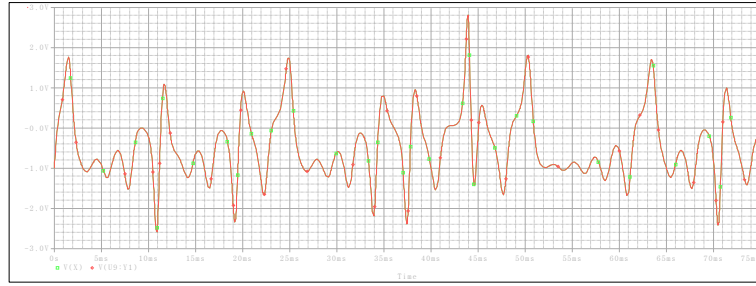
**Şekil 4. 82.** Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(OP-AMP ile).



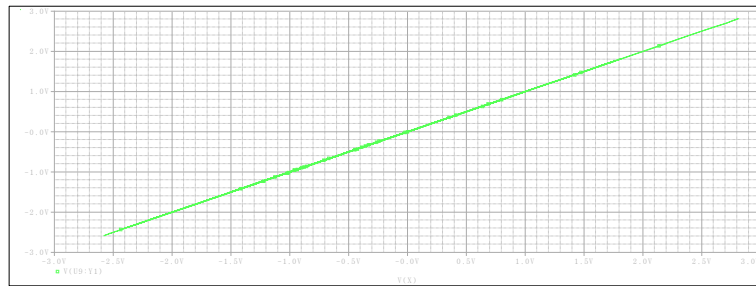
**Şekil 4. 83.** Yayınımsız Lorenz X ve Xc değişimi(OP-AMP ile).

#### **4.2.3.2. OTRA ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Yayınımsız Lorenz sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OTRA kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.3.2’de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda OTRA işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.78. ve şekil 4.79. da sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



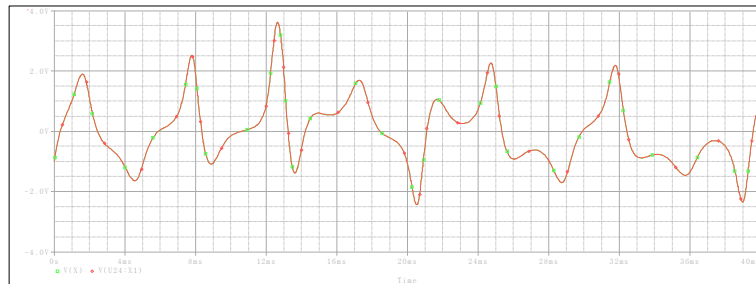
Şekil 4. 84. Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi (OTRA ile).



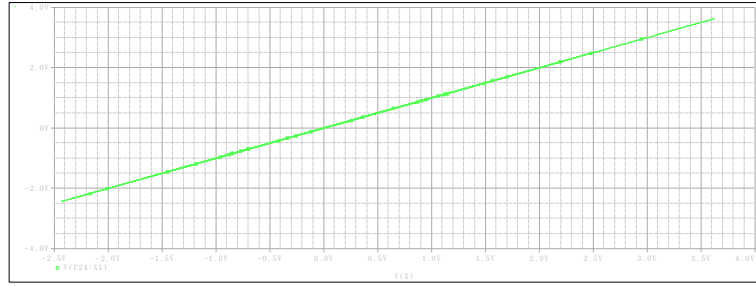
Şekil 4. 85. Yayınımsız Lorenz X ve Xc değişimi(OTRA ile).

#### **4.2.3.3. CCII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Yayınımsız Lorenz sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CCII kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.3.3'de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda CCII işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.80. ve şekil 4.81. de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



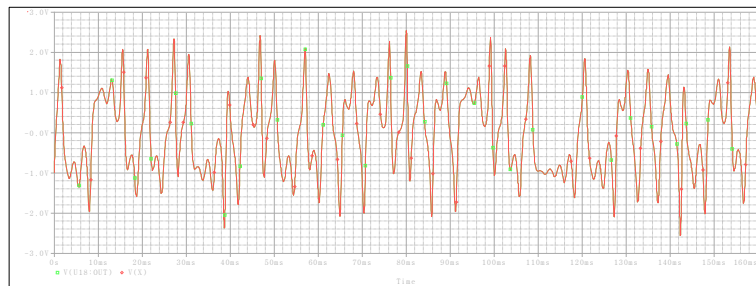
Şekil 4. 86. Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(CCII ile).



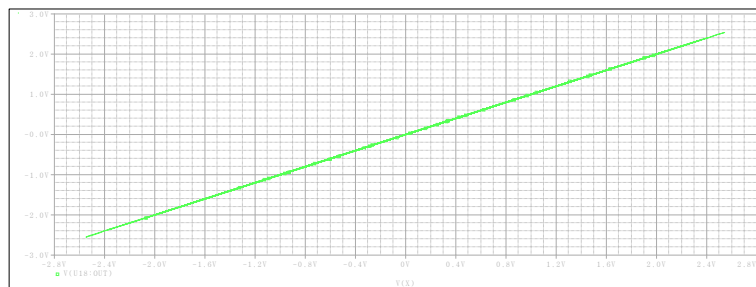
Şekil 4.87. Yayınımsız Lorenz X ve Xc değişimi(CCII ile).

#### **4.2.3.4. CCIII ile kurulmuş senkronizasyon devreleri**

Yayınımsız Lorenz sistemi Pspice P-C senkronizasyon devreleri tasarlanarak senkronizasyon sonrası devre çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyon PC yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CCIII kullanılarak senkronizasyon devreleri tasarlanmış olup devre şeması bölüm 6.2.3.4'de gösterilmiştir. Senkronizasyon sonrasında sürücü X ve cevaplayıcı Xc işaretlerinin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlanması sonucunda CCIII işlevsel elemanı kullanılarak haberleşme devrelerinin de tasarlanabilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 4.82. ve şekil 4.83. de sürücü ve cevaplayıcı devrelerin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.88. Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(CCIII ile).



Şekil 4.89. Yayınımsız Lorenz X ve Xc zamana göre değişimi(CCIII ile).

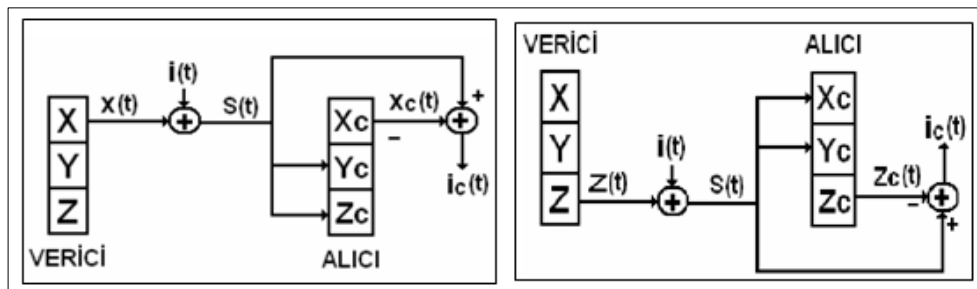
### 4.3. Kaotik Sistemlerin Gizleme Yöntemiyle Haberleşmesi

Telekomünikasyon, 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 alınması şeklinde tanımlanmaktadır.

Haberleşme sistemlerinde kaotik sistemlerin kullanılarak veriyi taşıma fikri Pecora ve Carroll tarafından 1990 yılında kaotik senkronizasyonun mümkün olabileceğinin gösterilmesi ile ortaya çıkmıştır. Güvenli haberleşmede kaotik devrelerin kullanılabilmesi için kaotik sistemlerin aynı anda aynı davranışı sergileyebilmeleri gerekmektedir. Kaotik senkronizasyon, kaotik bir sistemi başka bir kaotik sistemle aynı davranışları göstermeye zorlamaktır. Haberleşme konusunda yapılan ilk çalışma kaotik maskeleyedir. Cuomo ve Oppenheim Lorenz sistemini kullanarak haberleşme sistemi gerçekleştirmişlerdir (Cuomo ve Oppenheim, 1993) (Cuomo vd,1993). Güvenli haberleşme amaçlı sistemlerde analog işaretlerin iletilmesinde Kaotik Gizleme ve Kaotik Modülasyon kullanılırken dijital işaretlerin iletiminde kaotik anahtarlama ve tahminsel kontrol metotları kullanılmaktadır. Tezde, kaotik gizleme metodu kullanılarak haberleşme sağlanacaktır.

Kaotik gizleme yöntemiyle bilgi işaretinin kaotik sinyal ile maskelenmesi sağlanmaktadır. Bilgi işareti kaotik işaret ile toplanarak iletilmekte olup alıcı kısımda PC yöntemiyle oluşturulmuş senkron tarafta demodülasyon ile kaotik işaret gelen sinyalden çıkarılarak bilgi işareti tekrar elde edilir.

Alıcı tarafın kaosta kalması ve senkronizasyonun gerçekleşmesi için bilgi işaretinin genliğinin kaotik işaretin genliğinden 15-20 dB olması gerekmektedir (Pehlivan, 2007).



Şekil 4. 90. Kaotik sinyal gizlemenin blok diyagramı (Çavuşoğlu vd.,2014).

Kaotik sinyal gizlemenin yöntemine ilişkin blok diagram Şekil 4.84 de gösterilmiştir. Bilgi işareti( $i(t)$ ) vericideki  $x(t)$  ile maskelenerek iletim ortamına aktarılmaktadır. Alıcı kısımda senkronizasyon sonucunda oluşturulmuş verici kısımdaki  $x(t)$  işaretinin birebir aynısı olan  $X_c(t)$  kaotik işareti bilgi işareti ve kaotik işaretin toplamı olan iletilen işaret( $s(t)$ ) işaretinden çıkarılarak tekrar bilgi işareti elde edilir. Tezde, Sprott Durum A, Sprott Durum B ve Yayınımsız Lorenz sistemleri farklı işlevsel elemanlar kullanılarak( OP-AMP, OTRA, CCII, CCIII) bu yolla kaotik maskeleye modellemesi yapılacaktır.

#### 4.3.1. Sprott durum A haberleşme devreleri

Sprott sistemi A durumuna ilişkin kaotik devre eşitlikleri E.4.10 da gösterilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak verici ve alıcı kısımlarda sisteme ilişkin kaotik devreler tasarlanmış ve PC yöntemi ile senkronizasyon sağlanmıştır. Sinyal gizleme yöntemi kullanılarak sürücü kısımda elde edilen Y sinyali bilgi işareti ile toplanarak iletilmiş, alıcı kısımda senkronizasyon sonucunda tekrar elde edilen  $Y_c$  sinyali toplam kısımdan çıkarılarak tekrar bilgi işaretinin elde edilmesi sağlanmıştır. Devreler ayrı ayrı OP-AMP, OTRA, CCII, CCIII işlevsel elemanları ile tasarlanmıştır. Daha önceki literatür çalışmaları incelendiğinde OP-AMP ile gerçekleşen Sprott durum A devresine rastlanmasına rağmen OTRA, CCII ve CCIII ile ilk defa güvenli haberleşme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Devre şemaları bölüm 6.3.1 'de yer almakta olup simülasyon sonuçları incelenmiştir. Devre tasarımında kaotik işaret olarak Y sinyalinden faydalanılmıştır. Bilgi işareti olarak bu uygulamanın tüm tasarımlarında 0.01V, 10kHz sinüs dalgası şeklinde bilgi işareti kullanılarak simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. OP-AMP, OTRA ve CCIII ile yapılan tüm tasarımlar 50 ms lik süre boyunca çalıştırılarak uzun süreli simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm tasarımlar 5 ms süre ile çalıştırılarak simülasyonların daha ayrıntılı görüntülenmesi sağlanmıştır. CCII ile yapılan tasarımlar sonucunda kısa sürelerde senkronizasyonun sağlandığı tespit edilmiş olup devrelerin kısa süreli simülasyonları gerçekleştirilmiştir. (3 ms, 5ms)

$$\dot{x}=y$$

$$\dot{y}=-x+yz \quad (\text{E.4.9})$$

$$\dot{z}=1-y^2$$

4.3.1. bölümünün alt bölümlerinde OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII işlevsel elemanları ile yapılan tasarımlar gösterilmiş olup devre performanslarının incelenmesi amacıyla gönderilen ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali 5 ms süre ile çizdirilerek E.4.10 da belirtilen ortalama hata kareleri kökü kullanılarak hata hesabı yapılmış, CCII ve CCIII ile yapılan tasarımlar OP-AMP a göre daha iyi performans gösteremezken OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan tasarımda hatanın daha düşük olduğu bu sayede OP-AMP a göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{50} (\hat{I}_k - \hat{I}C_k)^2}{50}} \quad (\text{E.4.10})$$

Şekil 4.89. , şekil 4.90. , şekil 4.91. ve şekil 4.89. da gösterilen hata sinyalleri E.4.10 kullanılarak 50 parçaya ayrılmış ve buna karşılık gelen değerler alınarak hata hesabı yapılmıştır.

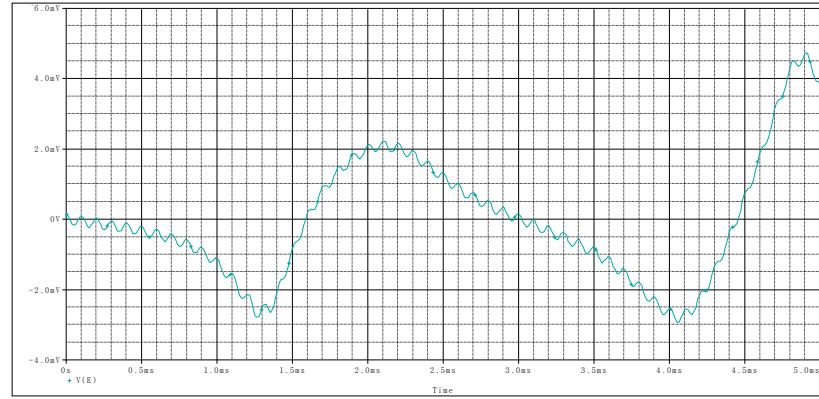
**Çizelge 4. 1.** Sprot A hata sinyal değerleri.

	OP-AMP	OTRA	CCII	CCIII
1	0,76953	2,45317	24,506	0,138306
2	0,27974	4,33541	25,872	0,288022
3	0,40598	6,28673	28,613	0,455216
4	1,20454	7,9663	32,935	0,663585
5	2,01359	9,79171	39,228	0,952587
6	2,85416	1,1649	48,18	1,3763
7	4,24879	1,3228	60,996	2,0368
8	5,85308	1,5112	80	3,0004
9	8,01905	1,6455	109,241	4,652
10	1,1035	1,7704	156,969	7,6484
11	1,5694	1,7708	238,418	13,066
12	2,2139	1,8361	376,052	22,676
13	2,7781	1,5136	585,171	37,177
14	2,4551	1,0732	808,444	46,488

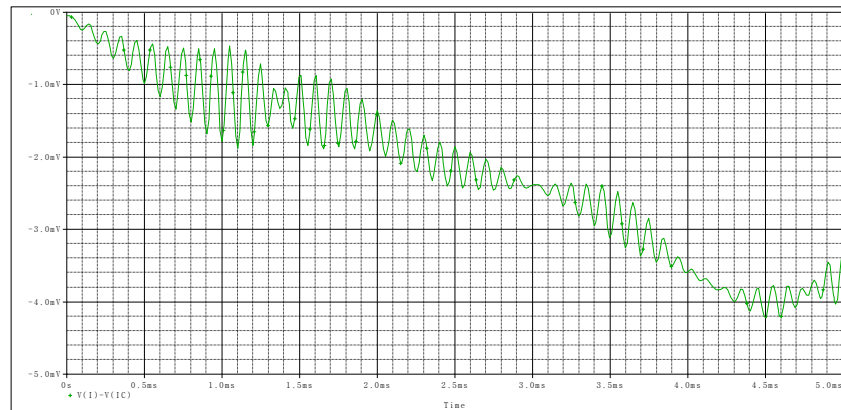
Çizelge 4.1. Sprot A hata sinyal değerleri (Devam Ediyor).

15	1,3326	8,16383	864,215	39,498
16	2,07836	8,56372	689,291	26,578
17	6,92475	1,0152	459,771	17,703
18	1,4328	1,1394	313,638	12,141
19	2,0501	1,2829	260,143	8,8549
20	2,5051	1,4016	265,998	6,8628
21	2,7626	1,5161	308,025	5,4063
22	2,7937	1,6109	378,607	4,3211
23	2,638	1,6273	465,539	3,4561
24	2,332	1,6795	549,551	2,7837
25	1,9605	1,7617	616,324	2,2622
26	1,5544	1,8405	659,84	1,8802
27	1,1574	1,9638	678,303	16,015
28	8,15279	2,0733	680,891	1,4318
29	4,74667	2,2264	677,175	1,3201
30	1,41334	2,3786	675,01	1,2987
31	2,08778	2,5423	680,042	1,3397
32	5,52734	2,7146	696,728	1,4599
33	9,77372	2,888	729,32	1,6593
34	1,425	3,1002	782,786	1,9994
35	7,94129	3,266	864,018	2,5249
36	2,748	3,4046	983,85	3,3825
37	3,6824	3,5234	1159,8	4,616
38	4,8653	3,6157	1420,3	6,5864
39	6,1492	3,6798	1811,1	9,3587
40	7,1622	3,7713	2407,7	13,085
41	7,3845	3,8919	3335,6	16,844
42	6,4126	4,0589	4634,8	19,264
43	4,5238	4,2354	5972,2	19,895
44	2,1127	4,3924	7304,4	19,667
45	6,55304	4,4806	8355,4	19,784
46	3,903	4,4927	8419,9	20,825
47	7,7341	4,4084	8394	23,281
48	11,44	4,1305	8275,3	26,055
49	12,951	3,8575	8064,2	27,602
50	11,097	3,6102	7770,6	25,05

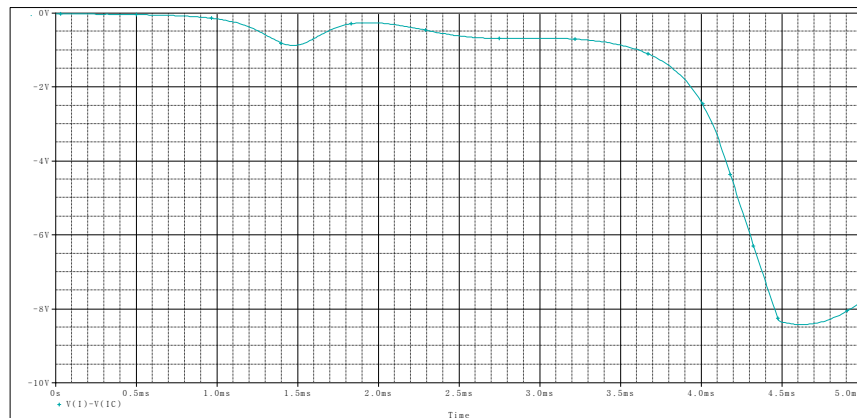
E.4.10 kullanılarak tabloda elde edilen değerler kullanılarak hesaplama yapıldığında RMSE değerleri OP-AMP için 5.16, OTRA için 3.76, CCII için 3314.40, CCIII için 2264 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan tasarımda hatanın daha düşük olduğu görülmüştür.



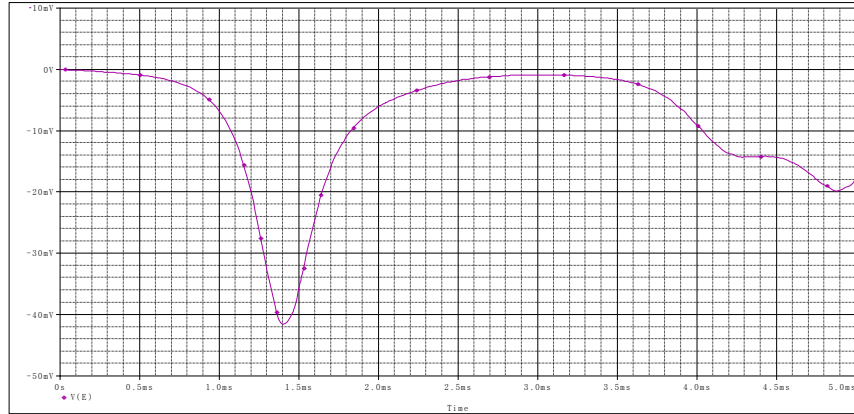
şekil 4. 91. Hata sinyali (OP-AMP ile tasarlanan).



şekil 4. 92. Hata sinyali (OTRA ile tasarlanan).



şekil 4. 93. Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).

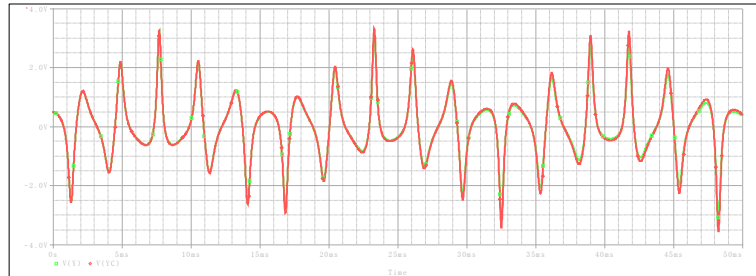


Şekil 4. 94. Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).

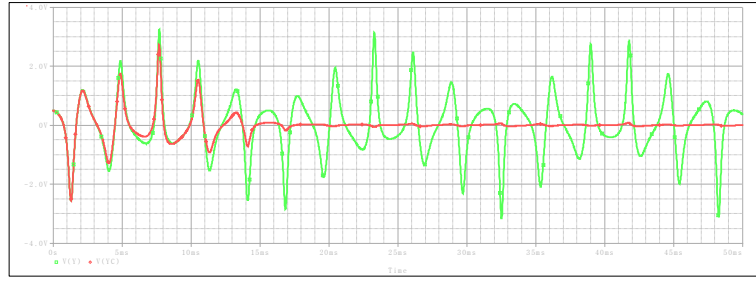
#### **4.3.1.1. Sprott durum A OP-AMP ile kurulmuş haberleşme devreleri**

OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak sprott A sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.1.1’de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca gönderilen bilgi işaretinden alınan bilgi işareti çıkarılarak hata sinyali ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir.

Bilgi işaretinin kaotik sinyalden 15-20 dB daha küçük olduğunda senkronizasyon sağlanabildiğinden bilgi işareti olarak 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır ve senkronizasyonu şekil 4.85. de gözlemlenmiştir. Ayrıca 0.1V, 10 kHz sinüs sinyali de bilgi işareti olarak ayrıca kullanılarak senkronizasyon sonuçları gözlemlenmiş ve senkronizasyonun bozulduğu şekil 4.86. da görülmüştür.

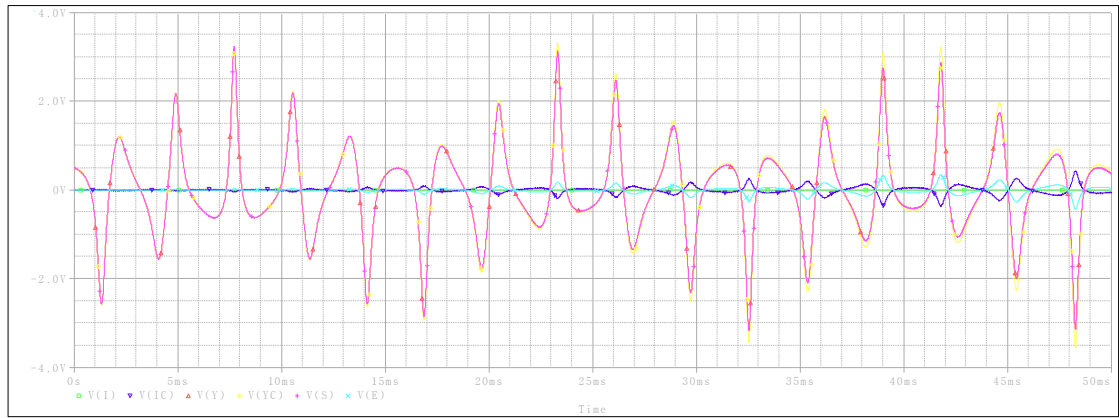


Şekil 4. 95. Y ve Yc' nin zamana göre değişimi (bilgi işareti 0.01V, 10 kHz).

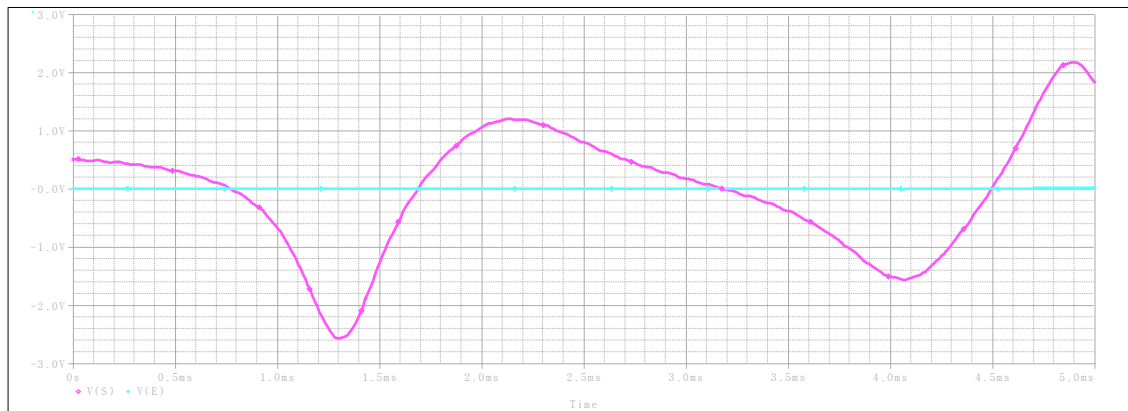


**Şekil 4. 96.** Y ve Yc' nin zamana göre değişimi (bilgi işareti 0.1V, 10 kHz).

50 ms süre ile devre çalıştırıldığında verici kısımdaki Y ve alıcı kısımdaki Yc sinyalinin senkronize çalıştığı görülmüştür. Ayrıca gönderilen ve alınan bilgi işaretlerinin zamana göre değişimler gözlemlenmiştir.



**Şekil 4. 97.** OP-AMP ile kurulmuş sprott A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve alınan bilgi işareti (ic(t)) haberleşme hatası ( $e(t) = i(t) - ic(t)$ ), bilgi işareti i(t) ve tekrar elde edilen bilgi sinyali ic(t)'nin zamana göre değişimi).

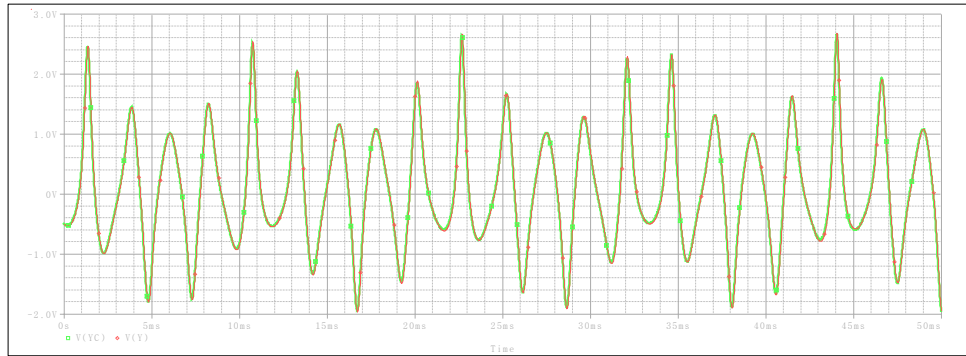


**Şekil 4. 98.** OP-AMP ile kurulmuş sprott A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ .

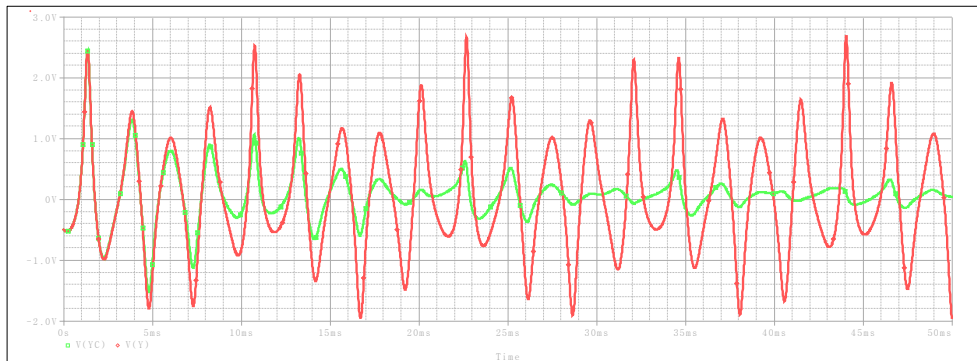
#### **4.3.1.2. Sprott Durum A OTRA ile kurulmuş haberleşme devreleri**

OTRA işlevsel elemanı kullanılarak sprott A sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.1.2’de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Böylece sprott A sisteminin ilk defa OTRA ile haberleşme devresi tasarlanmıştır ve çalıştığı görülmüştür. Ayrıca gönderilen bilgi işareti, alınan bilgi işareti ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir.

Bilgi işaretinin kaotik sinyalden 15-20 dB daha küçük olduğunda senkronizasyon sağlanabildiğinden bilgi işareti olarak 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır ve senkronizasyonu şekil 4.89. da gözlemlenmiştir. Ayrıca 0.1V, 10 kHz sinüs sinyali de bilgi işareti olarak ayrıca kullanılarak senkronizasyon sonuçları gözlemlenmiş ve senkronizasyonun bozulduğu şekil 4.90. da görülmüştür.



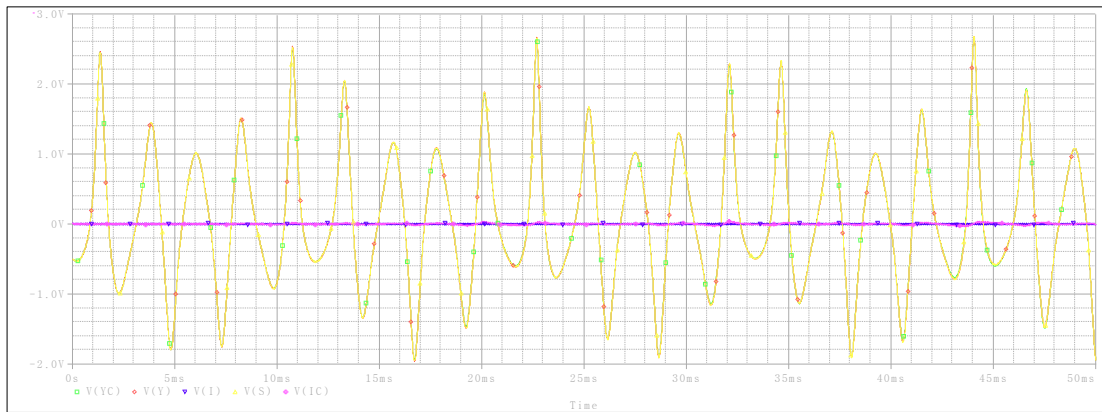
**Şekil 4. 99.** Bilgi işareti 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanıldığında Y ve Yc’ nin zamana göre değişimi.



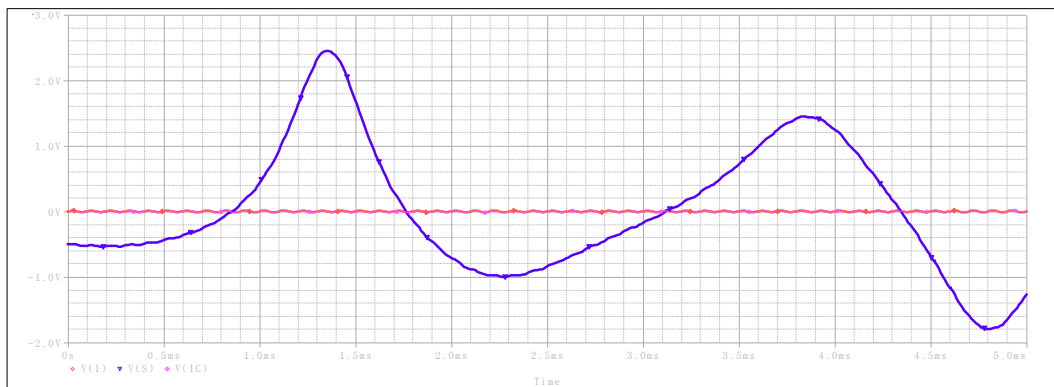
**Şekil 4. 100.** Bilgi işareti 0.1V, 10 kHz sinüs sinyali kullanıldığında Y ve Yc’ nin zamana göre değişimi.

50 ms süre ile devre çalıştırıldığında verici kısımdaki Y ve alıcı kısımdaki Yc sinyalinin senkronize çalıştığı görülmüştür. Ayrıca gönderilen ve alınan bilgi işaretlerinin zamana göre değişimler gözlemlenmiştir. Ayrıca simülasyon daha ayrıntılı görülebilmesi için 5 ms süre ile çalıştırılarak gönderilen (i) ve alınan bilgi (ic) işaretlerinin ve toplam (S) sinyalinin zamana göre değişimi şekil 4.92. de gösterilmiştir.

Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın daha düşük olduğu bilgiyi daha düzgün ilettiği görülmüştür.



**Şekil 4. 101.** OTRA ile kurulmuş sprott A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, İletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



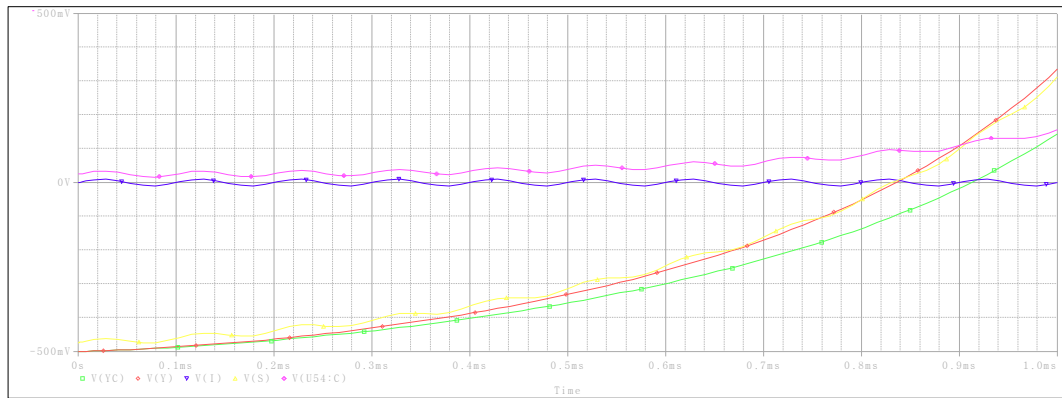
**Şekil 4. 102.** OTRA ile kurulmuş sprott A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $i(t)$ ,  $ic(t)$  ve  $S(t)$  sinyalleri.

### **4.3.1.3. Sprottt durum A CCII ile kurulmuş haberleşme devreleri**

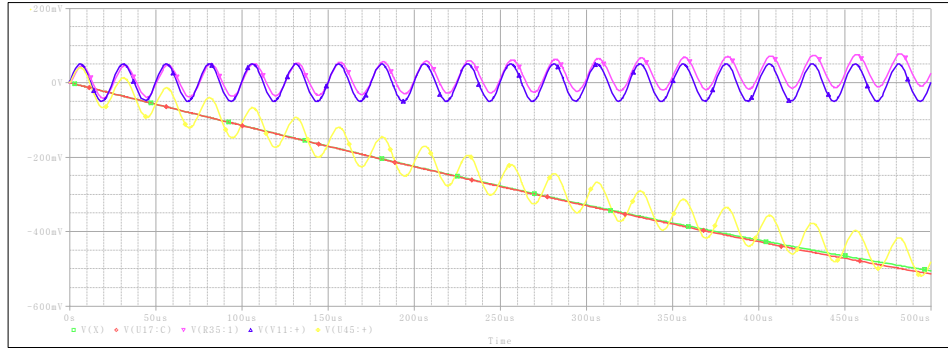
CCII işlevsel elemanı kullanılarak sprottt A sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.1.3’de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. CCII ile yapılan tasarımlar sonucunda kısa sürelerde sekronizasyonun sağlandığı tespit edilmiş olup devrelerin kısa süreli simülasyonları gerçekleştirilmiştir. (3 ms, 5ms) Böylece sprottt A sisteminin ilk defa CCII ile haberleşme devresi tasarlanmıştır. Ayrıca gönderilen bilgi işareti, alınan bilgi işareti ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir.

Bilgi işareti olarak 2 farklı değer kullanılarak CCII ile devre tasarımı gerçekleştirilerek sonuçları görüntülenmiştir. Şekil 4.93 de bilgi işareti olarak 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmış, 1 ms süre ile simülasyon sonuçları görüntülenmiştir. Şekil 4.94 de bilgi işareti olarak 0.05V, 40 kHz sinüs sinyali kullanılmış 500 µs süre ile simülasyon sonuçları görüntülenmiştir.

Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde CCII işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın fazla olduğu bilgiyi daha düzgün iletmediği görülmüştür.



**Şekil 4. 103.** Bilgi işareti 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılarak CCII ile kurulmuş sprottt A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin  $Y(t)$  sinyali, alıcı sistemin  $Y_c(t)$  sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).

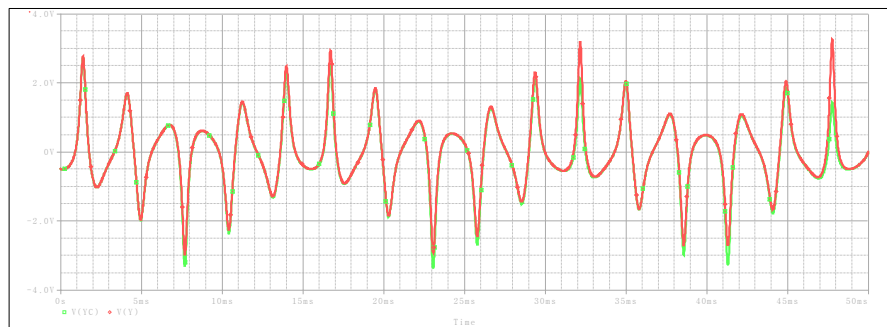


**Şekil 4. 104.** Bilgi işareti 0.05V, 40 kHz sinüs sinyali kullanılarak CCII ile kurulmuş sprott A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).

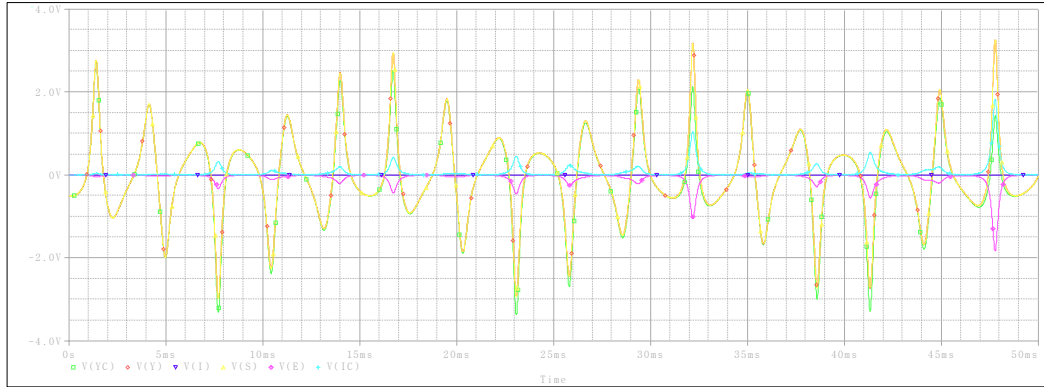
#### **4.3.1.4. Sprott durum A CCIII ile kurulmuş haberleşme devreleri**

CCIII işlevsel elemanı kullanılarak sprott A sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.1.4'de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Böylece sprott A sisteminin ilk defa CCIII ile haberleşme devresi tasarlanmıştır ve çalıştığı görülmüştür. Ayrıca gönderilen bilgi işareti, alınan bilgi işareti ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir.

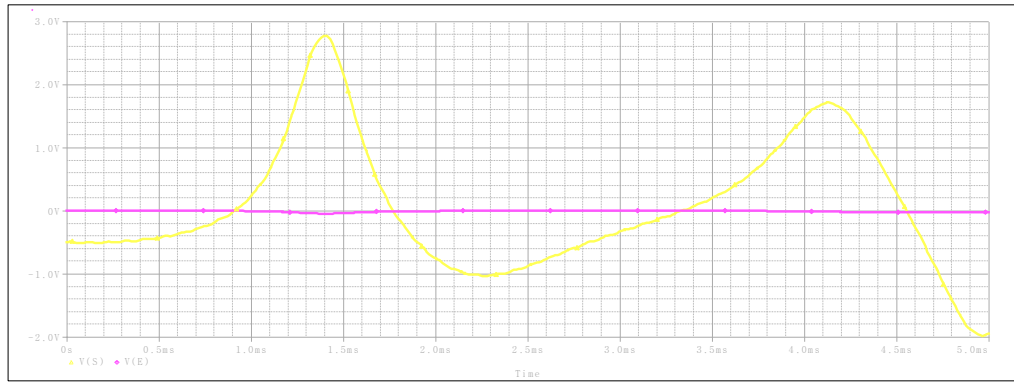
Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde CCIII işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın fazla olduğu bilgiyi daha düzgün iletmediği görülmüştür.



**Şekil 4. 105.** Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.



**Şekil 4. 106.** CCIII ile kurulmuş sprott A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin  $Y(t)$  sinyali, alıcı sistemin  $Yc(t)$  sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



**Şekil 4. 107.** CCIII ile kurulmuş sprott A sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ .

#### 4.3.2. Sprott durum B haberleşme devreleri

Sprott sistemi B durumuna ilişkin kaotik devre eşitlikleri E.4.11 de gösterilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak verici ve alıcı kısımlarda sisteme ilişkin kaotik devreler tasarlanmış ve PC yöntemi ile senkronizasyon sağlanmıştır. Sinyal gizleme yöntemi kullanılarak sürücü kısımda elde edilen  $Y$  sinyali bilgi işareti ile toplanarak iletilmiş, alıcı kısımda senkronizasyon sonucunda tekrar elde edilen  $Yc$  sinyali toplam kısımdan çıkarılarak tekrar bilgi işaretinin elde edilmesi sağlanmıştır. Devreler ayrı ayrı OP-AMP, OTRA, CCII, CCIII işlevsel elemanları ile tasarlanmıştır. Daha önceki literatür çalışmaları incelendiğinde bu sistemin haberleşme uygulanmasına rastlanılmamış olup OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII ile ilk defa güvenli haberleşme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Devre şemaları bölüm 6.3.2'de yer almakta olup

simülasyon sonuçları incelenmiştir. Devre tasarımında kaotik işaret olarak Y sinyalinde faydalanılmıştır. Bilgi işareti olarak bu uygulamanın tüm tasarımlarında 0.2V, 10kHz sinüs dalgası şeklinde bilgi işareti kullanılarak simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. OP-AMP, OTRA ve CCIII ile yapılan tüm tasarımlar 50 ms lik süre boyunca çalıştırılarak uzun süreli simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm tasarımlar 5 ms süre ile çalıştırılarak simülasyonların daha ayrıntılı görüntülenmesi sağlanmıştır. CCII ile yapılan tasarımlar sonucunda kısa sürelerde senkronizasyonun sağlandığı tespit edilmiş olup devrelerin kısa süreli simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

$$\dot{x}=yz$$

$$\dot{y}=x-y$$

(E.4.11)

$$\dot{z}=1-xy$$

4.3.2. bölümünün alt bölümlerinde OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII işlevsel elemanları ile yapılan tasarımlar gösterilmiş olup devre performanslarının incelenmesi amacıyla gönderilen ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali 5 ms süre ile çizdirilerek E.4.10 da belirtilen ortalama hata kareleri kökü kullanılarak hata hesabı yapılmış, CCII ve CCIII ile yapılan tasarımlar OP-AMP a göre daha iyi performans gösteremezken OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan tasarımda hatanın daha düşük olduğu bu sayede OP-AMP a göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Şekil 4.106. , şekil 4.107. , şekil 4.108. ve şekil 4.109. da gösterilen hata sinyalleri E.4.10 kullanılarak 50 parçaya ayrılmış ve buna karşılık gelen değerler alınarak hata hesabı yapılmıştır.

**Çizelge 4. 2.** Sprot B hata sinyal değerleri.

	OP-AMP	OTRA	CCII	CCIII
1	2,8866	0,245317	24,506	0,138305
2	2,8226	0,43354	25,872	0,288022
3	3,2148	0,628673	28,613	0,457769
4	3,2536	0,79663	32,935	0,656256
5	3,6272	0,979171	39,228	0,920774
6	3,7636	1,1649	48,18	1,2957
7	4,2524	1,3228	60,996	1,8628

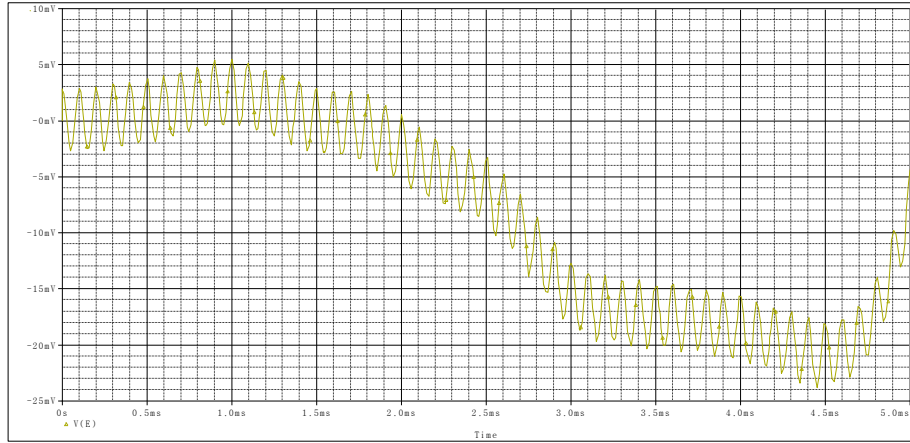
Çizelge 4.2. Sprot B hata sinyal değerleri (Devam Ediyor).

8	4,6419	1,5112	80	2,7236
9	5,4056	1,6455	109,241	4,2125
10	5,4434	1,7704	156,969	6,8432
11	5,1324	1,8787	238,418	11,632
12	4,2783	1,842	376,052	20,193
13	3,5763	1,5205	585,171	32,648
14	3,1558	1,149	808,444	41,543
15	2,5802	0,88024	864,215	35,779
16	2,2094	0,88413	689,291	24,234
17	2,106	0,94189	459,771	15,82
18	2,6926	1,0615	313,638	10,998
19	3,3273	1,2263	260,143	7,9775
20	4,2501	1,3633	265,998	6,0657
21	4,3694	1,5014	308,025	4,7379
22	4,2274	1,618	378,607	3,7545
23	4,2859	1,7033	465,539	2,9754
24	4,5755	1,8139	549,551	2,3072
25	5,2603	1,8653	616,324	1,8078
26	5,7356	1,9408	659,84	1,4439
27	6,8674	2,0332	678,303	1,1938
28	7,2785	2,153	680,891	1,0389
29	8,2244	2,2595	677,175	0,94017
30	9,1518	2,3885	675,01	0,89852
31	9,95	2,5221	680,042	0,90946
32	10,666	2,6673	696,728	0,97523
33	10,997	2,8091	729,32	1,1008
34	11,408	2,9505	782,786	1,3147
35	11,499	3,0963	864,018	1,6643
36	12,048	3,2263	983,85	2,214
37	12,263	3,3509	11598	3,0927
38	10,63	3,4363	14203	4,4024
39	10,868	3,5148	18.111	6,4186
40	11,056	3,5884	24077	9,0728
41	11,458	3,6894	33356	11,837
42	11,461	3,8343	46348	13,712
43	12,203	3,9894	59722	14,307
44	12,421	4,1252	73044	14,231

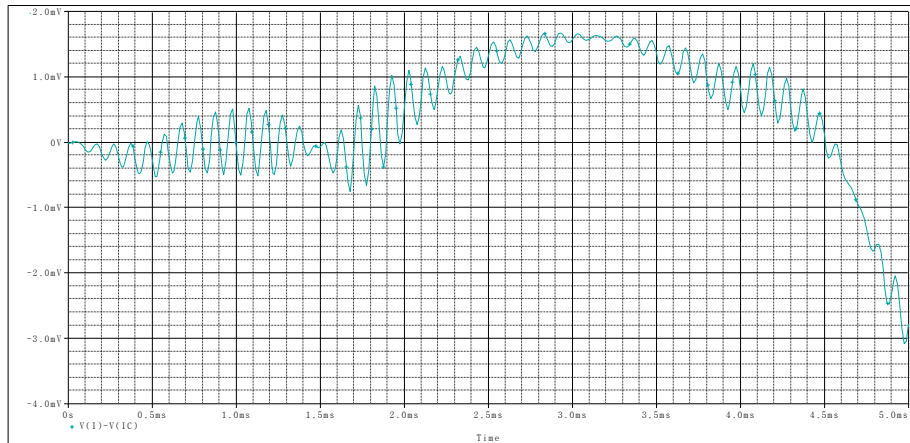
Çizelge 4.2. Sprot B hata sinyal değerleri (Devam Ediyor).

45	13,13	4,2195	83554	14,352
46	12,991	4,2057	84199	15,187
47	12,259	4,0514	83940	16,831
48	11,069	3,7545	82753	18,828
49	7,8661	3,4921	80642	27,643
50	4,2172	3,2712	77706	25,05

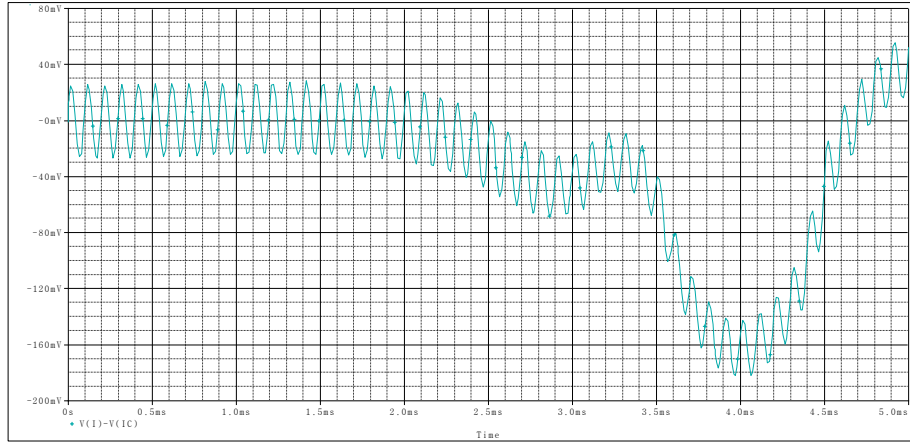
E.4.10 kullanılarak tabloda elde edilen değerler kullanılarak hesaplama yapıldığında RMSE değerleri OP-AMP için 7.96, OTRA için 2.51, CCII için 32839.93, CCIII için 13.54 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan tasarımda hatanın daha düşük olduğu görülmüştür.



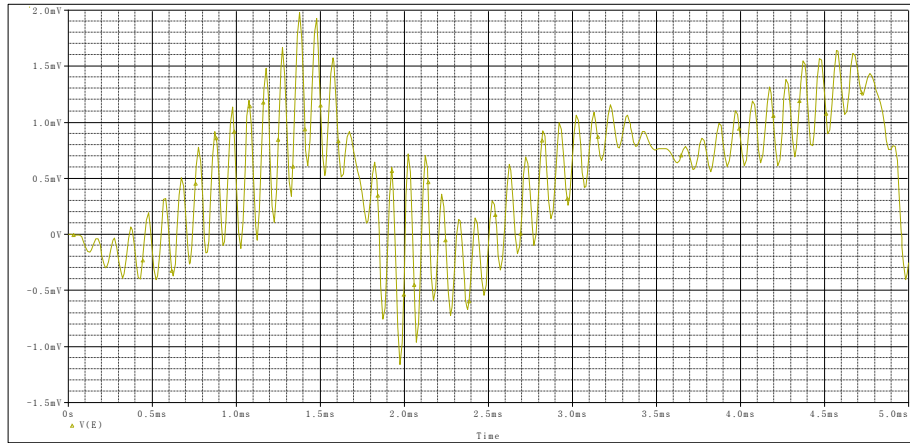
Şekil 4. 108. Hata sinyali (OP-AMP ile tasarlanan).



Şekil 4. 109. Hata sinyali (OTRA ile tasarlanan).



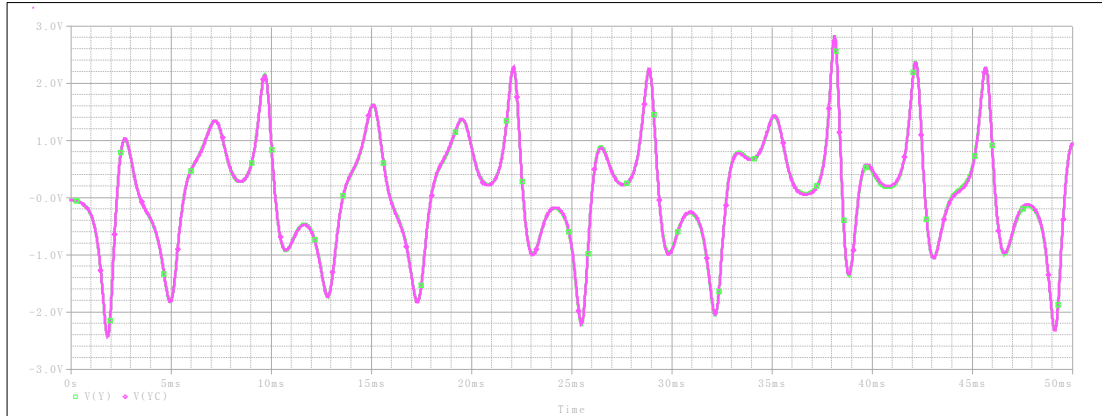
**Şekil 4. 110.** Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).



**Şekil 4. 111.** Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).

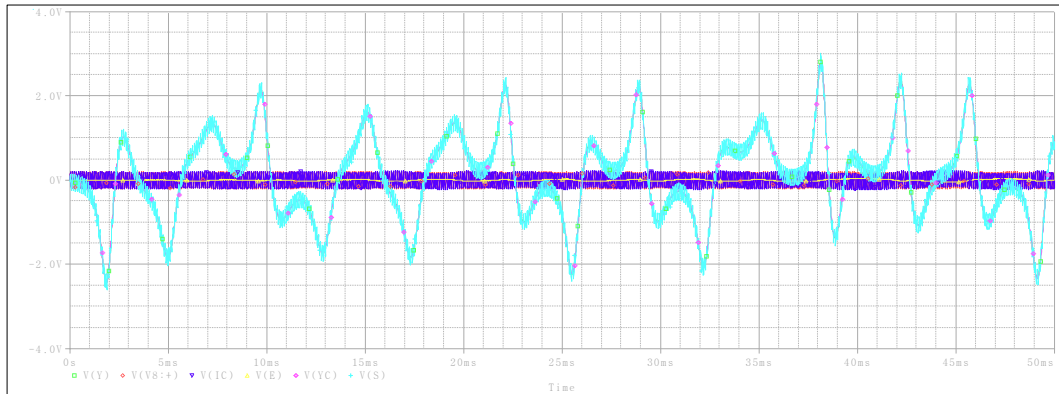
#### **4.3.2.1. Sprott durum B OP-AMP ile kurulmuş haberleşme devreleri**

OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak sprott B sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.2.1’de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca gönderilen bilgi işaretinden alınan bilgi işareti çıkarılarak hata sinyali ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır. Devre 5 ms süre ile çalıştırılarak daha ayrıntılı görüntülenmesi Şekil 4.100. de gösterilmiştir. Sprott B sisteminin ilk defa OP-AMP haberleşme uygulaması gerçekleştirilmiştir.

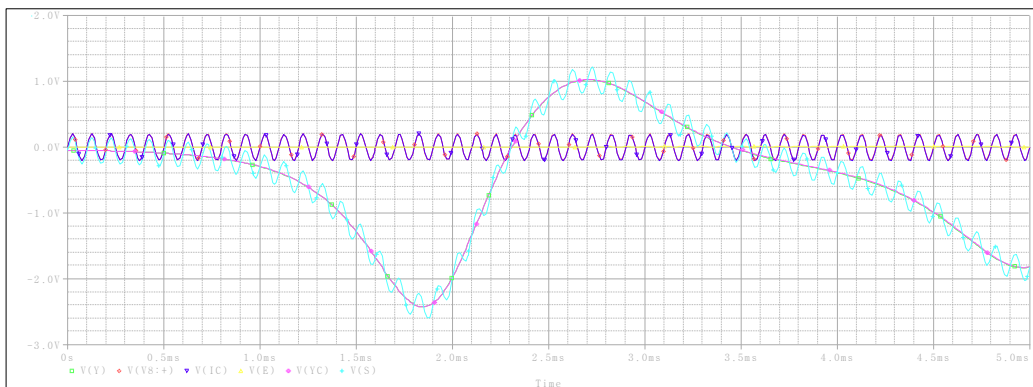


**Şekil 4. 112.** Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.

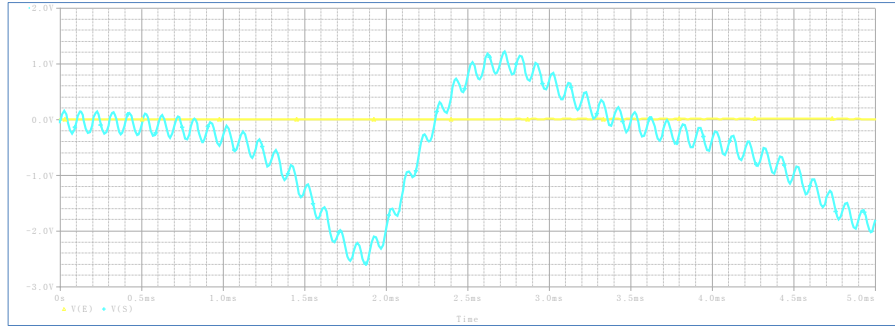
50 ms süre ile devre çalıştırıldığında verici kısımdaki Y ve alıcı kısımdaki Yc sinyalinin senkronize çalıştığı görülmüştür. Ayrıca şekil 4.99. da gönderilen ve alınan bilgi işaretlerinin zamana göre değişimler gözlemlenmiştir.



**Şekil 4. 113.** OP-AMP ile kurulmuş sprott B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



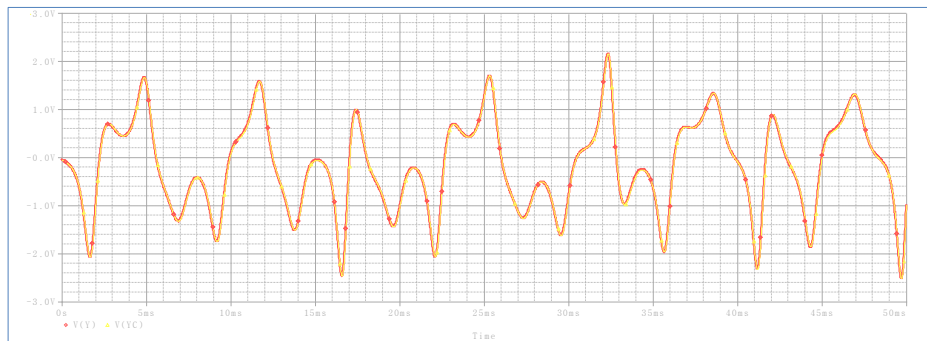
**Şekil 4. 114.** 5ms süre ile devre simülasyonu ( $i(t)$ ,  $ic(t)$ ,  $S(t)$ ,  $Y(t)$ ,  $Yc(t)$ ,  $e(t)$ ).



**Şekil 4. 115.** OP-AMP ile kurulmuş sprott B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ .

#### **4.3.2.2. Sprott durum B OTRA ile kurulmuş haberleşme devreleri**

OTRA işlevsel elemanı kullanılarak sprott B sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.2.2’de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Böylece sprott B sisteminin ilk defa OTRA ile haberleşme devresi tasarlanmıştır ve çalıştığı görülmüştür. Ayrıca gönderilen bilgi işareti, alınan bilgi işareti ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır. Devre 5 ms süre ile çalıştırılarak daha ayrıntılı görüntülenmesi Şekil 4.104. de gösterilmiştir.

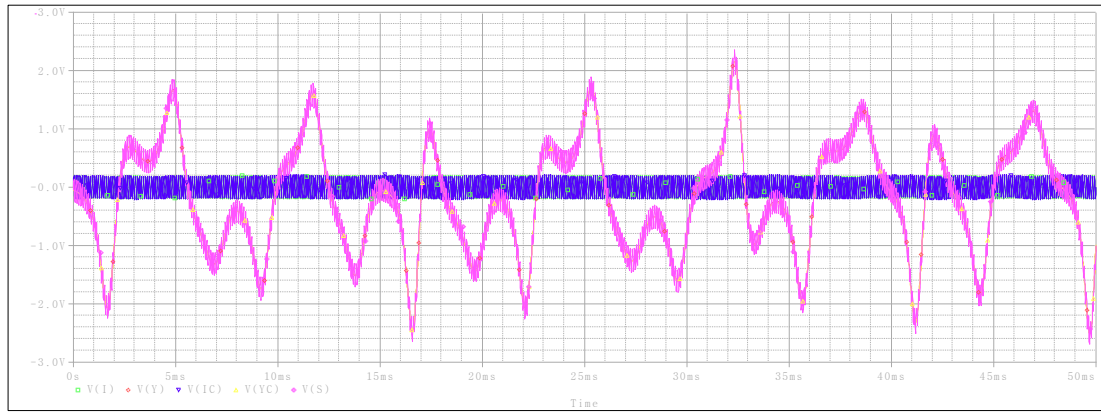


**Şekil 4. 116.** Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.

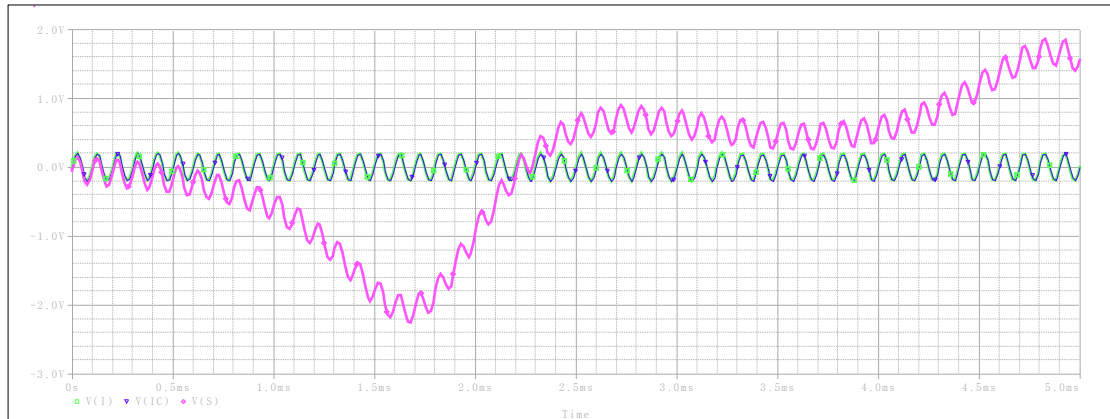
50 ms süre ile devre çalıştırıldığında verici kısımdaki Y ve alıcı kısımdaki Yc sinyalinin senkronize çalıştığı görülmüştür. Şekil 4.103. de kaotik işaret olarak Y(t) kullanılarak sürücü sistemdeki Y(t) sinyali, alıcı sistemdeki Yc(t) sinyali, toplam işaret S(t), bilgi işareti i(t) ve haberleşme sonucunda tekrar elde edilen ic(t) bilgi işareti

gösterilmiştir. Simülasyon sonucunda haberleşmenin sağlandığı  $i(t)$  ve  $ic(t)$  sinyallerinin birbirine çok benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın daha düşük olduğu bilgiyi daha düzgün ilettiği görülmüştür.



**Şekil 4. 117.** OTRA ile kurulmuş sprott B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin  $Y(t)$  sinyali, alıcı sistemin  $Yc(t)$  sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



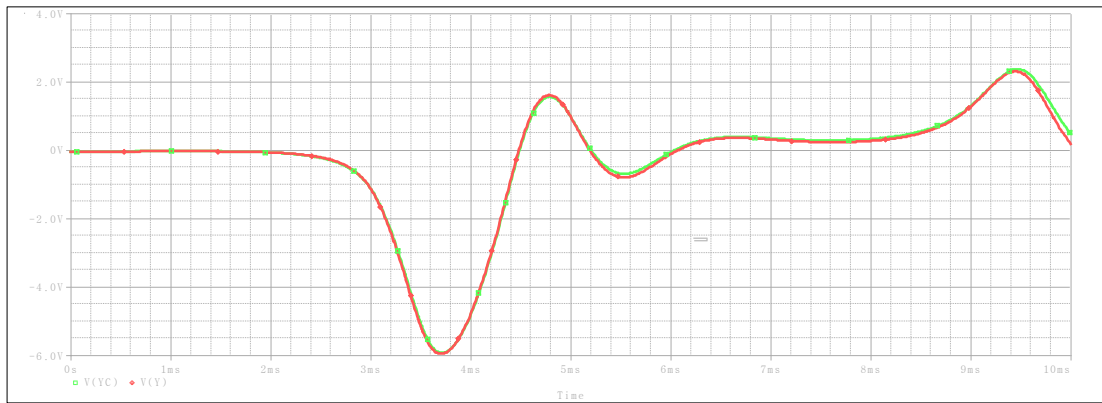
**Şekil 4. 118.** OTRA ile kurulmuş sprott B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $i(t)$ ,  $ic(t)$  ve  $S(t)$  sinyalleri.

#### **4.3.2.3. Sprott durum B CCII ile kurulmuş haberleşme devreleri**

CCII işlevsel elemanı kullanılarak sprott B sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.2.3'de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları

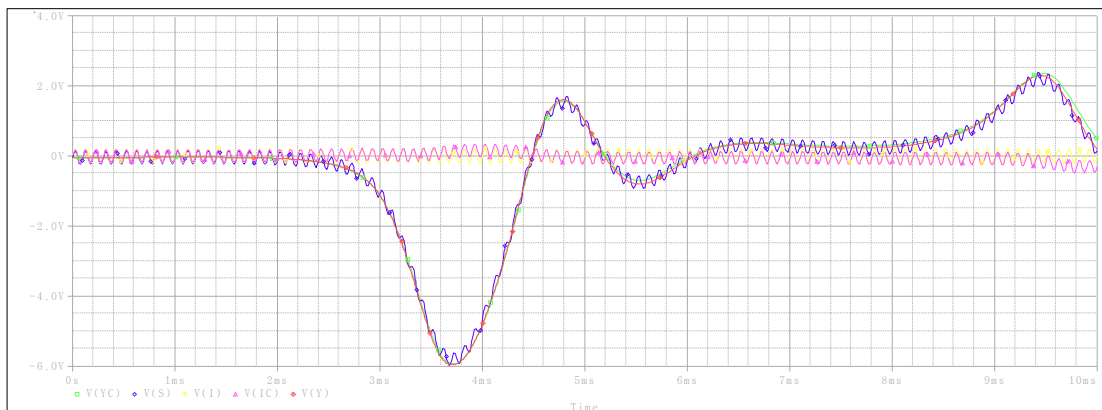
paylaşmıştır. CCII ile yapılan tasarımlar sonucunda kısa sürelerde sekronizasyonun sağlandığı tespit edilmiş olup devrelerin kısa süreli simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Böylece sprott B sisteminin ilk defa CCII ile haberleşme devresi tasarlanmıştır. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmış 10 ms süre ile simülasyon sonuçları görüntülenmiştir.

Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde CCII işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın fazla olduğu bilgiyi daha düzgün iletmediği görülmüştür



**Şekil 4. 119.** Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.

10 ms süre ile devre çalıştırıldığında verici kısımdaki Y ve alıcı kısımdaki Yc sinyalinin senkronize çalıştığı görülmüştür.

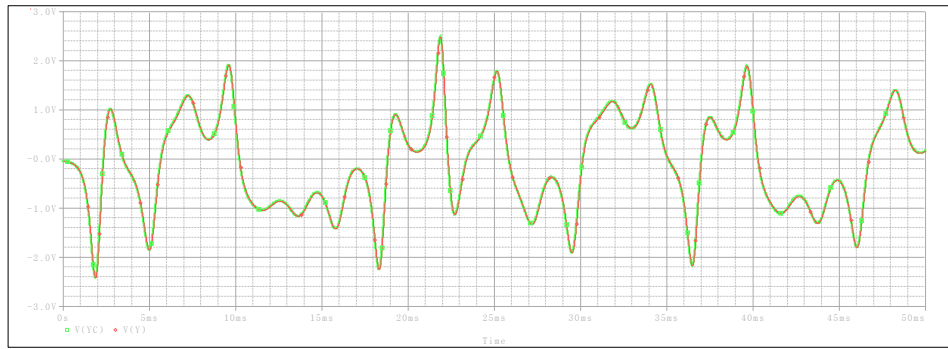


**Şekil 4. 120.** CCII ile kurulmuş sprott B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin Y(t) sinyali, alıcı sistemin Yc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).

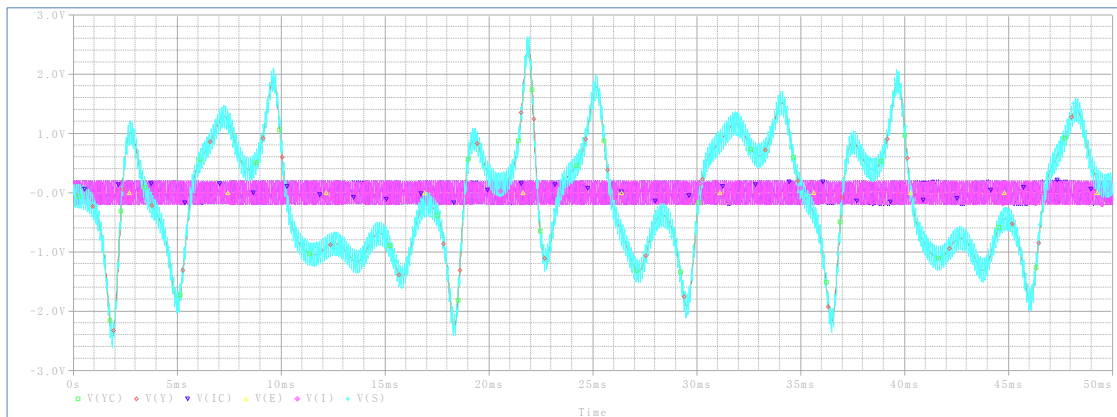
#### 4.3.2.4. Sprottt durum B CCIII ile kurulmuş haberleşme devreleri

CCIII işlevsel elemanı kullanılarak sprottt B sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.2.4'de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Böylece sprottt B sisteminin ilk defa CCIII ile haberleşme devresi tasarlanmıştır ve çalıştığı görülmüştür. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır.

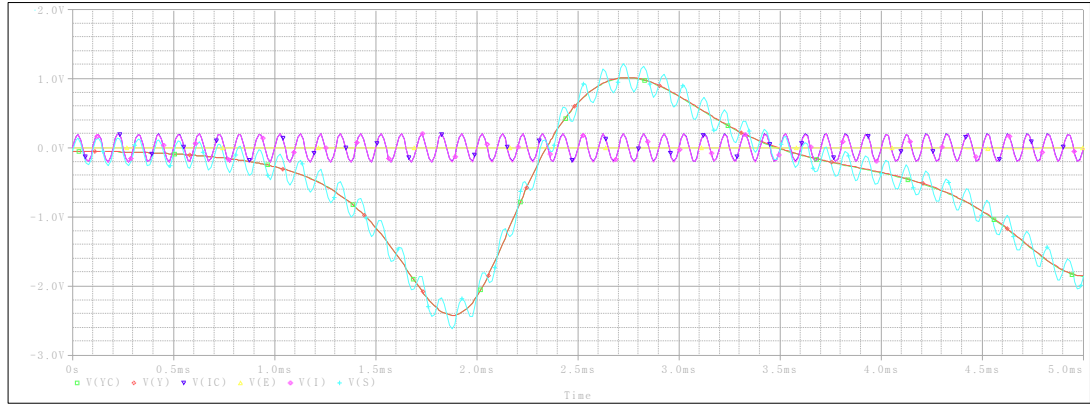
Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde CCIII işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın fazla olduğu bilgiyi daha düzgün iletmediği görülmüştür.



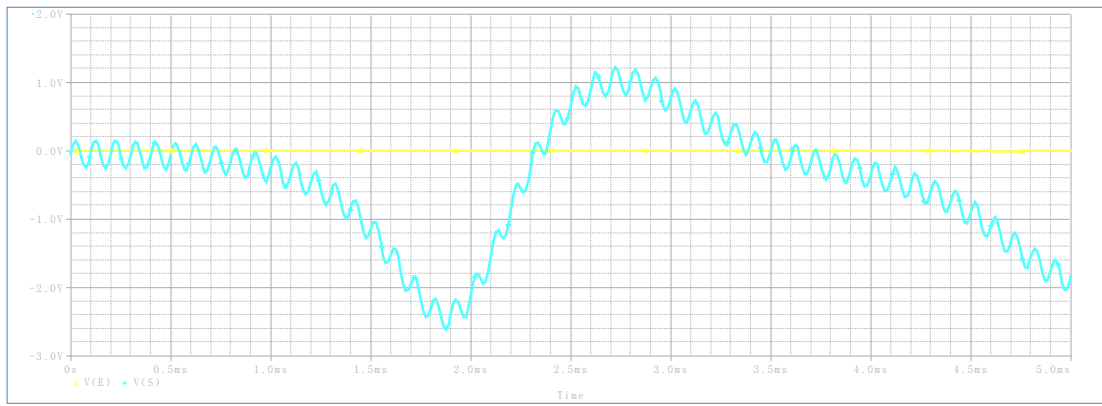
**Şekil 4. 121.** Haberleşme devresinde Y ve Yc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.



**Şekil 4. 122.** CCIII ile kurulmuş sprottt B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin  $Y(t)$  sinyali, alıcı sistemin  $Yc(t)$  sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = Y(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



**Şekil 4. 123.** 5ms süre ile devre simülasyonu ( $i(t)$ ,  $ic(t)$ ,  $S(t)$ ,  $Y(t)$ ,  $Yc(t)$ ,  $e(t)$ ).



**Şekil 4. 124.** CCIII ile kurulmuş sprott B sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $s(t) = x(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ .

### 4.3.3. Yayınımsız lorenz haberleşme devreleri

Yayınımsız Lorenz sistemine ilişkin kaotik devre eşitlikleri E.4.12 de gösterilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak verici ve alıcı kısımlarda sisteme ilişkin kaotik devreler tasarlanmış ve PC yöntemi ile senkronizasyon sağlanmıştır. Sinyal gizleme yöntemi kullanılarak sürücü kısımda elde edilen X sinyali bilgi işareti ile toplanarak iletilmiş, alıcı kısımda senkronizasyon sonucunda tekrar elde edilen  $X_c$  sinyali toplam kısımdan çıkarılarak tekrar bilgi işaretinin elde edilmesi sağlanmıştır. Devreler ayrı ayrı OP-AMP, OTRA, CCII, CCIII işlevsel elemanları ile tasarlanmıştır. Daha önceki literatür çalışmaları incelendiğinde OP-AMP ile tasarlanmış haberleşme devresi olduğu görülmüştür ancak OTRA, CCII ve CCIII ile ilk defa güvenli haberleşme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Devre şemaları bölüm 6.3.3'de yer almakta olup simülasyon sonuçları incelenmiştir. Devre tasarımında kaotik işaret olarak X sinyalinden

faaydalanılmıştır. Bilgi işareti olarak bu uygulamanın tüm tasarımılarında 0.2V, 10kHz sinüs dalgası şeklinde bilgi işareti kullanılarak simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. OP-AMP, OTRA ve CCIII ile yapılan tüm tasarımlar 50 ms lik süre boyunca çalıştırılarak uzun süreli simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm tasarımlar 5 ms süre ile çalıştırılarak simülasyonların daha ayrıntılı görüntülenmesi sağlanmıştır. CCII ile yapılan tasarımlar sonucunda kısa sürelerde senkronizasyonun sağlandığı tespit edilmiş olup devrelerin kısa süreli simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

$$\dot{x}=y-x$$

$$\dot{y}=xz$$

$$\dot{z}=-xy+1$$

(E.4.12)

4.3.3. bölümünün alt bölümlerinde OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII işlevsel elemanları ile yapılan tasarımlar gösterilmiş olup devre performanslarının incelenmesi amacıyla gönderilen ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali 5 ms süre ile çizdirilerek E.4.10 da belirtilen ortalama hata kareleri kökü kullanılarak hata hesabı yapılmış, CCII yapılan tasarım OP-AMP a göre daha iyi performans gösteremezken OTRA ve CCIII işlevsel elemanları kullanılarak yapılan tasarımlarda hatanın daha düşük olduğu bu sayede OP-AMP a göre daha iyi performans gösterdiği grlmştir.

şekil 4.125. , şekil 4.126. , şekil 4.127. ve şekil 4.128. de gösterilen hata sinyalleri E.4.10 kullanılarak 50 parçaya ayrılmış ve buna karşılık gelen değerler alınarak hata hesabı yapılmıştır.

**Çizelge 4. 3.** Yayınımışız lorenz hata sinyal değerleri.

	<b>OP-AMP</b>	<b>OTRA</b>	<b>CCII</b>	<b>CCIII</b>
1	3,4363	0,191535	14,934	0,130188
2	3,4616	0,502451	3,2376	0,457122
3	3,8053	0,832668	14,477	0,858041
4	4,0561	1,2122	22,008	1,1784
5	3,924	1,4437	33,337	1,2572
6	4,0184	1,514	43,598	1,0954
7	3,3797	1,5697	43,85	0,654312
8	2,8277	1,4512	49,633	0,198322
9	2,1518	1,0068	46,131	0,498248
10	1,1452	0,253977	50,904	1,4029

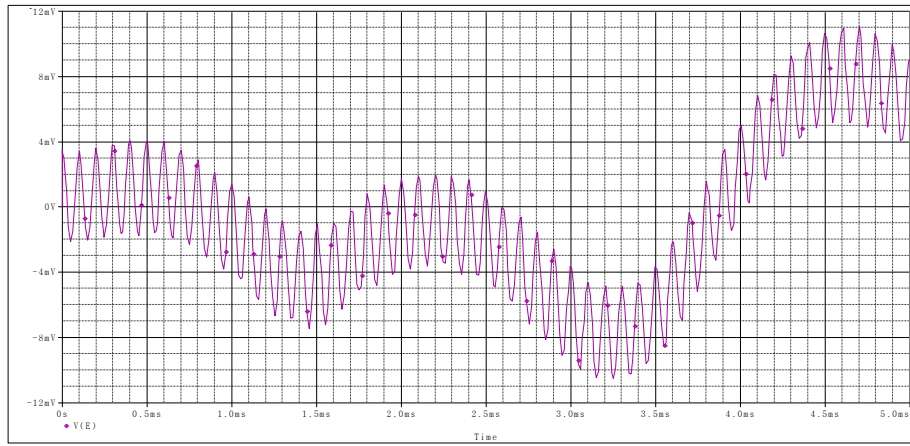
Çizelge 4.3. Yayınımsız lorenz hata sinyal değerleri (Devam Ediyor).

11	0,659423	0,800136	54,215	2,4935
12	0,296062	1,8464	53,815	3,4722
13	0,981589	2,943	63,2	3,9816
14	1,7164	3,7595	77,234	3,708
15	1,6242	4,0537	92,255	2,6048
16	2,2101	3,7508	122,432	0,618749
17	1,4597	3,0431	156,418	1,4859
18	1,0169	1,8338	202,038	3,1544
19	0,825548	0,578574	232,869	4,8637
20	0,356656	0,719579	263,947	6,0064
21	0,218592	1,8185	280,023	6,9515
22	0,963414	2,5377	279,241	7,6675
23	0,925366	3,0903	277,762	8,1547
24	1,9193	3,3489	274,575	8,4422
25	2,5986	3,4186	265,064	8,4768
26	3,7566	3,2362	268,175	8,2193
27	5,0663	2,7879	263,153	7,6265
28	6,4427	2,1003	267,866	6,723
29	7,8594	1,257	274,826	5,4066
30	8,5072	0,262049	277,214	3,7667
31	9,2393	0,781382	286,847	1,8961
32	9,1	1,7668	290,559	0,99435
33	8,4996	2,7009	302,382	2,0192
34	6,8297	3,5046	305,42	3,8577
35	4,3874	4,1488	314,728	5,3714
36	1,9229	4,5621	322,118	6,4149
37	0,964816	4,7142	321,892	6,9418
38	3,7739	4,6161	320,137	6,9983
39	6,669	4,2675	307,037	6,5781
40	9,1581	4,3778	292,048	5,758
41	11,132	3,6345	262,92	4,6477
42	12,775	2,7232	217,473	3,368
43	13,656	1,6274	161,681	1,8796
44	14,29	0,525523	94,768	0,317586
45	14,702	0,622259	19,533	1,2646
46	14,295	1,7743	64,149	2,8728
47	13,54	2,6871	153,409	4,4211
48	12,552	3,5558	242,442	5,8358

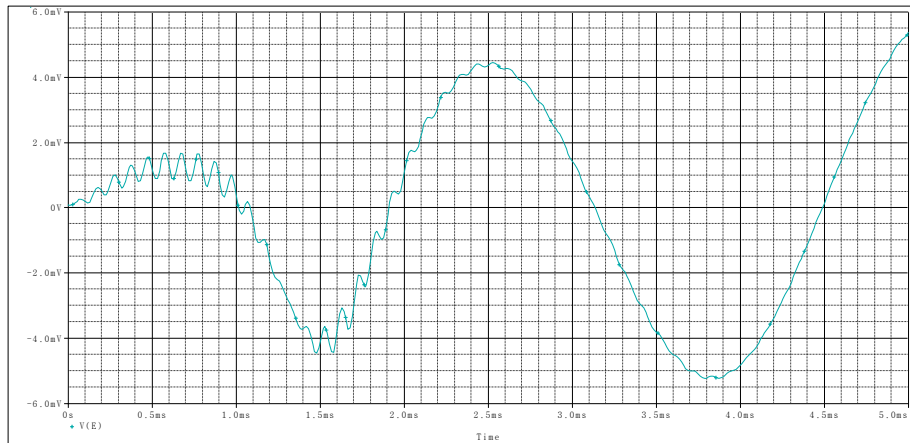
Çizelge 4.3. Yayınımsız lorenz hata sinyal değerleri (Devam Ediyor).

49	11,146	4,226	322,673	7,1405
50	8,4746	4,721	383,946	8,0779

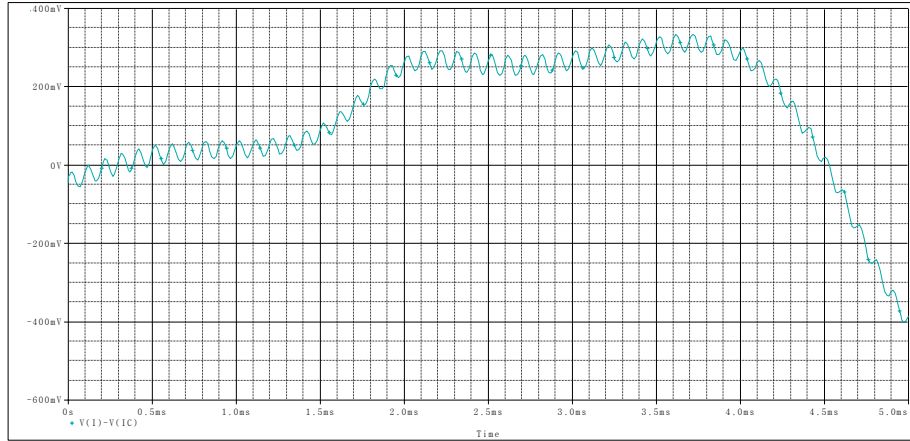
E.4.10 kullanılarak tabloda elde edilen değerler kullanılarak hesaplama yapıldığında RMSE değerleri OP-AMP için 6.99, OTRA için 2.75, CCII için 219.80, CCIII için 4.79 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan tasarımda hatanın daha düşük olduğu görülmüştür. Bu tasarımda CCIII ile yapılan tasarımda da OP-AMP a göre daha iyi performans gözlemlenmiştir.



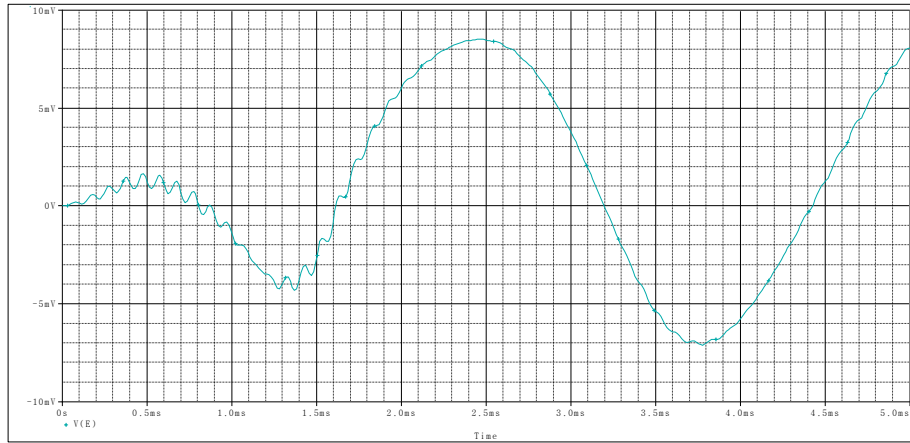
Şekil 4. 125. Hata sinyali (OP-AMP ile tasarlanan).



Şekil 4. 126. Hata sinyali (OTRA ile tasarlanan).



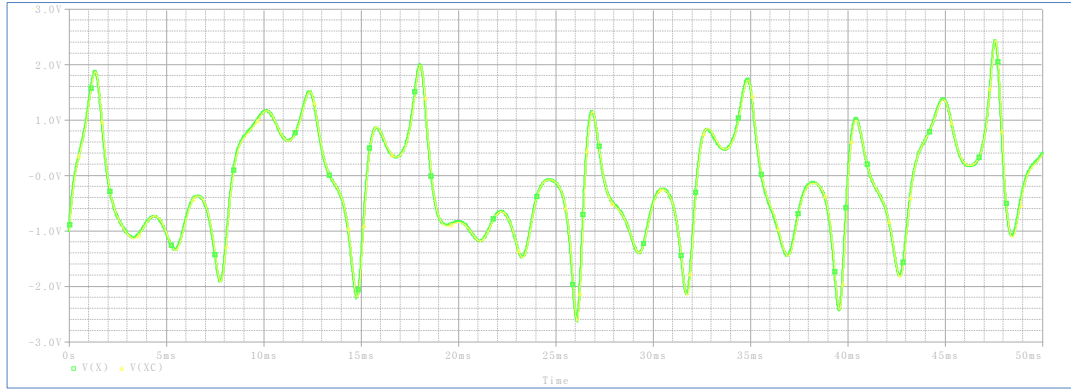
Şekil 4. 127. Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).



Şekil 4. 128. Hata sinyali (CCII ile tasarlanan).

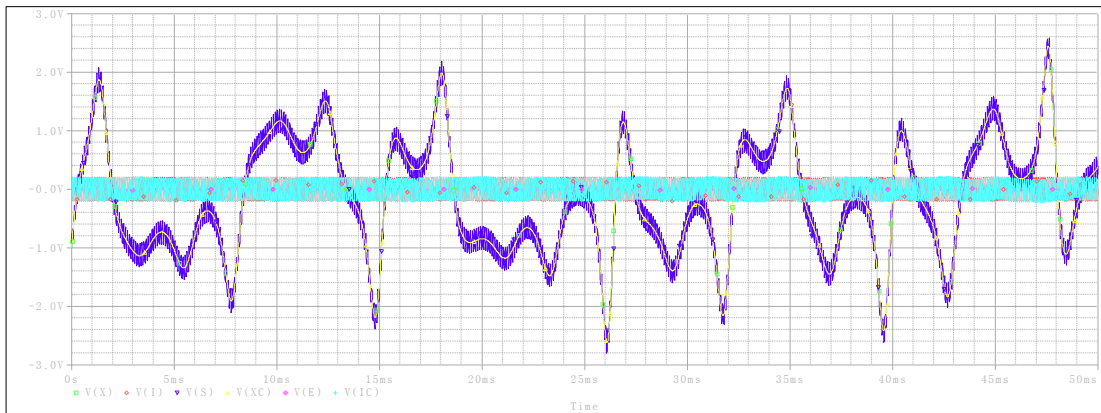
#### **4.3.3.1. Yayınımsız lorenz OP-AMP ile kurulmuş haberleşme devreleri**

OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yayınımsız lorenz sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.3.1’de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca gönderilen bilgi işaretinden alınan bilgi işareti çıkarılarak hata sinyali ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır. Devre 5 ms süre ile çalıştırılarak daha ayrıntılı görüntülenmesi Şekil 4.113. de gösterilmiştir.

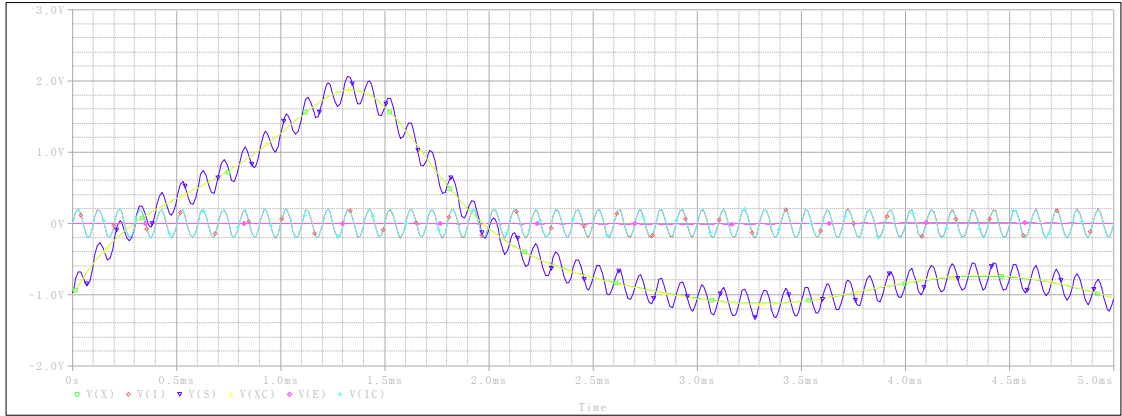


**Şekil 4. 129.** Haberleşme devresinde X ve Xc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.

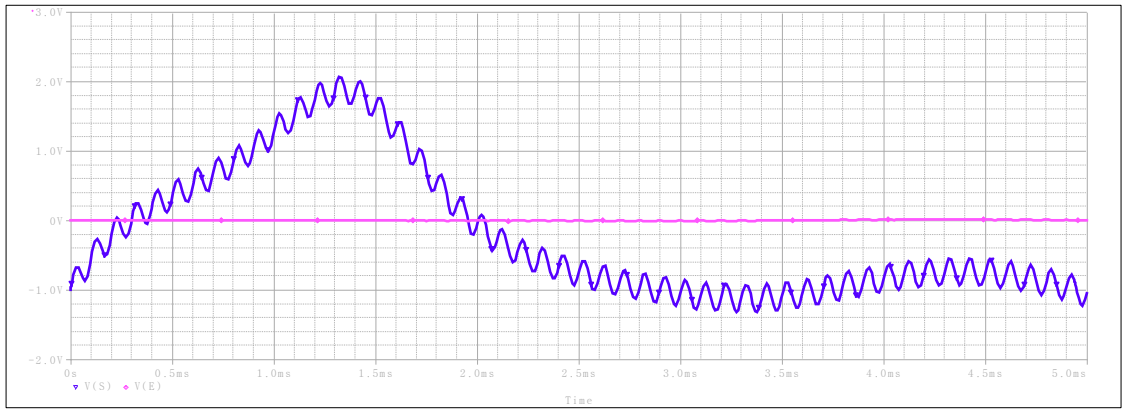
50 ms süre ile devre çalıştırıldığında verici kısımdaki X ve alıcı kısımdaki Xc sinyalinin senkronize çalıştığı görülmüştür. Şekil 4.112. de kaotik işaret olarak X(t) kullanılarak sürücü sistemdeki X(t) sinyali, alıcı sistemdeki Xc(t) sinyali, toplam işaret S(t), bilgi işareti i(t) ve haberleşme sonucunda tekrar elde edilen ic(t) bilgi işareti gösterilmiştir. Simülasyon sonucunda haberleşmenin sağlandığı i(t) ve ic(t) sinyallerinin birbirine çok benzer olduğu gözlemlenmiştir



**Şekil 4. 130.** OP-AMP ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin  $x(t)$  sinyali, alıcı sistemin  $x_c(t)$  sinyali, iletilen sinyal  $s(t) = x(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



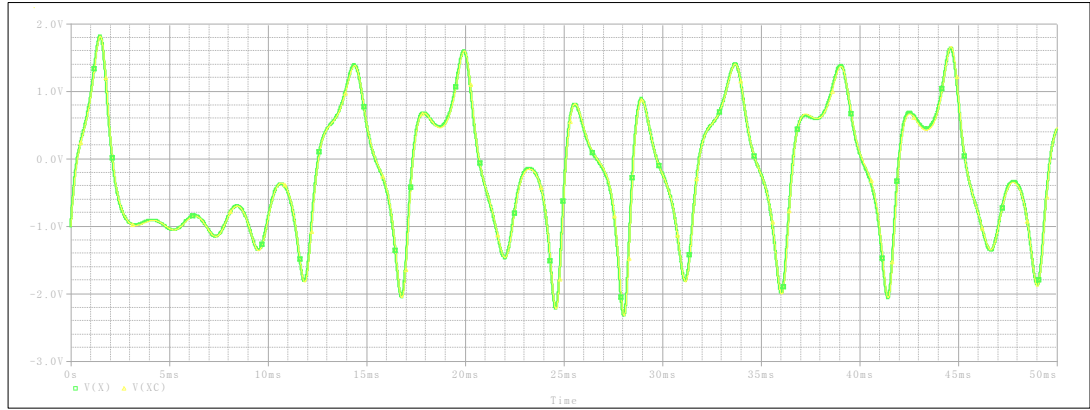
**Şekil 4. 131.** 5ms süre ile devre simülasyonu ( $i(t)$ ,  $ic(t)$ ,  $S(t)$ ,  $X(t)$ ,  $Xc(t)$ ,  $e(t)$ ).



**Şekil 4. 132.** OP-AMP ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = X(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ .

#### **4.3.3.2. Yayımsız lorenz OTRA ile kurulmuş haberleşme devreleri**

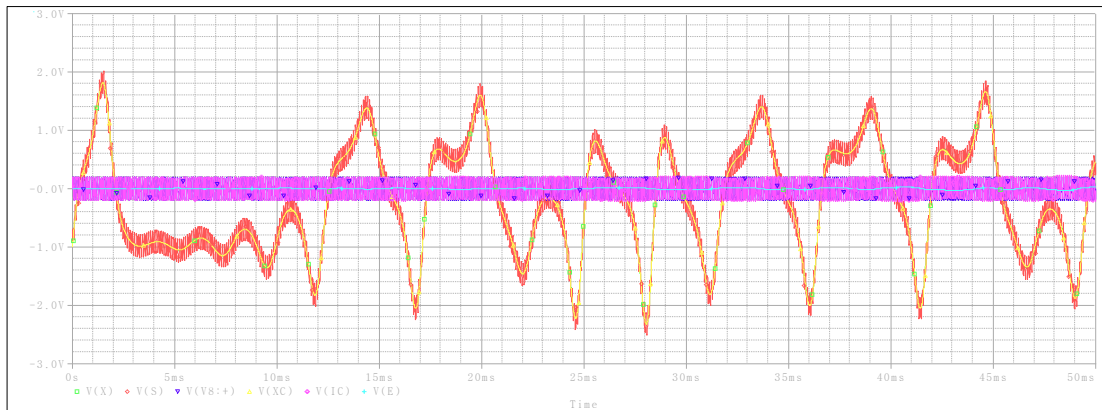
OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yayımsız lorenz sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.3.2’de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Böylece yayımsız lorenz sisteminin ilk defa OTRA ile haberleşme devresi tasarlanmıştır ve çalıştığı görülmüştür. Ayrıca gönderilen bilgi işareti, alınan bilgi işareti ve toplam olarak iletilen işaretin zamana göre değişimi incelenmiştir. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır. Devre 5 ms süre ile çalıştırılarak daha ayrıntılı görüntülenmesi Şekil 4.104. de gösterilmiştir.



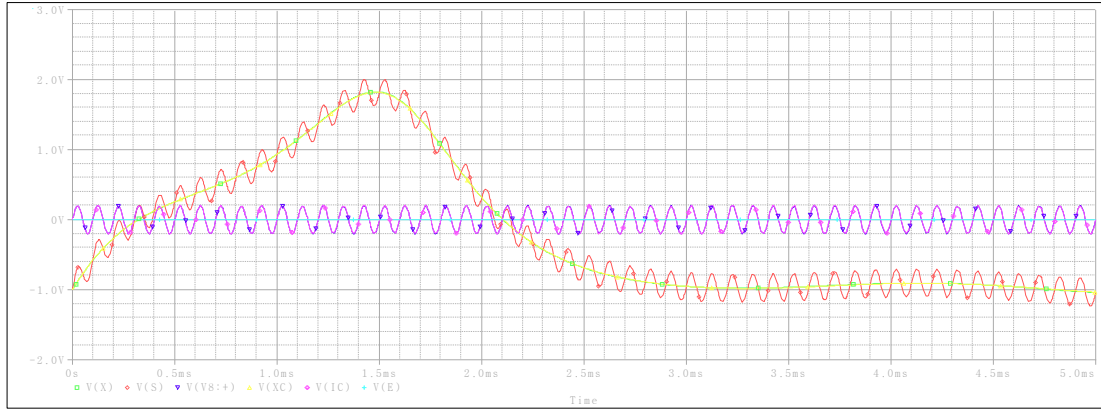
**Şekil 4. 133.** Haberleşme devresinde X ve Xc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.

50 ms süre ile devre çalıştırıldığında verici kısımdaki Y ve alıcı kısımdaki Yc sinyalinin senkronize çalıştığı görülmüştür. Simülasyon sonucunda haberleşmenin sağlandığı  $i(t)$  ve  $ic(t)$  sinyallerinin birbirine çok benzer olduğu gözlemlenmiştir.

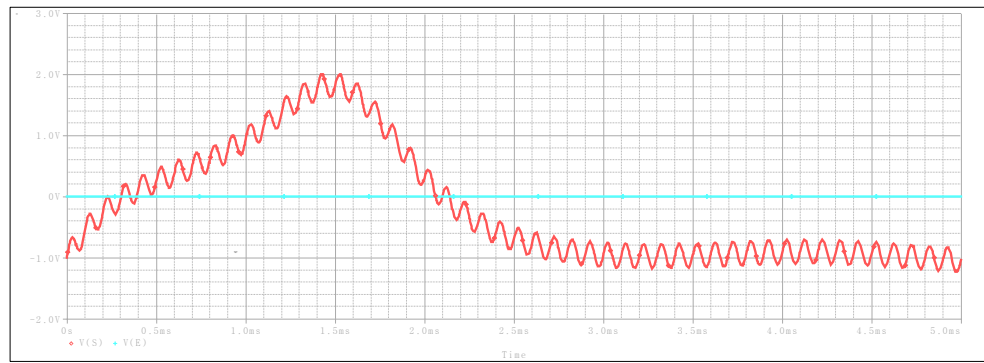
Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın daha düşük olduğu bilgiyi daha düzgün ilettiği görülmüştür.



**Şekil 4. 134.** OTRA ile kurulmuş yayınımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin X(t) sinyali, alıcı sistemin Xc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = X(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



**Şekil 4. 135.** 5ms süre ile devre simülasyonu ( $i(t)$ ,  $ic(t)$ ,  $S(t)$ ,  $X(t)$ ,  $Xc(t)$ ,  $e(t)$ ).

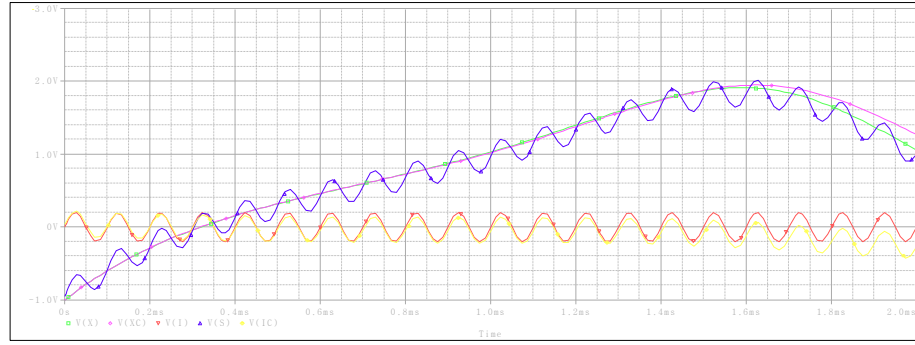


**Şekil 4. 136.** OTRA ile kurulmuş yayımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = X(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ .

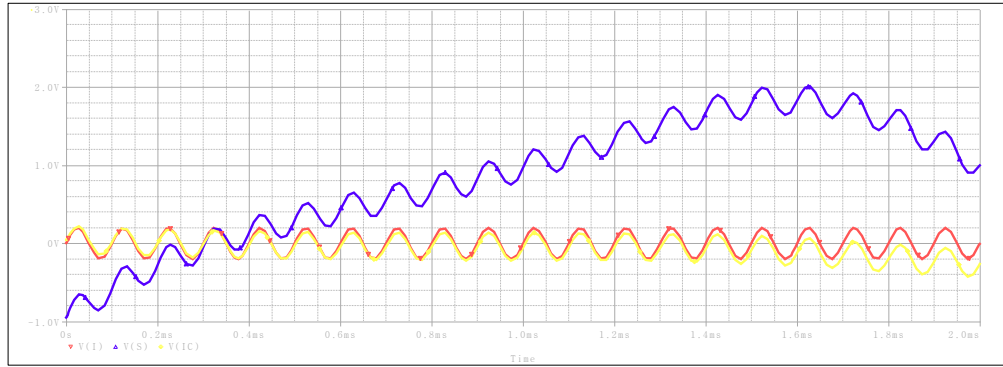
#### **4.3.3.3. Yayımsız lorenz CCII ile kurulmuş haberleşme devreleri**

CCII işlevsel elemanı kullanılarak yayımsız lorenz sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.3.3'de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. CCII ile yapılan tasarımlar sonucunda kısa sürelerde sekronizasyonun sağlandığı tespit edilmiş olup devrelerin kısa süreli simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Böylece yayımsız lorenz sisteminin ilk defa CCII ile haberleşme devresi tasarlanmıştır. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmış 2ms süre ile simülasyon sonuçları görüntülenmiştir.

Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde CCII işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın fazla olduğu bilgiyi daha düzgün iletmediği görülmüştür



**Şekil 4. 137.** CCII ile kurulmuş yayınimsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin  $X(t)$  sinyali, alıcı sistemin  $X_c(t)$  sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = X(t) + i(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).

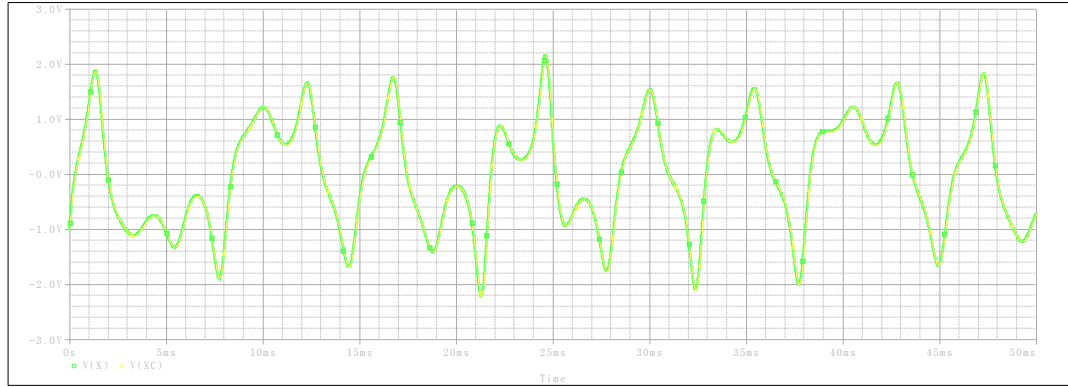


**Şekil 4. 138.** CCII ile kurulmuş yayınimsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $i(t)$ ,  $ic(t)$  ve  $S(t)$  sinyalleri.

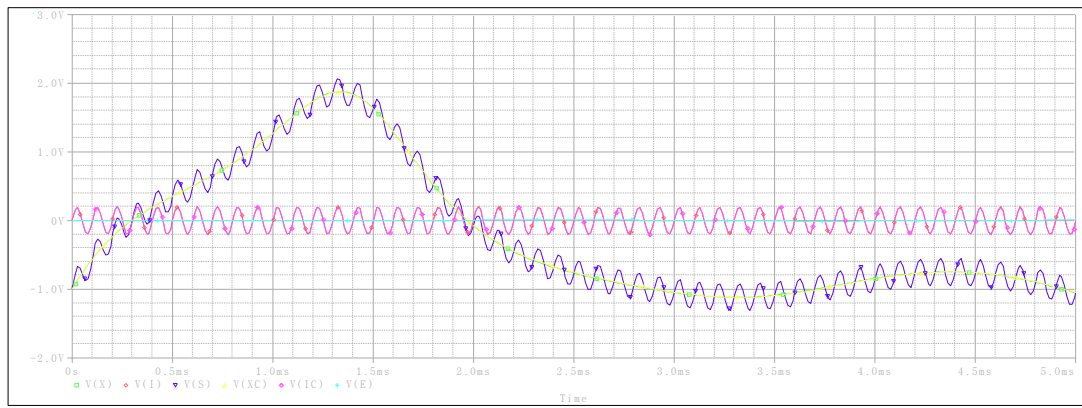
#### **4.3.3.4. Yayınimsız lorenz CCIII ile kurulmuş haberleşme devreleri**

CCIII işlevsel elemanı kullanılarak yayınimsız sistemine ilişkin haberleşme devresi tasarlanmıştır. Devre şeması bölüm 6.3.3.4'de gösterilmiş olup simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. 50 ms süre ile devrenin çıkışları gözlemlenmiştir. Senkronizasyonun sağlandığı ve bilgi işaretinin tekrar elde edildiği görülmüştür. Böylece yayınimsız lorenz sisteminin ilk defa CCIII ile haberleşme devresi tasarlanmıştır ve çalıştığı görülmüştür. Bilgi işareti olarak 0.2V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılmıştır.

Gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata sinyali incelendiğinde OTRA işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımında OP-AMP işlevsel elemanı kullanılarak yapılan devre tasarımına göre hatanın daha düşük olduğu bilgiyi daha düzgün ilettiği görülmüştür.



**Şekil 4. 139.** Haberleşme devresinde X ve Xc kaotik sinyallerinin senkronize olduğunu gösteren simülasyon sonucu.



**Şekil 4. 140.** CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin pspice simülasyon sonuçları (verici sistemin X(t) sinyali, alıcı sistemin Xc(t) sinyali, iletilen sinyal  $S(t) = X(t) + i(t)$  ve haberleşme hatası  $e(t) = i(t) - ic(t)$ , bilgi işareti  $i(t)$  ve tekrar elde edilen bilgi sinyali  $ic(t)$ 'nin zamana göre değişimi).



**Şekil 4. 141.** CCIII ile kurulmuş yayınımsız lorenz sistemi kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme devresinin  $S(t) = X(t) + i(t)$  ve  $e(t) = i(t) - ic(t)$ .

## 5. SONUÇLAR

Kaotik sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılmasına ilişkin literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Chua, Lorenz, Rossler gibi sistemlerin daha fazla kullanıldığı ve kaotik sistemlerin işlevsel eleman olarak OP-AMP kullanılarak gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu tezde Sprott A, Sprott B, Sprott G, Sprott H ve Yayınımsız Lorenz sistemlerinin kaotik devreleri, Sprott A, Sprott B ve Yayınımsız Lorenz sistemlerinin haberleşme devreleri tasarlanmıştır. Tüm devreler OP-AMP dışında literatürde daha önce uygulamaları bulunmayan, OP-AMP yerine alternatif olarak kullanılacak OTRA, CCII ve CCIII ile tasarlanmıştır.

Yüksek hızlı işaret işleme gereksinimi arttıkça, yapılan devre tasarımlarında geleneksel gerilim-modlu devreler yerine akım-modlu devreler tercih edilmeye başlanmıştır (Duruk ve Kuntman, 2003). Voltaj modlu opamp devrelerinde sabit kazanç-bantgenişliği çarpımından dolayı, kapalı çevrim kazancının yüksek olması istenildiğinde bant genişliği daralmakta, değişim hızları (slew rate) sınırlı olduğundan, yüksek frekanslı çalışmalarda engelleyici etkiye sahip olmaktadır. Oysa akım modlu devreler; büyük bantgenişliği, yüksek değişim hızı, daha geniş dinamik saha, düşük güç tüketimi, basit devre yapısı ve geniş doğrusallık sahası gibi karakteristik özellikler taşıdıklarından voltaj modlu devrelere rağmen geniş uygulama alanı bulmuşlardır (Uzunhisarcıklı ve Alçı, 2003). Devreler OP-AMP a göre üstünlükleri olan OTRA, CCII ve CCIII ile tasarlanmıştır. Literatürde çok rastlanan sistemler güvenlik açısından risk oluşturabilmektedir. Bu tezde kaotik sistem olarak literatüre geçmiş ancak uygulamalarına rastlanılmamış alternatif olarak kullanılabilir kaotik sistemler tanımlanmış ve güvenli haberleşme simülasyonları yapılmıştır.

Literatürde geçen örnek kaotik sistemler tanıtılarak Matlab ortamında sistemlerin x-y, x-z ve y-z kaotik çekicileri, durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi ve Üç Boyutlu x-y-z Kaotik Faz Portresi modellenmiştir. Kaotik işlevsel elemanların kaotik devre tasarımında kullanılması amacıyla OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII için temel devre tasarımları ( Eviren, Evirmeyen, Toplama, İntegral Alma) yapılmıştır. Sprott Durum A, Sprott Durum B, Sprott Durum G, Sprott Durum H ve Yayınımsız Lorenz sistemlerinin Orcad-Pspice'da elektronik devrelerinin kaotik devre tasarım ve gerçeklemeleri yapılarak simülasyon sonuçları verilmiştir. Matlab ve Orcad-

Pspice sonuçlarının aynı olduğu gözlemlenmiştir bunun sonucunda devre tasarımının doğru yapıldığı görülmüştür. Sprot Durum A, Sprot Durum B, Sprot Durum G, Sprot Durum H ve Yayınımsız Lorenz ilk defa OP-AMP dışında OTRA, CCII ve CCIII ile tasarımı gerçekleştirilmiştir. OTRA işlevsel elemanı kullanılarak tasarlanan kaotik devrelerin OP-AMP ile tasarlanan kaotik devrelere göre daha yüksek frekansta çalışabildiği görülmüştür.

OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII ile tasarlanan Sprot Durum A, Sprot Durum B ve Yayınımsız Lorenz devrelerinin PC yöntemi ile senkronizasyon devreleri Orcad-Pspice'da tasarlanarak senkronizasyon öncesi ve senkronizasyon sonrası X ve Xc sinyallerinin durumu incelenmiştir. Senkronizasyon öncesi X ve Xc sinyallerinin birbirinden farklı olduğu senkronizasyondan sonra alıcı devrenin Xc sinyali, verici devrenin X sinyaline senkronize olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde güvenli haberleşme alanında uygulaması görülmeyen Sprot Durum B sisteminin ve ayrıca haberleşme uygulamalarına rastlanan ancak sadece OP-AMP ile tasarımları bulunan Sprot Durum A, Yayınımsız Lorenz devrelerinin gizleme yöntemiyle haberleşme modellemeleri ve simülasyon sonuçları Orcad-Pspice programı OP-AMP, OTRA, CCII ve CCIII kullanarak tasarlanmıştır. Böylece haberleşme devreleri ilk defa OP-AMP a göre üstünlükleri bulunan OTRA, CCII ve CCIII ile tasarımı gerçekleştirilmiştir. OP-AMP, OTRA ve CCIII ile yapılan tasarımlarda beklenen sonuçlar elde edilirken CCII ile yapılan tasarımlarda kısa bir süreden sonra senkronizasyonun bozulduğu görülmüştür. Tasarımlarda kısa süreli simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

Hata sinyali ele alınarak devre sonuçları incelendiğinde OTRA işlevsel elemanı kullanılarak tasarlanan haberleşme devrelerinde gönderilen bilgi ve alınan bilgi arasındaki hata değerinin OP-AMP a göre daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca OTRA'nın daha yüksek frekanslarda çalışabildiği de görülmüş olup devrelerin OP-AMP yerine OTRA kullanılarak tasarlandığında devre performansının yükseleceği kanaatine varılmıştır. CCII ile yapılan tasarımlarda hata değerinin yüksek olduğu ancak CCIII ile yapılan tasarımların bazen OP-AMP'a göre daha az hata verebileceği görülmüştür.

Öneri olarak CCII ların neden bu şekilde tepki verdiği araştırılarak geliştirilebilir. Ayrıca devreler diğer aktif devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilmesi için çalışmalar yapılabilir.

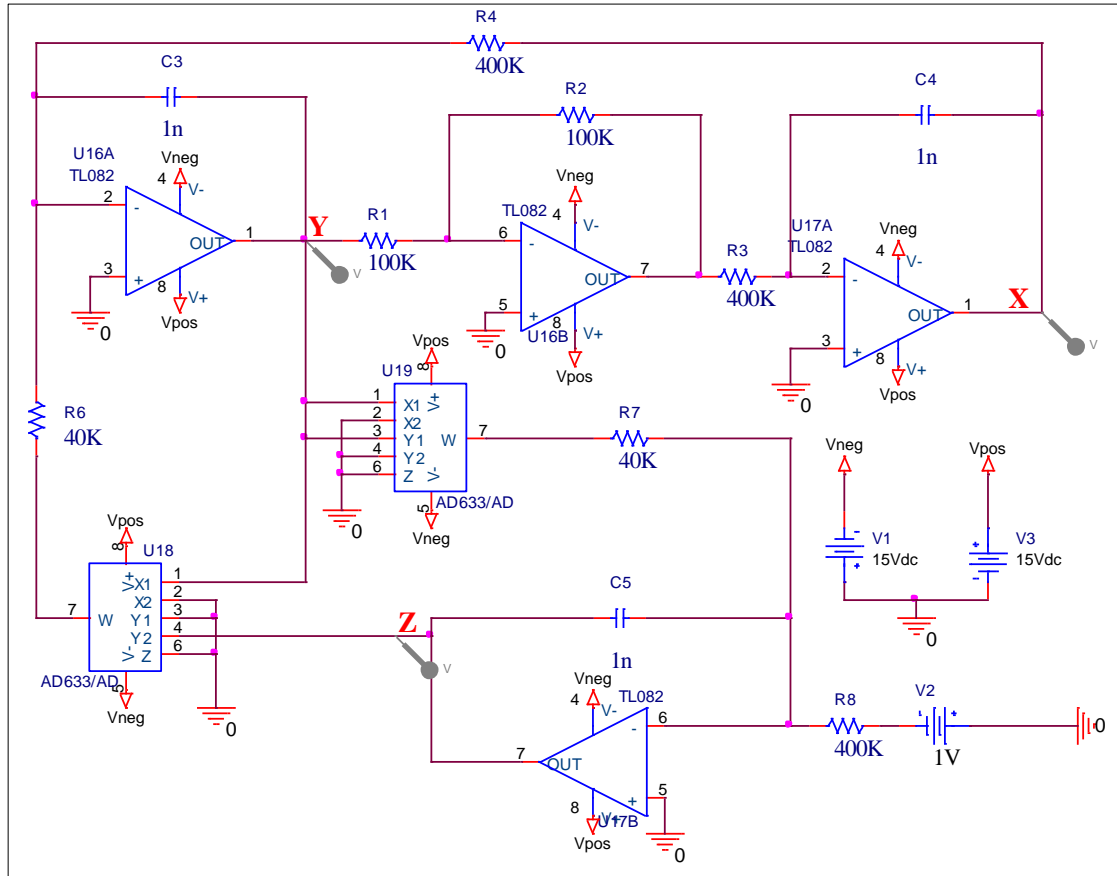
Bilinen klasik kaotik sistemlerin yanında, bu tezde tanıtılan az bilinen kaotik sistemlerin, kaos tabanlı haberleşme uygulamaları ve farklı işlevsel devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilmesinin özellikle bu tezde incelenen OP-AMP'a göre daha iyi performans gösteren OTRA ile yapılan tasarımların fayda sağlayacağı, kaos ile alakalı diğer alanlarda çalışanlara da kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir.

## 6. EKLER

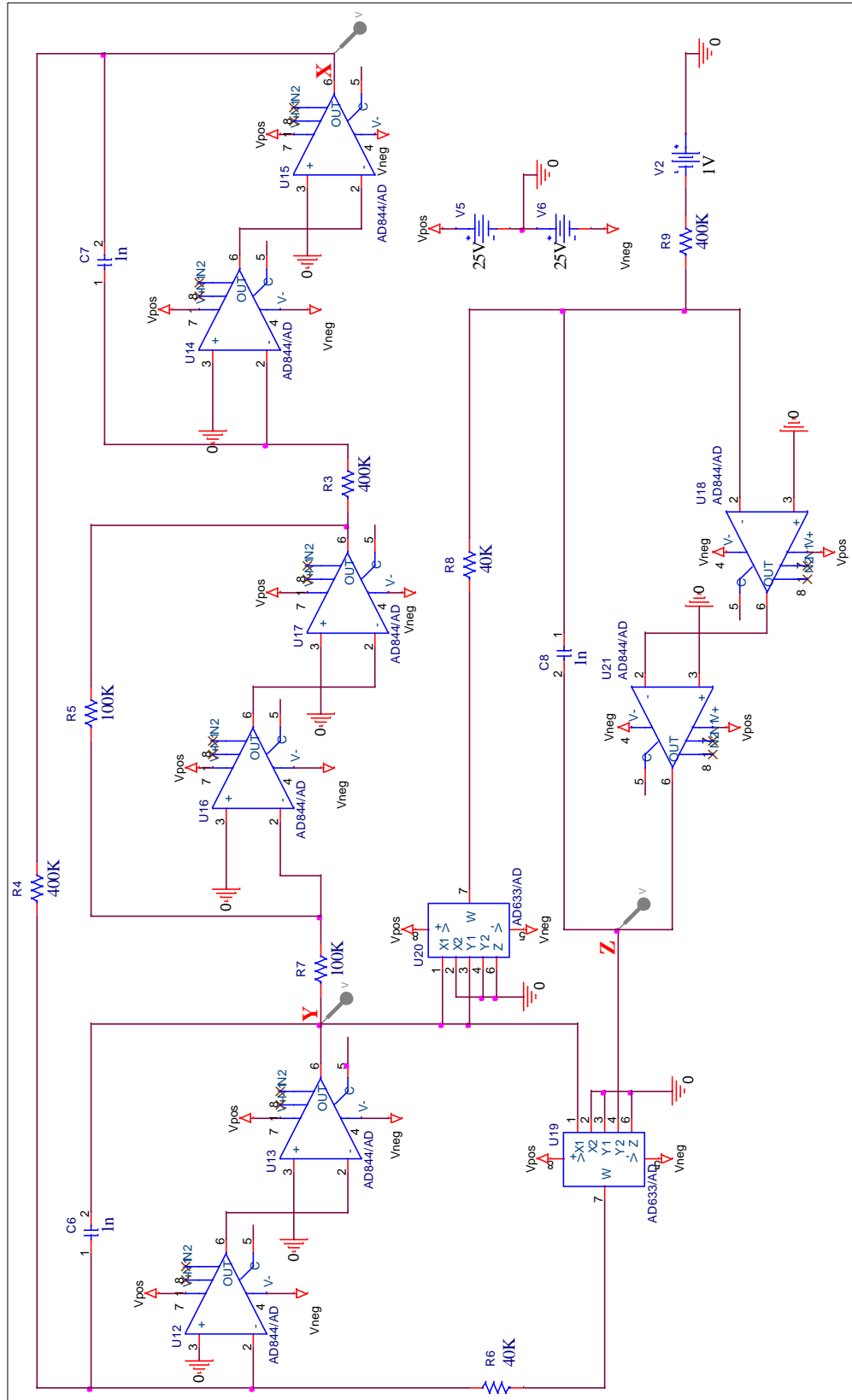
### 6.1. Kaotik Devre Gerçekleştirmeleri

#### 6.1.1. Sprott durum A Kaotik Devreleri

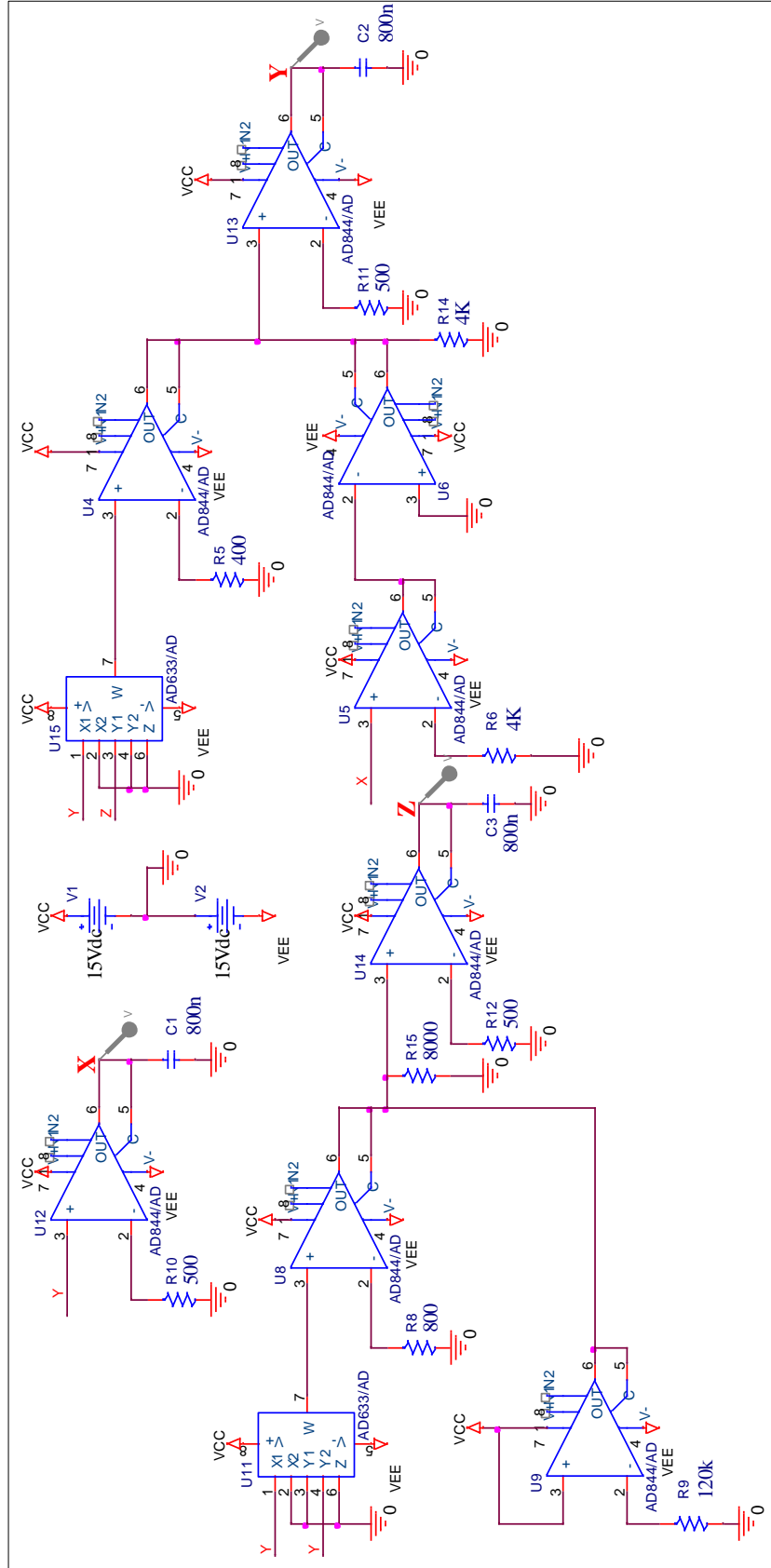
##### 6.1.1.1. Sprott durum A OP-AMP ile kurulan kaotik devre



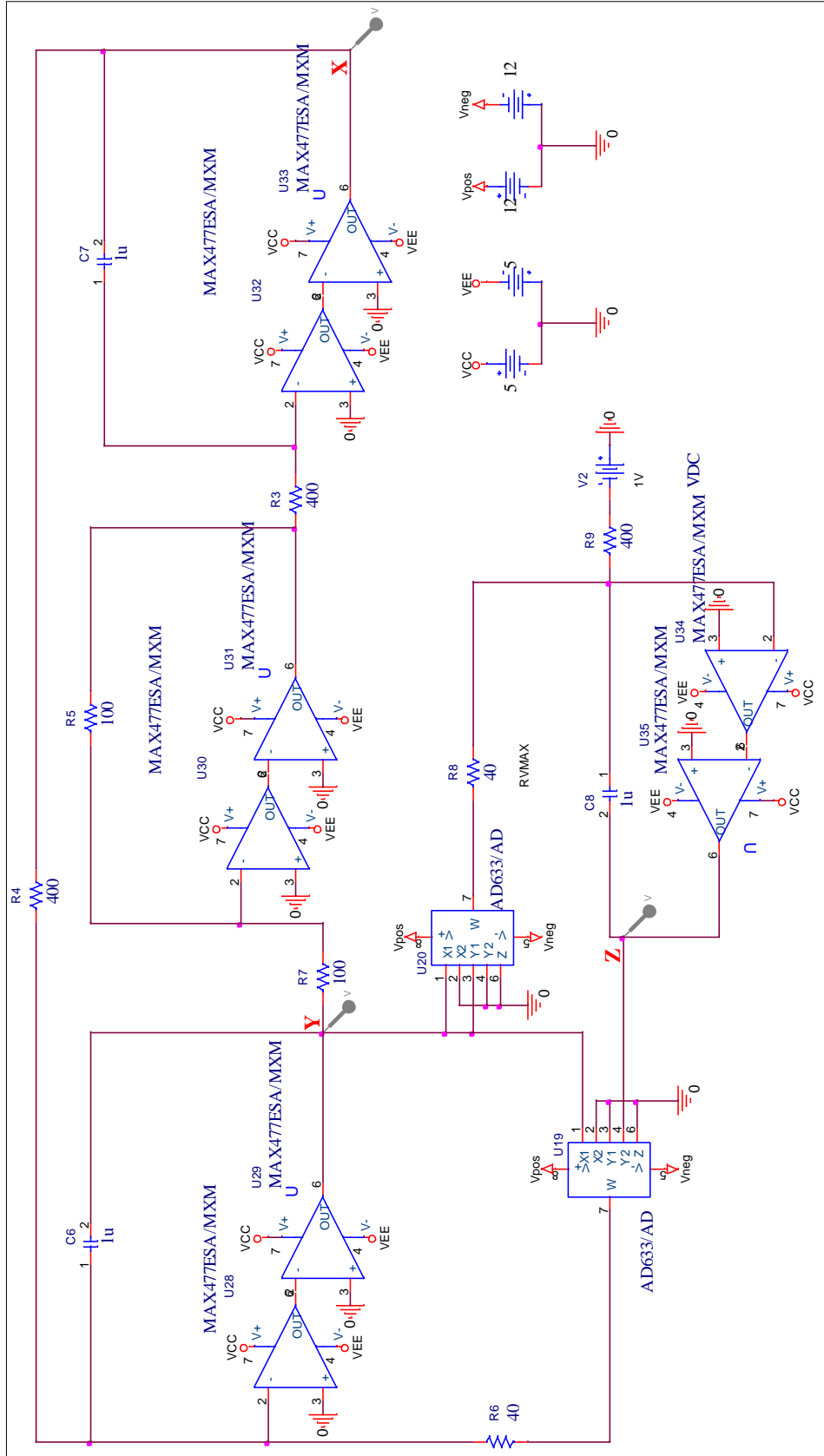
### 6.1.1.2. Sprott durum A OTRA ile kurulan kaotik devre



**6.1.1.3. Sprott durum A CCII ile kurulan kaotik devre**

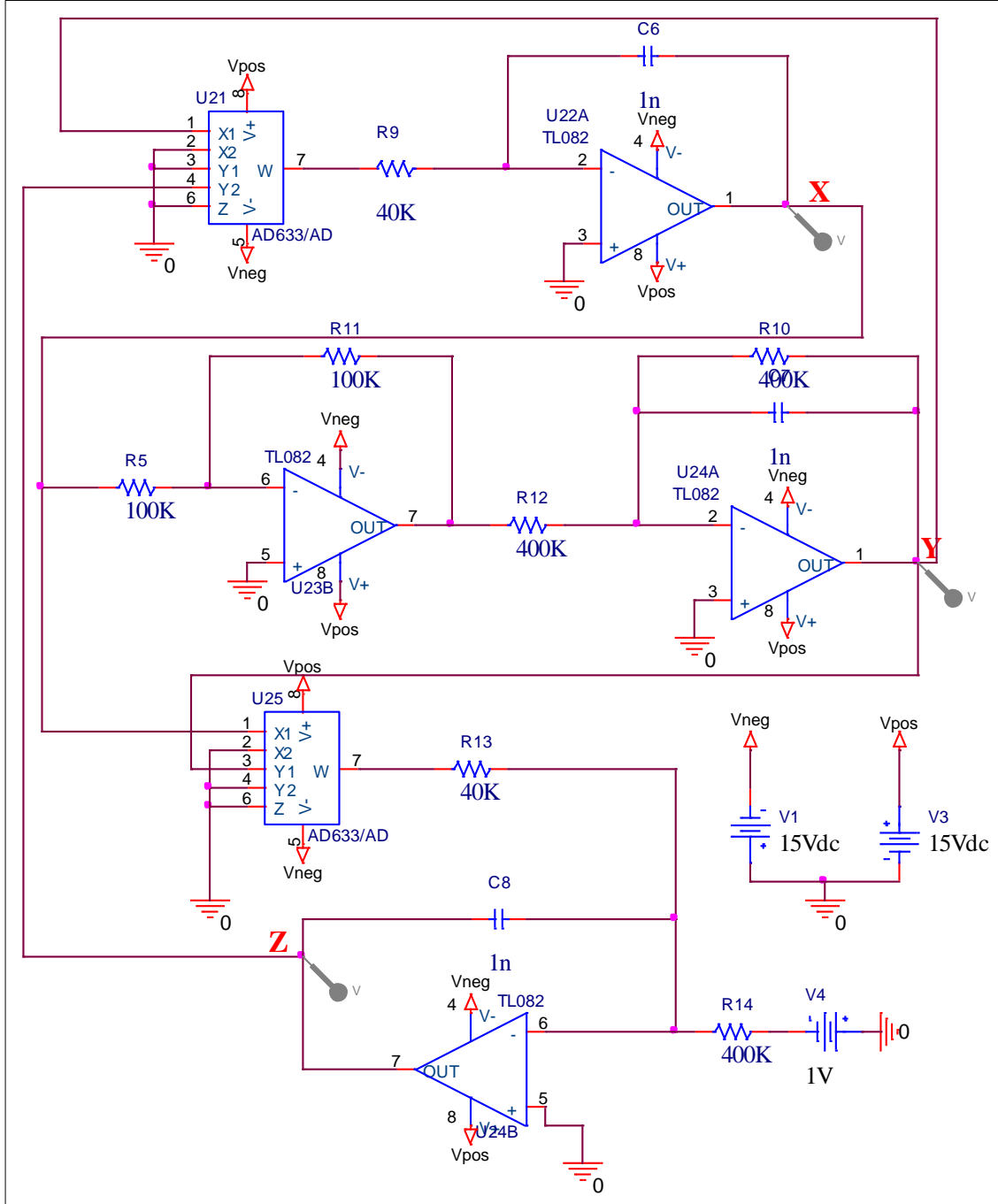


**6.1.1.4. Sprott durum A CCIH ile kurulan kaotik devre**

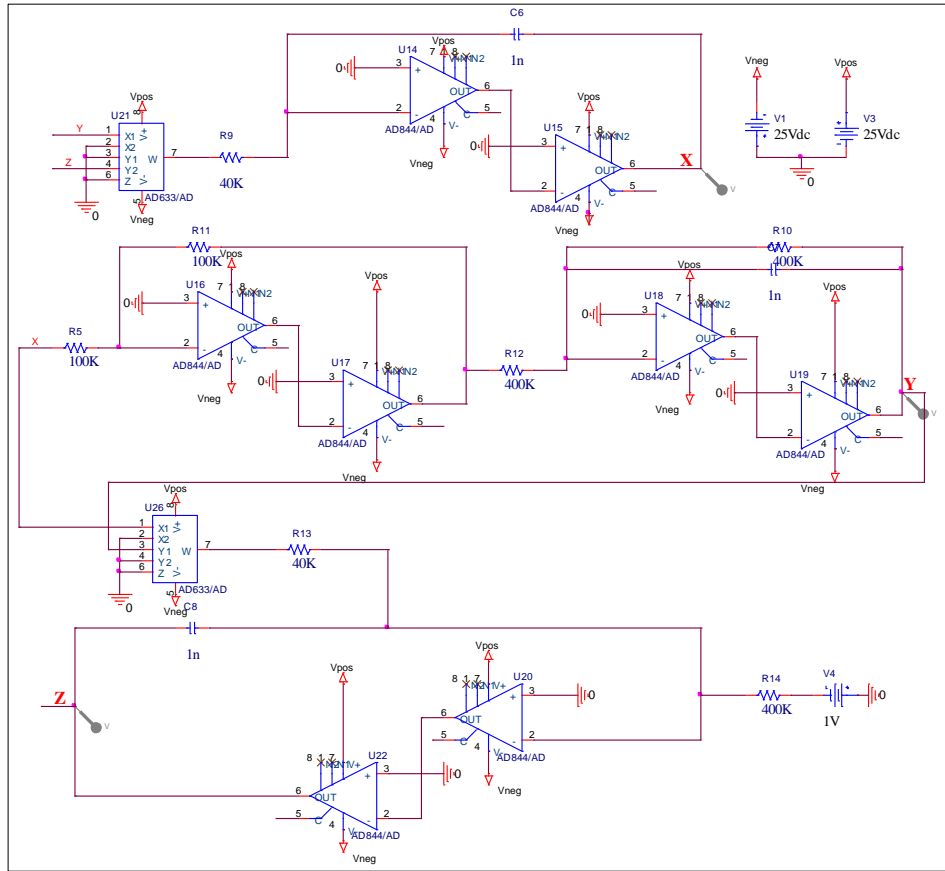


6.1.2. Sprott durum B Kaotik Devreleri

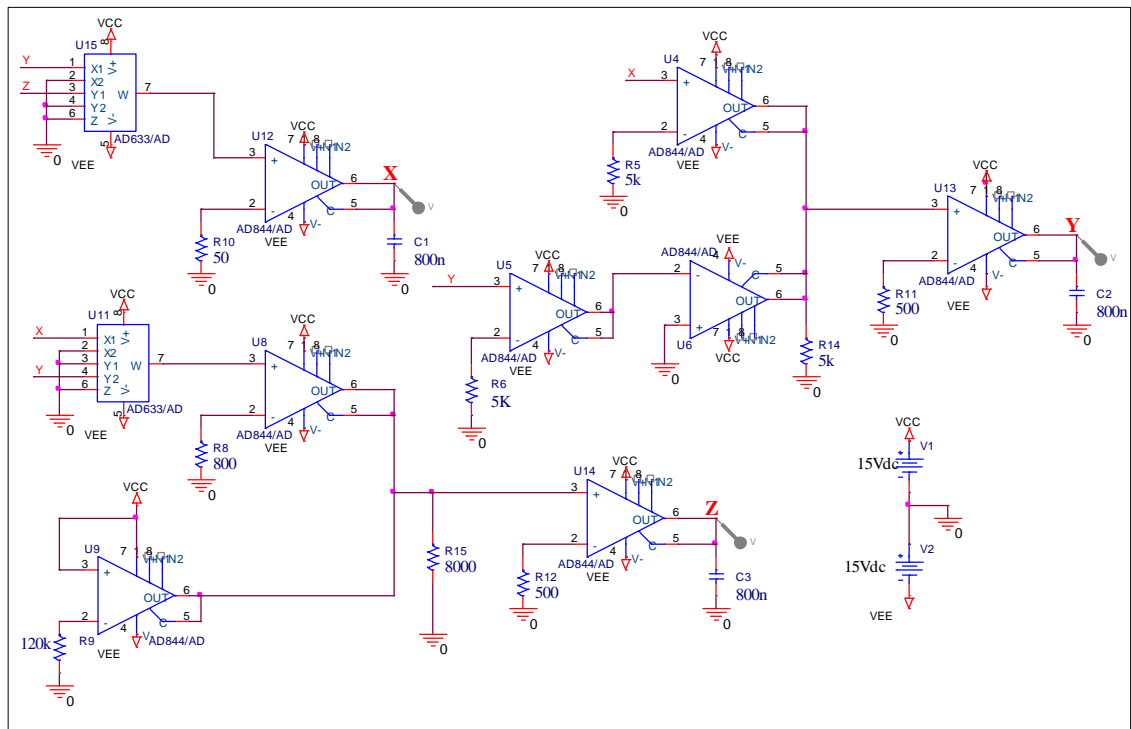
6.1.2.1. Sprott durum B OP-AMP ile kurulan kaotik devre



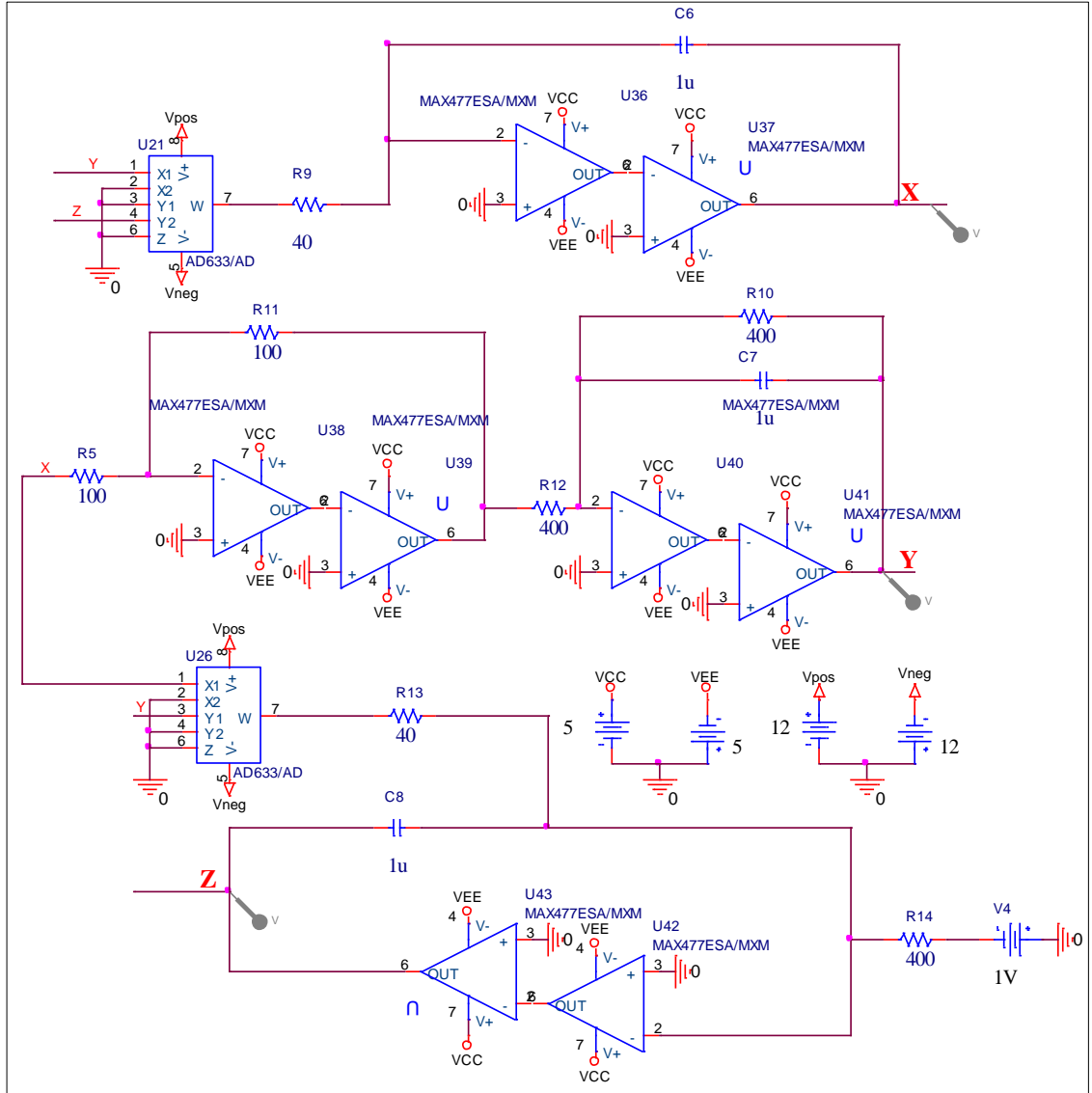
### 6.1.2.2. Sprott durum B OTRA ile kurulan kaotik devre



### 6.1.2.3. Sprott durum B CCII ile kurulan kaotik devre

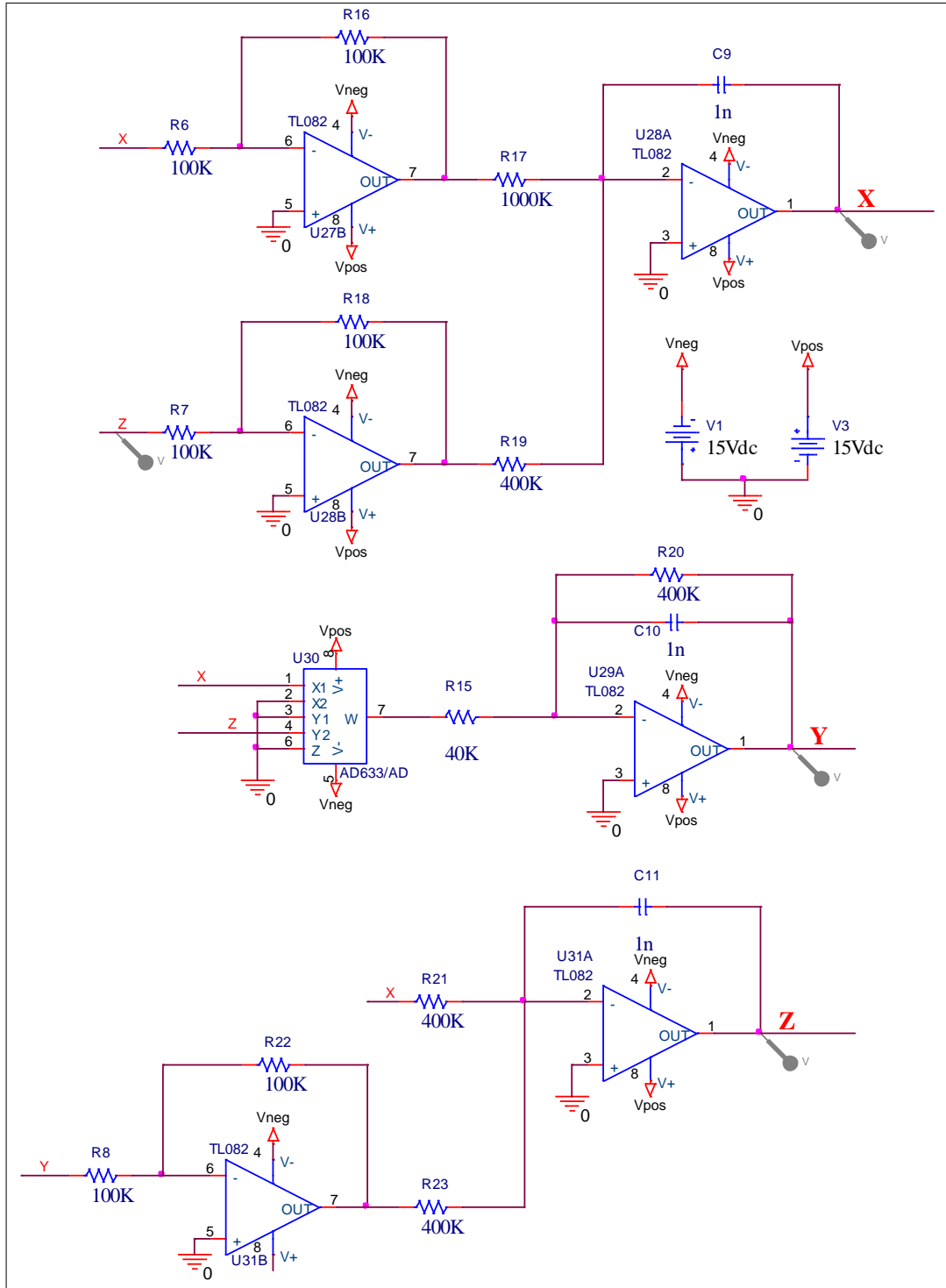


**6.1.2.4. Sprott durum B CCIII ile kurulan kaotik devre**

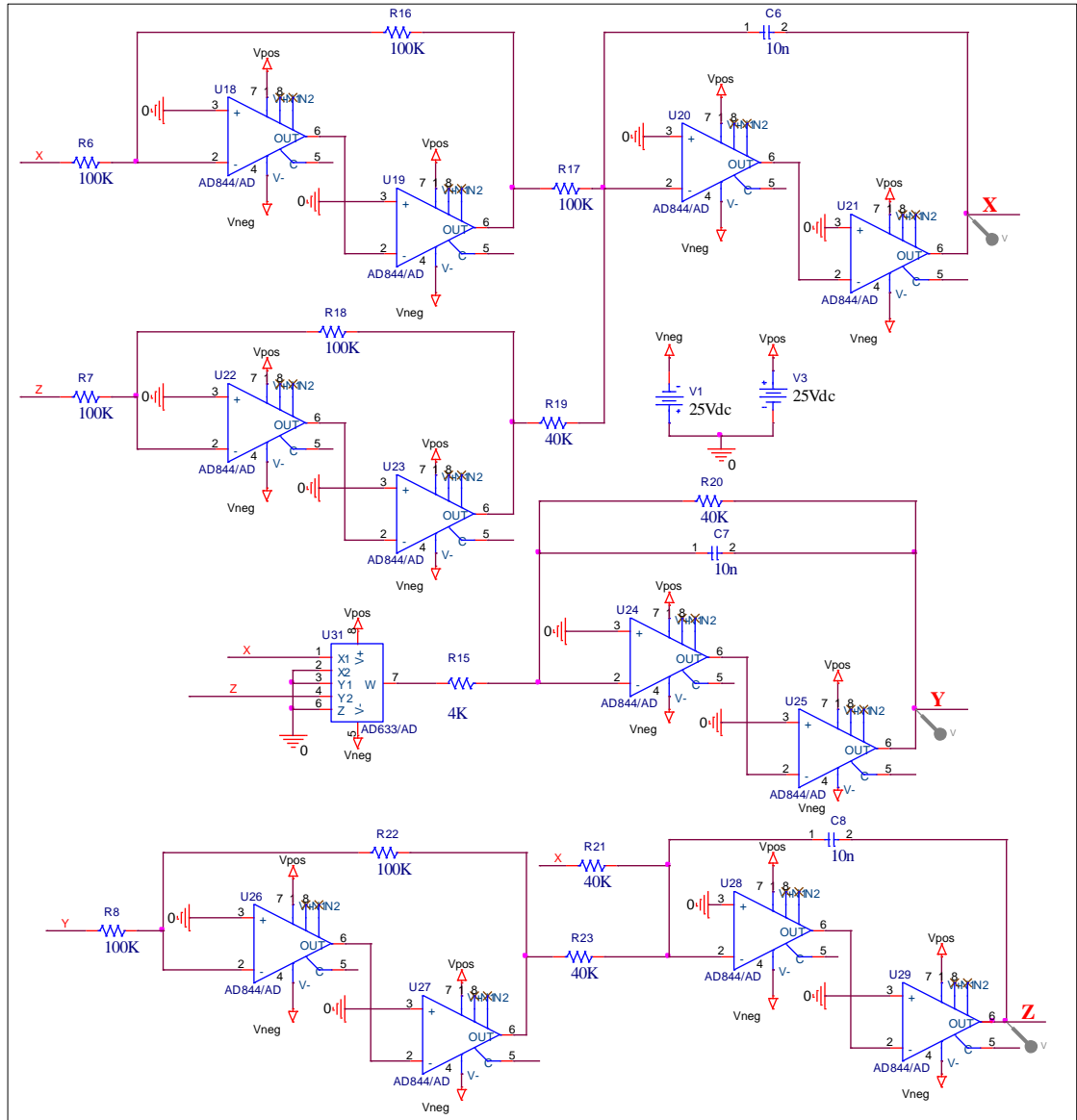


### 6.1.3. Sprott durum G Kaotik Devreleri

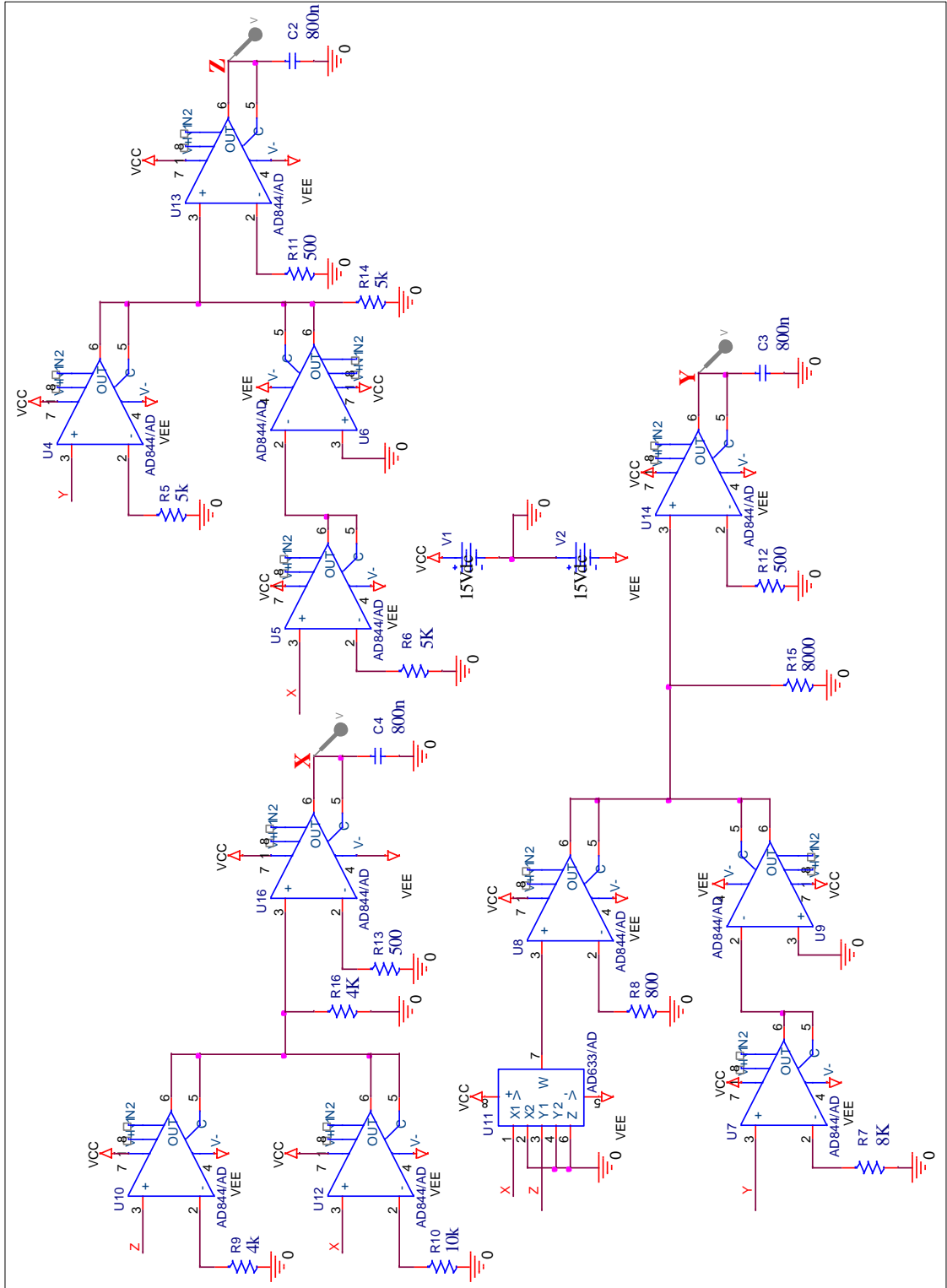
#### 6.1.3.1. Sprott durum G OP-AMP ile kurulan kaotik devre



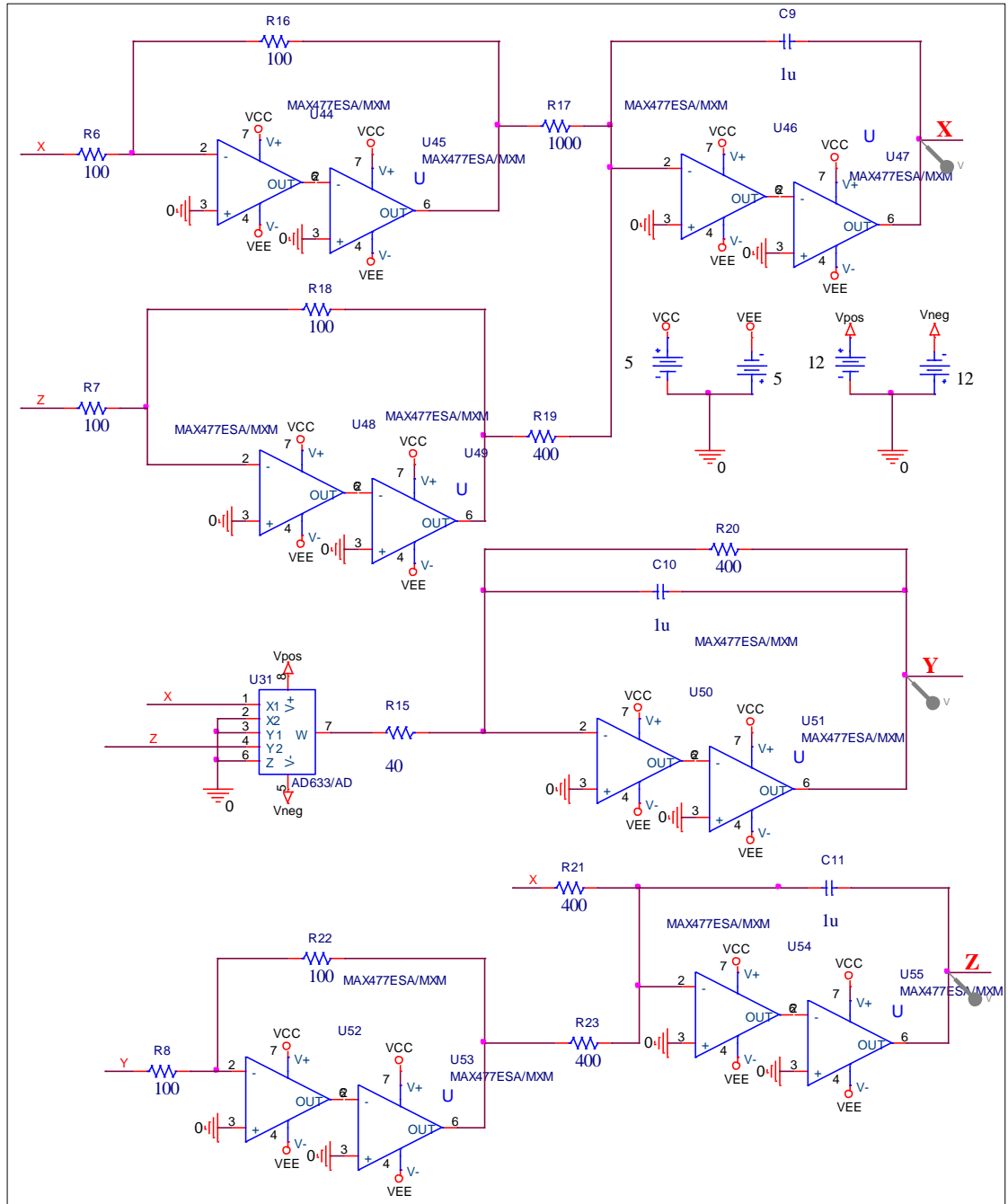
### 6.1.3.2. Sprott durum G OTRA ile kurulan kaotik devre



**6.1.3.3. Sprott durum G CCII ile kurulan kaotik devre**

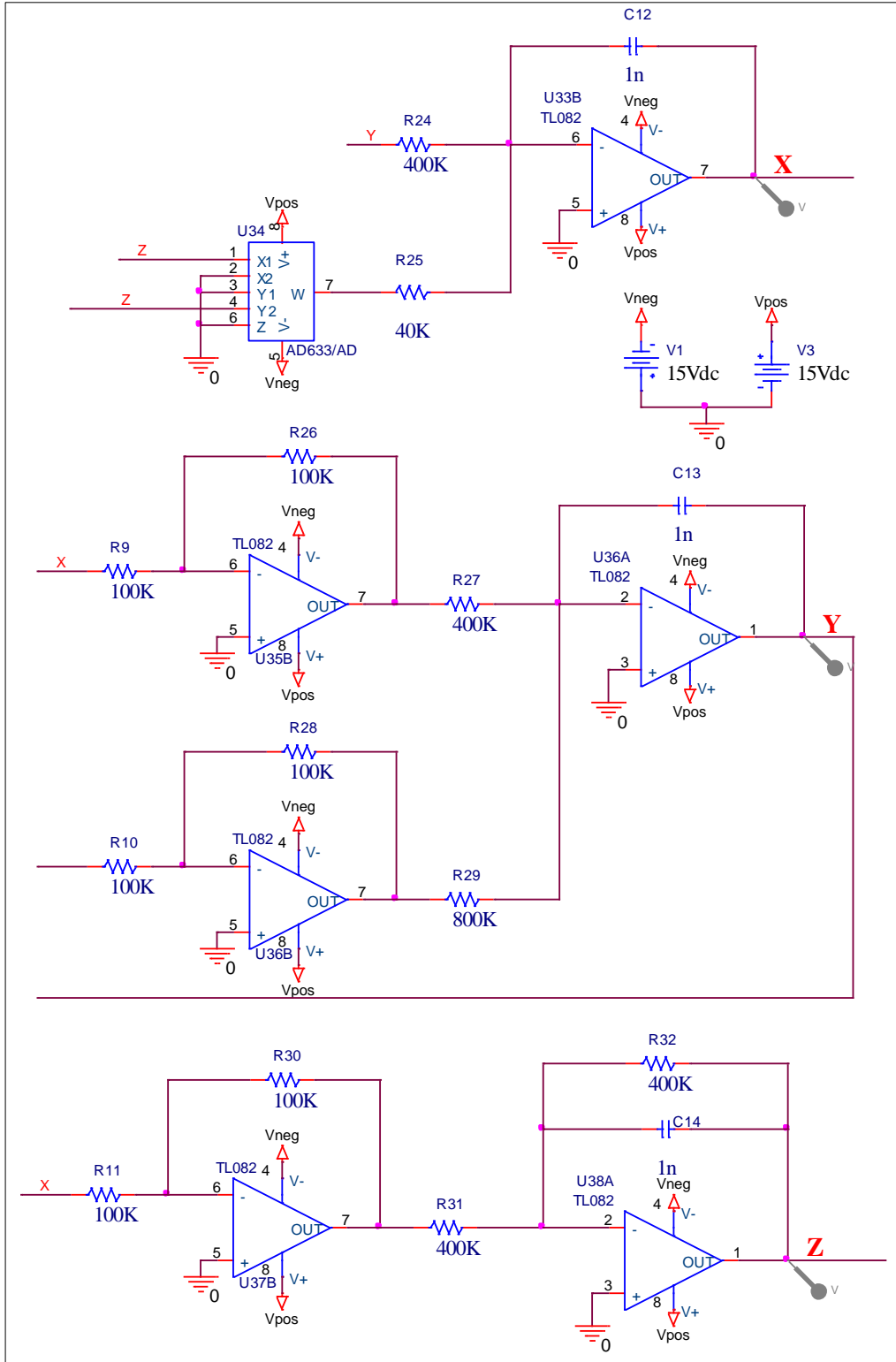


### 6.1.3.4. Sprott durum G CCIII ile kurulan kaotik devre

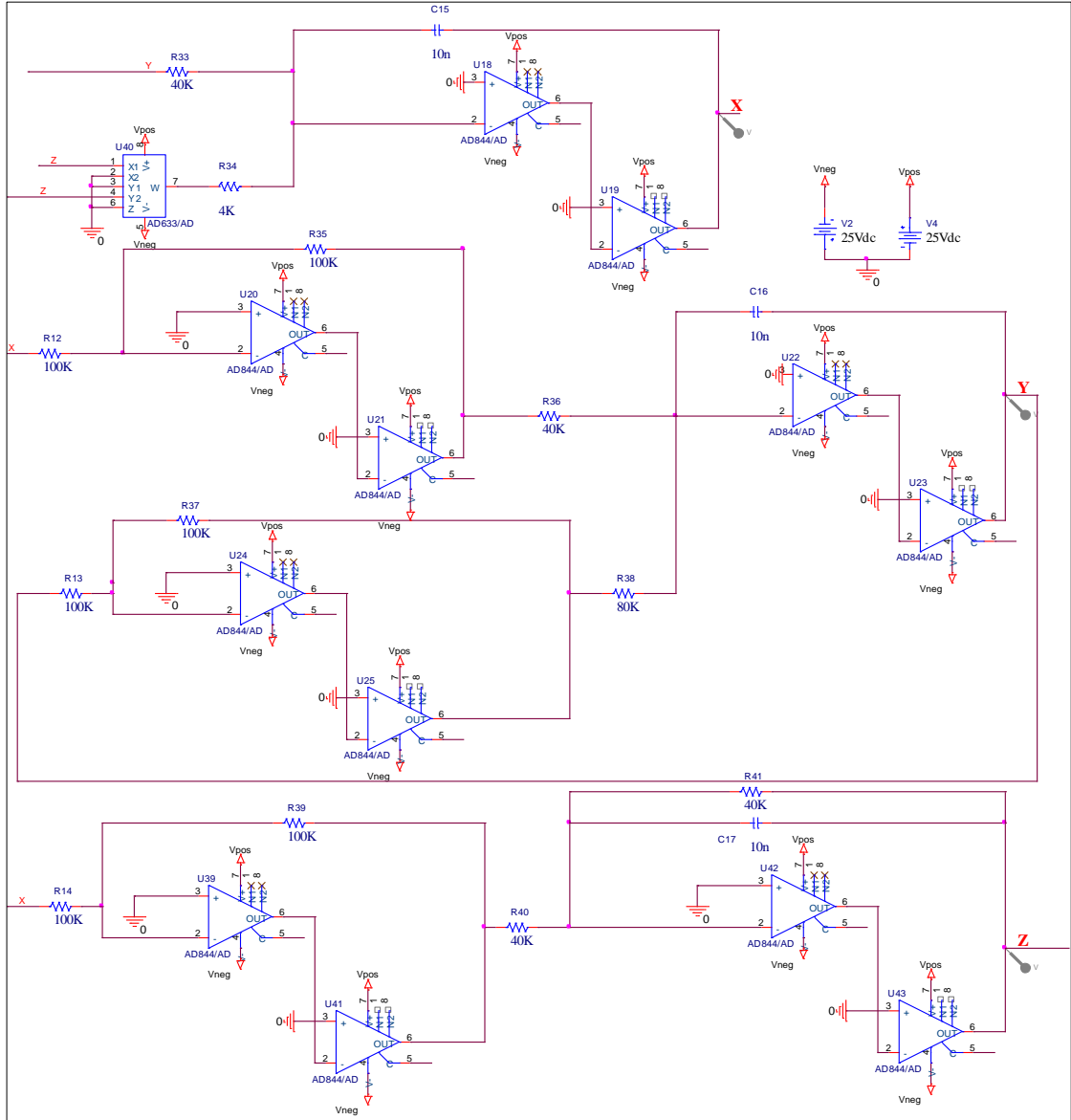


### 6.1.4. Sprott durum H Kaotik Devreleri

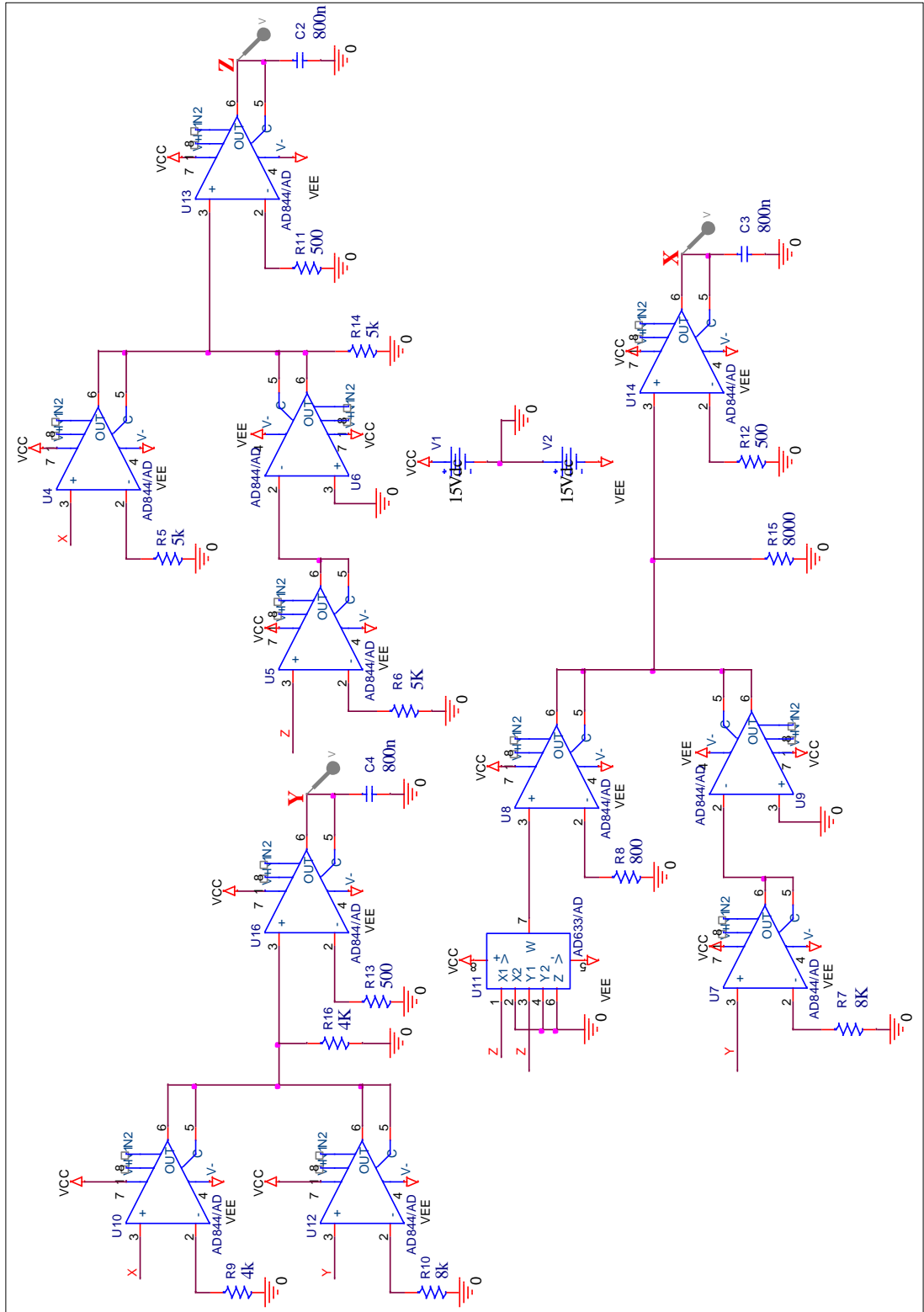
#### 6.1.4.1. Sprott durum H OP-AMP ile kurulan kaotik devre



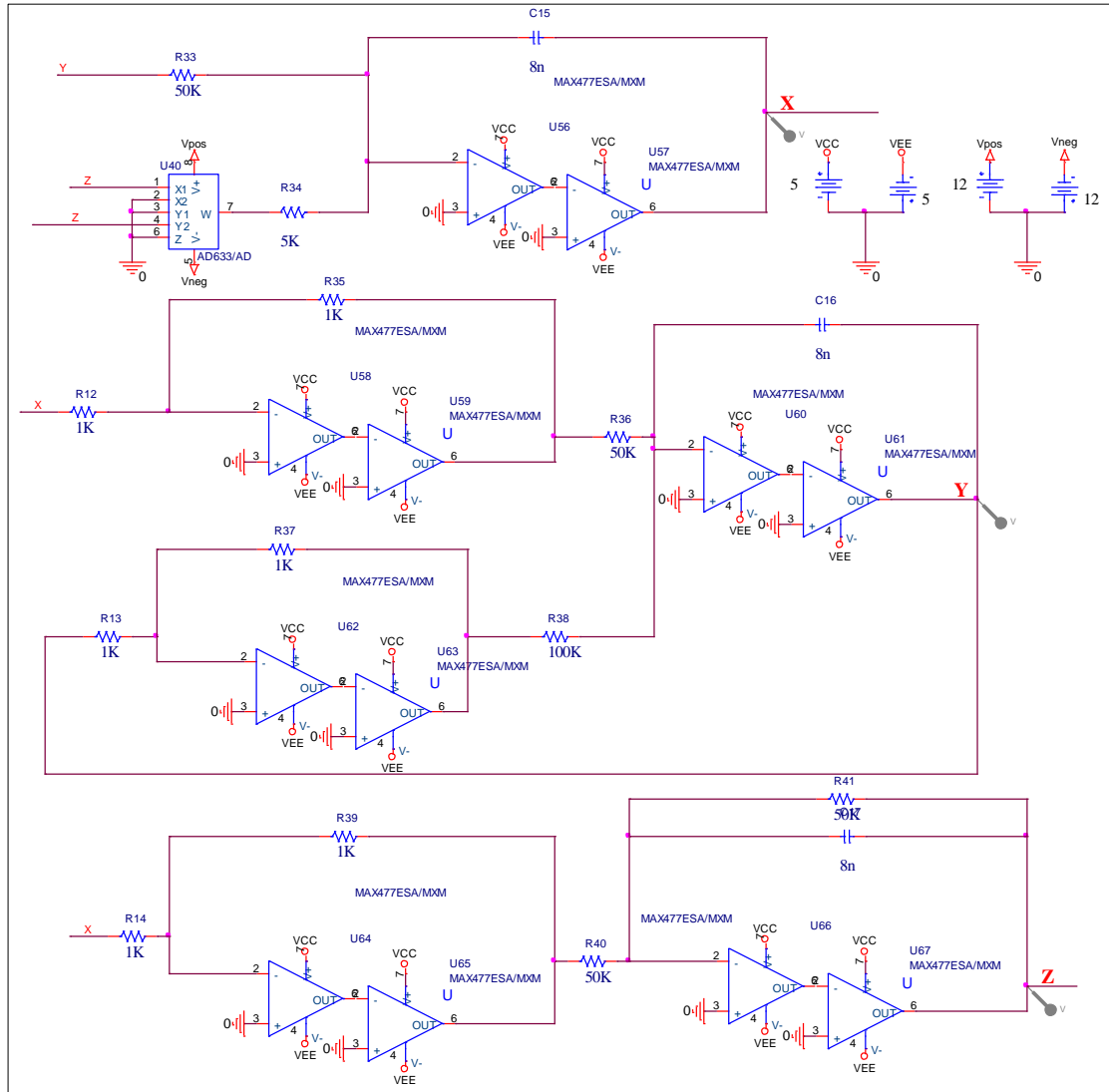
### 6.1.4.2. Sprott durum H OTRA ile kurulan kaotik devre



### 6.1.4.3. Sprott durum H CCII ile kurulan kaotik devre

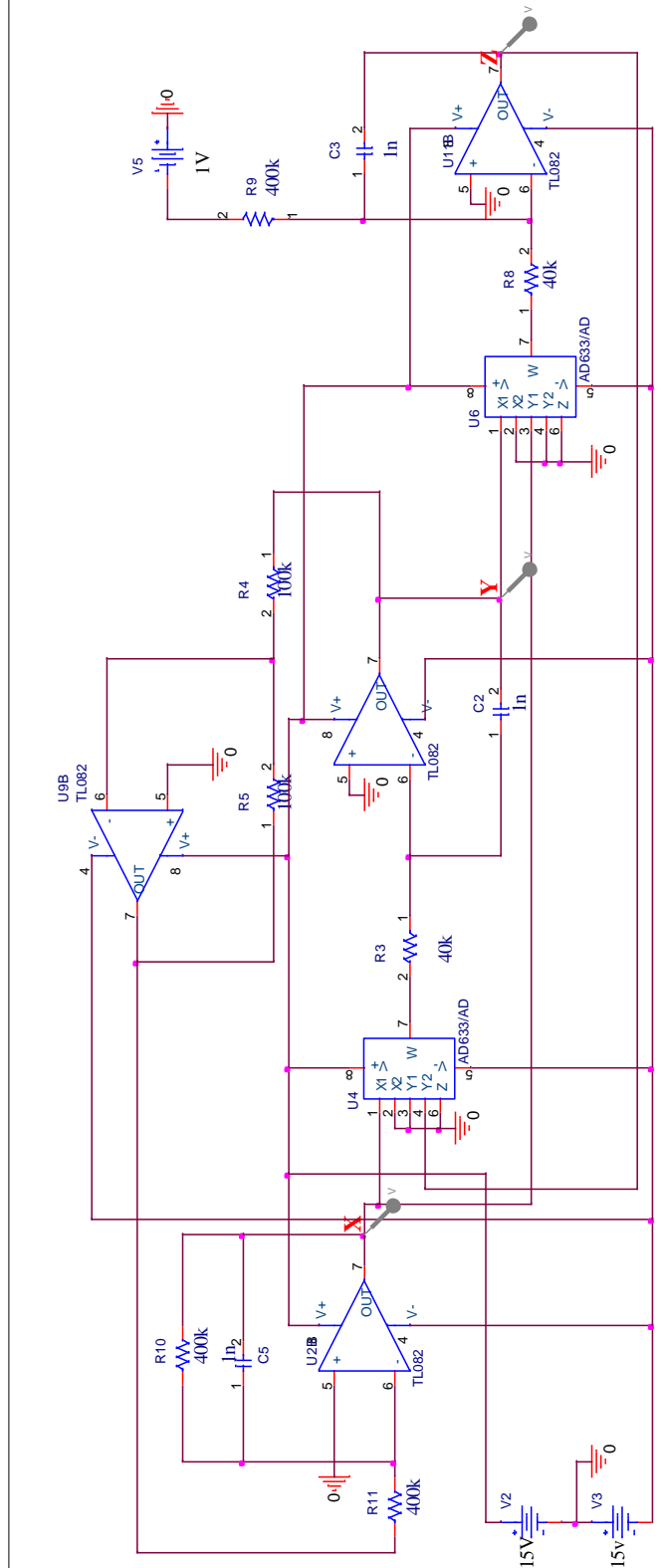


### 6.1.4.4. Sprott durum H CCIII ile kurulan kaotik devre

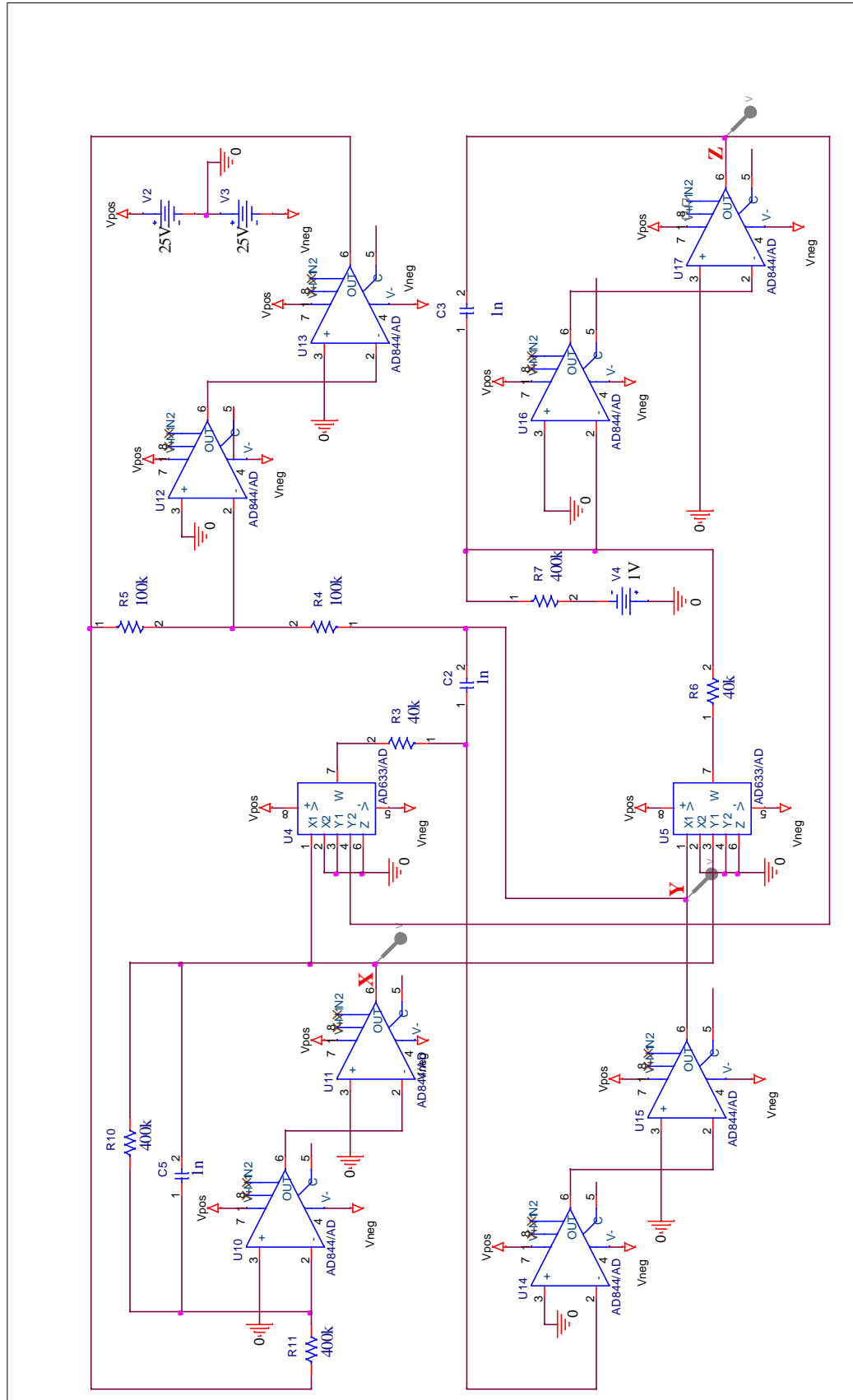


## 6.1.5. Yayınımsız Lorenz Kaotik Devreleri

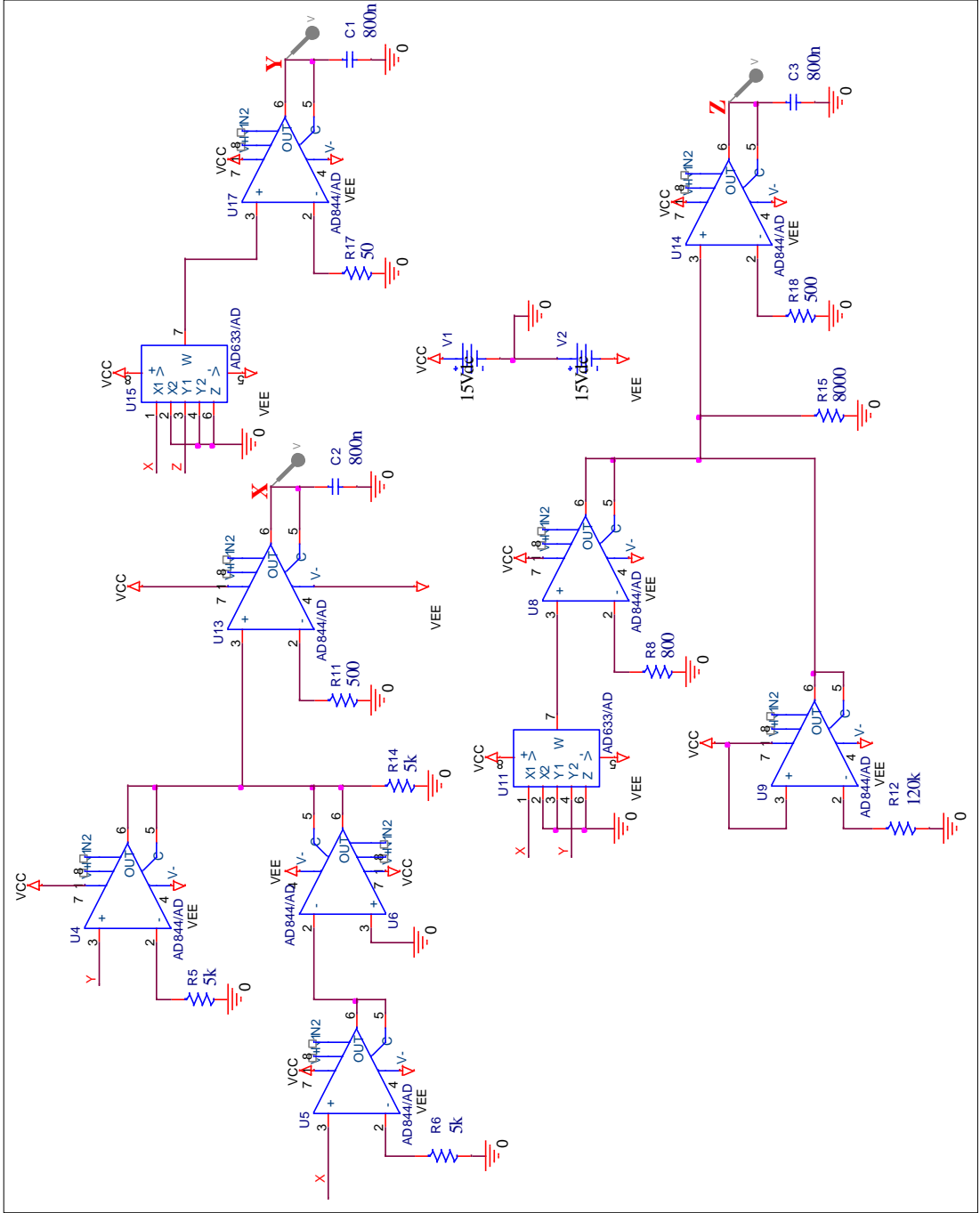
### 6.1.5.1. Yayınımsız Lorenz OP-AMP ile kurulan kaotik devre



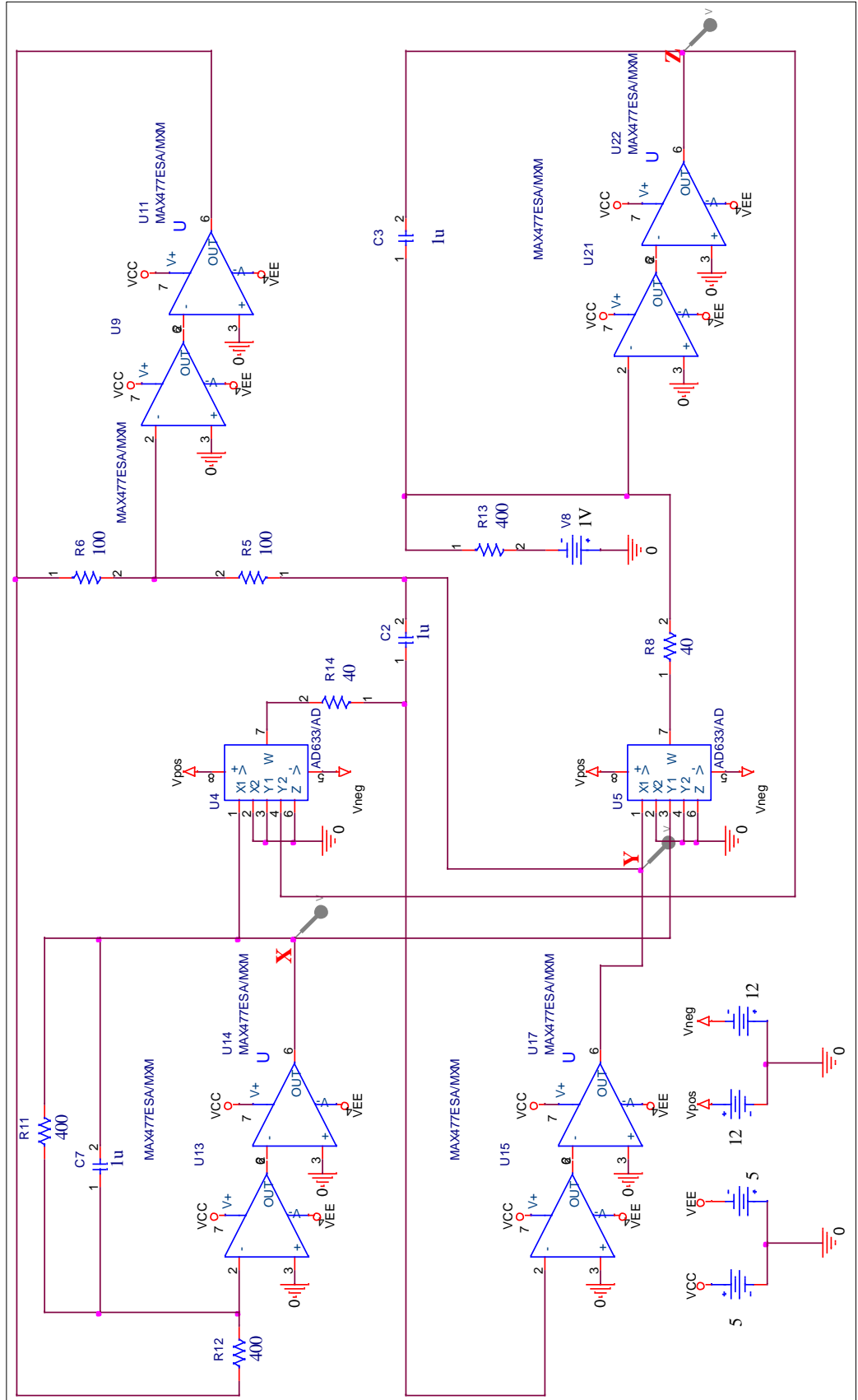
**6.1.5.2. Yayınımsız Lorenz OTRA ile kurulan kaotik devre**



**6.1.5.3. Yayınımsız Lorenz CCII ile kurulan kaotik devre**



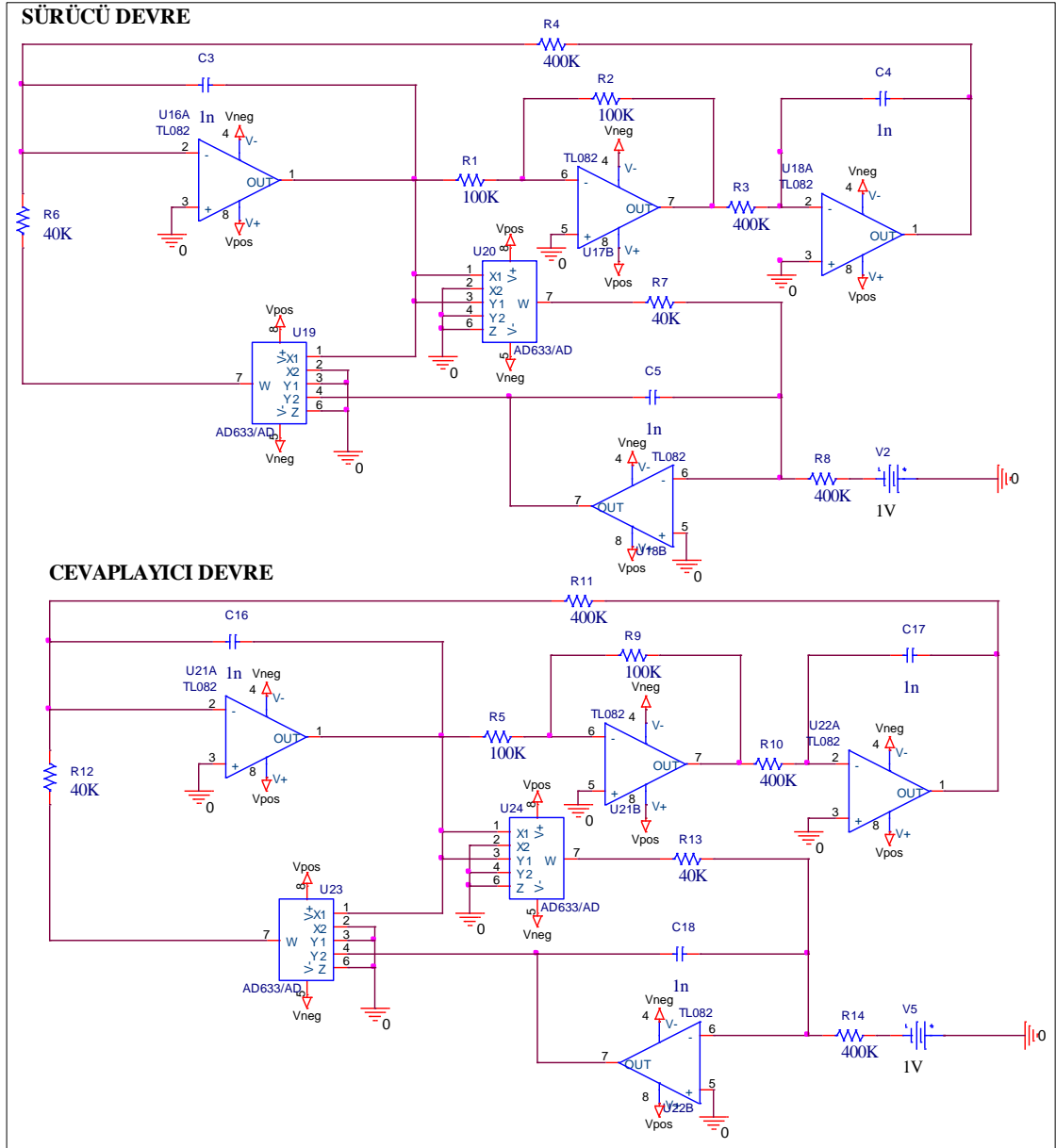
**6.1.5.4. Yayınımsız Lorenz CCIII ile kurulan kaotik devre**



## 6.2. Senkronizasyon Devre Gerçekleştirmeleri

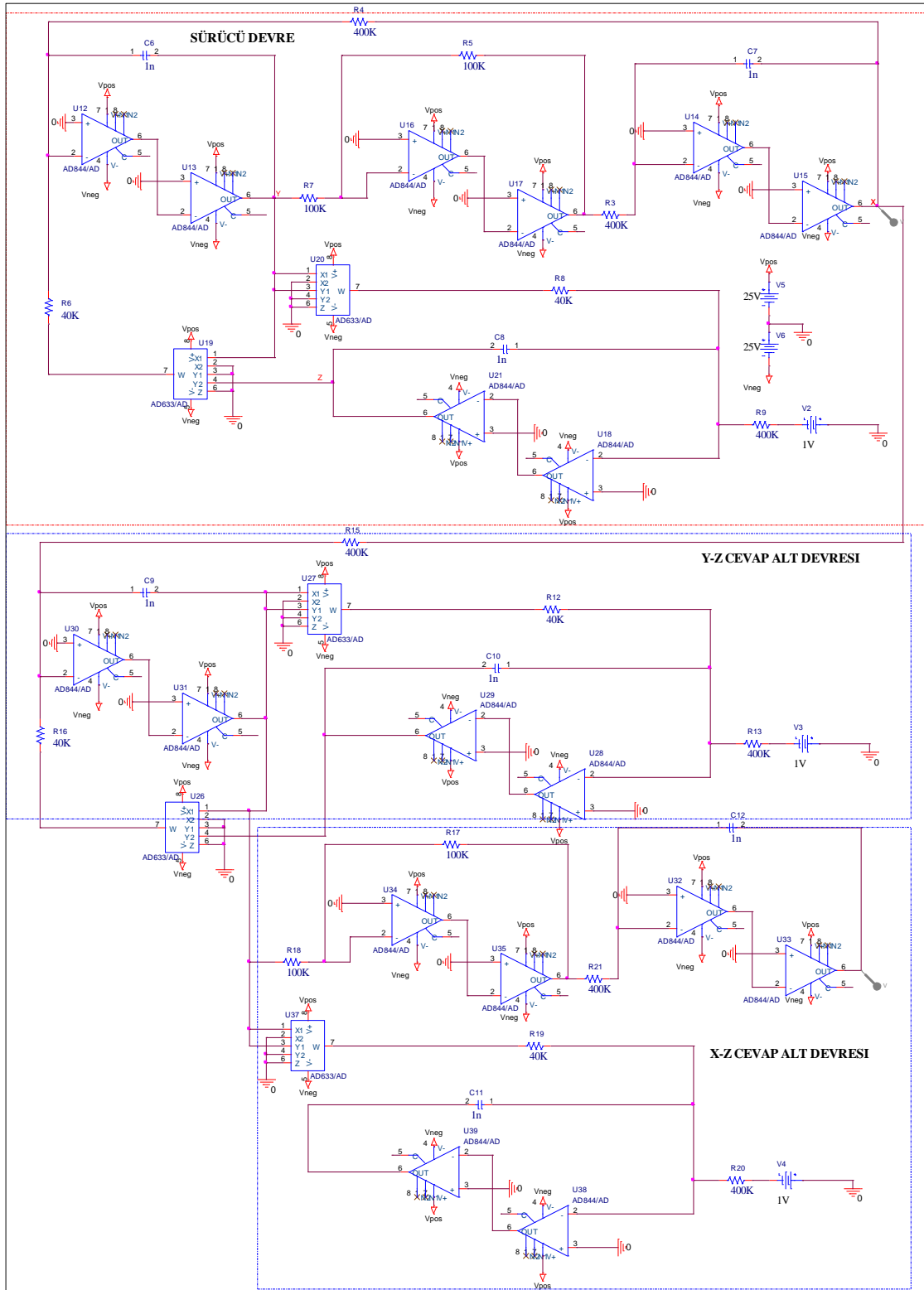
### 6.2.1. Sprott durum A Senkronizasyon Devreleri

#### 6.2.1.1. Sprott durum A OP-AMP ile kurulan senkronizasyon öncesi devresi





### 6.2.1.3. Sprott durum A OTRA ile kurulan senkronizasyon devresi

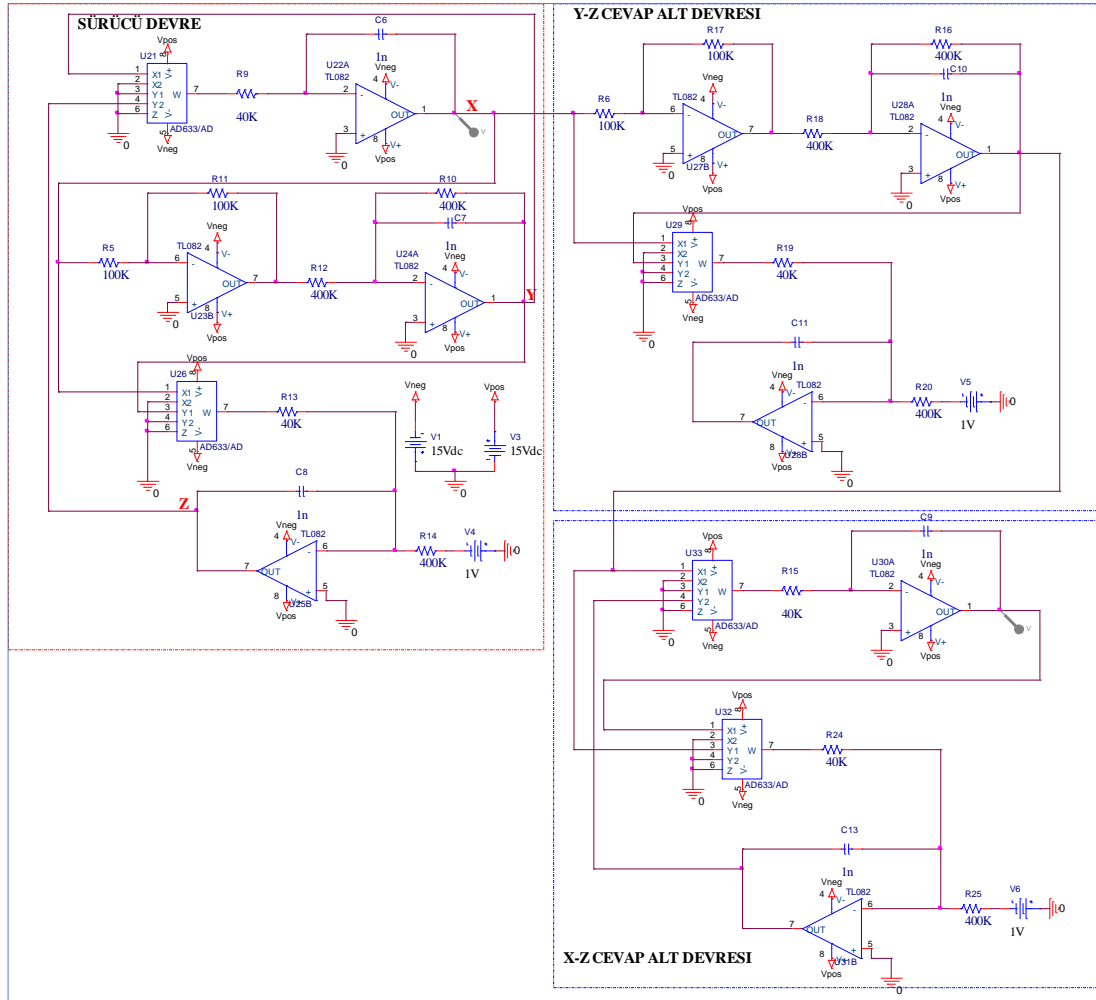




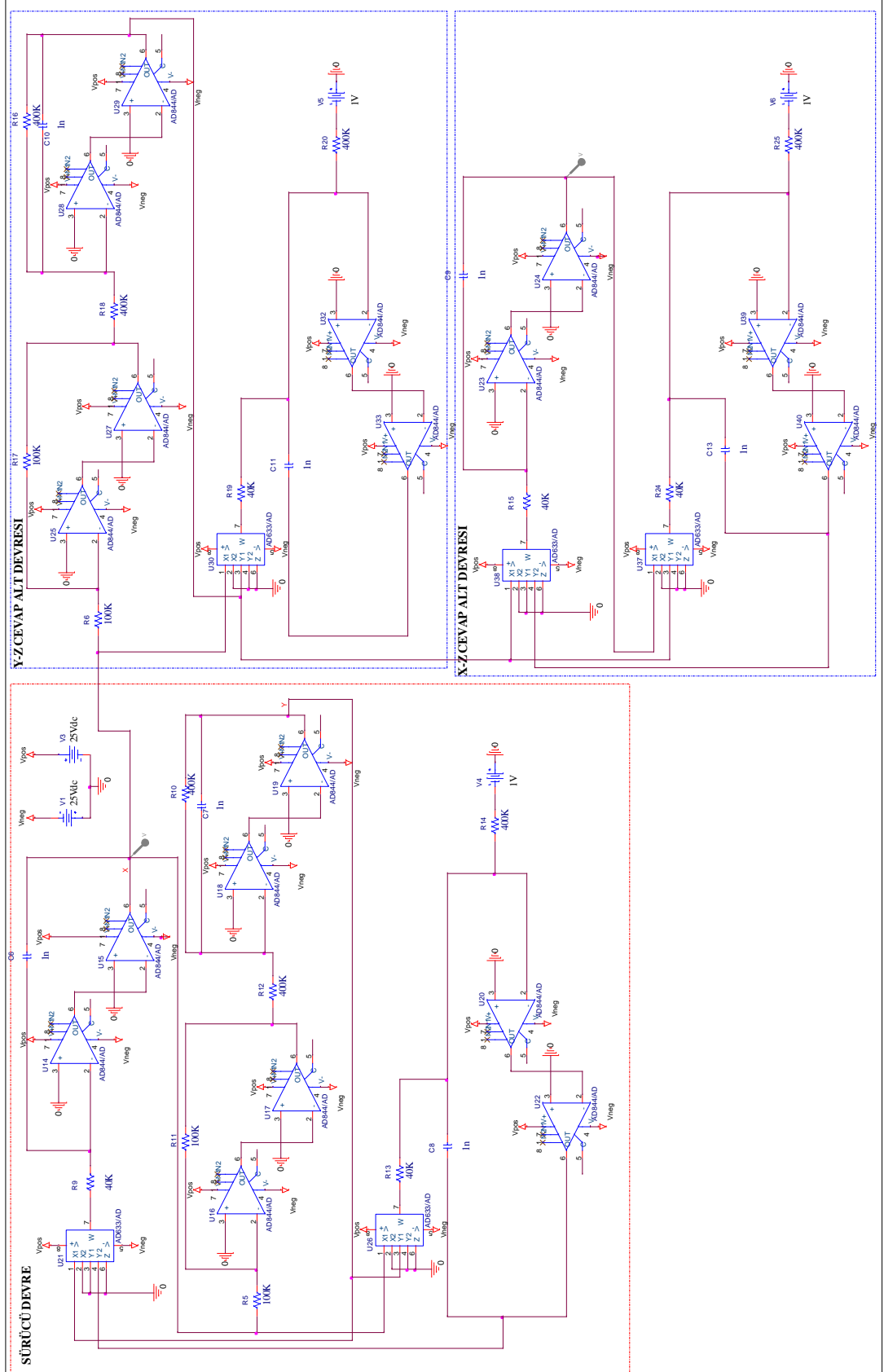


## 6.2.2. Sprott durum B Senkronizasyon Devreleri

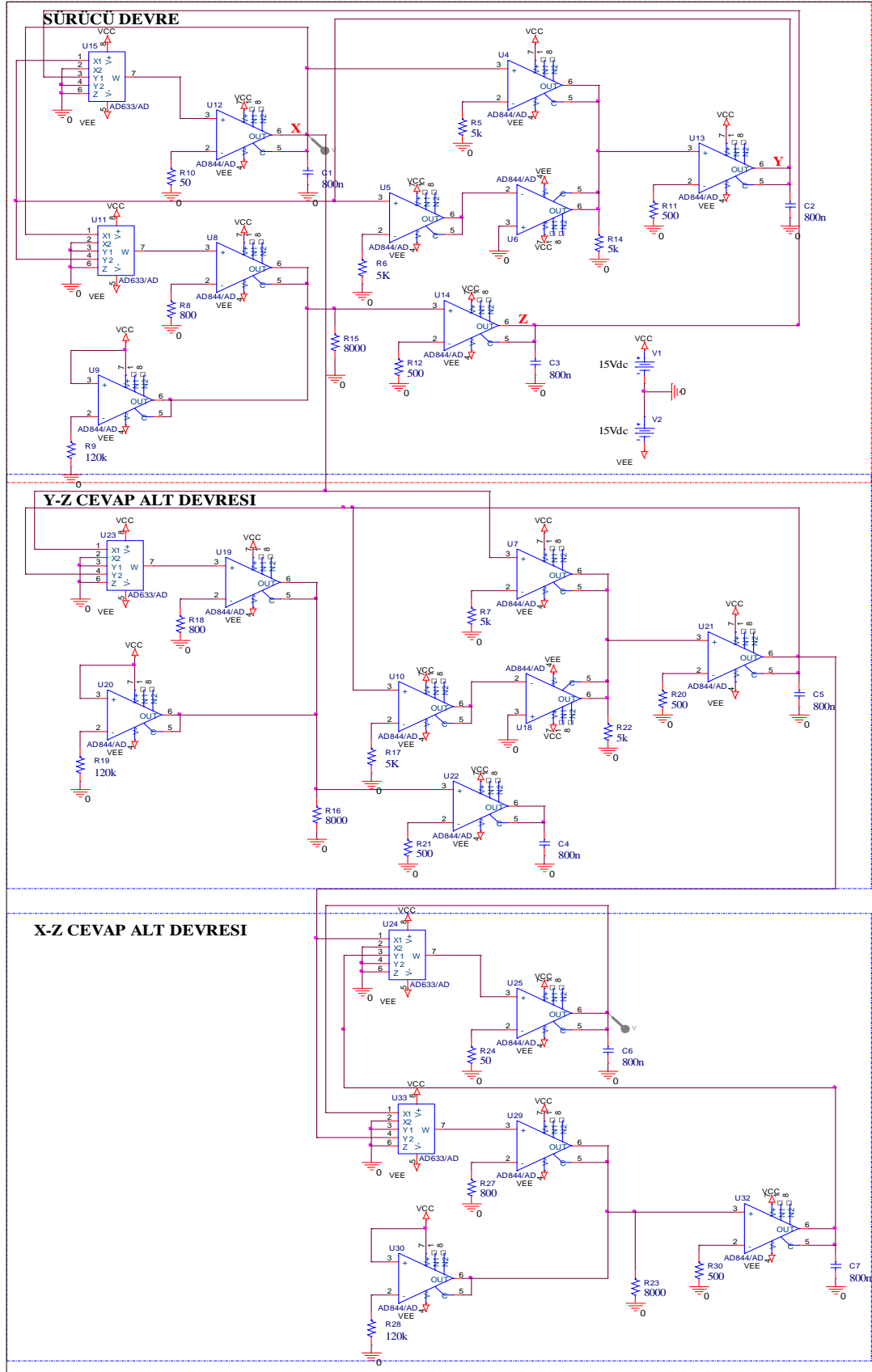
### 6.2.2.1. Sprott durum B OP-AMP ile kurulan senkronizasyon devresi



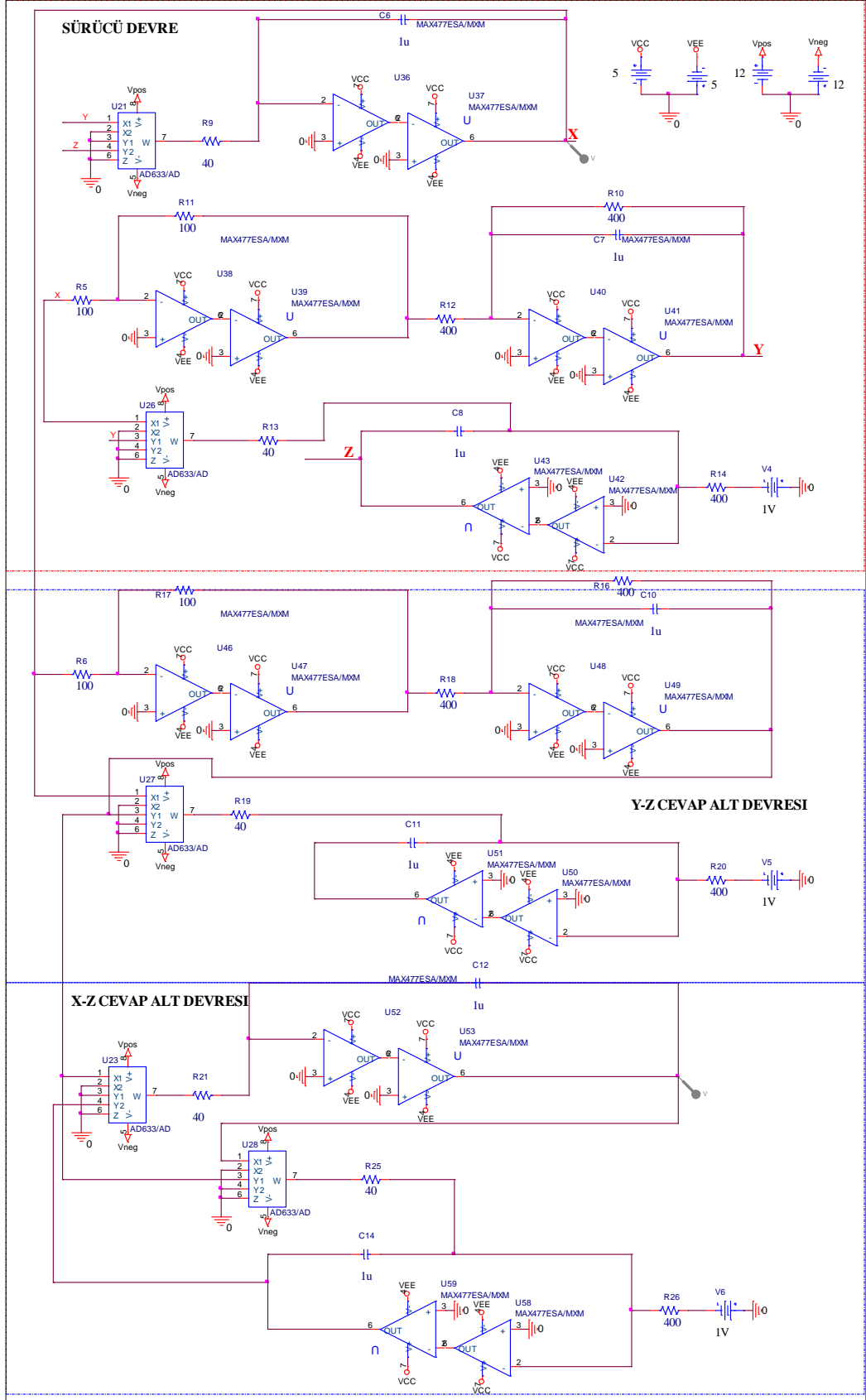
### 6.2.2.2. Sprott durum B OTRA ile kurulan senkronizasyon devresi



### 6.2.2.3. Sprott durum B CCII ile kurulan senkronizasyon devresi

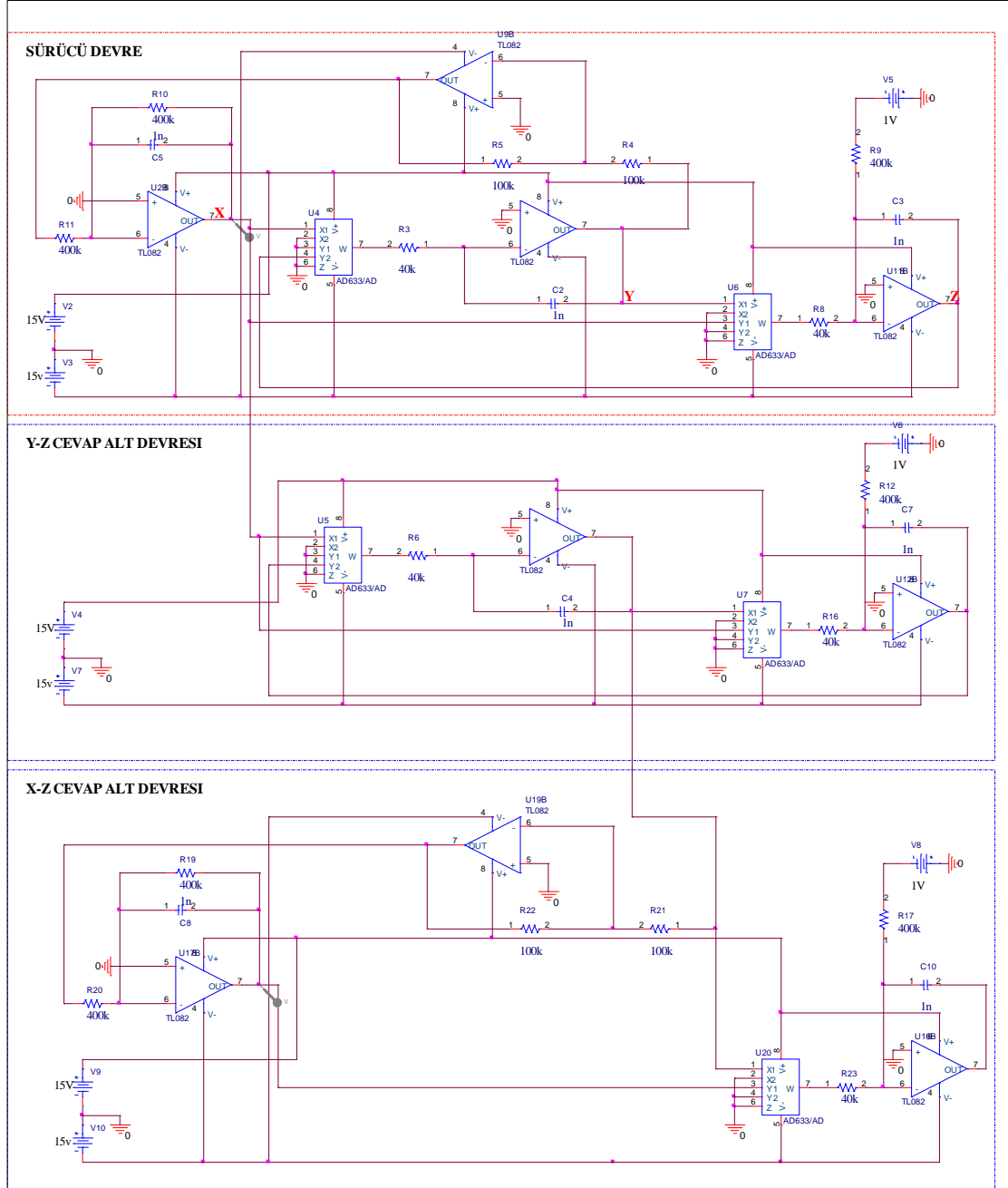


### 6.2.2.4. Sprott durum B CCIII ile kurulan senkronizasyon devresi

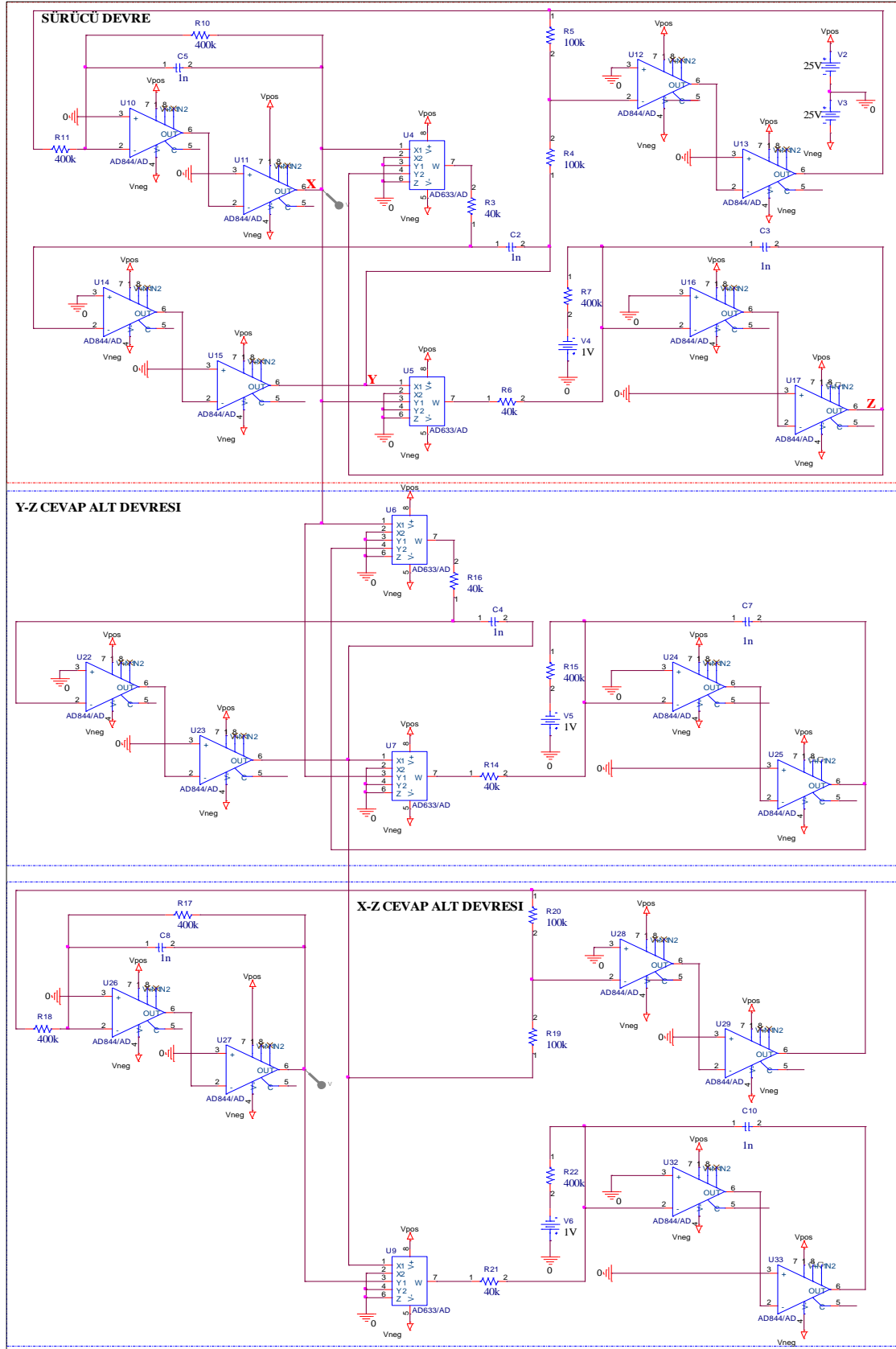


## 6.2.3. Yayınımsız Lorenz Senkronizasyon Devreleri

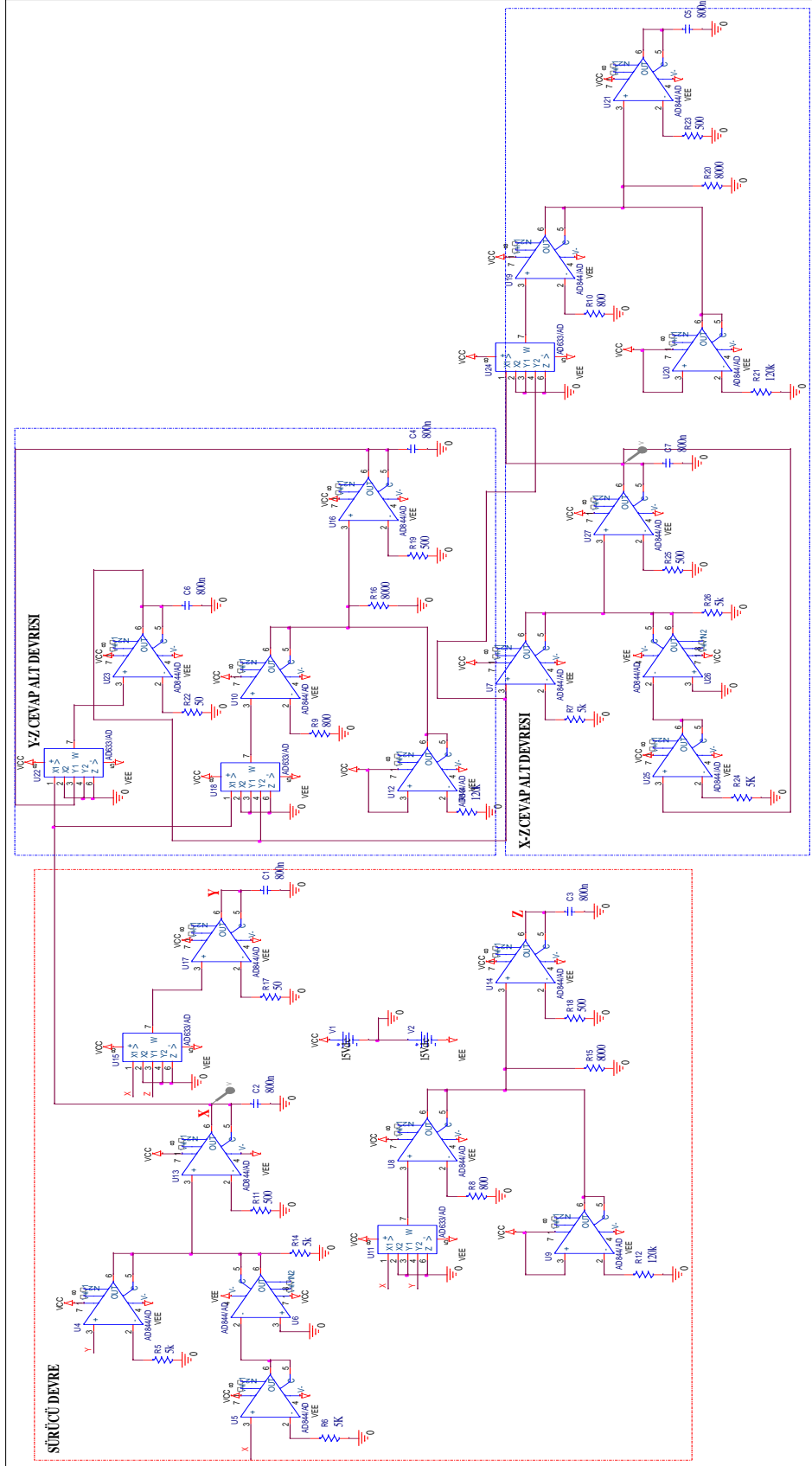
### 6.2.3.1. Yayınımsız Lorenz OP-AMP ile kurulan senkronizasyon devresi



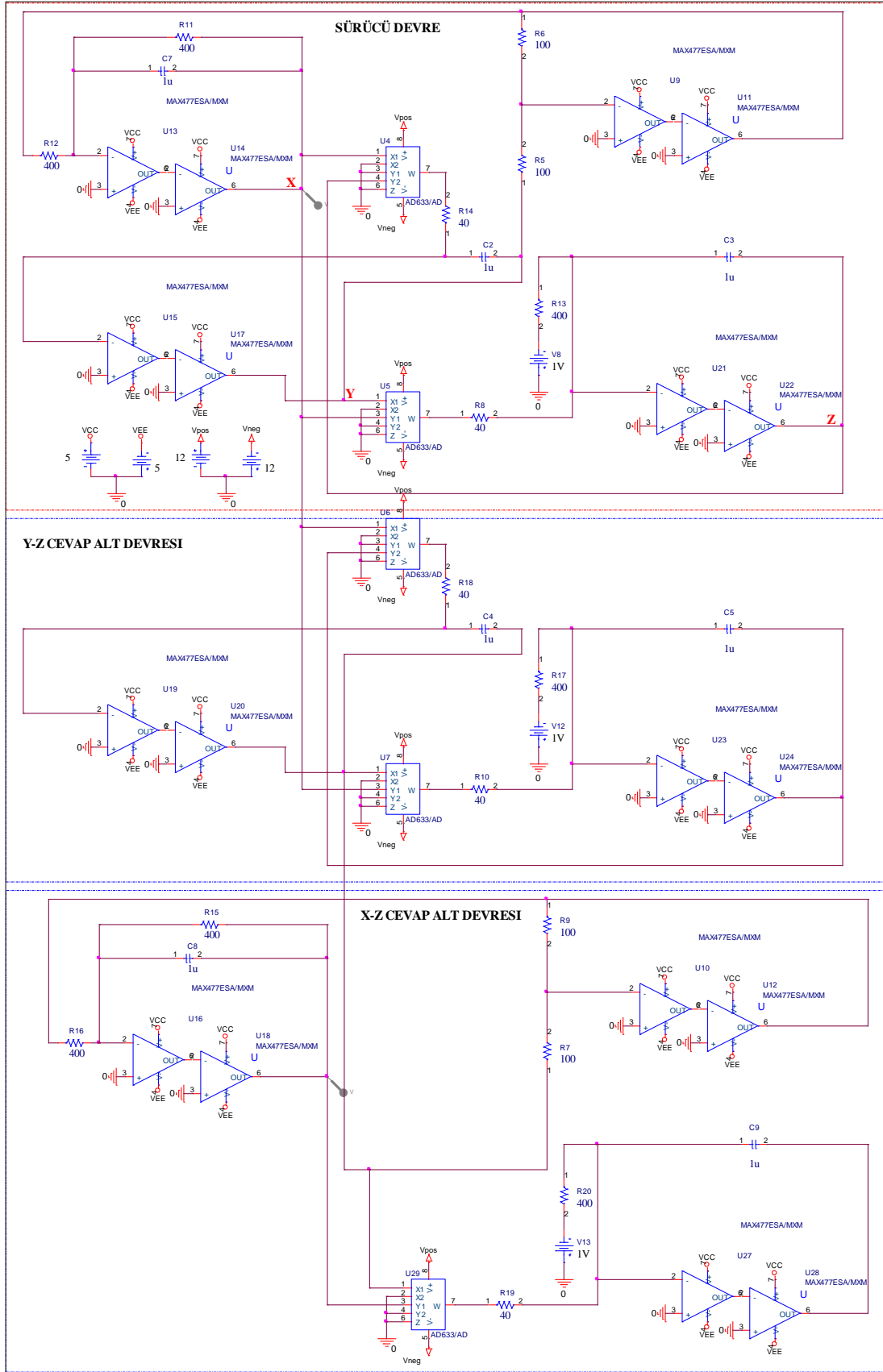
### 6.2.3.2. Yayınımsız Lorenz OTRA ile kurulan senkronizasyon devresi



### 6.2.3.3. Yayınımsız Lorenz CCII ile kurulan senkronizasyon devresi



### 6.2.3.4. Yayınımsız Lorenz CCIII ile kurulan senkronizasyon devresi

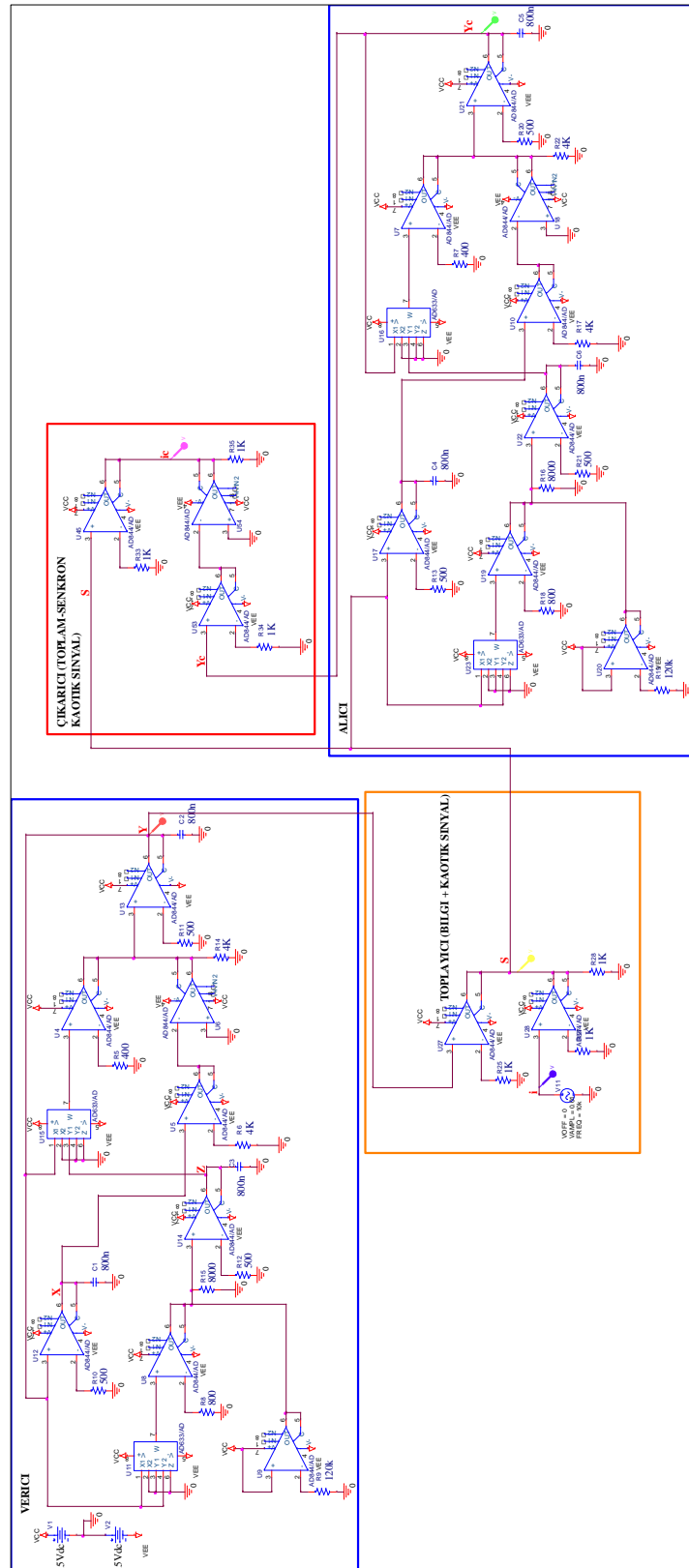






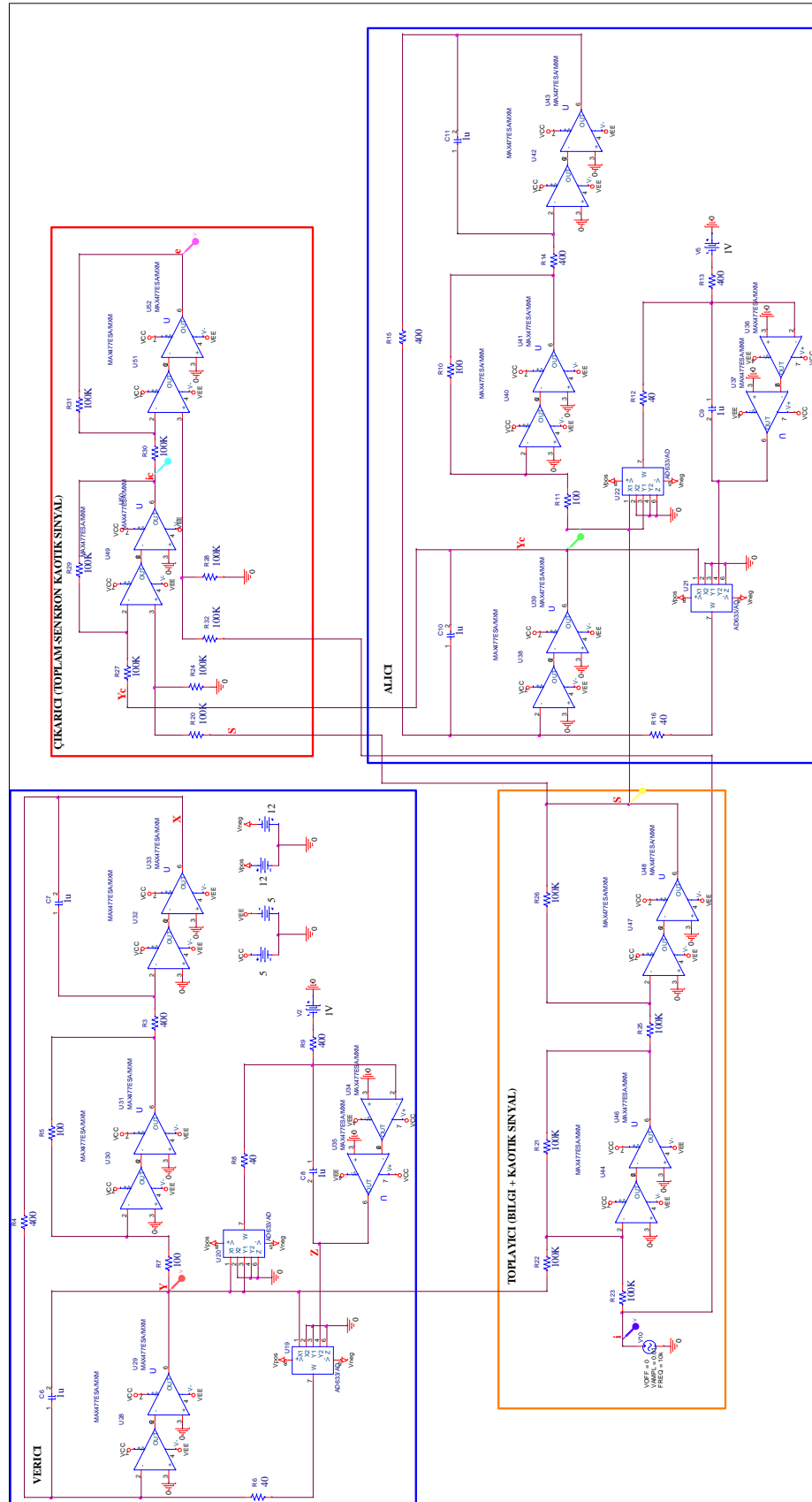
### 6.3.1.3. Sprott durum A CCII ile kurulan haberleşme devresi

Bilgi işareti 0.01V, 10 kHz sinüs sinyali kullanılarak:



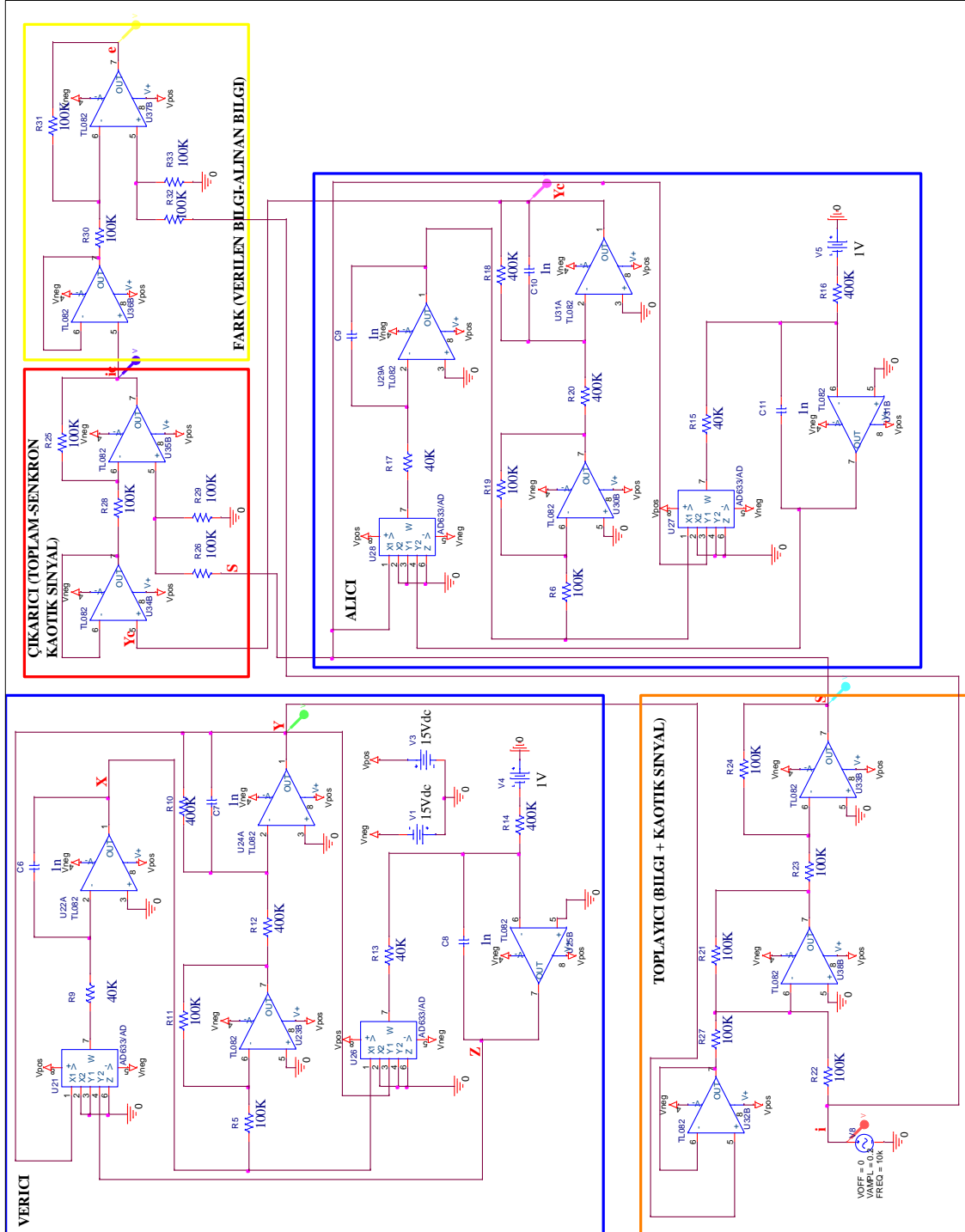


### 6.3.1.4. Sprott durum A CCIII ile kurulan haberleşme devresi

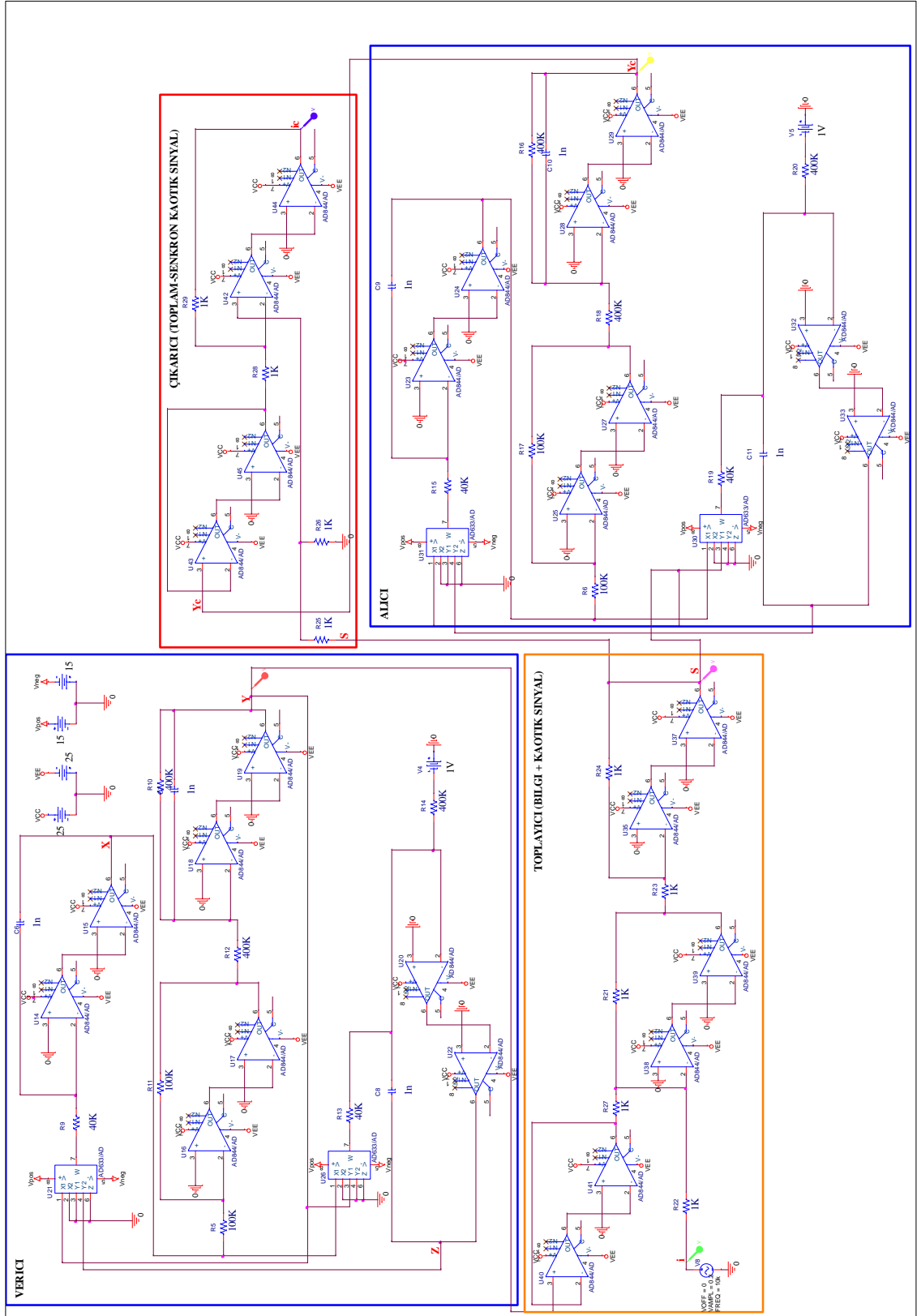


## 6.3.2. Sprott durum B Haberleşme Devreleri

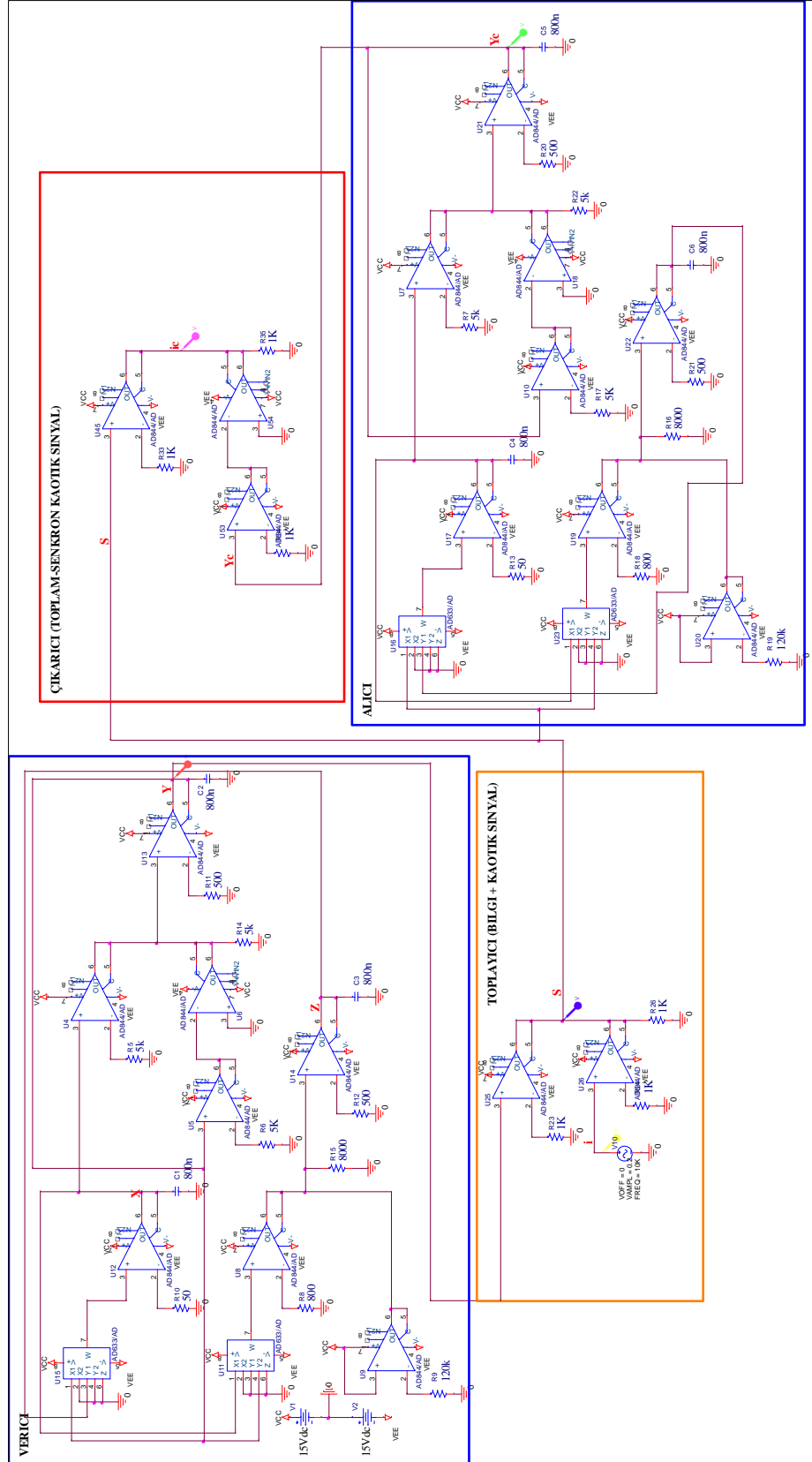
### 6.3.2.1. Sprott durum B OP-AMP ile kurulan haberleşme devresi



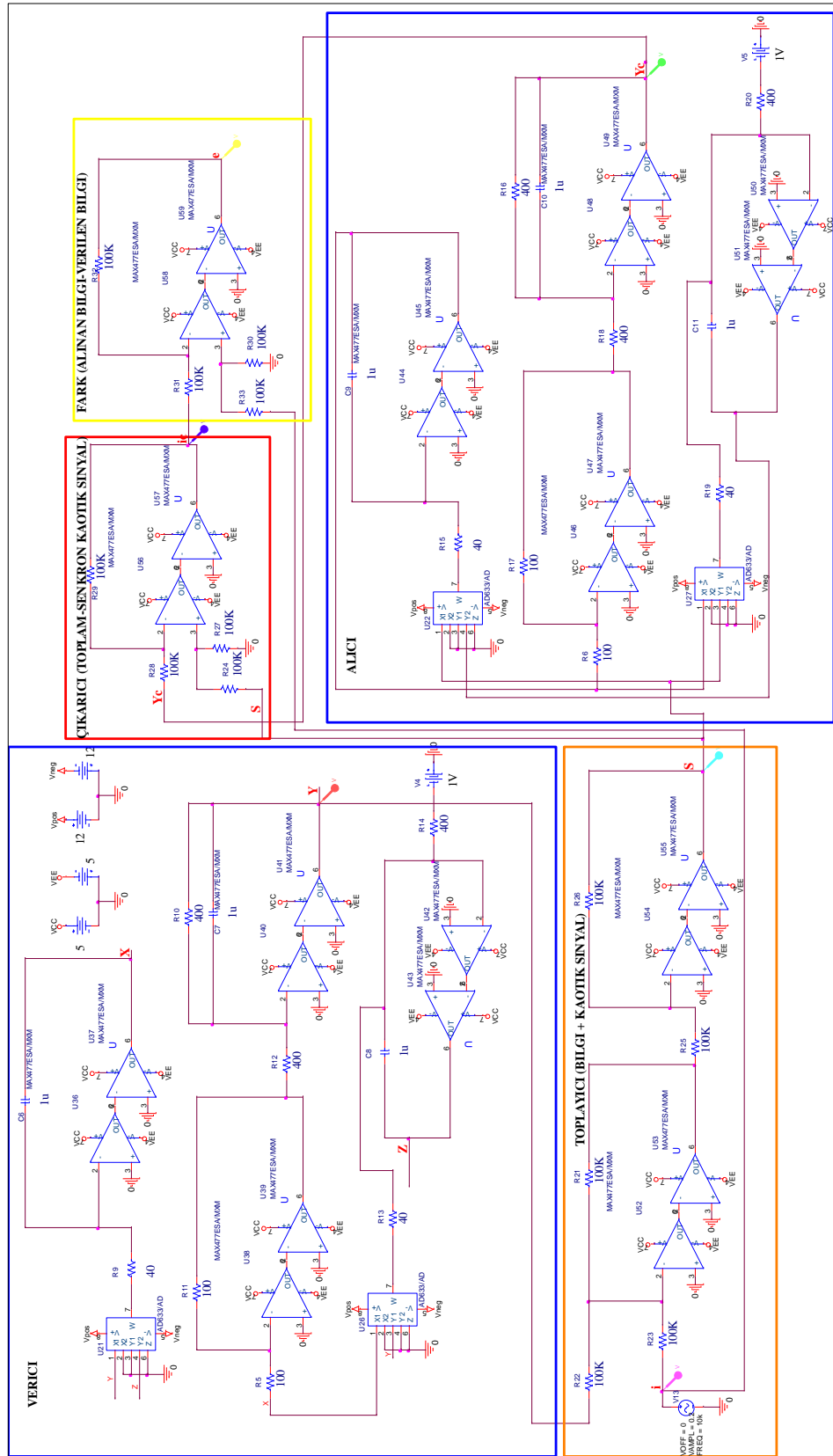
**6.3.2.2. Sprott durum B OTRA ile kurulan haberleşme devresi**



**6.3.2.3. Sprott durum B CCII ile kurulan haberleşme devresi**

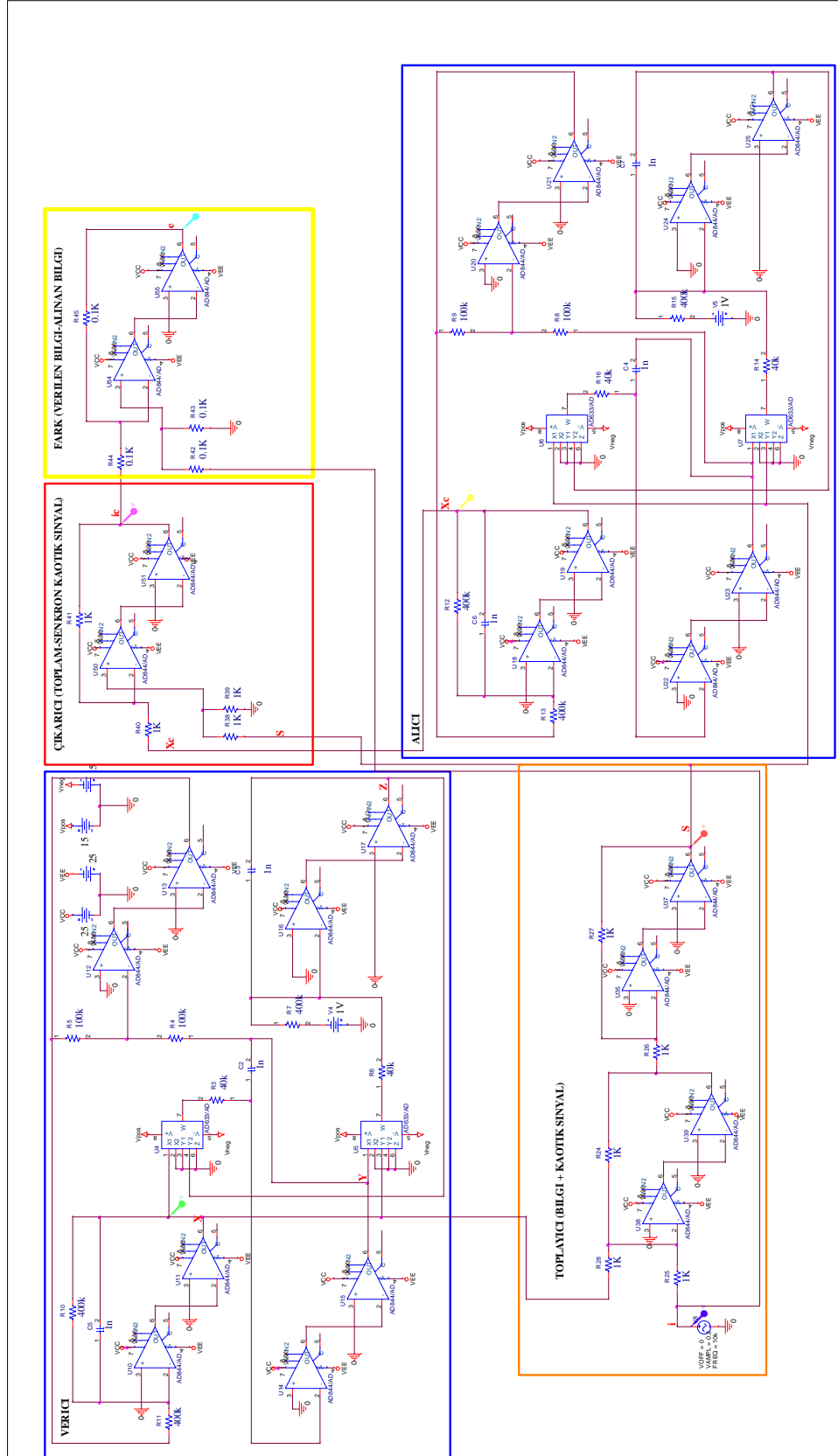


### 6.3.2.4. Sprott durum B CCIII ile kurulan haberleşme devresi

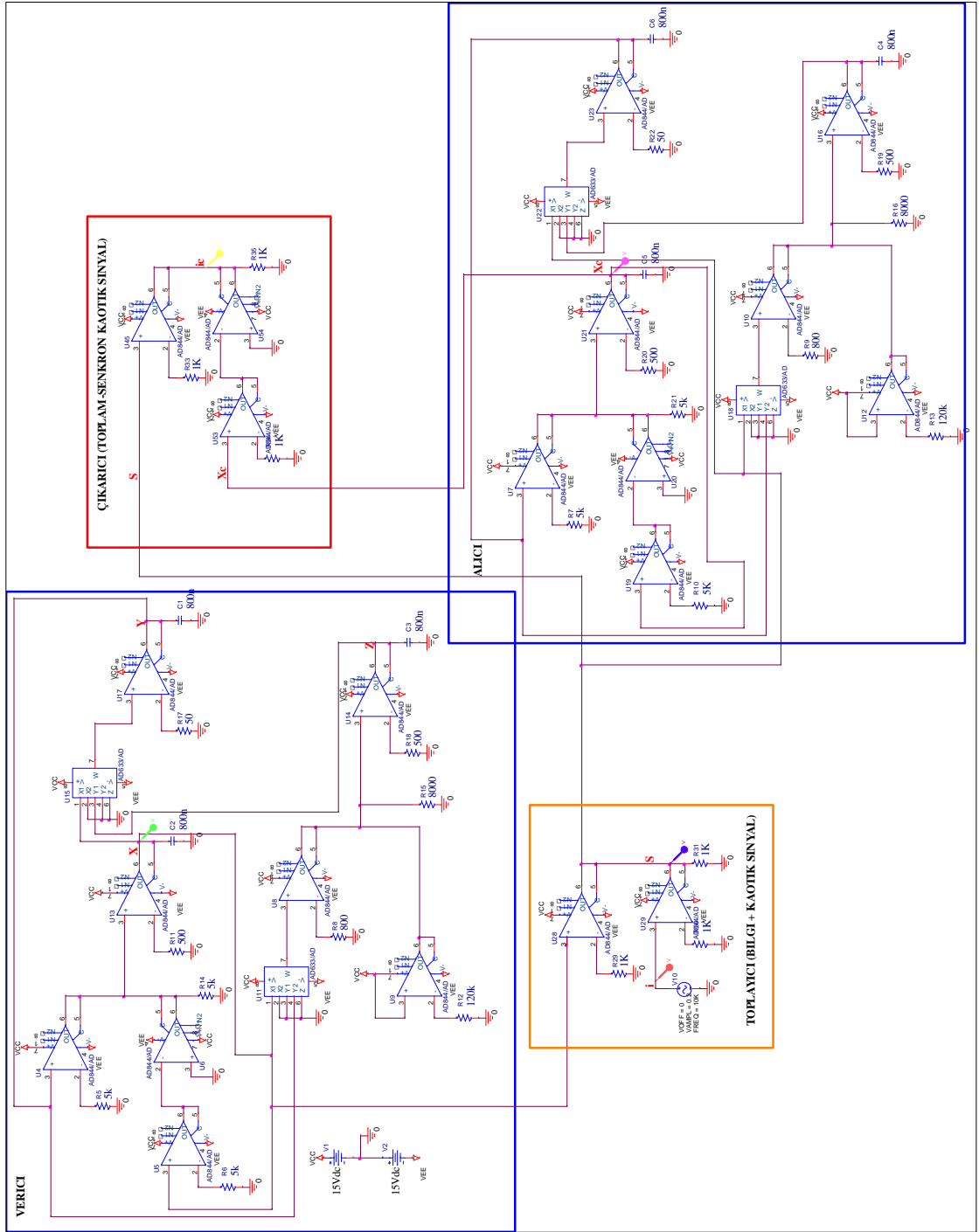




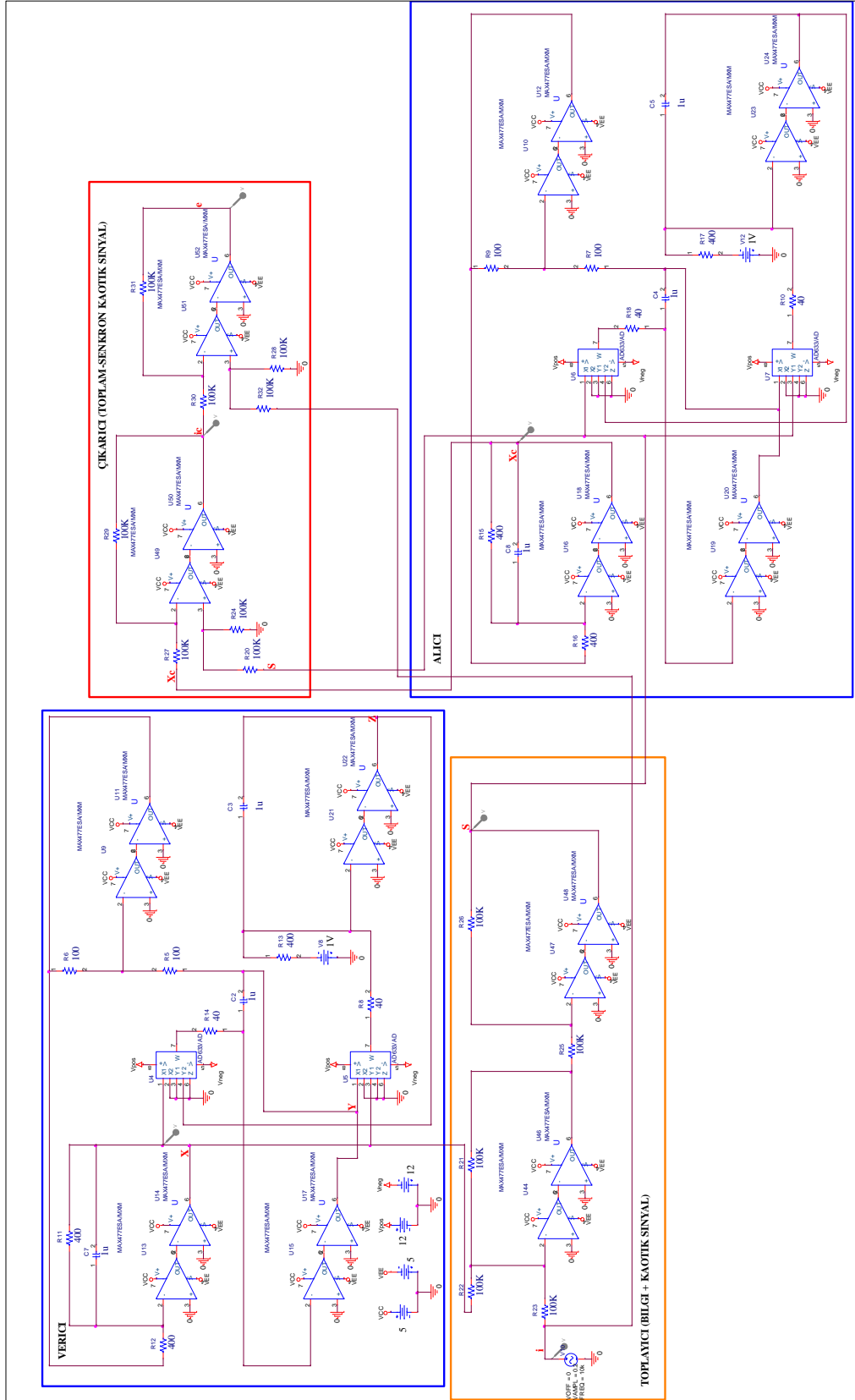
### 6.3.3.2. Yayınımsız lorenz OTRA ile kurulan haberleşme devresi



### 6.3.3.3. Yayınımsız lorenz CCII ile kurulan haberleşme devresi



### 6.3.3.4. Yayınımsız lorenz CCIII ile kurulan haberleşme devresi



## KAYNAKLAR

- Alçi M. ,Günay E. , Kiliç R. , "Durum kontrollü hücresele sinir ağı devresi kullanılarak geribeslemeli kaotik maskeleme sisteminin tasarlanması", **ELECO'2002, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu** (2002).
- Arneodo A., Couillet P. , Spiegel E., Treser C., "Asymptotic chaos", **Physica D**, 14(3): 327-347 (1985).
- Chen G. and Ueta T. , "Yet another chaotic attractor", **Int. J. Bifurcation and Chaos**, 9: 1465-1466 (1999).
- Cuomo K.M. ve Oppenheim A.V. , " Circuit implementation of synchronized chaos with applications to communication", **Phys. Rev. Lett.** , 71: 65-68 (1993).
- Cuomo K.M.,Oppenheim A.V.,Strogatz. H. , "Synchronization of lorenz-based chaotic circuits with applications to communications", **IEEE Trans. Circuits Syst.**, 40(10): 626–633 (1993).
- Çam U. , Çiçekoğlu O. , Kaçar F. , Kuntman A. , Kuntman H. , "Tek OTRA kullanılarak yeni paralel immitans simülatörlerinin gerçekleştirilmesi" , **URSI-Türkiye 2002 Birinci Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı**, İstanbul, 218-221 (2002).
- Çavuşoğlu Ü., Uyaroğlu Y., Pehlivan İ., "Sürekli zamanlı otonom kaotik devre tasarımı ve sinyal gizleme uygulaması" **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University** , 29(1): 79-87 (2014).
- Duruk A. ve Kuntman H., "Düşük besleme gerilimli CMOS OTRA tasarımı ve paralel immitans benzetiminde kullanılması" , **Elektrik- Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı**, İstanbul, 263-266 (2003).
- Kasım K., "Kaos ve atmosfer", **TÜBİTAK Bilim ve Teknik**, 391: 94-97 (2000).
- Kendirli S., "Portföy yönetiminde kaos teoremi", **Journal of İstanbul Kültür University**, 2: 171-180 (2006).
- Kuntman H. , "Akım taşıyıcılar" , Endüstriyel Elektronik, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 156-163 (2011).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Lorenz E. N.,” Deterministic nonperiodic flow”, *Journal Of Atmospheric Sciences*, 20: 130–141 (1963).
- Moore D.W. ve Spiegel E.A., “A thermally excited nonlinear oscillator”, *Astrophysical Journal* ,143(3): 871-887 (1966).
- Öge S., “Düzen mi düzensizlik (kaos) mi? Örgütsel varlığın sürdürülebilirliği açısından bir değerlendirme”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 01: 285-303 (2005).
- Pamuk N, “Dinamik sistemlerde kaotik zaman dizilerinin tespiti”, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 15(1): 77-91 (2013).
- Pehlivan İ. ve Uyaroğlu Y. ,”Güvenli bilgi iletişiminde kullanılabilecek yeni bir kaotik çekici”, *3. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu*, Adana (2007).
- Pehlivan İ., Uyaroğlu Y., Odabaş C., Demircioğlu S., Gezer M., Gelberi H., “Yayınımsız lorenz çekicisi ile kaotik sinyal gizleme”, *2. Ağ ve Bilgi Güvenliği Ulusal Sempozyumu*, Kıbrıs (2008).
- Pehlivan İ., Uyaroğlu Y., Yalçın M., Ferikoğlu A.,” Sprott\_94\_A kaotik sisteminin senkronizasyonu ve bilgi gizlemede kullanılması”, *Uluslararası Katılımlı Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı*, Ankara (2007).
- Pehlivan, İ., “Yeni kaotik sistemler: Elektronik devre gerçeklemeleri, senkronizasyon ve güvenli haberleşme uygulamaları”, Doktora, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 2007.
- Polking J.C., “Download odesolve.m”, <http://math.rice.edu/~dfield/>, 2003.
- Rössler O.E., “An equation for continuous chaos”, *Phys. Lett. A*, 57: 397–398 (1976).
- Rucklidge A.M.,” Chaos in models of double convection”, *J. Fluid Mech.*, 237:209-229 (1992).
- Singh K., Srivastava G., Mishra R., Tiwari D. ,” Current conveytor: A novel active building block prevailing Op-Amp limitations”, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 2: 48-51 (2013).

**KAYNAKLAR (devam ediyor)**

Sprott JC., “Some simple chaotic flows”, *Physical Review E*, 50(2): 647-650 (1994).

Uzunhisarcıklı E. ve Alçı M., “UAE’lerin Gelişimi Ve Bir BGF Devresinin Voltaj Ve Akım Modunda FTFN İle Gerçekleştirilmesi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1-2): 38-49 (2003).

Yenialaca Ç. ve Gürel Z. , “ Türbülans Etkinliği ile Kaos Öğretimi: Doğada Konaklamalı Kamp Uygulaması”, *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi*, 1(2): 133-146 (2013).

## ÖZGEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gözde KARGÜN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bilecik 25.12.1984

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Elektrik- Elektronik Mühendisliği  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce  
Bilimsel Faaliyetleri : -

### İş Deneyimi

Stajlar : Vestel Dijital Üretim San. A.Ş. (2007)  
Tekersan Jant San. A.Ş. (2006)  
Projeler : -  
Çalıştığı Kurumlar : Türk Telekomünikasyon A.Ş.  
Bilecik İl Müdürlüğü (2008- Halen)

### İletişim

Adres: Türk Telekomünikasyon A.Ş Bilecik  
Tel: 0 506 689 53 31  
E-Posta Adresi : gozdeoznar@yahoo.com

**Diğer: -**

**Tarih: ..... / .... / 20....**

**İmza**