

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

**GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNDE DOĞRUSAL
OLMAYAN OLAYLARIN KAOTİK ANALİZİ VE
KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Müh. Selçuk EMİROĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK MÜH.
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNDE DOĞRUSAL
OLMAYAN OLAYLARIN KAOTİK ANALİZİ VE
KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Elektrik Elektronik Müh. Selçuk EMİROĞLU

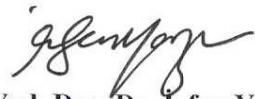
Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK MÜH.

Bu tez 21/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Cemalettin Kubat
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr. Yılmaz Uyaroğlu
Üye


Yrd. Doç. Dr. İrfan Yazıcı
Üye

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması boyunca her türlü ilgi, destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın danışmanım Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER VE KAOS.....	4
2.1. Durum Uzayı ve Vektör Alan.....	7
2.2. Kaotik Sistemler ve Analizi.....	10
2.2.1. Kaos teorisi.....	10
2.2.2. Kaotik sistemlerin deterministik yapısı.....	11
2.2.3. Kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına hassas bağımlılığı.....	12
2.2.4. Kaos analizi için gerekli koşullar.....	12
2.2.5. Kaotik sistemlerin davranışları.....	13
2.3. Kaos Analiz Yöntemleri.....	19
2.3.1. Yörünge nin izlenmesi.....	19
2.3.2. Faz uzayı.....	19
2.3.3. Poincare haritalama.....	20
2.3.4. Güç spektrumu.....	20

2.3.5. Çatallaşma diyagramı.....	20
2.3.6. Lyapunov üstleri.....	21
2.3.7. Boyut analizi.....	21
2.4. Kaotik Sistemler.....	22
2.4.1. Chua sistemi ve devresi.....	22
2.4.2. Burke – Shaw sistemi.....	24
2.4.3. Van Der Pol sistemi.....	25
2.4.4. T sistemi.....	27
2.4.5. Duffing - Van Der Pol sistemi.....	28

BÖLÜM 3.

ANAHTARLAMALI DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNİN ANALİZİ	29
3.1. Alçaltıcı (Buck) DA-DA Dönüştürücünün Yapısı ve Analizi.....	31
3.1.1. Gerilim kontrollü alçaltıcı (Buck) DA-DA dönüştürücüler...	37
3.2. Yükseltici (Boost) DA-DA Dönüştürücünün Yapısı ve Analizi	41
3.2.1. Akım kontrollü Yükseltici (Boost) DA-DA dönüştürücüler..	47
3.3. Alçaltıcı-Yükseltici (Buck-Boost) DA-DA Dönüştürücünün Yapısı ve Analizi	51
3.3.1. Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici (Buck-Boost) DA-DA dönüştürücüler.....	58

BÖLÜM 4.

ANAHTARLAMALI DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNİN KAOTİK ANALİZİ	62
4.1. Gerilim Kontrollü Alçaltıcı (Buck) DA-DA Dönüştürücüde Kaotik Analiz.....	63
4.2. Akım Kontrollü Yükseltici (Boost) DA-DA Dönüştürücüde Kaotik Analiz.....	74
4.3. Paralel Bağlı Yükseltici (Boost) DA-DA Dönüştürücüde Kaotik Analiz.....	82
4.4. DA Sürücü Devresinde Kaotik Analiz.....	90

BÖLÜM 5.

ANAHTARLAMALI DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN OLAYLARIN KONTROLÜ.. 103

- 5.1. Paralel bağlı Yükseltici (Boost) DA-DA Dönüştürücüde Kaos
Kontrol..... 105
- 5.2. Gerilim Kontrollü DA Sürücüde Kaos Kontrol 109
- 5.3. Akım Kontrollü DA Sürücüde Kaos Kontrol 117

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR..... 120

KAYNAKLAR..... 122

ÖZGEÇMİŞ..... 127

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

t	: Zaman
V	: Gerilim
I	: Akım
R	: Direnç
C	: Kapasitans
L	: Endüktans
E	: Kaynak gerilimi
τ	: Parametre - Gecikme zamanı
i_L	: Bobin Akımı
T	: Anahtarlama Periyodu
x	: Durum değişkeni
\dot{x}	: Durum değişkeninin türevi
v_c	: Kondansatör gerilimi
S	: Yarı iletken anahtar
I_{ref}	: Referans akımı
V_{ref}	: Referans gerilimi
K	: Geri besleme kazancı
DGM	: Darbe genişlik modülasyonu (PWM- Pulse Width Modulation)
AA	: Alternatif akım
DA	: Doğru akım
EMK	: Elektromotor kuvveti

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Durum Uzayı.....	8
Şekil 2.2.	İki Boyutlu Durum Uzayında Vektör Alanlar.....	10
Şekil 2.3.	Lojistik haritanın, r parametresinin belirli değerlerine göre değişimi ($x(0)= 0.2$)	14
Şekil 2.4.	Lojistik haritanın birbirinden çok az farklı iki başlangıç değeri için değişimi ($r = 4$).....	14
Şekil 2.5.	Lojistik Haritanın çatallaşma diyagramı	15
Şekil 2.6.	$a=10$, $b=21$ ve $c=8/3$ değerleri için Lorenz Sistemi x - y - z periyodik faz uzayı.....	17
Şekil 2.7.	$a=10$, $b=28$ ve $c=8/3$ değerleri için Lorenz Sistemi x - y - z kaotik faz uzayı.....	18
Şekil 2.8.	Kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağlılığına bir örnek (Lorenz sistemi).....	18
Şekil 2.9.	Chua Devresi.....	22
Şekil 2.10.	Chua doğrusal olmayan diyodu ve chua diyotunun karakteristiği.....	23
Şekil 2.11.	Chua kaotik osilatörünün x - y - z faz uzayı.....	23
Şekil 2.12.	Burke-Shaw çekicisinin Matlab-Simulink modeli	24
Şekil 2.13.	Burke-Shaw çekicisinin x , y , z zaman serileri ve faz portresi	24
Şekil 2.14.	Burke – Shaw sistemin Lyapunov spektrumu.....	25
Şekil 2.15.	Farklı μ (0.2, 1, 5) değerleri için (a) Van Der Pol Kaotik osilatörünün zaman serileri (b)Van Der Pol Kaotik osilatörünün faz uzayı ve oluşturduğu Limit Döngü.....	26
Şekil 2.16.	T sisteminin kaotik faz uzayı	27
Şekil 2.17.	T sisteminin Lyapunov üstelleri	27
Şekil 2.18.	Duffing-Van Der Pol osilatörü için faz portreleri	25

Şekil 3.1.	Alçaltıcı dönüştürücü devre şeması.....	31
Şekil 3.2.	Anahtarın iletim durumunda Alçaltıcı dönüştürücü eşdeğer devresi.....	31
Şekil 3.3.	Anahtarın kesim durumunda Alçaltıcı dönüştürücü eşdeğer devresi.....	32
Şekil 3.4.	Alçaltıcı dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli	33
Şekil 3.5.	Alçaltıcı dönüştürücünün DGM üreticinin Matlab-Simulink modeli.....	33
Şekil 3.6.	Alçaltıcı dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli .	34
Şekil 3.7.	Alçaltıcı dönüştürücü çıkış gerilimi dalga şekli	35
Şekil 3.8.	Alçaltıcı dönüştürücü bobin akımı dalga şekli	35
Şekil 3.9.	Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi	36
Şekil 3.10.	Alçaltıcı dönüştürücü anahtarlama durumu	36
Şekil 3.11.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücü.....	37
Şekil 3.12.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli.....	39
Şekil 3.13.	Alçaltıcı dönüştürücü çıkış gerilimi dalga şekli	39
Şekil 3.14.	Alçaltıcı dönüştürücü bobin akımı dalga şekli	40
Şekil 3.15.	Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi (E=20V).....	40
Şekil 3.16.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücü anahtarlama durumu	41
Şekil 3.17.	Yükseltici dönüştürücü devre şeması.....	41
Şekil 3.18.	Anahtarın iletim durumunda Yükseltici dönüştürücü	42
Şekil 3.19.	Anahtarın kesim durumunda Yükseltici dönüştürücü	42
Şekil 3.20.	Anahtarlama elemanının iletim ve kesim durumunda Yükseltici dönüştürücüdeki bobin akımının ve kapasite gerilimin değişimi ..	43
Şekil 3.21.	Yükseltici dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli	44
Şekil 3.22.	Yükseltici dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli	45
Şekil 3.23.	Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi	46
Şekil 3.24.	Yükseltici dönüştürücü bobin akımı.....	46
Şekil 3.25.	Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi	47
Şekil 3.26.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücü	47

Şekil 3.27.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücü Matlab-Simulink modeli	48
Şekil 3.28.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün DGM üretici Matlab-Simulink modeli.....	49
Şekil 3.29.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ...	50
Şekil 3.30.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli.....	50
Şekil 3.31.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı	51
Şekil 3.32.	Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devresi	51
Şekil 3.33.	S anahtarı iletimde iken Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devresi.....	52
Şekil 3.34.	S anahtarı kesimde iken Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devresi.....	53
Şekil 3.35.	Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli...	54
Şekil 3.36.	Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli	54
Şekil 3.37.	Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi (d=0.2).....	55
Şekil 3.38.	Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü bobin akımı (d=0.2).....	55
Şekil 3.39.	Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi (d=0.2)	56
Şekil 3.40.	Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi (d=0,8).....	56
Şekil 3.41.	Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü bobin akımı (d=0,8)	57
Şekil 3.42.	Alçaltıcı- Yükseltici dönüştürücü faz portresi (d=0.8).....	57
Şekil 3.43.	Akım kontrollü Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devre şeması.	58
Şekil 3.44.	Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü Matlab-Simulink modeli	59
Şekil 3.45.	Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi...	60
Şekil 3.46.	Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü bobin akımı	60
Şekil 3.47.	Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücünün faz portresi.	61
Şekil 4.1.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim dalga şekli (E=23V).....	63
Şekil 4.2.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün akım dalga şekli (E=23V).....	64
Şekil 4.3.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün faz uzayı (E=23V).....	64

Şekil 4.4.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti ($E=23V$)	65
Şekil 4.5.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($E=23V$).....	65
Şekil 4.6.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($E=28V$)	66
Şekil 4.7.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün akım dalga şekli ($E=28V$).....	66
Şekil 4.8.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün faz uzayı ($E=28V$)...	67
Şekil 4.9.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti ($E=23V$).....	67
Şekil 4.10.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($E=23V$).....	68
Şekil 4.11.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($E=32V$).....	69
Şekil 4.12.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün akım dalga şekli ($E=32V$).....	69
Şekil 4.13.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün faz uzayı ($E=32V$)...	70
Şekil 4.14.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti ($E=32V$).....	70
Şekil 4.15.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($E=32V$).....	71
Şekil 4.16.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik gerilim dalga şekli ($E=33V$)	71
Şekil 4.17.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik akım dalga şekli ($E=33V$).....	72
Şekil 4.18.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik faz uzayı ($E=33V$).....	72
Şekil 4.19.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti ($E=33V$).....	73
Şekil 4.20.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik gerilim güç spektrumu ($E=33V$)	73

Şekil 4.21.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=0.5A$)	74
Şekil 4.22.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=0.5A$)	75
Şekil 4.23.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=0.5A$).	75
Şekil 4.24.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=0.5A$)	76
Şekil 4.25.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=2A$)	76
Şekil 4.26.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=2A$).....	77
Şekil 4.27.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=2A$)...	77
Şekil 4.28.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=2A$).....	78
Şekil 4.29.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=2,5A$).....	78
Şekil 4.30.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=2,5A$).....	79
Şekil 4.31.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=2,5A$).	79
Şekil 4.32.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=2,5A$)	80
Şekil 4.33.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=2,9A$).....	80
Şekil 4.34.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=2,9A$).....	81
Şekil 4.35.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=2,9A$).	81
Şekil 4.36.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=2,9A$).....	82
Şekil 4.37.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün devre şeması.....	82
Şekil 4.38.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün genel akım ve gerilim dalga şekilleri	83
Şekil 4.39.	Anahtar iletimde iken paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün devre şeması	83

Şekil 4.40.	Anahtar kesimde iken paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün devre şeması	84
Şekil 4.41.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli.....	84
Şekil 4.42.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli	85
Şekil 4.43.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün DGM üretici Matlab-Simulink modeli.....	85
Şekil 4.44.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=0.7A$).....	86
Şekil 4.45.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=0.7A$).....	86
Şekil 4.46.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün (normal çalışma altında) faz uzayı ($I_{ref}=0.7A$)	87
Şekil 4.47.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün akım güç spektrumu ($I_{ref}=0.7A$)	87
Şekil 4.48.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün kaotik faz uzayı ($I_{ref}=4A$).....	88
Şekil 4.49.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün kaotik gerilim dalga şekli ($I_{ref}=4A$).....	88
Şekil 4.50.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün kaotik akım dalga şekli ($I_{ref}=4A$).....	89
Şekil 4.51.	Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün akım güç spektrumu ($I_{ref}=4A$).....	89
Şekil 4.52.	(a) Gerilim kontrollü DA sürücü devresi (b) Gerilim kontrollü DA sürücü eşdeğer devresi	90
Şekil 4.53.	Gerilim kontrollü DA sürücü devresinin Simulink modeli	91
Şekil 4.54.	Gerilim kontrollü DA sürücü devresinin DGM üretici Simulink modeli	92
Şekil 4.55.	Gerilim kontrollü DA sürücü durum denklemleri Simulink modeli	92
Şekil 4.56.	Gerilim kontrollü DA sürücü faz uzayı ($g=0,25$).....	93
Şekil 4.57.	Gerilim kontrollü DA sürücü rotor hızı dalga şekli ($g=0,25$).....	94

Şekil 4.58.	Gerilim kontrollü DA sürücü akım dalga şekli ($g=0,25$).....	94
Şekil 4.59.	Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik rotor hızı dalga şekli ($g=0,9$).....	95
Şekil 4.60.	Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik akım dalga şekli ($g=0,9$).....	95
Şekil 4.61.	Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik faz uzayı ($g=0,9$).....	96
Şekil 4.62.	Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik akım güç spektrumu ($g=0,9$).....	96
Şekil 4.63.	Gerilim kontrollü DA sürücü V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti ($g=0,9$).....	97
Şekil 4.64.	a) Akım kontrollü DA sürücü devresi b) Akım kontrollü DA sürücü eşdeğer devresi	98
Şekil 4.65.	Akım kontrollü DA sürücü devresinin Simulink modeli	99
Şekil 4.66.	Akım kontrollü DA sürücü devresinin durum uzayı Simulink modeli.....	100
Şekil 4.67.	Akım kontrollü DA sürücüsünün akım ve hız dalga şekilleri	101
Şekil 4.68.	Akım kontrollü DA sürücüsünün kaotik akım ve hız dalga şekilleri.....	101
Şekil 4.69.	Akım kontrollü DA sürücü devresinin faz uzayı	102
Şekil 4.70.	Akım kontrollü DA sürücü devresinin kaotik faz uzayı.....	102
Şekil 5.1.	Genel zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol şeması	103
Şekil 5.2.	Akım kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kaos kontrolü.....	104
Şekil 5.3.	Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink modeli ..	105
Şekil 5.4.	Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün kaotik faz uzayı ($I_{ref}=4$ A).....	106
Şekil 5.5.	Denetleyici aktif iken paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=4$ A, $\tau = 100$ μ s $K=0.1$).....	106
Şekil 5.6.	Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün kaotik gerilim dalga şekli ($I_{ref}=4$ A).....	107
Şekil 5.7.	Denetleyici aktif iken paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=4$ A, $\tau = 100$ μ s $K=0.1$). ..	107

Şekil 5.8.	Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün kaotik akım dalga şekli ($I_{ref}=4$ A).....	108
Şekil 5.9.	Denetleyici aktif iken paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=4$ A, $\tau = 100$ μ s $K=0.1$)... ..	108
Şekil 5.10.	Gerilim kontrollü DA sürücünün kaotik akım dalga şekli ($\omega_{ref}=100$ rad/s).....	109
Şekil 5.11.	Gerilim kontrollü DA sürücünün kaotik rotor hızı dalga şekli ($\omega_{ref}=100$ rad/s).....	110
Şekil 5.12.	Gerilim kontrollü DA sürücünün kaotik faz uzayı ($\omega_{ref}=100$ rad/s).....	110
Şekil 5.13.	Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-4, $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=50$, $\tau = 10$ μ s).....	111
Şekil 5.14.	Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-4, $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=5$, $\tau = 100$ μ s).. ..	111
Şekil 5.15.	Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-2, $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=100$, $\tau = 10$ μ s).....	112
Şekil 5.16.	Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-2) $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=5$, $\tau = 100$ μ s.....	112
Şekil 5.17.	Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-1 limit çevrim, $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=100$, $\tau = 10$ μ s).....	113
Şekil 5.18.	Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-1 limit çevrim, $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=5$, $\tau = 100$ μ s).....	113
Şekil 5.19.	Gerilim kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması.....	114
Şekil 5.20.	Gerilim kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması	115
Şekil 5.21.	Gerilim kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici Matlab-Simulink şeması	115
Şekil 5.22.	Zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 4, $K_1=5$, $K_2=5$, $A=10$, $\tau=10$ μ s).. ..	116
Şekil 5.23.	Zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 2, $K_1=5$, $K_2=5$, $A=20$, $\tau=10$ μ s).....	116

Şekil 5.24.	Zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 1 limit çevrim, $K_1=5$, $K_2=5$, $A=30$, $\tau=10\mu s$).....	117
Şekil 5.25.	Akım kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması	118
Şekil 5.26.	Akım kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli akım geri beslemeli denetleyici Matlab-Simulink şeması	118
Şekil 5.27.	Zaman gecikmeli akım geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 1 limit çevrim, $K=500$ $\tau=100\mu s$).	118
Şekil 5.28.	Zaman gecikmeli akım geri beslemeli denetleyici aktif iken akım ve hız dalga şekilleri) $K=500$ $\tau=100\mu s$).....	119

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Alçaltıcı dönüştürücü devre parametreleri	34
Tablo 3.2.	Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücü devre parametreleri.....	38
Tablo 3.3.	Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri	44
Tablo 3.4.	Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri	49
Tablo 3.5.	Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri	54
Tablo 3.6.	Akım kontrollü Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri.....	59
Tablo 4.1.	Paralel bağı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün devre parametreleri	85
Tablo 4.2.	Gerilim kontrollü DA sürücü devre parametreleri.....	93
Tablo 4.3.	Akım kontrollü DA sürücü devre parametreleri	100

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kaos, Kaotik Sistemler, Kaos Kontrol, Doğrusal Olmayan Sistemler, Güç Elektroniğinde Doğrusal Olmayan Olaylar, Zaman Gecikmeli Geri Beslemeli Kontrol

Güç elektroniği geniş uygulama alanı ile elektroniğin yeni ve gelişen bir alanıdır. Güç elektroniği elektrik gücünün dönüşümü ile ilgilenir. Elektrik gücünün bir formdan diğer forma yüksek verimle dönüştürülebilmesi için yarı iletken elemanlar kullanılmaktadır.

Yarı iletken anahtarlama elemanlarının kullanılmasıyla elde edilen güç dönüştürücülerinde doğrusal olmayan olaylar meydana gelmektedir. Ayrıca, diyot gibi doğrusal olmayan elemanlar ve güç dönüştürücülerini kontrol sistemleri, güç elektroniği devrelerinde meydana gelen doğrusal olmayan olayların sebepleridir.

Bu tezde güç elektroniği devrelerinde meydana gelen doğrusal olmayan olayların analizi ve kontrolü incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak güç elektroniği devrelerinde oluşan doğrusal olmayan olayların ve kaosun nedenleri, ayrıca belirli bir parametreye göre sistemin normal çalışma konumundan kaotik duruma geçişi incelenmiştir.

Daha sonra, güç elektroniği devrelerinde meydana gelen kaosun kontrolü incelenmiştir. Güç elektroniği devrelerinin modelleri MATLAB - SIMULINK' te kurularak devrenin belirli bir parametreye göre normal çalışma durumundan kaos durumuna geçiş bilgisayar benzetimleri ile gösterilmiştir.

Güç elektroniği devrelerinde meydana gelen kaosun kontrolü için zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyici tasarlanarak sisteme uygulanmıştır. Gerilim ve akım kontrollü DA sürücü devresinde meydana gelen kaotik olayların kontrolü için zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol uygulanmıştır. Belirli şartlar altında güç elektroniği devrelerinin kaos durumundan çıkıp normal çalışma durumuna geçmesi bilgisayar benzetimleri ile sağlanmıştır.

Son olarak ise bu çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

CHAOTIC ANALYSIS AND CONTROL OF NONLINEAR PHENOMENA IN POWER ELECTRONICS CIRCUITS

SUMMARY

Key Words: Chaos, Chaotic Systems, Chaos control, Nonlinear systems, Nonlinear phenomena in power electronics, Time delay feedback control

The power electronics is developing and new area of electronics with wide practical application area. It is interested in converting efficiently the electrical power from one form to another form. In order to convert electrical power from one form to another efficiently, semiconductor devices are used in power electronics.

By using semiconductor devices, nonlinear phenomena are occurred in power electronics circuits such as converters. In other words, power converters exhibit nonlinear phenomenon. In all power electronics circuits, the switching element is the important source of nonlinearity. Moreover, other reasons of nonlinearity in power converters are the nonlinear devices such as diodes and the control methods of power converters.

In this study, nonlinear phenomena in power converters and its control are investigated. Firstly, the reason of nonlinear phenomena and chaos in power converters and according to particular parameter, the system going from normal condition to chaotic condition are analyzed.

Afterwards, the control of chaos in power converters is studied. The model of power electronics converters are constructed in MATLAB-SIMULINK and according to certain values, the system going from normal condition to chaotic condition are demonstrated with computer simulations.

In order to control of chaos in power converters, controller designed based on time delay feedback control is applied to system. Time delayed feedback control firstly applied to control of chaotic phenomena in voltage and current mode controlled DC drive system. The transition to normal state from chaotic state of the controlled system is demonstrated with computer simulations under certain condition.

Finally, in this study, obtained results have been discussed and evaluated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Güç elektroniği gerçek hayatta kullanılan ve birçok endüstriyel uygulamayı ilgilendiren yeni ve gelişen bir alandır. Geçtiğimiz yıllarda, güç elektroniği teknolojinin birçok açıdan fazla bir şekilde gelişmesini sağlamıştır [1].

Günümüzde birçok endüstriyel uygulamada kullanılan güç kaynaklarında yüksek verim, küçük hacim ve sabit çıkış gerilimi olması istenmektedir. Bu özellikler doğrusal elemanlar ile sağlanamadığı için son zamanlarda anahtarlamalı güç kaynaklarının gelişmesine neden olmuştur. Böylelikle, anahtarlamalı dönüştürücüler güç elektroniğinin birçok uygulama alanında kullanılmaya başlanmıştır [2].

AA-DA (Alternatif Akım – Doğru Akım) dönüştürücüler (doğrultucu), DA-AA dönüştürücüler (evirici), DA-DA ve AA-AA dönüştürücüler olmak üzere güç dönüştürücülerinin dört temel tipi vardır. Güç dönüştürücülerinde yüksek verim elde etmek için, anahtarlamalı dönüştürücülerde yarı iletken anahtar ve enerji depolayıcı elemanlar kullanılmaktadır [3].

DA-DA dönüştürücüler güç elektroniğinde çok fazlıca kullanılan devrelerden biridir. Buck (alçaltıcı), Boost (yükseltici) ve Buck - Boost (alçaltıcı - yükseltici) güç elektroniği devreleri istenilen çıkış geriliminin sağlanması için kullanılan başlıca anahtarlamalı DA - DA dönüştürücülerdir. Bu dönüştürücülerin açık çevrim kontrolünde, istenilen çıkış gerilimini elde etmek için, anahtarlama frekansı sabit bir değer seçilir ve anahtar DGM (Darbe Genlik Modülasyonu) frekansına göre açılıp kapanır. Fakat gerçek uygulamalarda yükümüz sabit olmayabilir ve giriş gerilim kaynağı dış etkenlerden etkilenebilir. Bu yüzden, kapalı çevrim kontrol metotları kullanılmaktadır [4]. Böylelikle, birçok kontrol metodu anahtarlamalı DA - DA dönüştürücülere uygulanmıştır [5 - 7].

İlk defa Brockett ve Wood tarafından 1984 yılında güç elektroniği devrelerinde meydana gelen doğrusal olmayan olaylar incelemiştir [8]. Geri beslemeli kontrol edilen anahtarlama ve dinamik davranışların çeşitliliğinden dolayı güç elektroniği devrelerinin doğrusal olmadığı gösterilmiştir [9].

Bu çalışmadan sonra geri beslemeli anahtarlama DA - DA dönüştürücülerin kaotik ve çatallaşma analizi birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır [10–15]. Deane ve Hamill DGM ile kontrol edilen alçaltıcı dönüştürücünün kaotik analizini araştırmış ve kaotik durumu benzetimler ve deneysel uygulama ile göstermiştir [16]. Ayrıca, akım kontrollü alçaltıcı dönüştürücülerde giriş geriliminin değişimine göre kaotik davranışın ve salınımların meydana geldiğini göstermiştir [17]. Natsheh ve diğerleri DGM ile kontrol edilen paralel bağlı Boost dönüştürücünün kaotik davranışa sahip olduğunu ve referans akımın değişimine göre devrenin kaosa geçişinin analizini benzetimler ve uygulama ile göstermiştir [18].

Anahtarlama DA - DA dönüştürücülerinin kaotik analizleri ile birlikte endüstriyel sürücü sistemlerde de kaotik analiz çalışmaları başlamıştır [19]. Chen ve diğerleri tarafından akım ve gerilim kontrollü DA sürücü denilen sürekli iletim modunda çalışan DA kıyıcı beslemeli DA motor referans endüvi hızına göre devrenin kaosa geçişi analizler ve benzetimler yardımı ile incelenmiştir [20, 21]. Daha sonra ise sürekli iletim ve süreksiz iletim modunda çalışan akım kontrollü DA sürücünün çatallaşma ve kaotik davranışları araştırılmıştır [22].

Bu dönüştürücülerde meydana gelen kaosu kontrolü için OGY [23–25], zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol [26] gibi birçok kontrol yöntemi önerilmiştir. Birçok çalışmada kaos kontrol yöntemleri kapalı çevrim kontrollü DA - DA dönüştürücülere uygulanmıştır [27].

Bölüm 2’de, doğrusal olmayan dinamikler ve kaos teorisinden bahsedilmektedir. Bir sistemin kaotik davranışa sahip olması için gerekli şartlar ve kaotik sistemlerin özellikleri anlatılmıştır. Bir sistemin kaotik davranışa sahip olup olmadığını anlamak için gerekli analiz yöntemleri verilmiştir. Son olarak ise bazı kaotik sistemler tanımlanmış ve bu sistemlerin analizi bilgisayar benzetimleri ile gösterilmiştir.

Bölüm 3’de, anahtarlama DA - DA güç elektroniği devrelerinin analizi ve yapısı verilmiştir. Açık çevrim ve kapalı çevrim kontrollü alçaltıcı, yükseltici ve alçaltıcı-yükseltici anahtarlama DA - DA dönüştürücülerinin benzetimleri MATLAB - SIMULINK® kullanılarak gösterilmiştir.

Bölüm 4’ de, kapalı çevrim kontrollü, akım veya gerilim geri beslemeli anahtarlama DA - DA alçaltıcı, yükseltici, alçaltıcı - yükseltici, paralel bağlı yükseltici tip dönüştürücülerinin ve DA sürücü denilen DA Buck dönüştürücü devresinde bulunan DA motorunda meydana gelen doğrusal olmayan olayların kaotik davranışları zaman serileri, frekans spektrumu ve faz uzayı yardımıyla gösterilmiştir.

Bölüm 5’ te, anahtarlama DA - DA güç elektroniği devrelerinde meydana gelen kaotik durumların kontrolü için zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol yöntemi uygulanmıştır. Paralel bağlı yükseltici dönüştürücülerde ve DA sürücüsünde meydana gelen kaotik olayların kontrolü için zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol yöntemi ilk defa uygulanmıştır. Zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol yöntemin DA - DA dönüştürücülere ve DA sürücülere uygulanmasıyla, dönüştürücülerin kaotik çalışma durumundan normal çalışma durumuna geldiği bilgisayar benzetimleri ile gösterilmiştir.

Bölüm 6’ da ise çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER VE KAOS

Kaosun başladığı noktada klasik bilim durur. Fizikçilerin araştırma konuları atmosferde, çalkantılı denizlerde, yaban popülasyonlarının dalgalı değişimlerinde, kalp ve beynin titreşimlerinde var olan düzensizlik konusuna gelip dayanmıştır. 1970’li yıllarda birkaç bilim adamı düzensizlik konusuna incelemeye başladı. Matematikçiler, fizikçiler, biyologlar, kimyacılar olarak hepsi de kural dışılığın çeşitli türleri arasında bağlantılar bulmak peşindeydi.

Fizyologlar insan kalbinde oluşan ve izah edilemeyen ani ölümlerin belli başlı nedeni olan kaosta hayret verici bir düzey bulunduğunu tespit ettiler. Ekoloji uzmanları güve popülasyonlarının çoğalmalarını ve yok oluşlarını araştırdılar. Ekonomistler eski stok maliyeti verilerini inceleyip yeni bir analiz yöntemi denediler.

Sonuçta ortaya çıkan bakış açısı, araştırmacıları, bulutların aldığı şekillere, yıldırımın izlediği yollara, kan damarlarının mikroskobik düzeylerde oluşturduğu ağlara, yıldızların galaksiler halinde kümelenmesine, yani doğrudan doğruya tabiata yöneltiyordu.

Kaliforniya’daki Berkeley Üniversitesinde bir matematikçinin kurduğu küçük bir grup çalışmalarını tamamen “dinamik sistemler” konusunda yeni bir yaklaşım oluşturmaya ayırmıştı. Princeton Üniversitesinde popülasyonlar biyolojisiyle uğraşan bir araştırmacı, bazı basit modellerin bünyesinde insana şaşkınlık verecek kadar karmaşık davranış biçimleri saklı olduğu gerçeğine bütün bilim adamlarının eğilmelerini istedi.

IBM' de çalışan bir geometrici tabiattaki düzeni kuran ilkelerden biri olarak düşündüğü, dikenli, dolaşmış, küçük parçalara ayrılmış, bükülmüş, kırılıp dağılmış birtakım şekilleri tanımlayabilmek için yeni bir kelime arıyordu. Bir matematik fizikçisinin ileri sürdüğü, bir iddiaya göre sıvılardaki türbülansın, tuhaf, bu olay tuhaf çekici olarak adlandırılıyordu.

On yıl kadar sonra, kaos kelimesi, bilimsel düzenin dokusunu yeniden şekillendirmeye yönelik hızlı gelişmeyi kısaca tanımlamak için kullanılan bir kavram haline geldi. Kaos, karmaşıklığın temelinde yatan muazzam ve hassas yapıyı yakalayabilmek için hem bilgisayar kullanımında özel bazı teknikler hem de birtakım özel grafik resim ve çizgi türleri icat etmiştir. Yeni bilim kendi dilini de üreterek fraktallar, çatallaşmalar, periyodiklikler gibi kendine özgü terimler kullanmaya başlamıştır.

Şimdi bilim aramaya başladıktan sonra, kaos adeta birçok yerde ortaya çıkabileceği bulunmuştur. Sigara dumanı havaya birtakım düzensiz helezonlar şeklinde dönerek yükselir. Bayrak rüzgârda bir o yana bir bu yana çırpınarak dalgalanır. Musluktan damlayan su önce muntazam aralıklarla düşerken sonraları düzeni bozulur. Havanın davranışında, havadaki bir uçağın davranışında, otoyolda birbirinin peşi sıra giden arabaların davranışında, yeraltındaki boruların içinde akan petrolün davranışında kaos ortaya çıkmaktadır.

Sürtünme olmasaydı bir hokey topuna ivme kazandırmak için gerek duyulan enerji miktarı basit bir doğrusal (lineer) denklemle ifade edilebilirdi. Sürtünme işin içine girince bu ilişki karmaşık hale gelir, çünkü enerji miktarı, topun halen kazanmış bulunduğu hıza bağlı olarak değişmektedir.

Kaos kısaca düzensizliğin düzeni şeklinde tanımlanan doğrusal olmayan bir bilim dalıdır. Kaosun ve kaotik işaretlerin başlıca özellikleri; zaman boyutunda rastgelelik, başlangıç şartlarına hassas bağlılık ve gürültü benzeri geniş güç spektrumuna sahip olmalarıdır [28 - 30].

Bilimdeki temel bir inanış, deterministik sistemlerin önceden belli olmasıdır. Verilen deterministik model, bir başlangıç şartı ve çalışma altındaki bir sistemi tanımlar ise, sistem davranışı bütün zamanlar için önceden bilinebilir [31].

Son zamanlardaki, determinizmin kaotik sistemleri önceden tahmin edemeyeceği keşfi bu bakış tarzlarını değiştirmiştir. Kaos'taki bu buluş bilimlerdeki ve mühendislik sistemlerinde geniş olarak karşımıza çıkan karmaşık ve önceden kestirilemeyen olayları anlamayı sağlamaktadır. Düzenli bir hareketten, kaotik bir davranışa geçiş teorik ve deneysel olarak her iki alanda da geniş olarak çalışmaktadır.

Doğrusal olmayan sistem teorilerindeki ilerleme, son zamanlardaki işlem gücü yüksek bilgisayarların yaygınlığı ve teknolojinin gelişmesiyle bilim insanları doğrusal olmayan sistemlerde meydana gelen karmaşık davranışları benzetim yardımıyla kolaylıkla inceleme ve analiz imkânı bulmuşlardır.

Kaosun disiplinler arası bir konu olması, sistemde kaosun varlığını gösteren yöntemleri ön plana çıkarmıştır [32]. Kaos analizi yapabilmek için ilk adım kullanılacak yöntemin karakteristikleri hakkındaki teorik bilgi oluşturulması ve bu teorik bilginin modellenerek, bilgisayar sistemleri aracılığıyla benzetimi (simülasyonu) ve analizi olmuştur.

Pratikte kararsız süresiz hal davranışları gözlemlenemeyeceğinden, kararlı sürekli hal davranışları özel bir ilgi çekmektedir. Bundan sonra doğrusal olmayan sistemle ilgili üç sürekli hal davranışları incelenebilir. Bunlar, denge noktaları, periyodik, yarı - periyodik çözümleridir.

Genellikle, pratik açıdan kaos olayı, denge noktaları, periyodik çözümler ve yarı - periyodik çözümler gibi üç sürekli hal davranışlı kategorilerin içine girmeyen ancak sürekli hal davranışıyla sınırlanmış olarak tanımlanabilir. Denge noktaları sıfır değerinde iken periyodik çözümler tek boyutludur. Tuhaf çekiciler çok daha karmaşıktır ve boyutları da çok ufaktır [33-35].

2.1. Durum Uzayı ve Vektör Alan

Zamana bağılı olarak değişen dinamik sistemler, matematiksel olarak diferansiyel denklemler ve fark denklemleri şeklinde iki grup içinde modellenebilir. Diferansiyel denklemler sistem davranışını sürekli halde tanımlarken, fark denklemleri ayrık zamanlı çözümler içerir. Diferansiyel denklemler adi ve parçalı diferansiyel denklemler olmak üzere iki tiptir. Örneğin harmonik osilatörünün, yani sarkaç modelinin ifadesi adi bir diferansiyel denklem modelidir.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (2.1)$$

Sarkaç modelinin ifadesi olan denklem 2.1'de sadece bir tane bağımsız değişken bulunmaktadır. Bu değişken t ile ifade edilen zamandır. Bunun yanı sıra ısı denklemi bir parçalı diferansiyel denklemdir.

$$\frac{du}{dt} = \frac{d^2 u}{dx^2} \quad (2.2)$$

Isı denklemi olan 2.2'de iki tane bağımsız değişken bulunmaktadır. Bu bağımsız değişkenler t ve x ile ifade edilmektedir. Nonlineer diferansiyel denklemlerin genel ifadesi şu şekilde olmaktadır.

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.3)$$

·
·
·

$$\dot{x}_n = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Burada üzeri noktalı olan x ifadeleri, x 'in zamana göre türevi alınmış durumu anlamına gelmektedir.

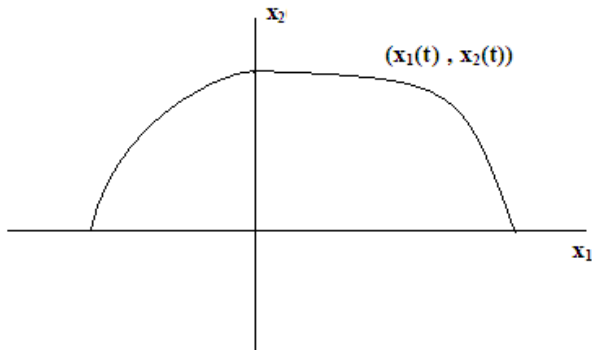
$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} \quad (2.4)$$

x_1, x_2, \dots, x_n sistemin durum değişkenleridir. Denklem 2.1 de ifade edilen harmonik osilatör ifadesini düzenleyip lineerleştirirsek denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$m \dot{x}_2 = -bx_2 - kx_1 \quad (2.5)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{b}{m}x_2 - \frac{k}{m}x_1$$

Denklemdaki bütün değişkenlerin derecelerini birinci dereceden oluşturarak sistemin lineer hale getirebiliriz. Aksi durumda sistem doğrusal olmayan (nonlinear) bir yapıda olur. Sarkaç modeli denkleminde ilk koşulların $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ için sistemin bir çözümünün olduğunu varsayıp, $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ ifadelerini durum uzayında çizdirmek istersek, bu durum uzayında bir eğri boyunca hareket eden bir noktaya karşılık gelir. Bu eğriye yörünge denir. Bu eğrinin bulunduğu uzaya ise durum uzayı ya da faz uzayı denir. Durum uzayı tamamen yörüngelerle kaplıdır. Durum uzayında her bir nokta başlangıç noktası kabul edilebilir.



Şekil 2.1. Durum Uzayı

Dinamik sistem incelenirken sistem durumunu ifade eden durum değişkenleri belirlenir. Sistem dinamiğinin incelenmesi aslında bu durum değişkenlerinin zamanla nasıl değiştiklerinin incelenmesidir. Bir sistemin dinamik davranışı incelenirken ilk koşullardan başlayan eğrinin hesaplanması gerekir. Denklem 2.6 da gösterilen eşitlikte ifadenin sol kısmı durum değişkenlerinin değişim hızını göstermektedir. Bu durum değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilen bir vektördür.

Bu durumda eşitlik durum uzayının her noktasında bir vektöre karşılık gelir. $\dot{x} = 0$ olan noktalara denge noktaları denir. Vektör alanının davranışı durum uzayında bölgeden bölgeye fark edebilir ve birden fazla denge noktası olabilir. Bu durumda vektör alanı lokal olarak incelenir. Yani vektör alanı lineer bölgelere bölünür ve her bir bölüm ayrı ayrı incelenir. Lokal olarak incelenirken sistem denge noktaları civarında lineerleştirilir. Bu işlem yapılırken sistemin jacobian matrisinden yararlanır. Vektör alanının özellikleri jacobian matrisinin denge noktalarındaki özdeğerleri incelemek yapılır.

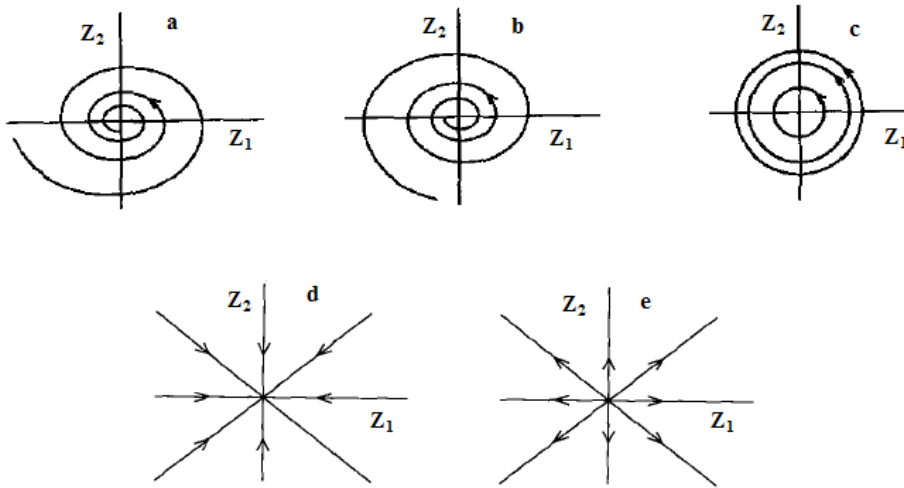
$$\dot{x} = f_1(x, y) \quad (2.6)$$

$$\dot{y} = f_2(x, y)$$

Denklem 2.6 daki sistemin denge noktaları $x^* y^*$ olsun. Sistemin denge noktalarında jacobiyen matrisi;

$$F = (x^* y^*) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

şeklinde olur. Sistemin özdeğerlerinin reel kısmı negatif ise sistem kararlı, pozitif ise sistem kararsızdır. Bazı özdeğerler reel ve negatif olurken, bazı özdeğerler reel ve pozitif ise sistem özdeğerleri negatif ve reel olan bölgelerde kararlı diğer yerlerde kararsızdır. Özdeğerlerin reel kısımları yok, sadece imajiner kısımları varsa sistem sönümlenme yapmadan salınım girer. Buna merkez denir. Şekil 2.2' de özdeğerlerin durumuna göre durum uzayları gösterilmiştir [36].



Şekil 2.2. İki Boyutlu Durum Uzayında Vektör Alanlar

- Spiral yapıda çekici: özdeğerlerin reel kısmı negatif ve kompleks eşlenik
- Spiral yapıda itici: özdeğerlerin reel kısmı pozitif ve kompleks eşlenik
- Merkez: özdeğerlerin sadece imajiner kısımları mevcut
- Çeken: her iki özdeğer negatif ve reel
- İten: her iki özdeğer pozitif ve reel

2.2. Kaotik Sistemler ve Analizi

2.2.1. Kaos teorisi

Kaos, genellikle karmaşa veya kestirilemezlik kavramlarıyla beraber anılmaktadır. Birçok doğrusal olmayan sistemin zamanla değişiminin düzensiz, kestirilemez olması ve birçok araştırmacının sistemlerindeki kestirilemezliğin araştırılmasıyla son zamanlarda kaos teorisini ön plana çıkarmıştır.

Kaotik sistemlerin matematiksel modelleri doğrusal olmayan terim içermesinden dolayı doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Hem sürekli zamanlı diferansiyel denklemlerde hem de ayrık zamanlı sistemler fark denklemleri ile ifade edilebilmektedir. Kaotik sistemlerin matematiksel modellerinin deterministik olmasına rağmen uzun dönemdeki davranışının kestirilemez olması; kaotik sistemleri

doğrusal olmayan sistemler altında incelenen birçok modelden farklı kılmaktadır [37].

Kaotik sistemler deterministik denklemlerle ifade edilmesine rağmen sistemin geçmişteki davranışını tekrar etmeyerek düzensiz bir yapıya sahip olması ve sistemin başlangıç şartlarına hassas bağımlı olması kaotik sistemlerin sahip olduğu iki temel özelliktir.

2.2.2. Kaotik sistemlerin deterministik yapısı

Dinamik sistemler çeşitli dinamik kurallar ile tanımlanabilir ve bu dinamik sistemlerin çözümleri tektir. Bu nedenle bu tip sistemler deterministik olarak adlandırılmaktadır. Dinamik sistemin durumu tüm zamanlar için tektir. Sistemin herhangi bir zamandaki durumuna karar verilebilir [38].

Deterministik doğrusal olmayan dinamik sistemlerin çözümleri ise rasgele (istatistiğe bağlı durumlar) olabilir. Bu tip davranış deterministik kaos olarak adlandırılmaktadır. Burada önemli olan temel nokta çözümlerin gerçekten rasgele olup olmadığıdır.

Rasgelelik temel olarak gürültü aracılığıyla üretildiğinden buradaki sonuçlar rasgele değildir. Sonuçların rasgele görünmesinin nedeni başlangıç koşullarına bağımlı olan deterministik denklemlerde kullanılan değişkenlerin değerindeki çok küçük değişimlerdir.

Kaotik sistemler deterministik olmasına rağmen öngörülebilir değildir. Kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına hassas bağımlılığı, başlangıç değerinin hassas ölçülememesi veya başlangıç değerinin irrasyonel sayılarla ifade ediliyor olabilmesi öngörülebilirliğe engel olur.

2.2.3. Kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına hassas bağımlılığı

Kaotik dinamiklerin önemli bir diğer özelliği ise başlangıç koşullarına aşırı duyarlı olmasıdır. Sistem birbirinden çok küçük farklı olan iki başlangıç koşulunda başlatıldığında başlangıç koşullarına duyarlılık gözlemlenebilir. İki farklı başlangıç noktasına sahip sistem arasındaki fark hatadır. Bu küçük farklara kaotik olmayan sistemlerde ölçme hatası olarak adlandırılabilir ve bu hata zamanla doğrusal olarak artmaktadır. Fakat kaotik sistemlerde hata üstel olarak artmakta ve bu yüzden sistemin gelecekteki durumları kestirilemez olmaktadır. Bu davranış başlangıç koşullarına duyarlılık olarak bilinmektedir.

Kaotik sistemlerde kararlılık ve kararsızlık çok küçük değişimlerle birbirine dönüşür. Kaos hali binlerce kararlı ve kararsız durumların birlikte var olduğu bir durumdur. Kararlı bir hal en küçük bir değişiklikle kararsızlığa, kararsızlık ise kararlılığa dönüşür. Bu nedenle “kararlı kararsızlık” durumu diye tanımlanabilir. Kararlı kararsız bölgeler aşırı derecede küçük olduğu için kararlı bölgedeki en küçük bir değişiklik sistemi kaosa götürür. Diğer bir deyişle kaotik sistemler başlangıç koşullarına aşırı duyarlıdır [35].

2.2.4. Kaos analizi için gerekli koşullar

Bir sistemde kaos analizi yapılabilmesi için bazı gerekli şartlar vardır. Bunlardan ilki sistemin doğrusal olmayan eleman veya elemanlar içermesidir. Doğrusal sistemde kaosun gözlenmeyeceği bilinmektedir. Şartlardan ikincisi ise, sürekli zamanlı sistemler için ve ayrık zamanlı sistemler için farklılık göstermektedir. Sistem sürekli zamanlı bir sistem ise, kaosun aranabilmesi için ikinci şart en az üçüncü derece otonom bir sistem veya en az ikinci derece otonom olmayan (nonotonom) bir sistem olmasıdır. Ayrık zamanlı sistem ise birinci dereceden dahi olsa kaos analizi yapılabilmektedir. Lojistik harita (logistic map) buna bir örnektir. Kaos analizi yapabilmek için bahsedilen iki şart gerekli şartlardır, yeterli şartlar değildir. Yani bu şartlara uyan sistemlerde kaos analizi yapılabilir fakat kesinlikle kaotik davranış gösterir diye bir yargıya varılamaz. Bir sistemde kaos gözlenebilmesi için yeter şart ise sistem yörüngesinin başlangıç koşullarına duyarlı olmasıdır [35].

2.2.5. Kaotik sistemlerin davranışları

Bu bölümde ayırık zamanlı ve sürekli zamanlı olmak üzere iki kaotik sistemin çeşitli parametre değerleri için davranışları verilmiş ve ardından bu sistemlerin başlangıç koşullarına olan hassasiyeti gösterilmiştir.

Tek boyutlu ve n boyutlu ayırık zamanlı dinamik sistemler mevcuttur. Tek boyutlu ayırık zamanlı doğrusal olmayan bir sistem üzerinde parametre ve ilk şartların değişimiyle görülen kaotik davranışlar incelenebilir.

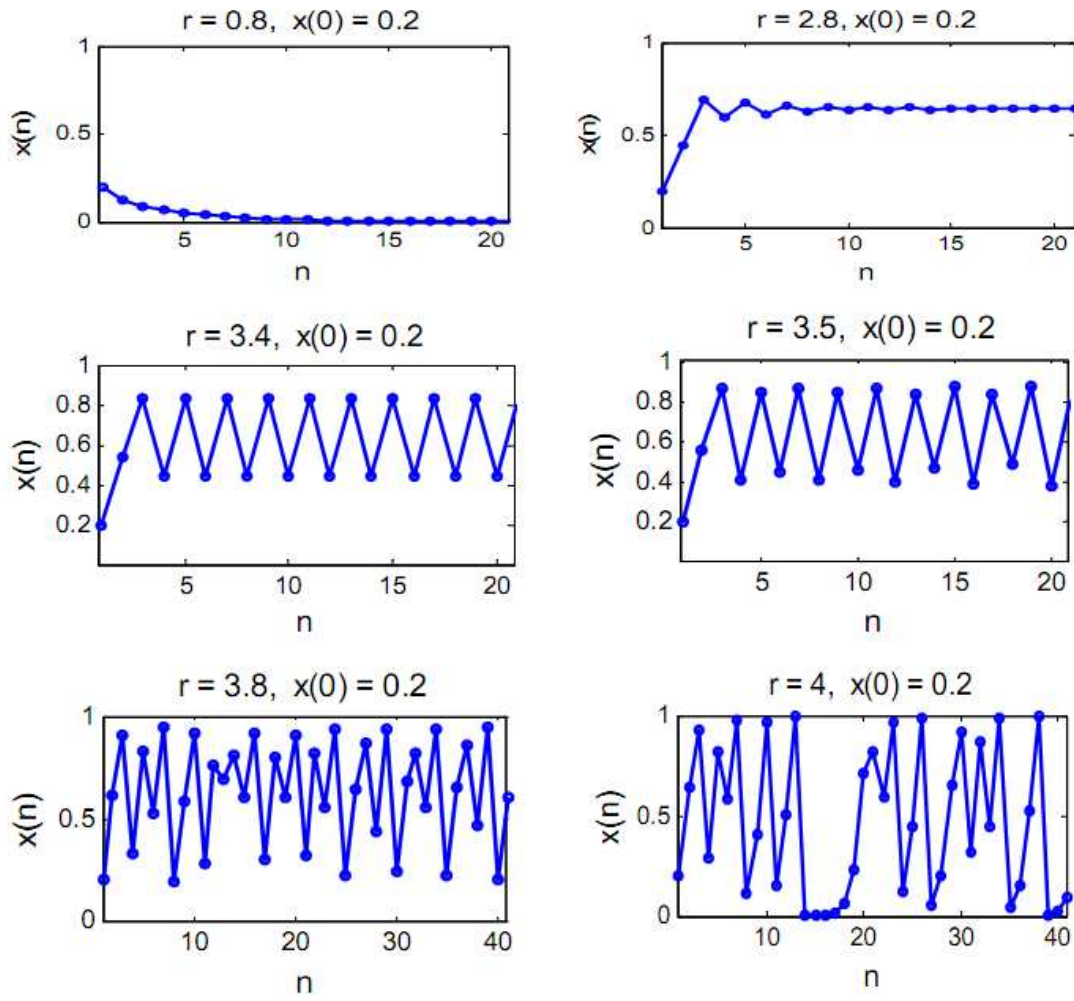
İlk örneğimiz ayırık zamanlı bir sistem olan lojistik haritadır. Yaygın olarak en fazla çalışılan tek-boyutlu doğrusal olmayan harita, lojistik haritadır. Lojistik harita, kuşlar, balıklar, memeliler vb. biyolojik nüfus dinamiğinin çok basit bir modeli olan lojistik denklemin ayırık hale getirilmiş şeklidir [39].

$$f(x) = rx(1 - x), \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (2.8)$$

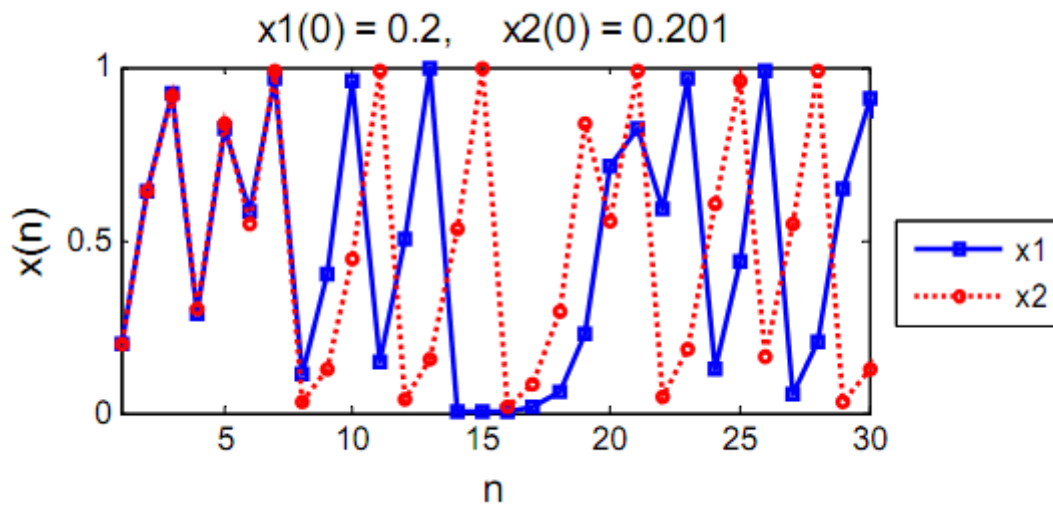
$f(x)$, sıfır ve bir ile sınırlandırıldığından, $r \leq 4$ alınmalıdır. Sabit parametre r , haritanın davranışını etkilemektedir.

Şekil 2.3'den görüldüğü gibi, lojistik harita $r = 0.8$ ve $r = 2.8$ değerleri için sabit nokta çözümü gösterirken, $r = 3.4$ değeri için çift periyot, $r = 3.5$ değeri için dört periyot, $r = 3.8$ ve $r = 4$ değerleri için ise kaotik çözüm göstermektedir.

Lojistik haritanın başlangıç şartlarına olan hassas bağımlılığı ise Şekil 2.4' den görülebilir. $x_1=0.2$, başlangıç koşulu kullanılarak elde edilen x_n verileri ile $x_2=0.201$ başlangıç koşulundan elde edilen x_n verileri arasındaki fark Şekil 2.4'ten görülebilir. Şekil 2.4' den de anlaşıldığı gibi sistemin başlangıç koşullarında meydana gelen ve ihmal edilebilecek kadar küçük olan bir değişim çok farklı sonuçlara neden olmaktadır.

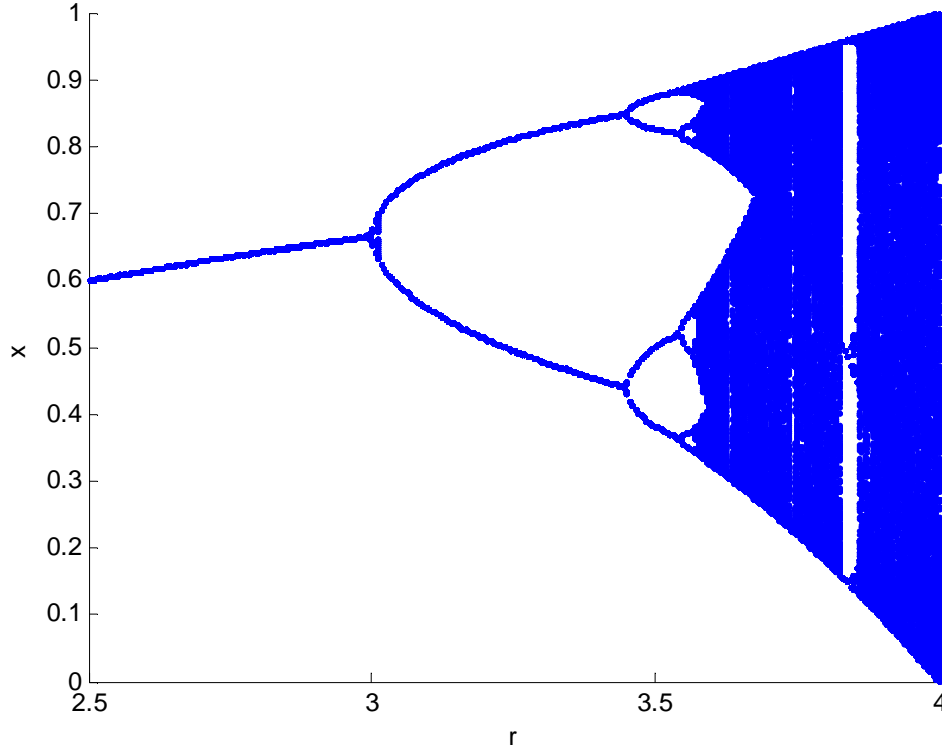


Şekil 2.3. Lojistik haritanın, r parametresinin belirli değerlerine göre değişimi ($x(0)=0.2$)



Şekil 2.4. Lojistik haritanın birbirinden çok az farklı iki başlangıç değeri için değişimi ($r = 4$)

Tek boyutlu ayırık zamanlı doğrusal olmayan dinamik bir sistem olan lojistik haritanın, (Bkz. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4' ten görüldüğü gibi) kaotik bölgede parametre ve ilk şartların değişimine hassas bağımlı olduğu anlaşılmaktadır. Lojistik haritanın çatallaşma diyagramı Şekil 2.5' de görülmektedir.



Şekil 2.5. Lojistik Haritanın çatallaşma diyagramı

Kaotik sistemlerin karakteristiğindeki küçük bir değişimin üstel artışa neden olması kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına olan duyarlılığını göstermektedir. Bunun bir sonucu olarak kaotik sistemlerin uzun vadeli kestirimlerinde başarısız sonuçlar elde edilmektedir. Çünkü pratikte sistemin başlangıç koşullarının sonsuz sayıdaki durumu asla bilinemez. Herhangi bir hata olduğunda uzun vadeli kestirimde bulunmak anlamsız olacaktır. Bu nedenle kaotik sistemler kısa vadede yüksek kestirilebilirlik (zamanda deterministik değişiminden dolayı) özelliğine sahipken uzun vadeli kestirimlerde bulunamazlar (başlangıç şartlarına hassas bağımlı olmalarından dolayı).

İkinci örneğimiz ise sürekli zamanlı bir sistem olan Lorenz sistemidir. 1963 yılında, havanın basitleştirilmiş bir modelini çalışmak üzere basit bir matematiksel bilgisayar programı yazan meteorolog Edward Lorenz, bir hava akımının güneş tarafından ısıtıldıkça nasıl azalıp çoğalacağına ilişkin bir model üzerinde çalışıyordu. Lorenz' in yazdığı bilgisayar kodları hava akımlarının akışlarını düzenleyen matematiksel formülleri içermekteydi. Bilgisayar kodu tamamen deterministik özellikte olduğundan Lorenz, aynı başlangıç koşulları verildiği takdirde, programın çalıştırılması sonucu hep aynı sonuçları almayı bekliyordu. Fakat aynı zannettiği başlangıç değerlerini girdiği zaman, her seferinde kökten farklı sonuçlar elde ettiğini görmek Lorenz' i şaşkına çevirmişti. Daha dikkatli bir inceleme yaptığında her seferinde tamamen aynı değerleri değil, birbirinden çok küçük de olsa farklı değerleri girmiş olduğunu fark etti. Her deneme sırasındaki başlangıç değerlerinin farklı olduğunu anlayamamıştı, çünkü farklılıklar, alışılmış standartlara göre mikroskobik ve önemsiz addedilecek kadar inanılmaz düzeyde küçük farklılıklar vardı. Lorenz' in atmosfer modelinde kullandığı matematik 1970'lerde geniş bir biçimde araştırıldı. Zamanla, kaotik bir sistemin temel özelliği olarak, iki farklı başlangıç koşulları dizgesindeki düşünülebilecek en küçük farklılığın, daima, sonraki veya önceki zamanlarda büyük farklılıklara yol açacağı, bilinen bir gerçek haline geldi. E.Lorenz yaklaşık bir biçimde sonsuz boyutlu uzaydaki gerçek zamansal değişimi bilgisayarda inceleyebileceği üç boyutlu bir değişim kullanarak bugünkü Lorenz çekeri olarak bilinen bir nesne ortaya çıkmıştır.

Lorenz' in hava tahminlerini hesaplanmasında kullandığı iki boyutlu akışkan konveksiyonu için bir model olarak tanımladığı ve a , b ve c sistem parametreleri olmak üzere;

$$\frac{dx}{dt} = a(y - x) \quad (2.9)$$

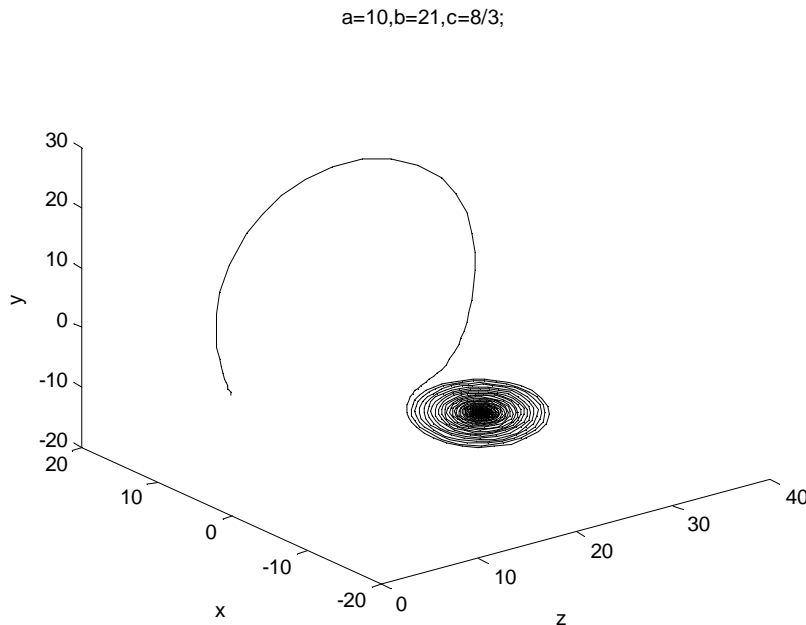
$$\frac{dy}{dt} = (bx - y - xz)$$

$$\frac{dz}{dt} = (xy - cz)$$

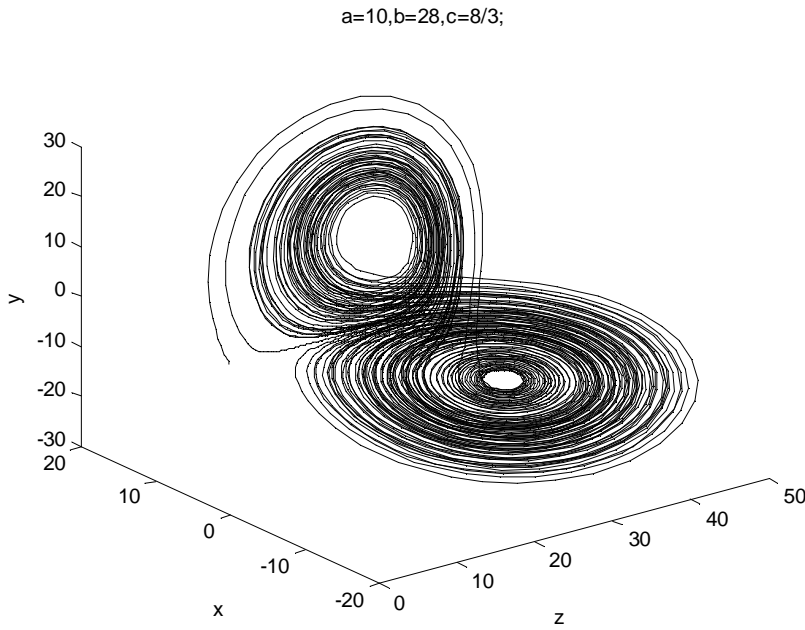
denklemleri ile verilir. Burada x , y ve z durum değişkenleridir [40]. Bir dinamik sistemin kaotik davranabilmesi için başlangıç şartlarına çok duyarlı olması gerekmektedir. Kaotik bir davranışı diğer davranışlardan ayıran bir diğer gösterge ise faz resmi görünümü ve frekans spektrumudur. Kaotik yapıya sahip sistemlerde faz resminin zaman gelişimi, dinamik sistemin yapısının oluşturduğu faz uzayı içerisinde sayılamayacak kadar çok yörüngelerin oluşması ile belirlenir. Zaman ilerledikçe bu yörüngeler kendini tekrar ederek faz uzayını doldurmaya başlar. İşte faz uzayının bu şekilde dolması bize sistemin kaotik bir sistem olduğunun bir göstergesidir.

Sistem parametrelerinin değiştiği zaman değişik cevaplar vermektedir. x , y ve z durum değişkenlerini a , b ve c sistem parametrelerini değiştirildiği zaman farklı davranışlar gösterdiğini sistemin o anki cevabı olduğu görülmektedir. (Şekil 2.6, Şekil 2.7)

Sistem $a=10$, $b=21$ ve $c=8/3$ değerleri için periyodik davranış gösterirken $a=10$, $b=28$ ve $c=8/3$ durumunda kaotik davranış göstermektedir. Sistemin periyodik davranış gösterdiği Şekil 2.6' dan, $a=10$, $b=28$ ve $c=8/3$ parametre değerlerinde sistemin kaotik davranış gösterdiği Şekil 2.7'deki faz uzayında görülmektedir.

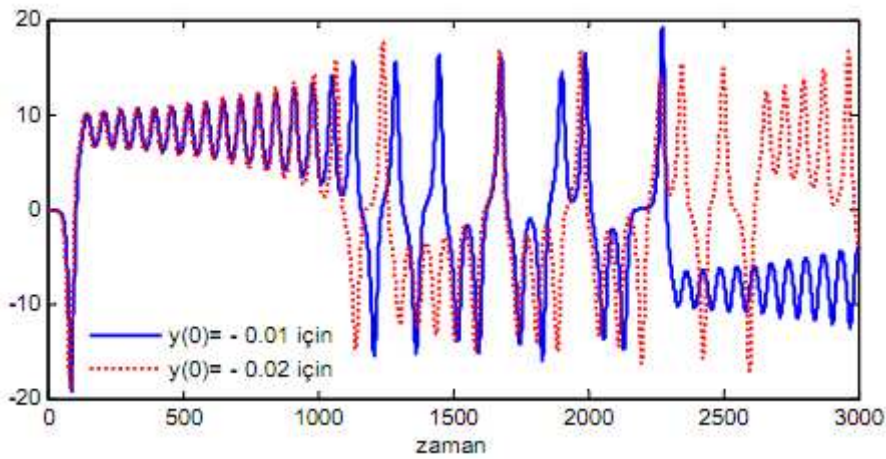


Şekil 2.6. $a=10$, $b=21$ ve $c=8/3$ değerleri Lorenz Sistemi x-y-z periyodik faz uzayı



Şekil 2.7. $a=10$, $b=28$ ve $c=8/3$ değerleri için Lorenz Sistemi x-y-z kaotik faz uzayı

Lorenz kaotik sisteminin başlangıç şartlarına olan hassas bağımlılığı ise Şekil 2.8' den görülebilir. $y(0)=0.01$ ve $y(0)=0.02$ başlangıç koşulları kullanılarak y durum değişkeninin zaman serileri elde edilmiştir. Şekil 2.8' den de anlaşıldığı gibi sistemin başlangıç koşullarında meydana gelen ve ihmal edilebilecek kadar küçük olan bir değişimin sistemi nasıl etkilediği görülmektedir.



Şekil 2.8. Kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağımlılığına bir örnek (Lorenz sistemi)

2.3. Kaos Analiz Yöntemleri

Bir sistemde kaos analizi yapılabilmesi için birçok yöntem kullanılmıştır [30]. Bu yöntemlerden en sık kullanılanlar:

- Yörüngenin izlenmesi (zaman serileri)
- Faz uzayının incelenmesi (Phase Portrait)
- Poincare haritalama (Poincare Map)
- Güç spektrumu
- Çatallaşma diyagramı (Bifurcation Diagram)
- Lyapunov üstelleri
- Boyut analizi (Fraktal boyut, Lyapunov boyutu vb.)

olarak sıralanabilir.

2.3.1. Yörüngenin izlenmesi

Yörüngenin izlenmesi yöntemi en basit yöntemdir. Sistemin durum değişkenlerinden herhangi biri zaman ekseninde gözlenerek sistemin belli şartlar altında kaotik davranıp davranmadığına gözlemlenebilir. Bu yöntemler incelenirken dikkat edilmesi gerekenlerden biri sistemin geçici durum davranışının kalktıktan sonra gözlemlenmenin yapılmasıdır. Anlatılan yöntemlerin tümünde bu duruma dikkat edilmelidir.

2.3.2. Faz uzayı

Bu yöntemde, durum değişkenlerinin birbirine göre davranışları çizdirilerek sistemin kaosa girip girmediğine karar verilmektedir. Sistem periyodik ise, durum değişkenleri birbirine göre çizdirildiğinde kapalı bir çevrim görülür. Buna limit çevrimi (limit cycle) veya periyot 1 durumu denir ve sistemin periyodik davranış gösterdiği anlamına gelir. Sistemin faz uzayları belirli bir sınırdan düzensiz ve anlamsız bir şekil ise sistemin kaotik davrandığı anlamına gelmektedir.

2.3.3. Poincare haritalama

Birçok durumda ayırık zamanlı bir sistemi analiz etmek, sürekli zamanlı bir sistemi analiz etmekten daha kolaydır. Poincare, bu işi başarmak için bir yöntem geliştirmiştir. Aslında bu yöntem, n . dereceden sürekli zamanlı bir dinamik sistemi $(n-1)$ dereceden ayırık zamanlı bir dinamik sisteme dönüştürme işlemidir. Faz uzayında Poincare yüzeyi diye bilinen bir yüzey seçilir. Bu yüzey üzerinde yörüngenin geçtiği noktalar işaretlenerek bir harita elde edilir. Poincare yüzeyi seçilirken belirli bir kural yoktur. Tamamen kişinin tecrübesine göre yörüngenin geçtiği bir yüzey seçilir. Özerk olmayan sistemlerin ise Poincare haritasını elde etmek daha kolaydır. Faz uzayı izlenirken belirli aralıklarla örnek alınarak Poincare harita elde edilir. Örnekleme süresi ise özerk olmayan sistemi süren büyüklüğün periyodudur. Karmaşık sistemleri daha basit hale getirmek ve kararlılık analiz yapmak için elverişlidir [35]. Periyodik bir davranış Poincare haritalama yöntemi ile incelenirse, sabit bir nokta elde edilir. Çünkü sistemin periyodu ile aynı zaman dilimlerinde örnekler alınırsa, hep aynı nokta alınacağından tek bir nokta görülür. Sistem periyodumsu, ise kapalı bir çevrim elde edilir. Fakat sistem kaotikse, kapalı olmayan, gelişigüzel bir fraktal şekil oluşur.

2.3.4. Güç spektrumu

Kaotik sinyaller geniş bantlı sistemlerdir. Dolayısıyla kaotik olan bir sinyalle, kaotik olmayan bir sinyal, güç spektrumuna bakarak ayrılabilir. Eğer sistem kaotikse, güç spektrumunda gürültü benzeri işaret gibi süreklilik vardır. Sistem kaotik değilse, sadece belli frekanslarda sıçramalar mevcuttur.

2.3.5. Çatallaşma diyagramı

Belirli bir sistem parametresinin değişmesiyle sistemin bir durum değişkeninin değişimini veren grafiğe çatallaşma diyagramı denilir. Dikey ekseninde durum değişkenlerinden birinin davranışı verilmektedir, Yatay ekseninde ise parametrelerden birinin belirli bir aralıkta değişimi verilmektedir.

2.3.6. Lyapunov üstelleri

Lyapunov üstelleri (veya üstleri) olarak bilinen kaos analiz yöntemi ise diğer yöntemlerden farklı olarak kaosu niceliksel olarak inceleyen bir analiz yöntemidir. Lyapunov üstellerini kullanarak analiz yapma fikrinin çıkış noktası kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına olan bağımlılığından kaynaklanmaktadır. Kaotik bir sistem birbirine çok yakın komşu iki başlangıç noktasından başlatıldığında yörüngelerin gittikçe birbirinden uzaklaşması veya yaklaşması ile kaos analizi yapılabilir. Lyapunov üstelleri komşu yörüngeler aradaki bu mesafeyi ölçen matematiksel bir yöntemdir.

Bir kaotik sistemin temel karakteristiği, başlangıç şartlarına hassas bağımlılığıdır. İki farklı başlangıç durumu birbirine çok yakın bile olsa, bu iki noktada oluşan yörüngeler üstel olarak artan bir ayırımla birbirlerinden uzaklaşırlar. Lyapunov üstelleri, kaotik sistemler için başlangıç durumlarındaki hassas bağımlılığı ölçmek için kullanılır.

Bir dinamik sistem, toplamları sıfırdan küçük olmak üzere, sıfırdan büyük en az bir Lyapunov üsteli içeriyorsa kaotik olarak tanımlanır. Kaotik bir yörüngenin Lyapunov üstelleri, en azından bir pozitif Lyapunov üsteline sahiptir. Bu özellik tuhaf bir çekiciyi, sürekli hal davranışlarının diğer tiplerinden ayırır.

Üç boyutlu bir sistemde ise, Lyapunov üstelleri için tek mümkün durum $(+,0,-)$ tipidir. Bu durumda $\lambda_1 > 0$, $\lambda_2 = 0$, ve $\lambda_3 < 0$, olmaktadır [39].

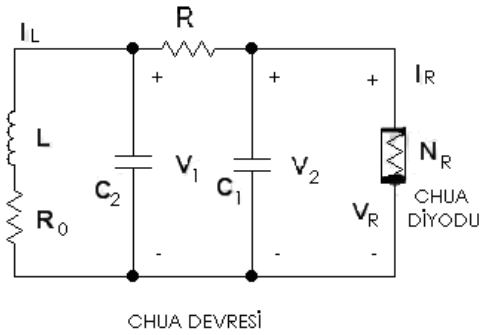
2.3.7. Boyut analizi

Çekicilerin boyut analizi yapılarak kaos analizleri yapılabilmektedir. (Fraktal boyut, Lyapunov boyutu vb.) [41]. Boyut analizi sonucu çekicinin boyutu tamsayı çıkarsa, çekicinin kaotik olmadığı, boyut kesirli sayı çıkarsa çekicinin kaotik olduğu anlaşılmaktadır.

2.4. Kaotik Sistemler

2.4.1. Chua sistemi ve devresi

Chua devresi en karmaşık kaosu varlığının deneysel olarak kurulabildiği, sayısal olarak doğrulanabildiği ve matematiksel olarak kanıtlanabildiği en basit devrelerden biridir. Şekil 2.9’ da görüldüğü gibi Chua devresi bir doğrusal indüktans (L, iç direnç R_0), iki doğrusal kapasitör (C_1, C_2), bir doğrusal direnç (R), ve Chua diyodu olarak adlandırılan doğrusal olmayan yapıda gerilim kontrollü direnç (N_R)’den oluşur. Herhangi bir elemanın değeri değiştirildiğinde kaotik davranış dizileri elde edilir.



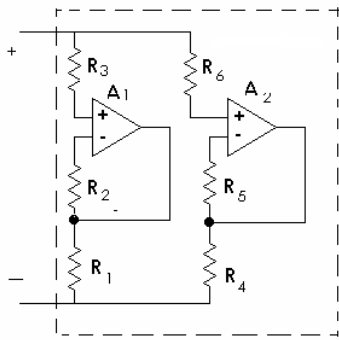
Şekil 2.9. Chua devresi

Chua devresi üç adet durum denklemi ile tanımlanır:

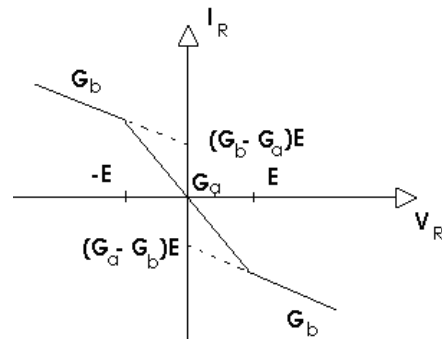
$$\begin{aligned} \frac{dV_1}{dt} &= \frac{G}{C_1}(V_2 - V_1) - \frac{1}{C_1}g(V_1) \\ \frac{dV_2}{dt} &= \frac{G}{C_2}(V_2 - V_1) - \frac{1}{C_2}(I_L) \\ \frac{dI_L}{dt} &= -\frac{R_C}{L}I_L - \frac{1}{L}V_2 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Denklem 2.10 de $g(V_1)$ olarak tanımlanan N_R direncinin Şekil 2.10 (b) gösterilen doğrusal karakteristiğini temsil etmektedir [42]. Şekil 2.11’ de Chua sisteminin kaotik faz uzayı verilmiştir.

$$g(V_1) = \left\{ \begin{array}{ll} G_b V_R + (G_b - G_a)E & ; V_R < -E \\ G_a V_R & ; -E < V_R < E \\ G_b V_R + (G_a - G_b)E & ; V_R > E \end{array} \right\} \quad (2.11)$$

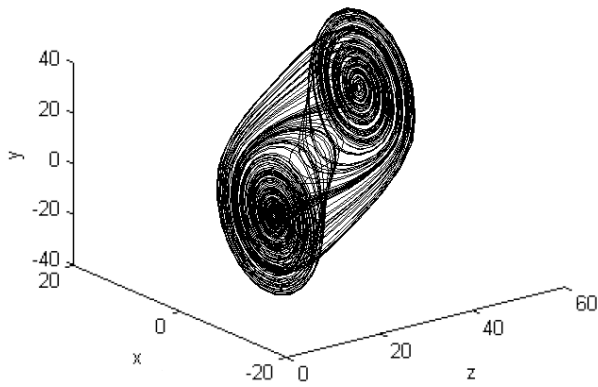


(a)



(b)

Şekil 2.10. a) Chua doğrusal olmayan diyodu b) Chua diyotunun karakteristiği



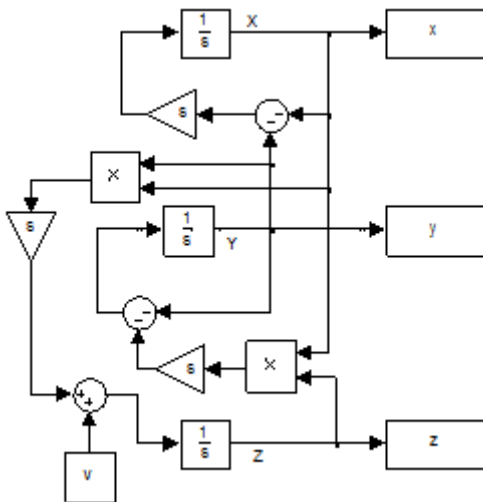
Şekil 2.11. Chua kaotik osilatörünün x - y - z Faz uzayı

2.4.2. Burke - Shaw sistemi

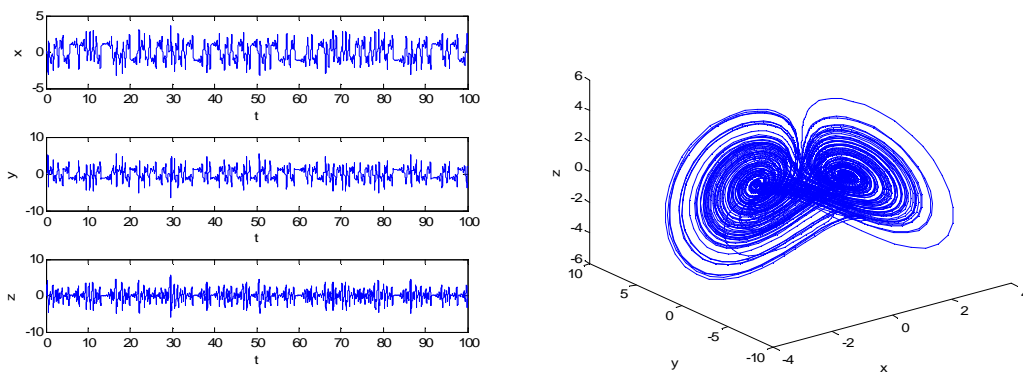
Kaotik işaretler üreten bir başka dinamik denklemde Burke - Shaw dinamik denklemleridir. Burke-Shaw sistemi [43] Bill Burke ve Robert Shaw tarafından Lorenz denklemlerinden türetilmiştir. Burke-Shaw kaotik sistemi aşağıdaki denklem takımıyla tanımlanmaktadır:

$$\begin{cases} \dot{x} = -s(x + y) \\ \dot{y} = -y - sxz \\ \dot{z} = sxy + V \end{cases} \quad (2.12)$$

Burada s, V sistem parametreleri ve x, y, z durum değişkenleridir. Denklemlerden görüldüğü gibi bu kaotik sistem, çarpım terimleriyle doğrusal olmayan bir sistem olmasını sağlayan 3. dereceden bir sistemdir.

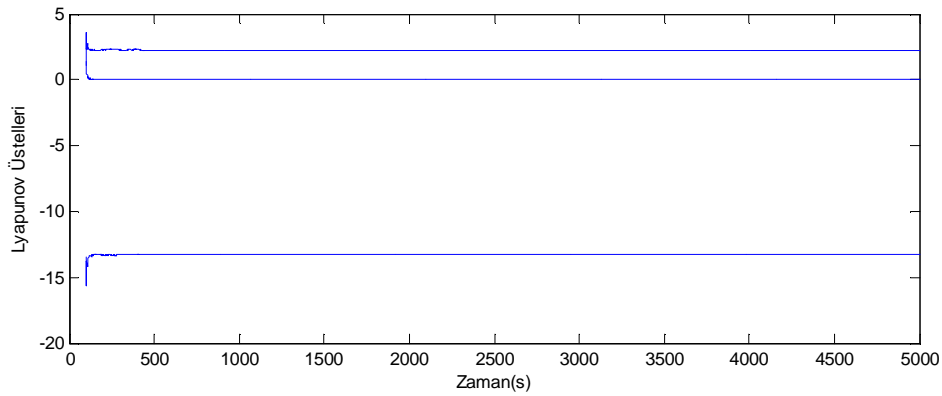


Şekil 2.12. Burke-Shaw çekicisinin Matlab-Simulink modeli



Şekil 2.13. Burke-Shaw çekicisinin x, y, z zaman serileri ve faz portresi

Burke-Shaw çekicisinin Şekil 2.12' de verilen Matlab-Simulink modeli kullanılmış, x , y , z , zaman serileri ve xyz düzlemi faz portreleri Şekil 2.13' de gösterilmiştir. Burke- Shaw sisteminde $s=10$ ve $V=13$ parametreleri için hesaplanan Lyapunov üstelleri şekil 2.14' te görülmektedir. Şekil 3' ten görüldüğü gibi Lyapunov üstelleri $\lambda_1 = 2.24 > 0$, $\lambda_2 = 0$ ve $\lambda_3 = -13.24 < 0$ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle Lyapunov üstellerinden biri pozitif, diğeri sıfır ve üçüncüsü ise negatif olduğundan Burke-Shaw sistemi kaotik davranış göstermektedir [44].



Şekil 2.14. Burke – Shaw Sistemin Lyapunov spektrumu

2.4.3. Van Der Pol sistemi

Kaotik işaret üreten bir başka dinamik denklemde Van Der Pol kaotik sistemidir. Dinamik denklemi ikinci dereceden bir diferansiyel denklem olup aşağıdaki gibi tanımlanır [45];

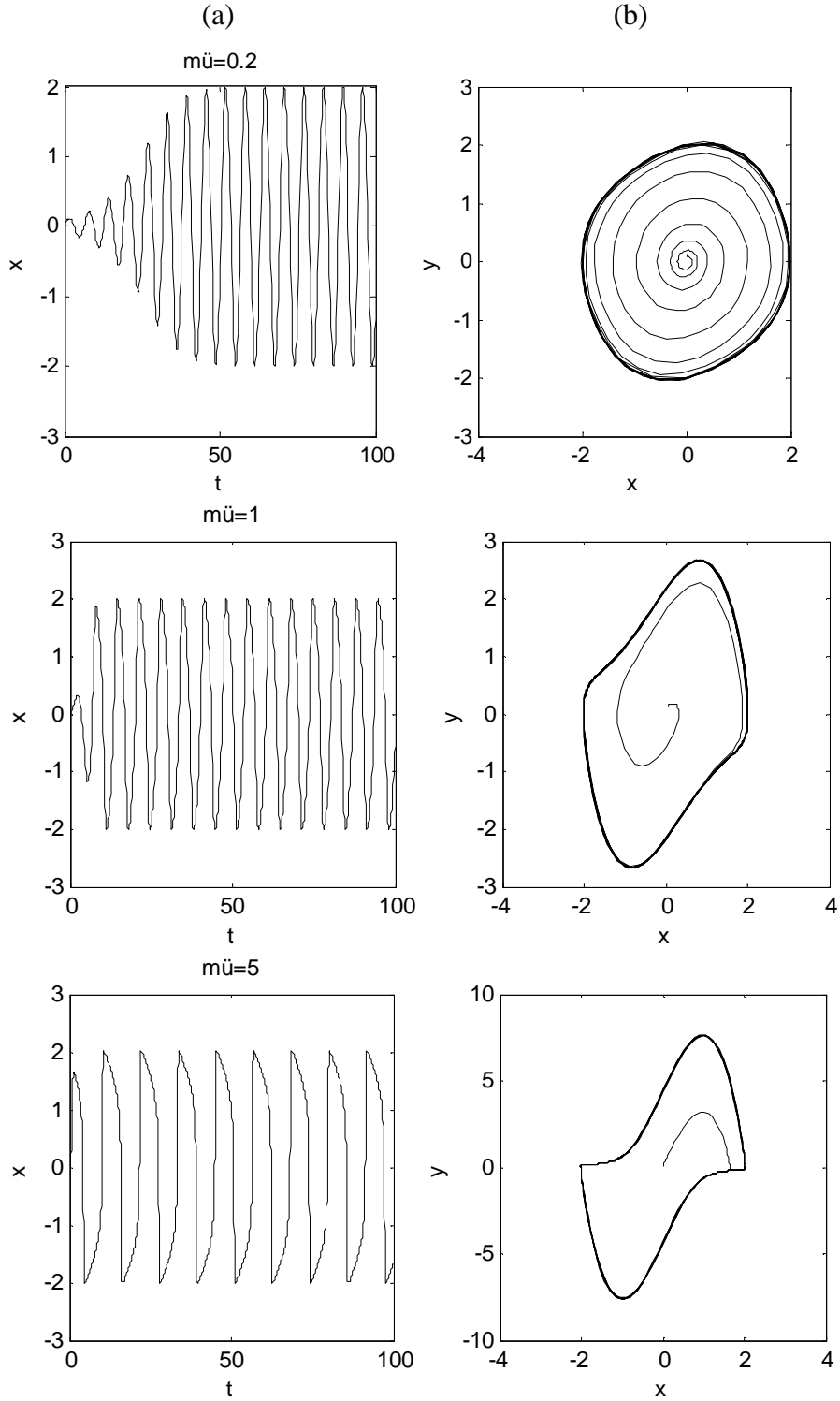
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \mu(x^2 - 1) \frac{dx}{dt} + x = 0 \quad (2.13)$$

Denklem 2.13 deki ifadeyi iki boyutlu birinci dereceden diferansiyel denklemle ifade edersek ;

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= y \\ \frac{dy}{dt} &= \mu(1 - x^2)y - x \end{aligned} \quad (2.14)$$

olur. Bu eşitliğin çözümü, kapalı bir eğri üzerinde bir noktanın hareketidir. Bu hareket sabit genlikli bir osilasyondur. Bu şekilde davranması eşitliğin kendi kararını

uygulayan osilatörlerin de bir örneğidir. Böyle bir çekici “Limit Döngü” olarak adlandırılır. Sistemin jacobian matrisinin elde edilmesi sonunda farklı μ değerleri için aşağıdaki şekiller Van Der Pol sistemine ait kaotik bir yapı olan limit döngü’yü göstermektedir (Şekil 2.15).



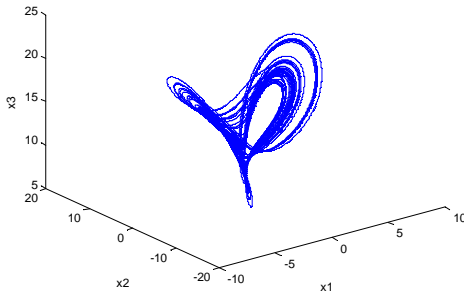
Şekil 2.15. Farklı μ (0.2, 1, 5) değerleri için (a) Van Der Pol Kaotik osilatörünün zaman serileri (b) Van Der Pol Kaotik osilatörünün faz uzayı ve oluşturduğu Limit Döngü

2.4.4. T sistemi

Kaotik işaret üreten bir başka dinamik sistem ise T kaotik sistemidir. Tigan 2005 yılında üç boyutlu yeni bir kaotik sistem bulmuştur ve T sistemi olarak adlandırmıştır. Üç boyutlu T kaotik sisteminin denklemleri aşağıda verilmiştir [46].

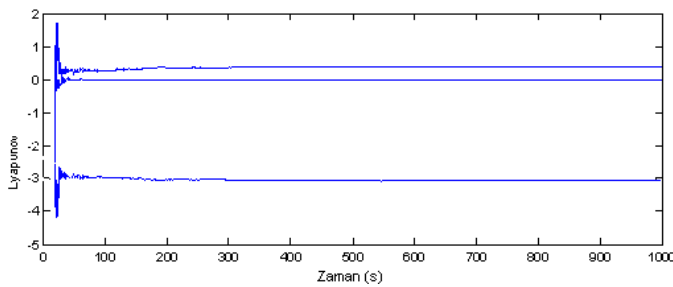
$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a(x_2 - x_1) \\ \dot{x}_2 = (c - a)x_1 - ax_1x_3 \\ \dot{x}_3 = -bx_3 + x_1x_2 \end{cases} \quad (2.15)$$

Burada x_1 , x_2 ve x_3 durum değişkeni, a, b ve c pozitif sistem parametreleridir. Sistem parametreleri $a=2.1$, $b=0.6$, $c=30$ ve başlangıç şartları $(0.1, -0.3, 0.2)$ olduğunda sistemin kaotik olduğu Şekil 2.16' te faz uzayından görülmektedir.



Şekil 2.16. T sisteminin kaotik faz uzayı

Matlab programını kullanarak T sisteminin belli parametreler altında, T sisteminin Lyapunov üstelleri Şekil 2.17' ten görüldüğü gibi $\lambda_1 = 0.36 > 0$, $\lambda_2 = 0$ ve $\lambda_3 = -3.06 < 0$ olarak hesaplanmıştır. Üç boyutlu bir sistemde sistemin Lyapunov üstellerinden biri pozitif, biri negatif ve diğeri sıfır çıktığında sistemin kaotik olduğu söylenir. Böylelikle T sisteminin Lyapunov üstellerine baktığımızda, T sistemi belli parametreler altında kaotik davranışa sahip olduğu görülmektedir [47].



Şekil 2.17. T sisteminin Lyapunov üstelleri

2.4.5. Duffing –Van Der Pol sistemi

Bu kaotik osilatör denklemleri de diğer dinamik denklemler gibi otonom, kendi kararını uygulayan eşitliklerdir. Duffing-Van Del Pol osilatörü bu hali ile doğrusal olmayan dinamiklerin prototip uygulamalarından biridir. Bu sistem yay, doğrusal olmayan elektronik devreler, süper iletken Josephson parametrik kuvvetlendirici, plazmalardaki iyonize dalgalar gibi fiziksel sistemler için model olarak kullanılmaktadır. Duffing-Van Del Pol osilatörü dinamik denklemi [48]:

$$\frac{d^2y}{dt^2} - \mu(1 - y^2)\frac{dy}{dt} + y^3 = f \cos \omega t \quad (2.16)$$

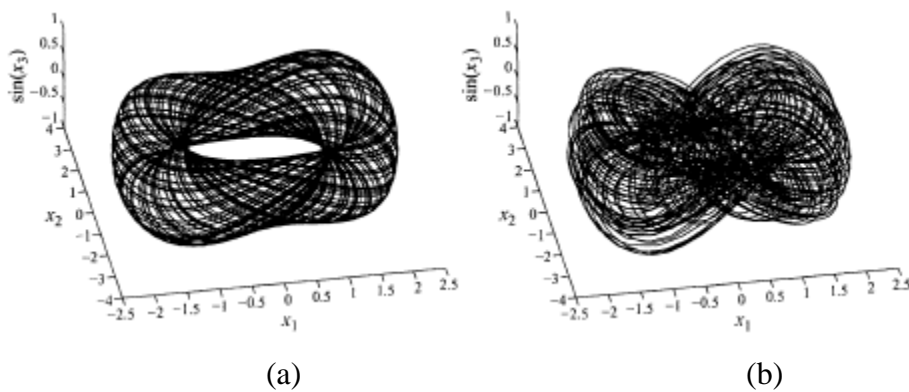
biçiminde tanımlanır. μ, ω, f sistem parametreleri olarak tanımlanmıştır. Bu ikinci dereceden otonom olmayan (nonotonom) denklemi birinci dereceden yazmak istersek;

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \mu(1 - x_1^2)x_2 - x_1^3 + f \cos x_3 \quad (2.17)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = \omega$$

şeklinde olur. Sistemdeki dinamik değişkenler $x_1=y$, $x_2=dy/dt$, $x_3=\omega t$ olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.18. Duffing-Van Der Pol Osilatörü için Faz Portreleri

BÖLÜM 3. ANAHTARLAMALI DA - DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNİN ANALİZİ

Günlük hayatta ve endüstride birçok güç elektroniği devreleri kullanılmaktadır.

Başlıca güç elektroniği devreleri,

- AA - DA Dönüştürücüler (Doğrultucular)
- DA – AA Dönüştürücüler (Eviriciler)
- AA – AA Dönüştürücüler
- DA – DA Dönüştürücüler

olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada DA – DA dönüştürücüler araştırılacak ve analizleri yapılacaktır. DA – DA dönüştürücülerde yarı iletken anahtarın kontrolüne göre DA – DA dönüştürücülerin kontrolü için genel olarak açık çevrim kontrol ve kapalı çevrim kontrol kullanılabilir. Açık çevrim kontrolde anahtarın bir periyotta açık veya kapalı olması oranı verilmektedir ve bu oran sabittir. DA – DA dönüştürücülerde kapalı çevrim kontrol ise gerilim kontrollü ve akım kontrollü olmak üzere ikiye ayrılır. Gerilim mod kontrolde gerilim geri beslemesi kullanılarak belli bir referans gerilimine ulaşması için anahtarın açılıp kapanması sağlanır. Aynı şekilde, akım mod kontrolde ise bobin akımının belirli bir referans akım değerine ulaşabilmesi için anahtar iletime veya kesime gitmesi sağlanır.

Dönüştürücüler bobinin akımının sürekli ya da süreksiz olmasına göre sürekli iletim modu ve süreksiz iletim modu olarak ikiye ayrılabilir. Sürekli iletim modunda bobin içerisinden kesintisiz olarak akım geçişi olur. Süreksiz çalışma modunda bir periyotta bobin akımı sıfırdan başlar tepe değerine yükselir ve anahtarlama periyodu bitmeden tekrar sıfıra düşer. Pratikte dönüştürücü her iki çalışma modunda

çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle dönüştürücü tasarımında her iki çalışma modunda göz önünde bulundurulması gerekir.

DA – DA dönüştürücüler,

- Alçaltıcı (Buck) dönüştürücüler
- Yükseltici (Boost) dönüştürücüler
- Alçaltıcı – Yükseltici (Buck - Boost) Dönüştürücüler
- Cuk dönüştürücüler

olmak üzere genel olarak sınıflandırılabilir. Alçaltıcı ve yükseltici dönüştürücüler temel dönüştürücü yapısına sahiptir. Alçaltıcı – Yükseltici ve Cuk dönüştürücüler alçaltıcı ve yükseltici dönüştürücülerin birleşiminden meydana gelmektedir.

Bu bölümde alçaltıcı, yükseltici ve alçaltıcı – yükseltici dönüştürücülerin analizi yapılmıştır. Bu dönüştürücülerin hem açık çevrim kontrolü hem kapalı çevrim kontrolü gösterilmiştir. Matlab – Simulink kullanılarak dönüştürücüler açık çevrim ve kapalı çevrim kontrollü modellenmiş, akım ve gerilim grafikleri bilgisayar benzetimleri ile gösterilmiştir.

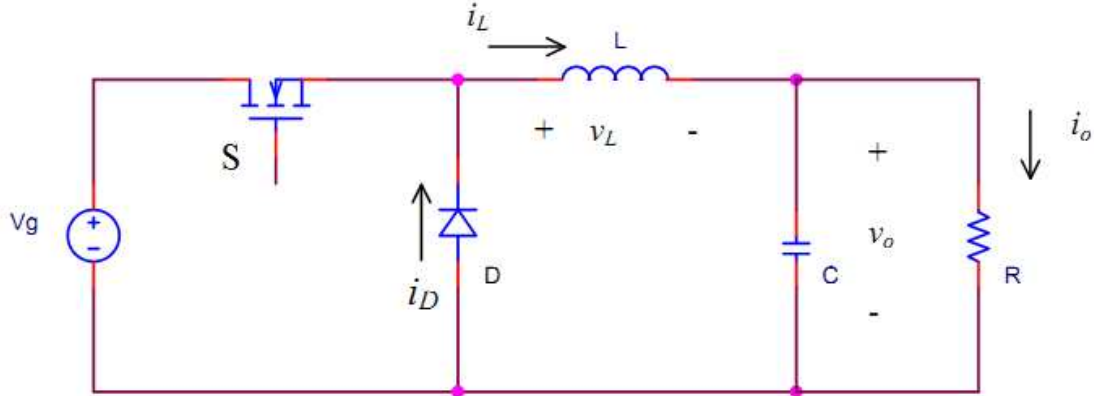
Analiz için kullanılan devre elemanlarının ideal davrandığı kabul edilmektedir [10, 49].

Yani,

- Diyot iletimde iken üzerindeki gerilim düşümü sıfırdır.
- Anahtar iletimdeyken üzerindeki gerilim düşümü sıfırdır, iletme ve kesime giderken akım ve gerilimde çakışmalar oluşmamaktadır.
- Bobin ve kondansatörün direnci ihmal edilmiştir.

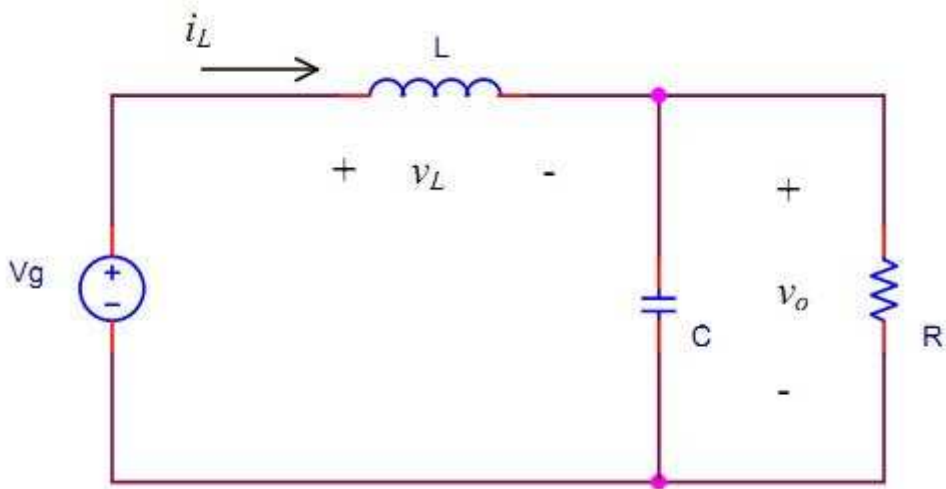
3.1. Alçaltıcı DA-DA Dönüştürücünün Yapısı ve Analizi

Buck dönüştürücü veya alçaltıcı dönüştürücü adından da anlaşılacağı gibi çıkış gerilimi giriş gerilimden az olan anahtarlama bir DA-DA dönüştürücüdür.



Şekil 3.1. Alçaltıcı dönüştürücü devre şeması

Şekil 3.1' de (alçaltıcı) DA-DA buck dönüştürücünün devresi verilmiştir. Şekil 3.1' den görüldüğü gibi dönüştürücü kontrollü bir anahtarlama elemanı S, kontrolsüz anahtarlama elemanı diyot D, bobin L, kondansatör C ve yük direnci R' den oluşmaktadır. Şekil 3.1' den görüldüğü gibi devremizde iki tane anahtarlama elemanı bulunmaktadır. Biri kontrolsüz bir anahtarlama elemanı olan D diyotu ve diğeri kontrollü olan S anahtarlama elemanıdır. Aynı zamanda sadece bir anahtarlama elemanı iletimdedir. Biri iletimde iken diğeri kesim durumundadır. C kondansatörü yüke paralel bağlanmıştır ve dengeli bir yük gerilimi sağlamak için kullanılmıştır. Seri L bobini ise enerji depolamak için kullanılmaktadır [13].

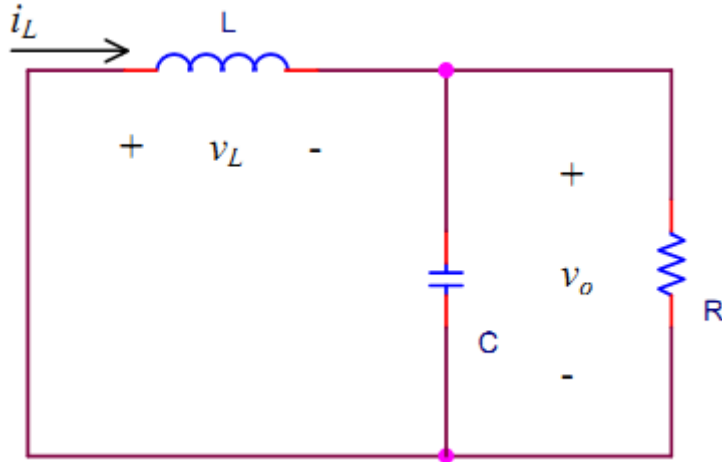


Şekil 3.2. Anahtarın iletim durumunda Alçaltıcı dönüştürücü eşdeğer devresi

Şekil 3.2' de Alçaltıcı dönüştürücünün yarı iletken anahtarın iletimde olduğundaki durumun devre şeması verilmiştir. Yarı iletken anahtar kapandığı (iletim durumunda) zaman, giriş gerilimine bağlı olan bobinden akım geçmeye başlar ve bobin üzerinde enerji depolanmaya başlar. Diyot ise kondansatörün boşalmasını engeller.

Dönüştürücünün sürekli iletim modunda çalıştığını varsayarsak anahtarın iletim durumunda iken devrenin durum denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned}\frac{dv_o}{dt} &= -\frac{1}{RC}v_o + \frac{1}{C}i_L \\ \frac{di_L}{dt} &= -\frac{1}{L}v_o + \frac{V_g}{L}\end{aligned}\quad (3.1)$$



Şekil 3.3. Anahtarın kesim durumunda Alçaltıcı dönüştürücü eşdeğer devresi

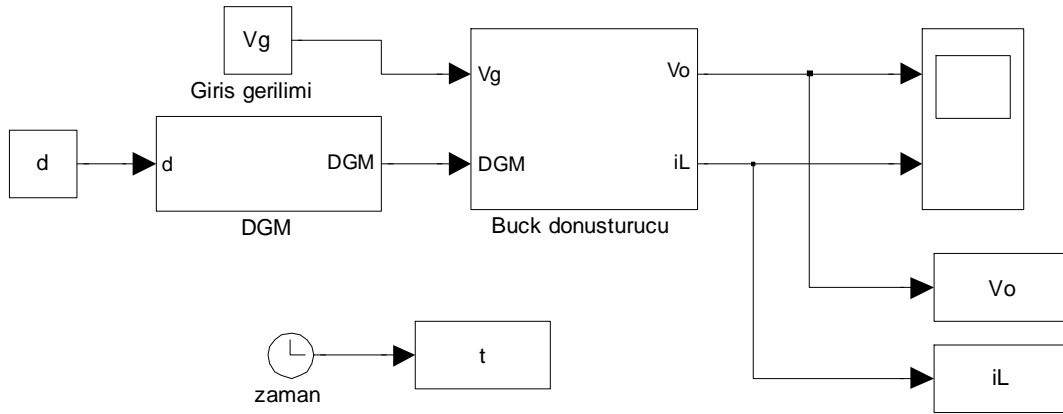
Şekil 3.3' te alçaltıcı dönüştürücünün yarı iletken anahtarın kesimde olduğundaki durumun devresi verilmiştir. Yarı iletken anahtar açıldığı (kesim durumunda) zaman, bobinin depoladığı enerji R yükü tarafından deşarj edilir. Anahtarın kesim durumda iken devrenin durum denklemleri denklem 3.2 gibi olur.

$$\begin{aligned}\frac{dv_o}{dt} &= -\frac{1}{RC}v_o + \frac{1}{C}i_L \\ \frac{di_L}{dt} &= -\frac{1}{L}v_o\end{aligned}\quad (3.2)$$

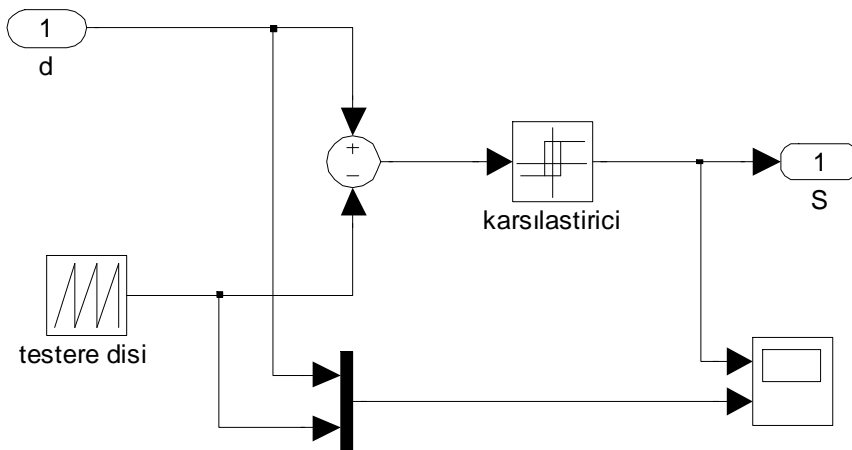
Eğer alçaltıcı tip dönüştürücüde V_{in} ve I_{in} ortalama bir giriş gerilimi ve akımı ise, sürekli iletim modunda giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{V_0}{V_{in}} = D \quad (3.3)$$

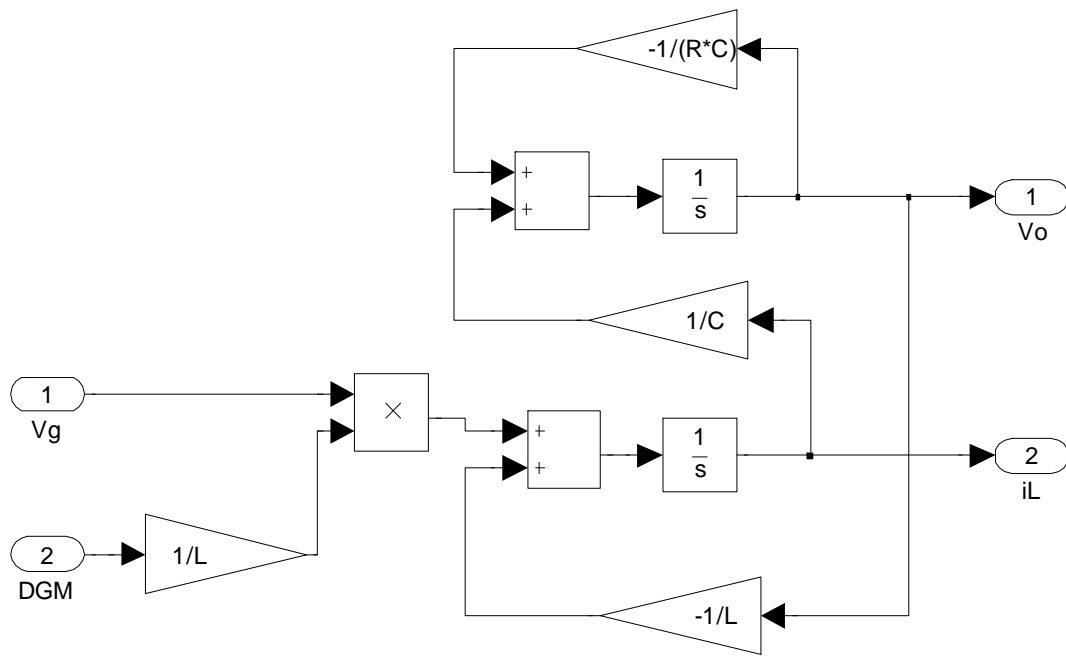
Şekil 3.4' te açık çevrim kontrollü alçaltıcı dönüştürücü Matlab-Simulink modeli verilmiştir. Alçaltıcı dönüştürücüdeki kontrollü anahtarın kontrolü için DGM üretici Matlab-Simulink modeli Şekil 3.5' te, alçaltıcı dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli Şekil 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.4. Alçaltıcı dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli



Şekil 3.5. Alçaltıcı dönüştürücünün DGM üreticinin Matlab-Simulink modeli



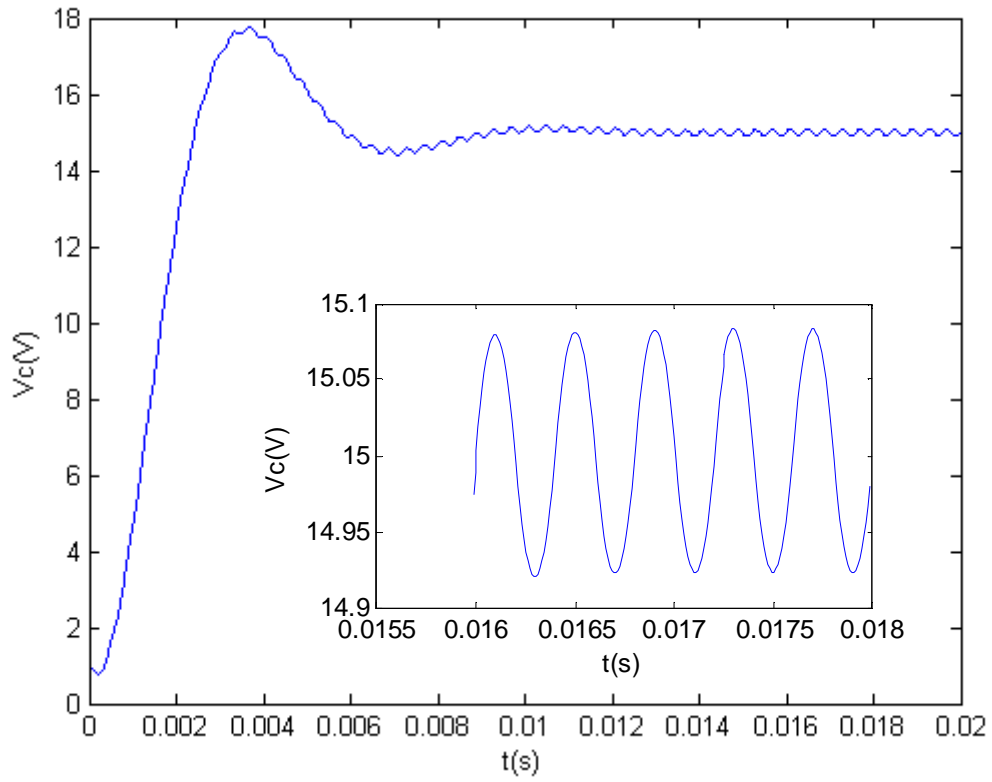
Şekil 3.6. Alçaltıcı dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli

Tablo 3.1. Alçaltıcı dönüştürücü devre parametreleri

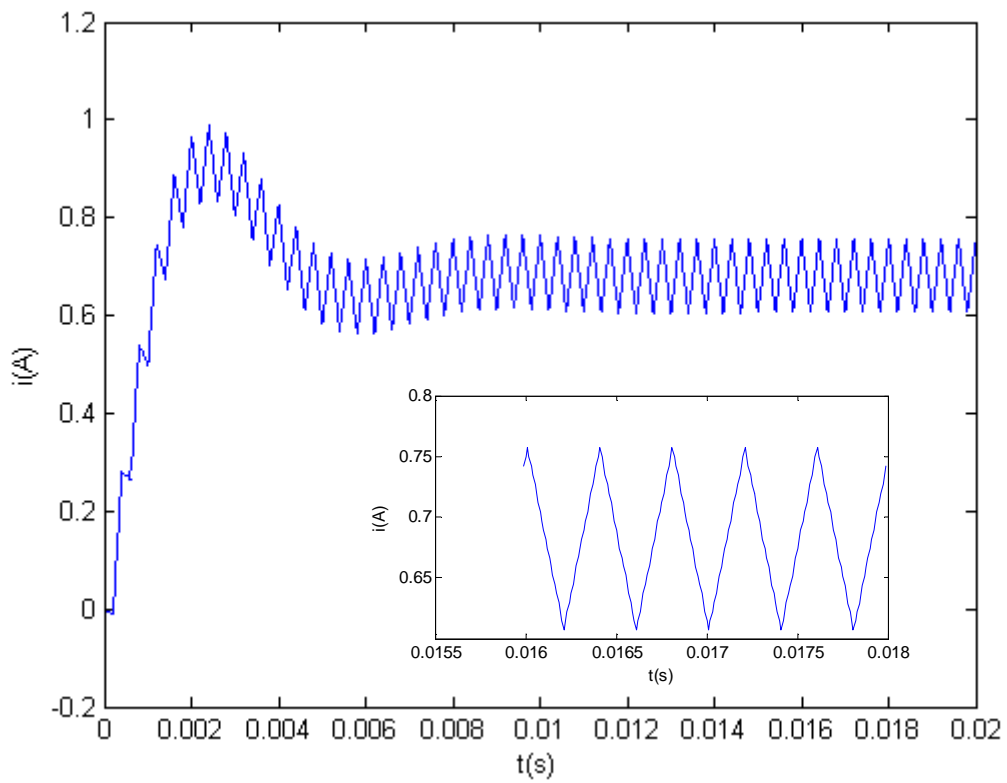
T	400 μ s
R	22 Ω
L	20 mH
C	47 μ F
Vg	30 V
d	%50

Tablo 3.1 'deki parametreler kullanılarak Matlab – Simulink modeli yardımıyla çıkış gerilimi veya kapasite gerilimi benzetimleri Şekil 3.7' de, bobin akımı benzetimleri Şekil 3.8' de verilmiştir. Giriş gerilimimiz 30 V ve $d=0,5$ olduğunda çıkış geriliminin ortalama 15 V olduğu Şekil 3.7' den görülmektedir. Çıkış gerilimi ile bobin akımı arasında çizilen faz portresi Şekil 3.9' de görülmektedir.

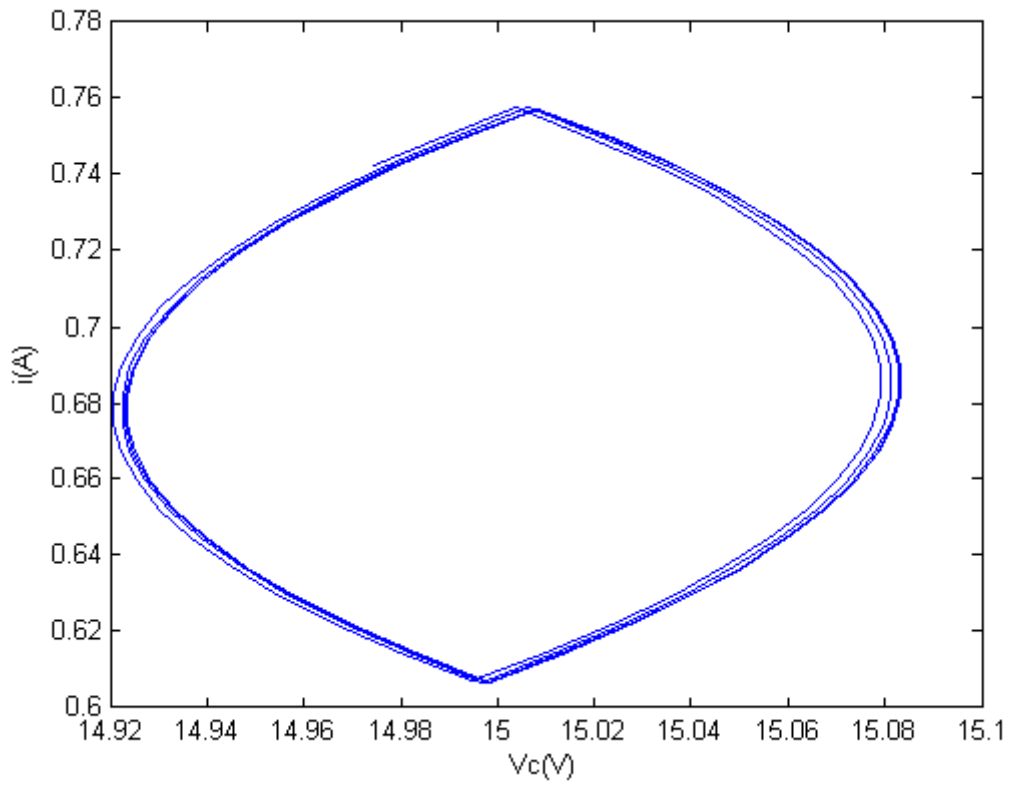
DGM üretmek için testere dişi fonksiyonu üretici Şekil 3.10a ' da görüldüğü gibi Matlab – Simulink' te oluşturulmuştur. $d=0.5$ seçildiği Şekil 3.10a' da kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Testere dişi fonksiyonu ile d parametresi karşılaştırılarak anahtarın iletme veya kesime gitmesi için DGM üretilmiştir. Şekil 3.10b' den görüldüğü gibi d parametresi testere dişi fonksiyonundan büyükse DGM çıkış '1', testere dişi fonksiyonu d parametresinden büyükse çıkış '0' olmaktadır. Çıkış '1' olduğunda anahtar iletme, '0' olduğunda ise anahtar kesime gitmiştir.



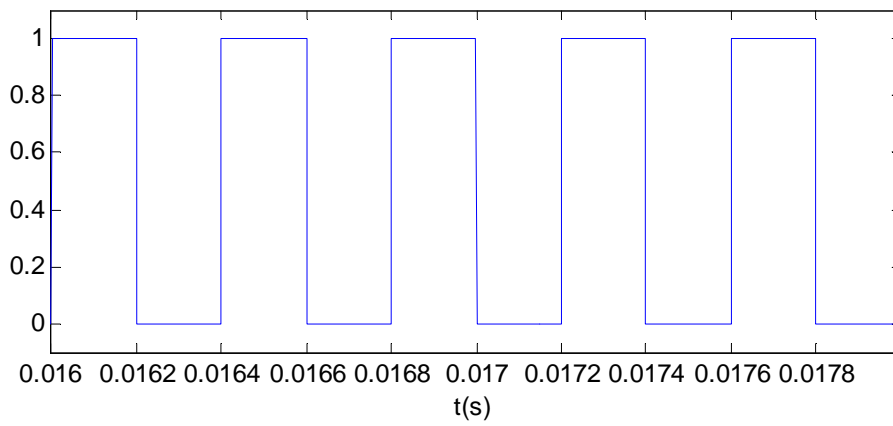
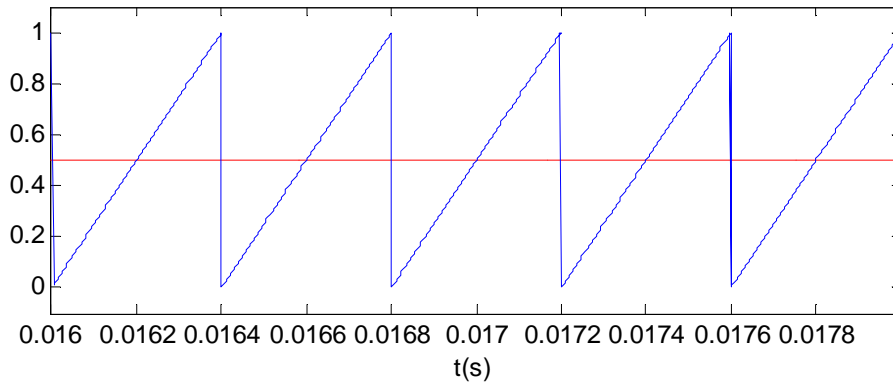
Şekil 3.7. Alçaltıcı dönüştürücü çıkış gerilimi dalga şekli



Şekil 3.8. Alçaltıcı dönüştürücü bobin akımı dalga şekli



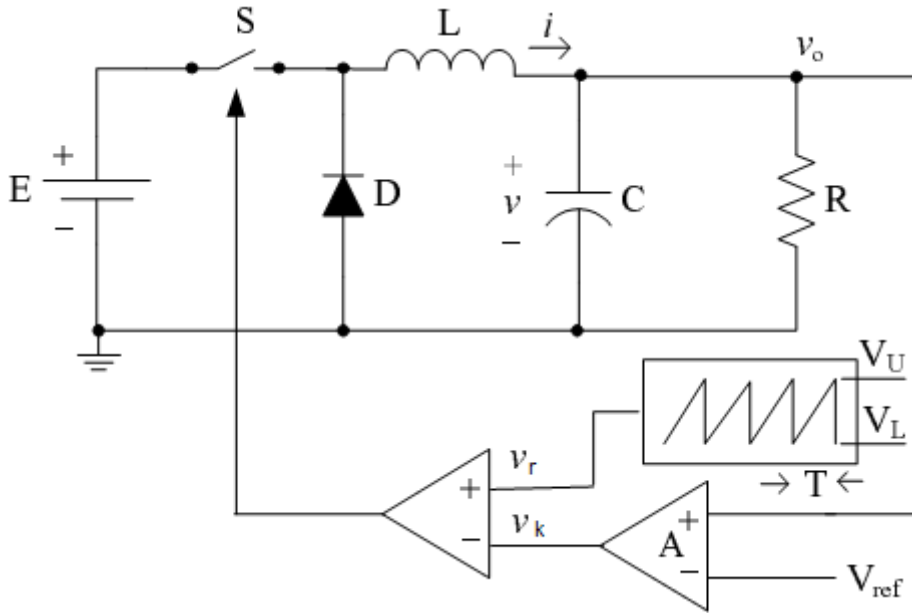
Şekil 3.9. Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi (kapasite gerilimi ile bobin akımı arasında)



Şekil 3.10. Alçaltıcı dönüştürücü anahtarlama durumu

3.1.1. Gerilim kontrollü Alçaltıcı DA-DA dönüştürücüler

Gerilim kontrollü alçaltıcı tip dönüştürücü Şekil 3.11' de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Gerilim kontrollü alçaltıcı tip dönüştürücü

Devreden gördüğümüz gibi devrede iki tane anahtar bulunmaktadır. Biri kontrolsüz olan D diyotu, diğeri ise geri besleme ile kontrol edilen S anahtarıdır. S anahtarı iletimde olduğu zaman, L bobini gerilim kaynağından beslenerek enerji depolayacaktır. S anahtarı kesimde olduğunda ise, bobin yüke enerji sağlayacaktır. Geri besleme yük gerilimini sabit tutmaya çalışmaktadır.

$$V_k = A(V_o - V_{ref}) \quad (3.4)$$

olarak yazılır. Burada A sabit bir kazanç katsayısı, V_o çıkış gerilimi, V_{ref} referans gerilimi, V_k hata sinyalidir. Bu hata sinyali testere dişi fonksiyonu ile karşılaştırılarak anahtarın kapanması ya da açılması sağlanmaktadır. Testere dişi fonksiyonu,

$$V_r = V_L + (V_U - V_L) \text{mod}(t/T, 1) \quad (3.5)$$

olarak yazılır.

Burada V_L testere dişi fonksiyonunun minimum değeri, V_U testere dişi fonksiyonunun maksimum değeri ve T periyottur. V_r testere dişi sinyalinin genliği V_k

hata sinyalinin genliğinden büyük ise S anahtarı iletimdedir. Diğer durumda ise S anahtarı kesimdedir [50].

Sistem v kondansatör gerilimi ve i bobin akımı olmak üzere iki durum değişkenine sahiptir. DA-DA dönüştürücünün sürekli iletim modunda çalıştığını varsayarsak devrenin durum denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned}\frac{dv}{dt} &= -\frac{1}{RC}v(t) + \frac{1}{C}i(t) \\ \frac{di}{dt} &= -\frac{1}{L}v(t) + \frac{\zeta(t)}{L}E\end{aligned}\quad (3.6)$$

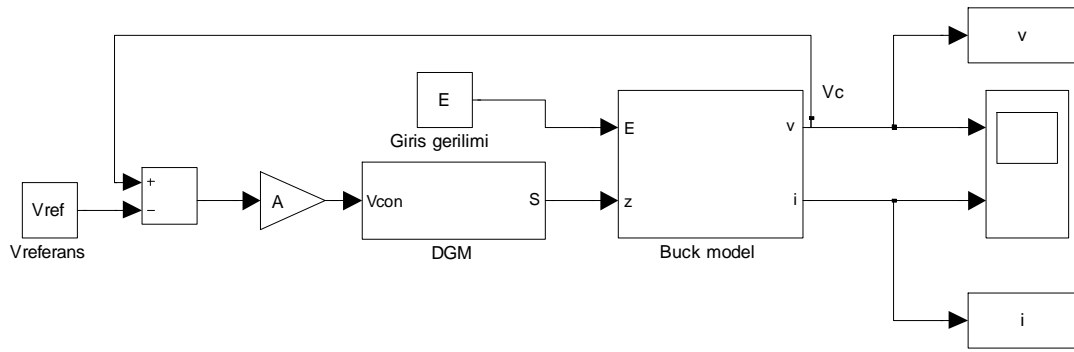
Burada $\zeta(t)$ kontrol işaretidir ve anahtar iletimde olduğu zaman '1', kesimde olduğu zaman '0' değerini alır.

Tablo 3.2. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücü devre parametreleri

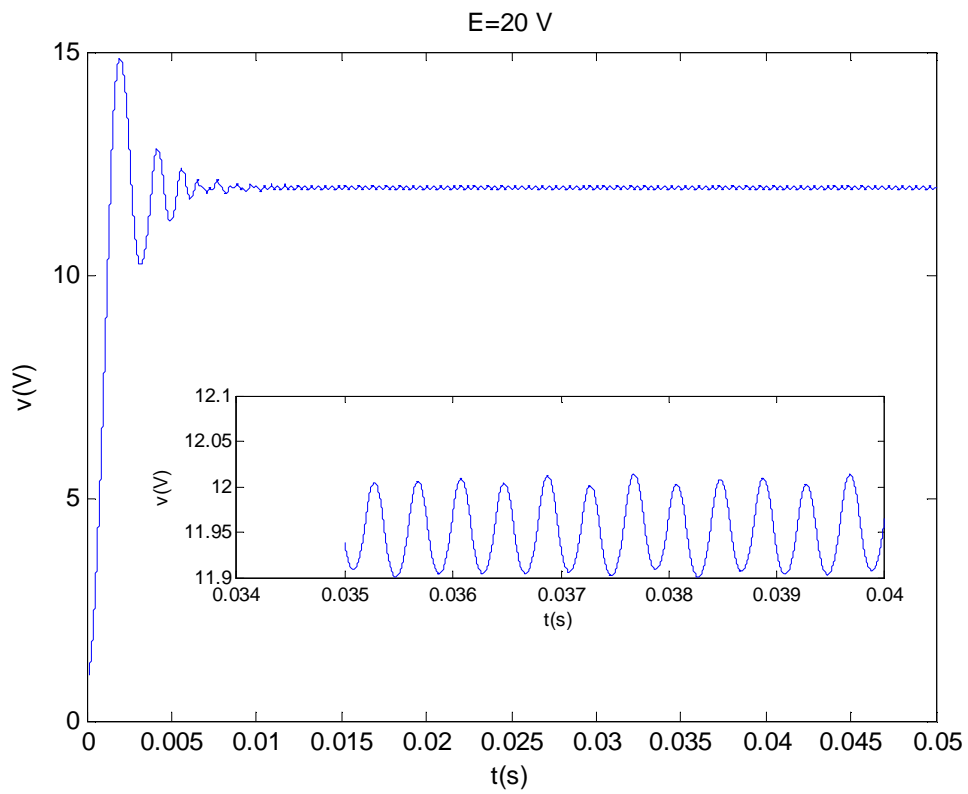
Devre parametreleri	R (Ω)	L (mH)	C (μ F)	E (V)	
	22	20	47	20	
Kontrol parametreleri	V_u (V)	V_L (V)	T (μ s)	V_{ref} (V)	A
	8,2	3,8	400	11,3	8,4

Şekil 3.12' de kapalı çevrim gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli verilmiştir. Alçaltıcı dönüştürücüdeki kontrollü anahtarın kontrolü için DGM üretici Matlab-Simulink modeli Şekil 3.5' teki gibi, alçaltıcı dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli Şekil 3.6' da olduğu gibi oluşturulmuştur.

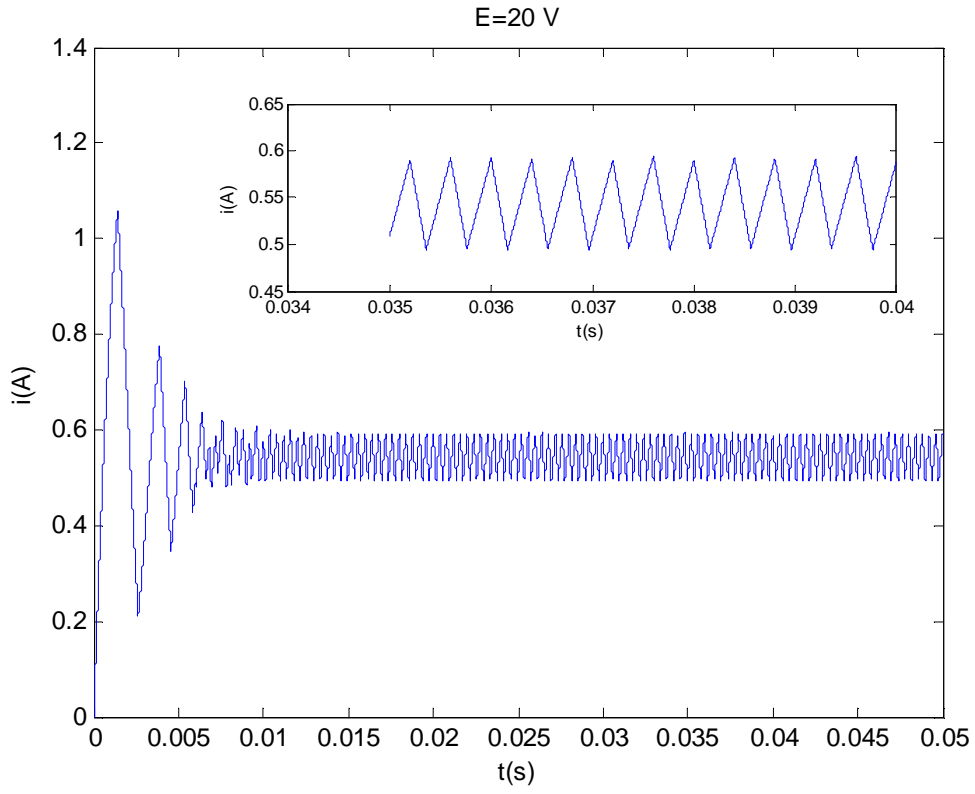
Tablo 3.2 'deki parametreler kullanılarak Matlab – Simulink modeli yardımıyla çıkış gerilimi veya kapasite gerilimi benzetimleri Şekil 3.13' de, bobin akımı benzetimleri Şekil 3.14' de verilmiştir. Çıkış gerilimi ile bobin akımı arasında çizilen faz portresi Şekil 3.15' de görülmektedir. Şekil 3.16' da bu değerler altında DGM üreticinin çıkışı verilmiştir.



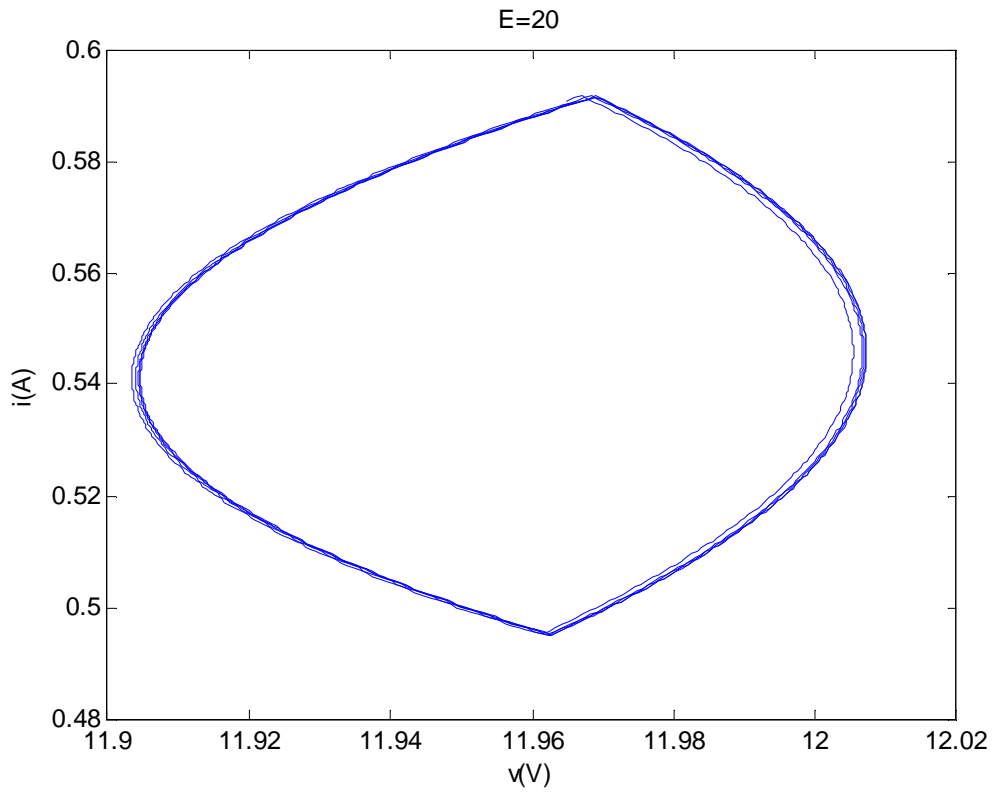
Şekil 3.12. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli



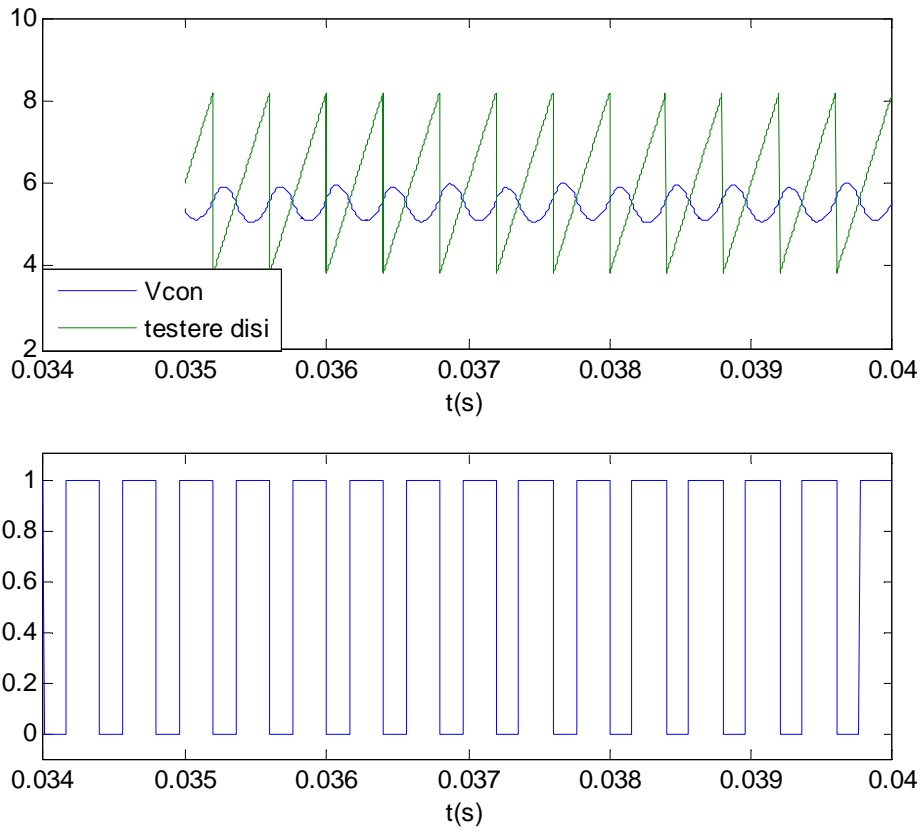
Şekil 3.13. Alçaltıcı dönüştürücü çıkış gerilimi dalga şekli



Şekil 3.14. Alçaltıcı dönüştürücü bobin akımı dalga şekli



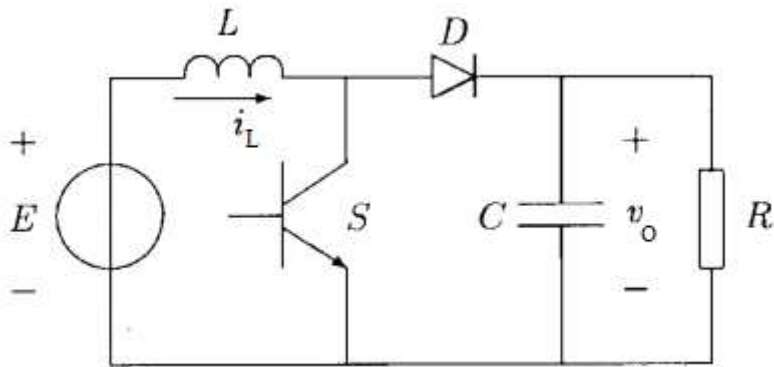
Şekil 3.15. Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi $E=20\text{V}$ (kapasite gerilimi ile bobin akımı arasında)



Şekil 3.16. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücü anahtarlama durumu

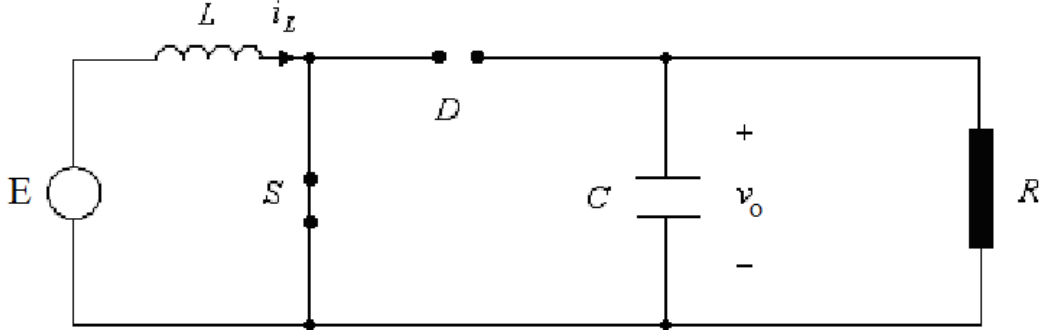
3.2. Yükseltici DA-DA Dönüştürücünün Yapısı ve Analizi

Boost dönüştürücü veya yükseltici tip dönüştürücü giriş geriliminden daha fazla çıkış gerilimi oluşan anahtarlama bir DA-DA dönüştürücüdür.



Şekil 3.17. Yükseltici dönüştürücü devre şeması

Temel yükseltici dönüştürücünün devresi Şekil 3.17' de gösterilmiştir. Şekil 3.17' den görüldüğü gibi DA-DA yükseltici dönüştürücüsü kontrollü bir anahtarlama elemanı S, diyot D, bobin L, kondansatör C ve yük direnci R' den oluşmaktadır.



Şekil 3.18. Anahtarın iletim durumunda Yükseltici dönüştürücü

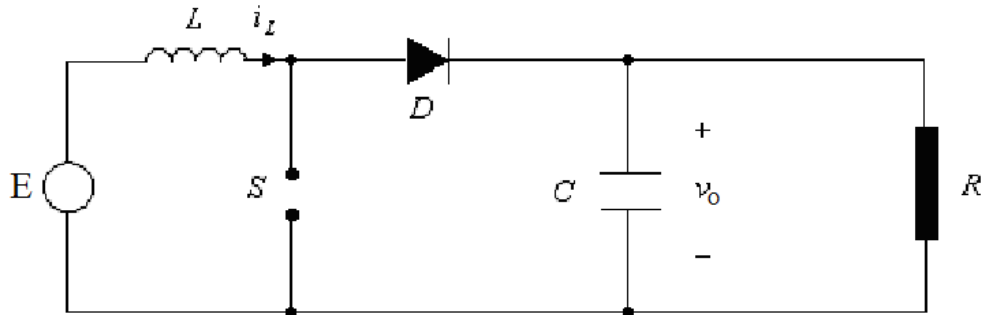
Şekil 3.18' de yükseltici dönüştürücünün yarı iletken anahtarın iletimde olduğu durumun devresi verilmiştir. Yarı iletken anahtar kapandığı zaman, giriş gerilimine bağlı olan bobinden akım geçmeye başlar ve bobin üzerinde enerji depolanmaya başlar. Diyot ise kondansatörün boşalmasını engeller.

Yarı iletken anahtarın iletimde olduğu zaman devrenin durum denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{in} \quad (3.7)$$

$$C \frac{dV_C}{dt} = -\frac{v_C}{R} \quad (3.8)$$

Anahtar iletimde iken eşdeğer devre Şekil 3.18' daki gibi olur. Gerilim kaynağı anahtar iletimde iken bobini besler ve bobin akımının yükselme oranı E giriş gerilimine ve L bobin değerine bağlı olarak değişir.



Şekil 3.19. Anahtarın kesim durumunda Yükseltici dönüştürücü

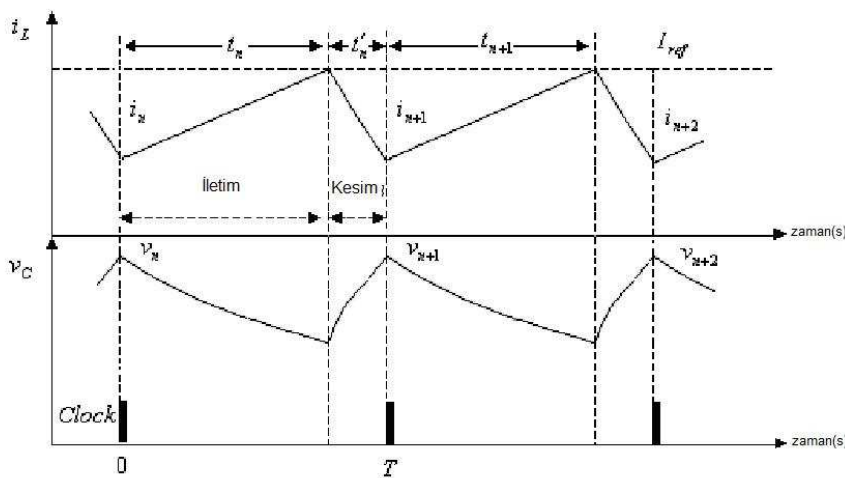
Şekil 3.19' de Yükseltici dönüştürücünün yarı iletken anahtarın kesimde olduğu durumun devresi verilmiştir. Yarı iletken anahtar açıldığı (kesim durumunda) zaman, bobin içerisinde geçmekte olan şarj akımı D diyotu üzerinden C kondansatörüne ve R yüküne akmaya başlar. Bobin enerjisini deşarj eder ve bobin üzerinde gerilimin polaritesi ile gerilim kaynağının polaritesi aynı yönde olduğundan dolayı çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük olur. Kondansatör gerilimi giriş geriliminden büyük olmuştur. Anahtar iletimde olduğu zaman bobin içerisinde akım geçer ve enerji depolamaya başlar. Anahtar kesimde olduğu zaman ise bobin çıkışa enerji vererek deşarj olur. Yarı iletken anahtarın kesimde olduğu zaman devrenin durum denklemleri aşağıdaki gibi olur [51].

$$L \frac{di_L}{dt} + v_C = V_{in} \quad (3.9)$$

$$C \frac{dV_C}{dt} + \frac{v_C}{R} = i_L \quad (3.10)$$

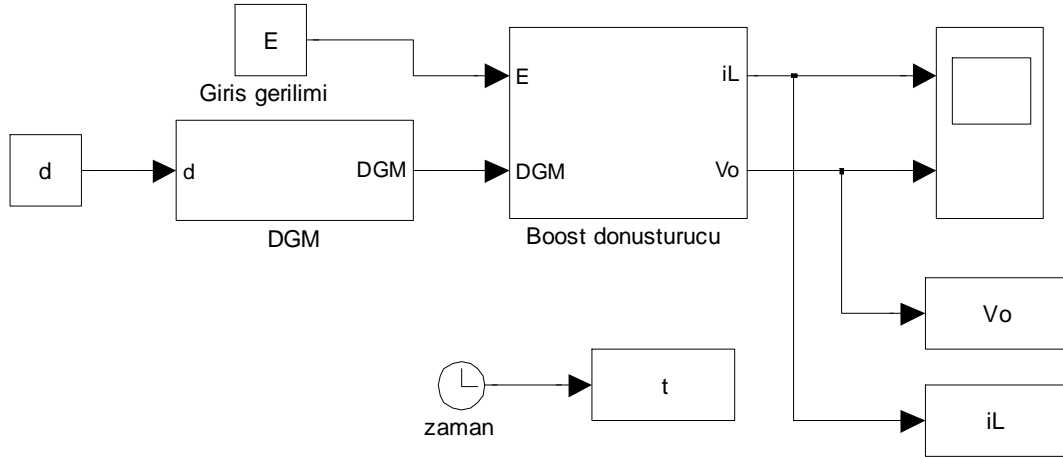
Eğer Yükseltici dönüştürücüde V_{in} ve I_{in} ortalama bir giriş gerilimi ve akımı ise, sürekli iletim modunda giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \quad (3.11)$$



Şekil 3.20. Anahtarlama elemanının iletim ve kesim durumunda Yükseltici dönüştürücüdeki bobin akımının ve kapasite gerilimin değişimi

Şekil 3.20' de belirli bir frekansta anahtarlama yapılan DA-DA yükseltici dönüştürücüdeki bobin akımı ve kapasite geriliminin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 3.21' de Yükseltici dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli verilmiştir.

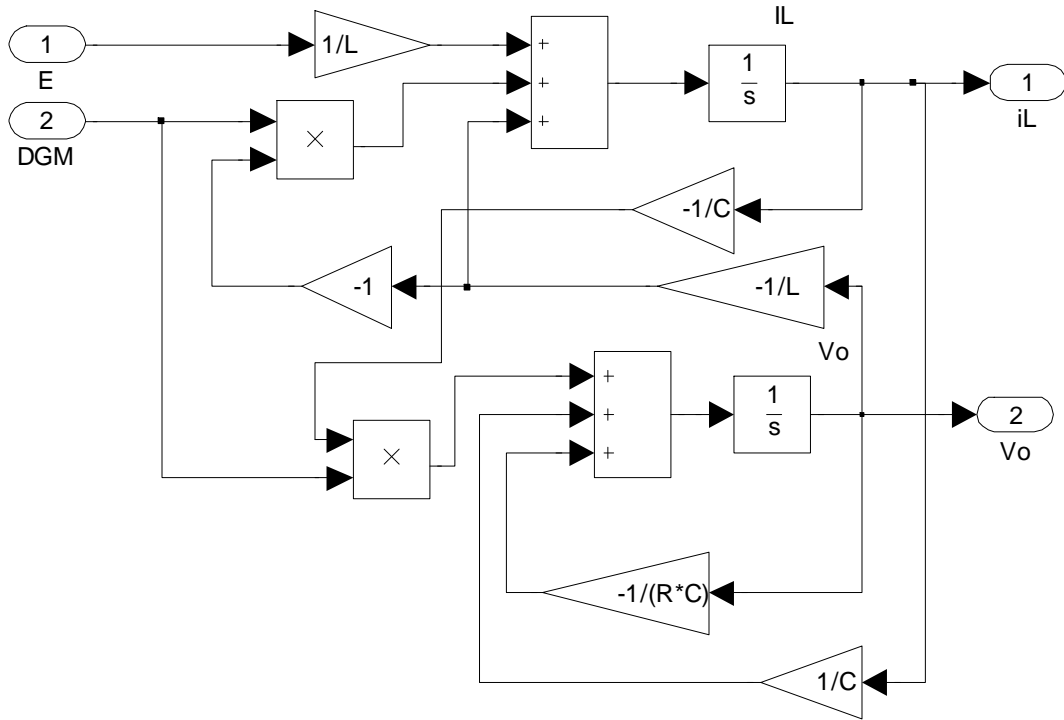


Şekil 3.21. Yükseltici dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli

DGM üretici Şekil 3.5' teki gibi tasarlanmıştır. Şekil 3.22'de Yükseltici dönüştürücünün durum uzayı modeli verilmiştir.

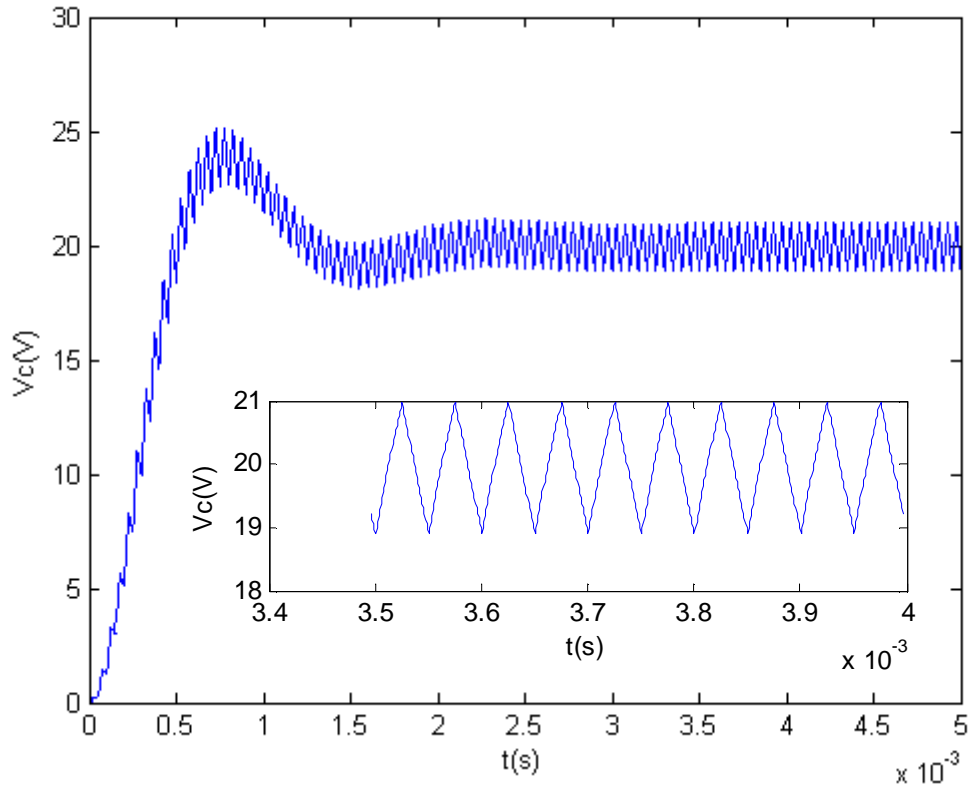
Tablo 3.3 Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri

T	50 μ s
R	20 Ω
L	1 mH
C	12 μ F
E	10 V
d	%50

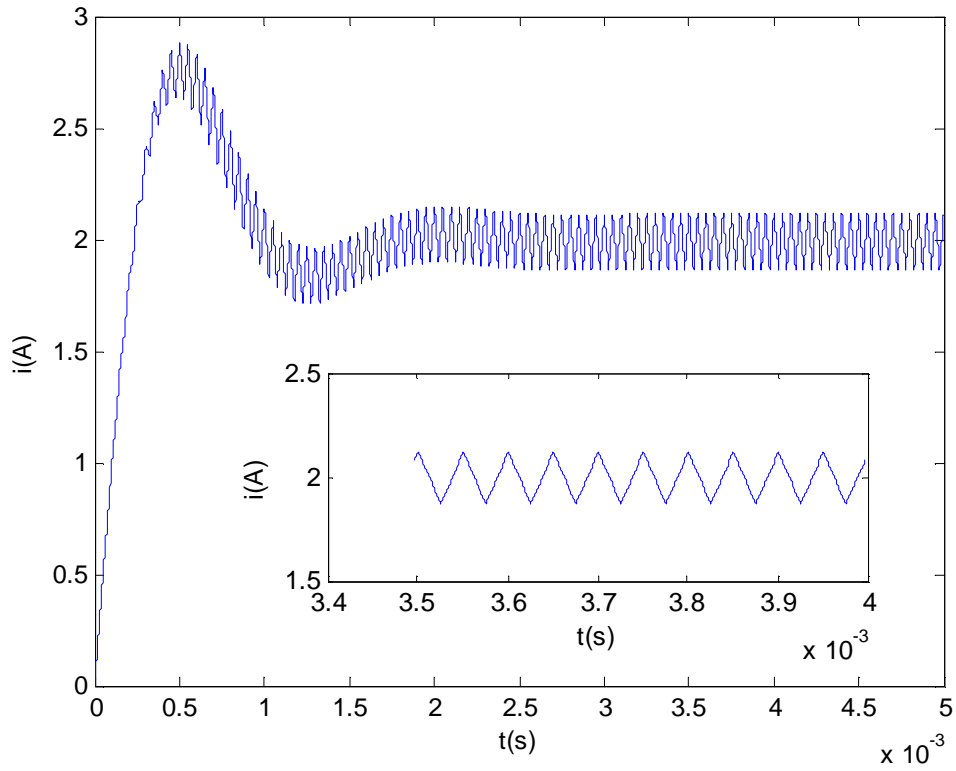


Şekil 3.22. Yükseltici dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli

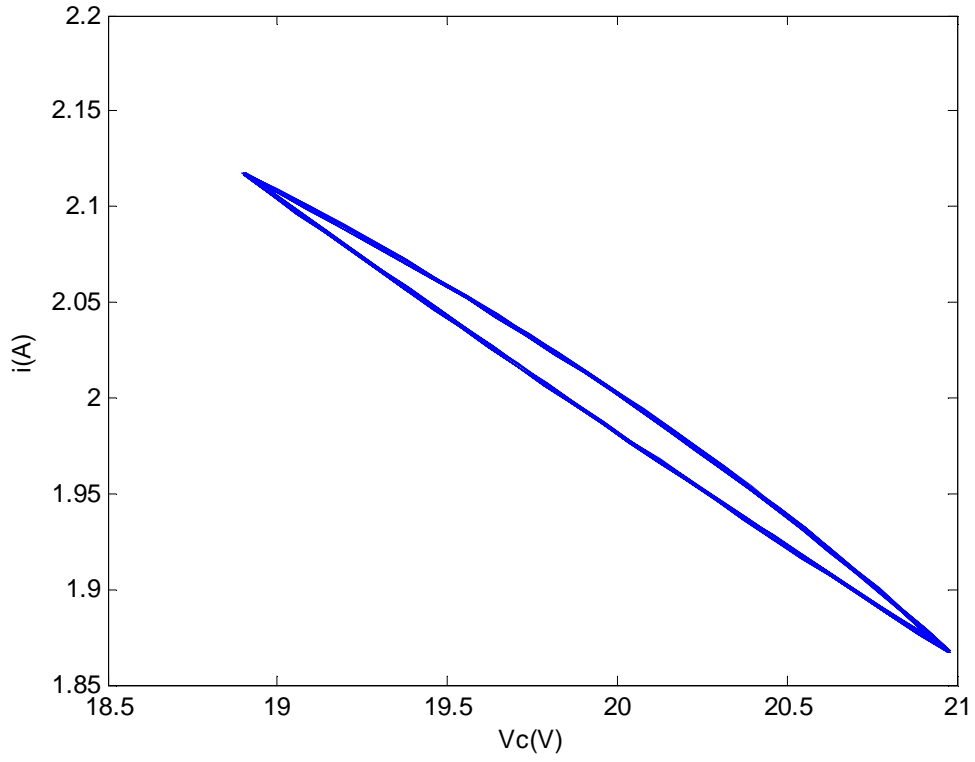
Tablo 3.3 'deki parametreler kullanılarak Matlab –Simulink modeli yardımıyla çıkış gerilimi veya kapasite gerilimi Şekil 3.23' de, bobin akımı Şekil 3.24' de verilmiştir. Giriş gerilimimiz 10 V ve $d=0,5$ olduğunda çıkış geriliminin ortalama 20 V olduğu Şekil 3.23' den görülmektedir. Çıkış gerilimi ile bobin akımı arasında çizilen faz portresi Şekil 3.25' de görülmektedir.



Şekil 3.23. Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi



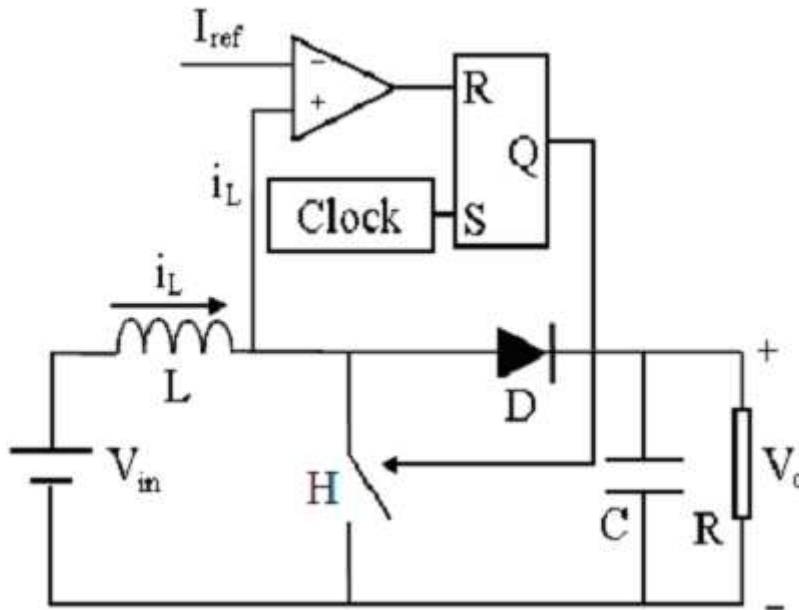
Şekil 3.24. Yükseltici dönüştürücü bobin akımı



Şekil 3.25. Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi (kapasite gerilimi ile bobin akımı arasında)

3.2.1. Akım kontrollü Yükseltici DA-DA dönüştürücüler

Akım kontrollü yükseltici tip dönüştürücü Şekil 3.26' de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücü

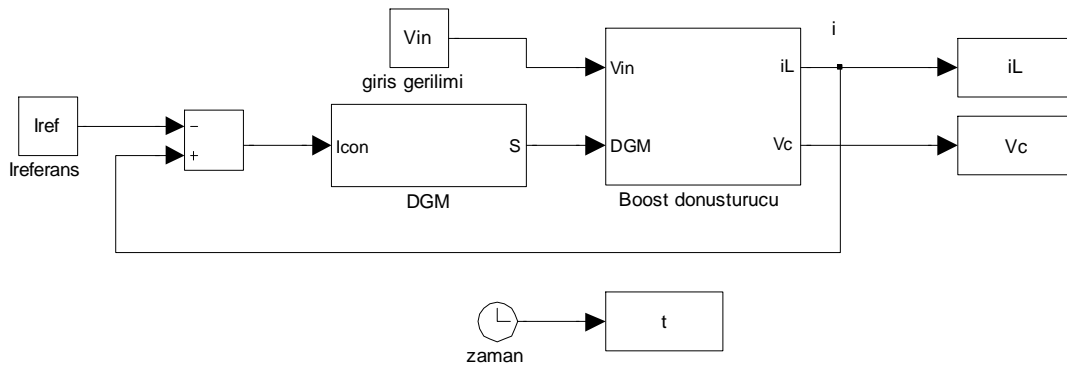
H anahtarı akım geri besleme ve sabit frekanslı darbe genlik işareti kullanılarak bobin akımı ve referans akımının karşılaştırılmasıyla kontrol edilir. Arka arkaya gelen darbeler SR tutucusunu set eder, çıkış '1' olur ve anahtar iletim moduna geçer. Anahtarın kapanmasıyla bobin akımı artar. Artan bobin akımı referans akım değerine ulaşıncaya kadar SR tutucu resetlenir, çıkış '0' olur ve anahtar kesim moduna geçer. Alçaltıcı tip dönüştürücünün durum denklemleri aşağıdaki gibi yazılır [49, 51].

$$\begin{aligned} \frac{di_L}{dt} &= \frac{1}{L}[v_{in} - v_C(s-1)] \\ \frac{dv_C}{dt} &= \frac{1}{C}\left[-\frac{v_C}{R} + i_L(s-1)\right] \end{aligned} \quad (3.12)$$

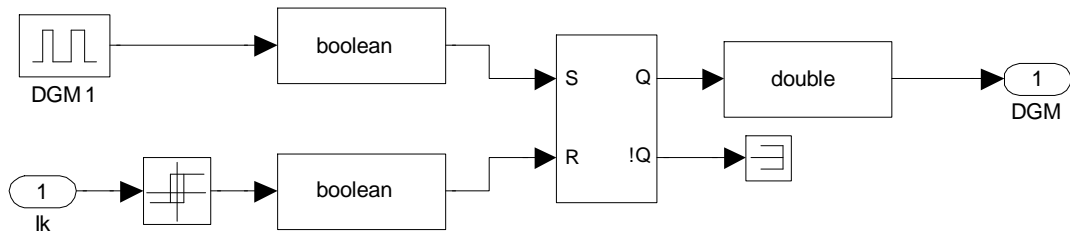
Burada s kontrol işaretidir. Anahtarın kesim ve iletim durumuna göre '0' veya '1' konumunu alır.

Tablo 3.4 'deki parametreler kullanılarak Matlab –Simulink modeli (Şekil 3.29) yardımıyla çıkış gerilimi veya kapasite gerilimi Şekil 3.29' de, bobin akımı Şekil 3.30' da verilmiştir. Çıkış gerilimi ile bobin akımı arasında çizilen faz portresi Şekil 3.31' de görülmektedir.

Sinyal üretici, karşılaştırıcı ve SR tutucu kullanılarak Şekil 3.28 ' de görüldüğü gibi DGM üretici oluşturulmuştur. Sinyal üretici sabit frekansta kare dalga üreterek SR tutucunun çıkışının '1' olmasını sağlar. Bobin akımı referans akımına ulaştığı zaman SR tutucu resetlenerek çıkışı '0' olur ve anahtar kesim moduna gider.



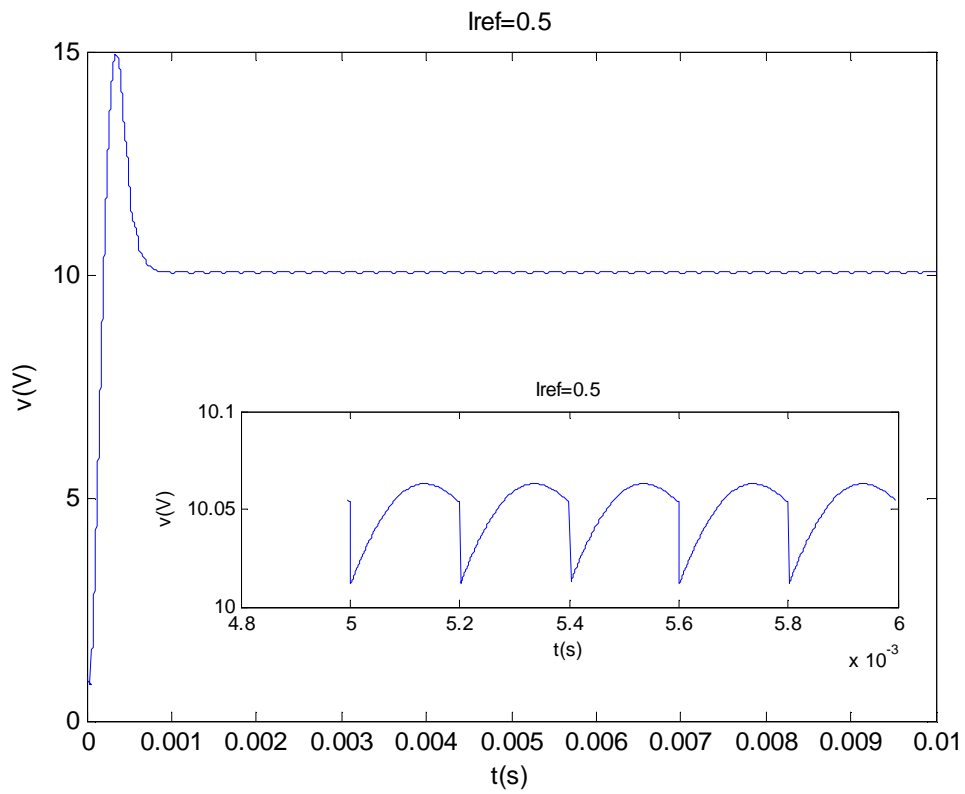
Şekil 3.27. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücü Matlab-Simulink modeli



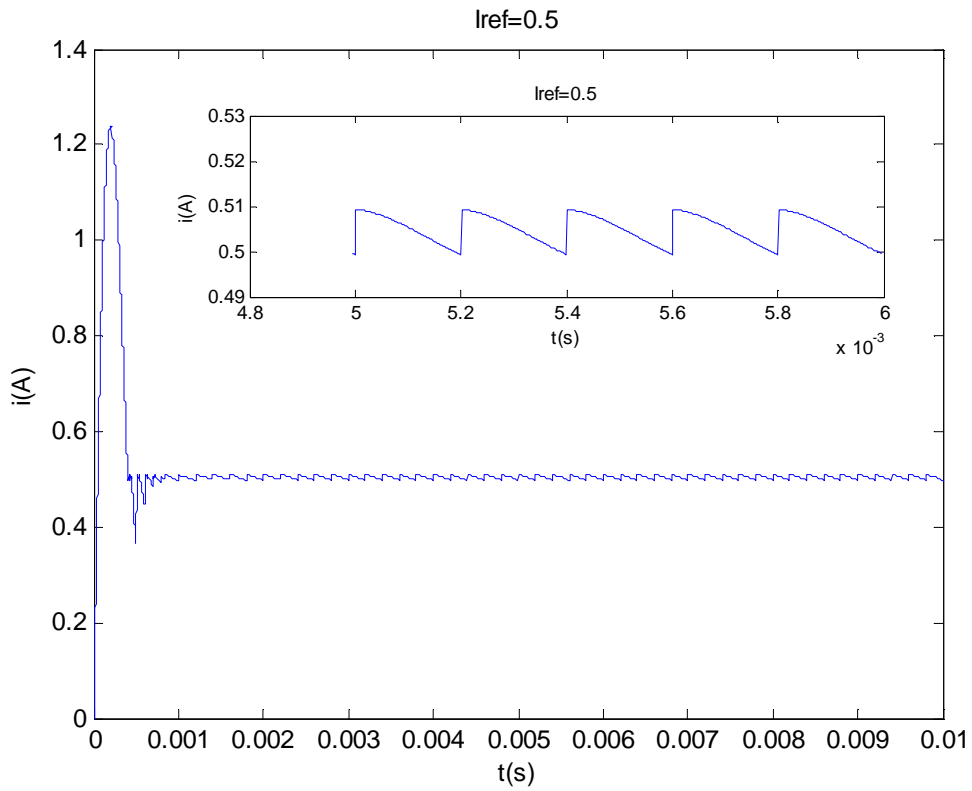
Şekil 3.28. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün DGM üretici Matlab-Simulink modeli

Tablo 3.4. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri

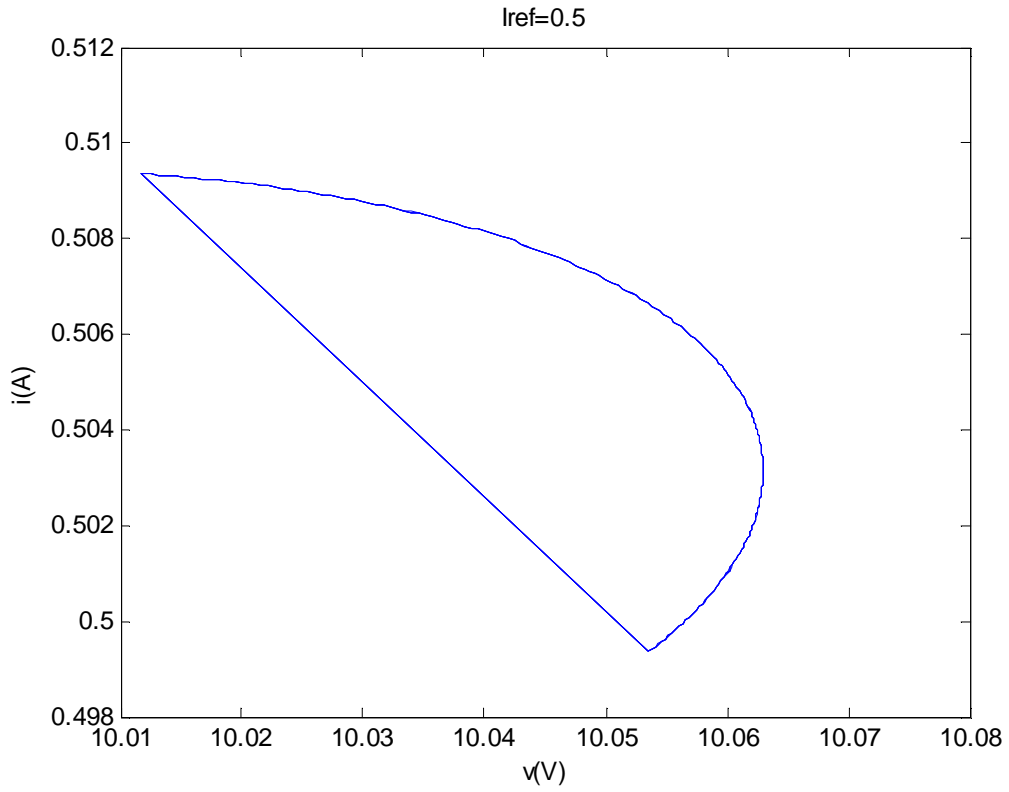
T (μ s)	R (Ω)	L (mH)	C (μ F)	V _{in} (V)	I _{ref} (A)
100	20	1	12	10	0.5



Şekil 3.29. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli



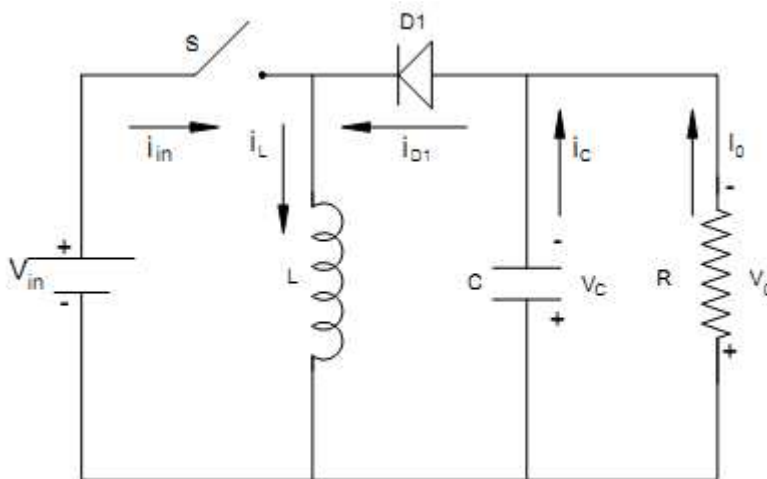
Şekil 3.30. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli



Şekil 3.31. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı

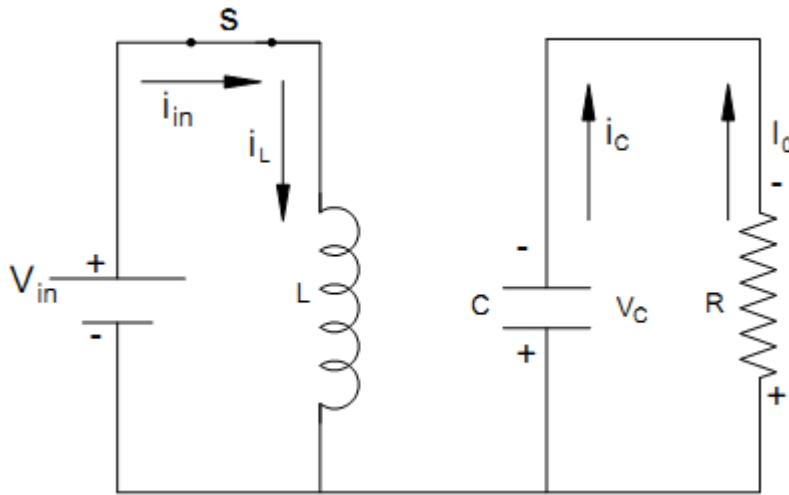
3.3. Alçaltıcı - Yükseltici DA-DA Dönüştürücünün Yapısı ve Analizi

Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü hem alçaltıcı hem yükseltici tip dönüştürücü olarak kullanılan anahtarlamalı bir DA-DA dönüştürücüdür.



Şekil 3.32. Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devresi

Şekil 3.32’ de alçaltıcı - yükseltici dönüştürücünün devresi verilmiştir. Şekil 3.32’ den görüldüğü gibi devremizde iki tane anahtarlama elemanı bulunmaktadır. Biri kontrolsüz bir anahtarlama elemanı olan D diyotu ve diğeri kontrollü olan S anahtarlama elemanıdır. Aynı zamanda sadece bir anahtarlama elemanı iletimdedir. Biri iletimde iken diğeri kesim durumundadır. C kondansatörü yüke paralel bağlanmıştır ve dengeli bir yük gerilimi sağlamak için kullanılmıştır. L bobini ise enerji depolamak için kullanılmaktadır.

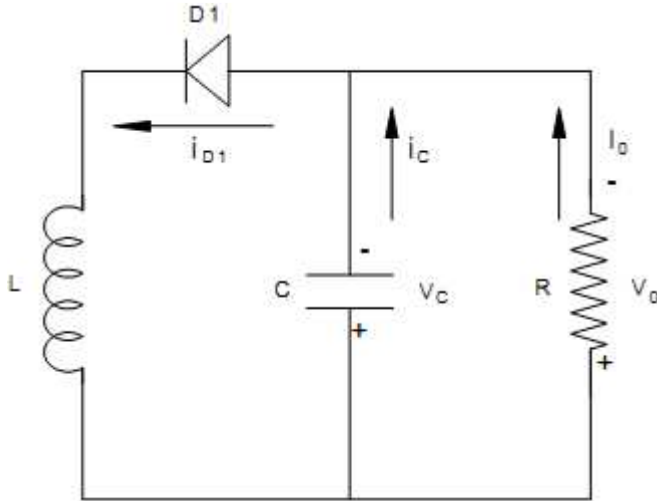


Şekil 3.33. S anahtarı iletimde iken Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devresi

Şekil 3.33’ de alçaltıcı – yükseltici dönüştürücüde S anahtarı iletimde iken devre şeması verilmiştir. S anahtarı iletim modunda iken D diyotu kesim modundadır. Bu durumda L bobini gerilim kaynağından beslenerek bobin akımı artmaktadır ve gerilim kaynağından enerji alarak şarj olur. C kondansatöründe depolanan enerji R yüküne verilerek deşarj olur. S anahtarı iletimde olduğu zaman devrenin durum denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{dv_C}{dt} = -\frac{1}{RC}v_C \quad (3.13)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}V_{in}$$



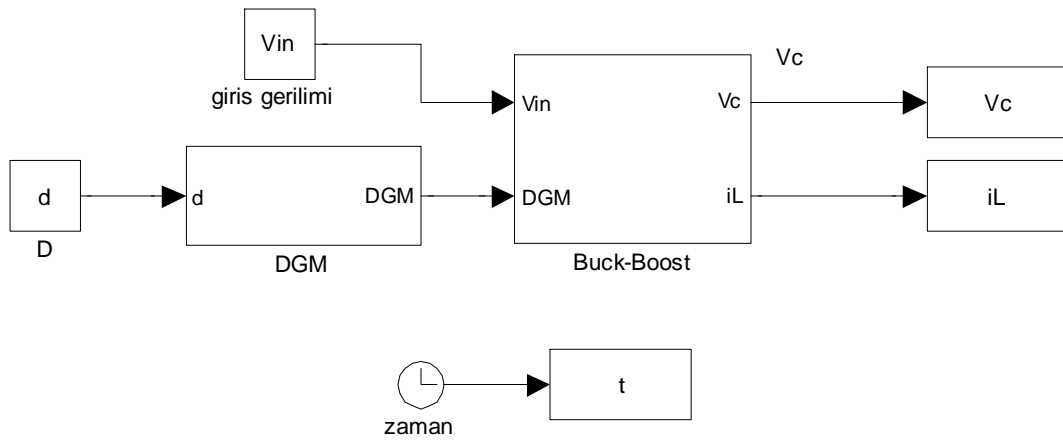
Şekil 3.34. S anahtar kesimde iken Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devresi

Şekil 3.34’ te alçaltıcı - yükseltici dönüştürücünün S yarı iletken anahtarın kesimde olduğundaki durumun devresi verilmiştir. Yarı iletken anahtar açıldığında (kesim durumunda), bobin C kondansatörüne ve L yüküne paralel bağlanmış olur. Böylelikle, L bobinindeki enerji C kondansatörüne ve R yüküne aktarılır. S yarı iletken anahtarın kesim durumda iken devrenin durum denklemleri aşağıdaki gibi olur [52].

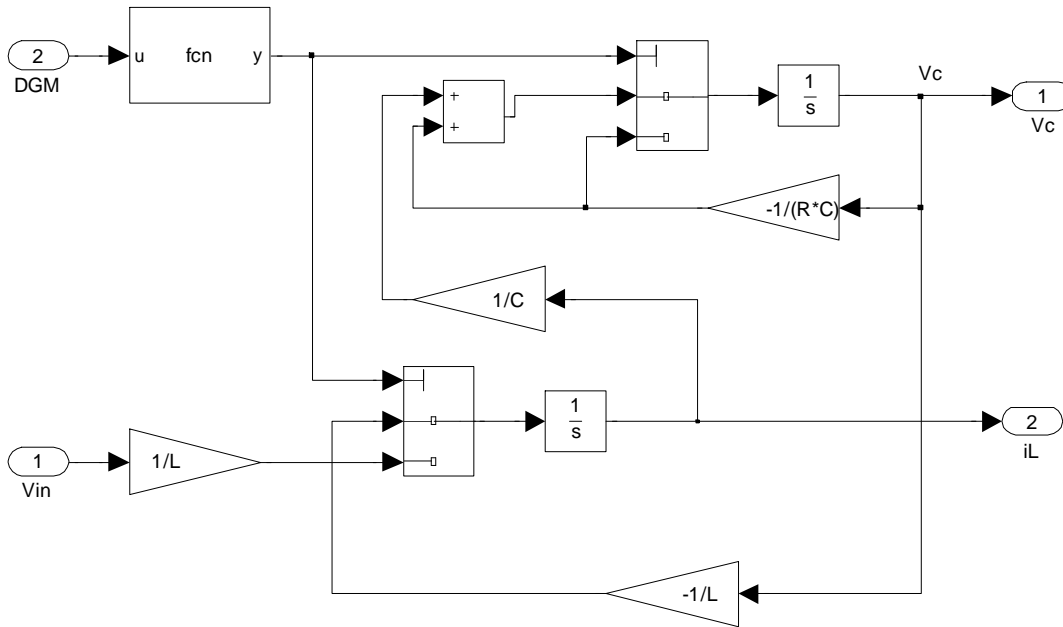
$$\begin{aligned} \frac{dv_C}{dt} &= -\frac{1}{RC}v_C + \frac{1}{C}i_L \\ \frac{di_L}{dt} &= -\frac{1}{L}v_C \end{aligned} \quad (3.14)$$

Eğer V_{in} ve I_{in} ortalama bir giriş gerilimi ve akımı ise, sürekli akım modunda giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_0} = \frac{D}{1-D} \quad (3.15)$$



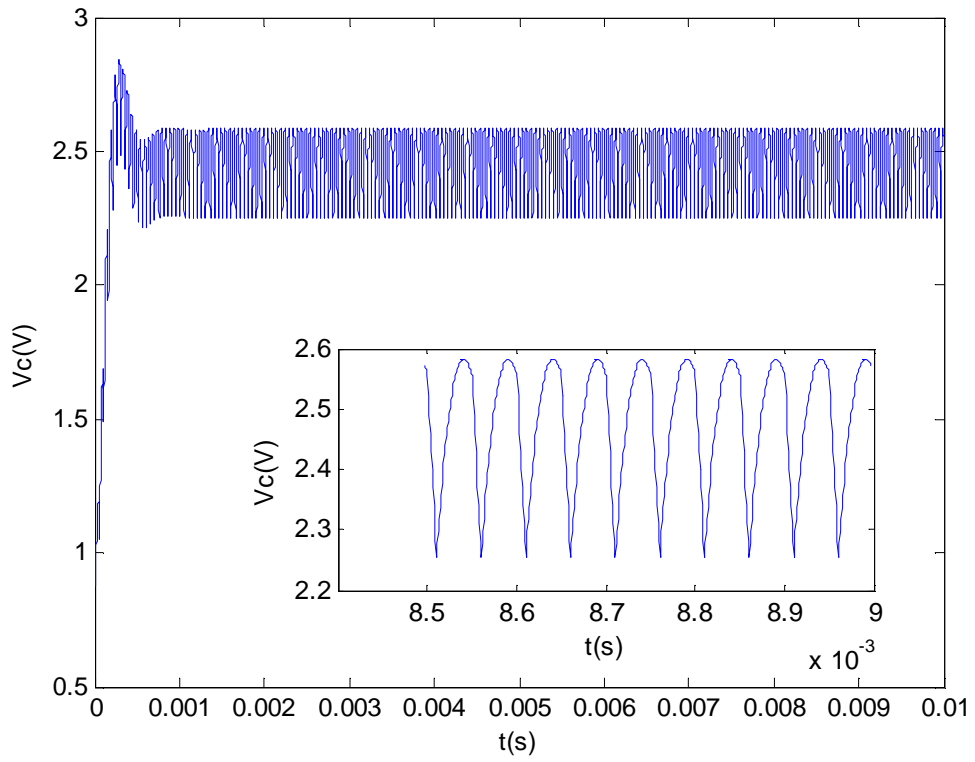
Şekil 3.35. Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli



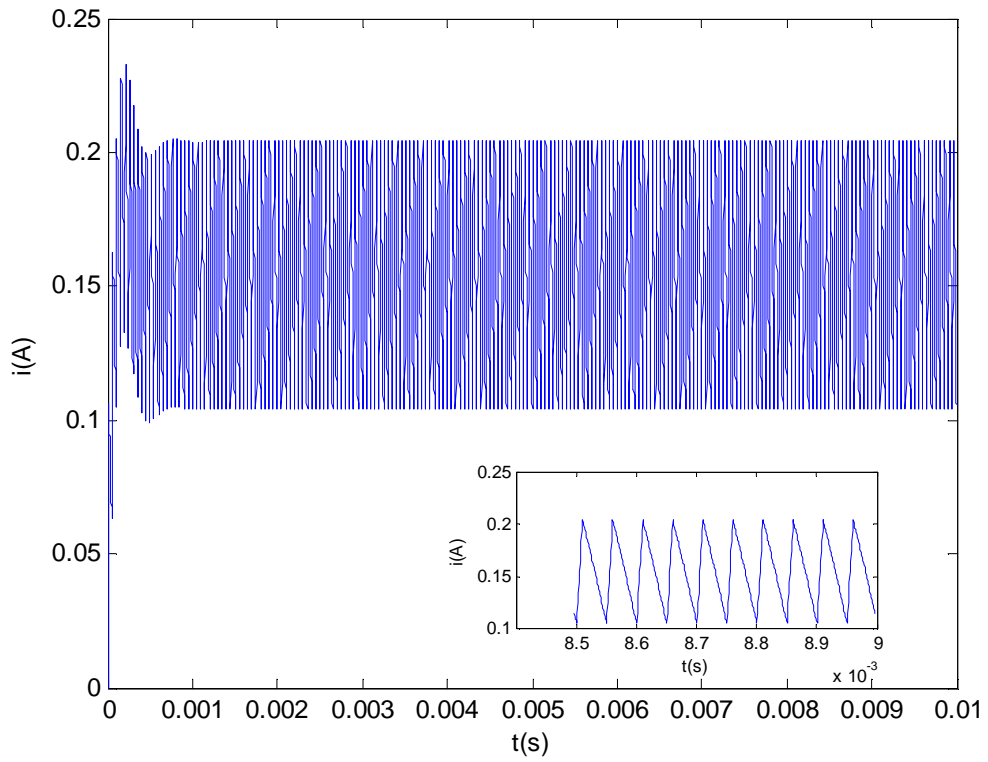
Şekil 3.36. Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli

Tablo 3.5. Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri

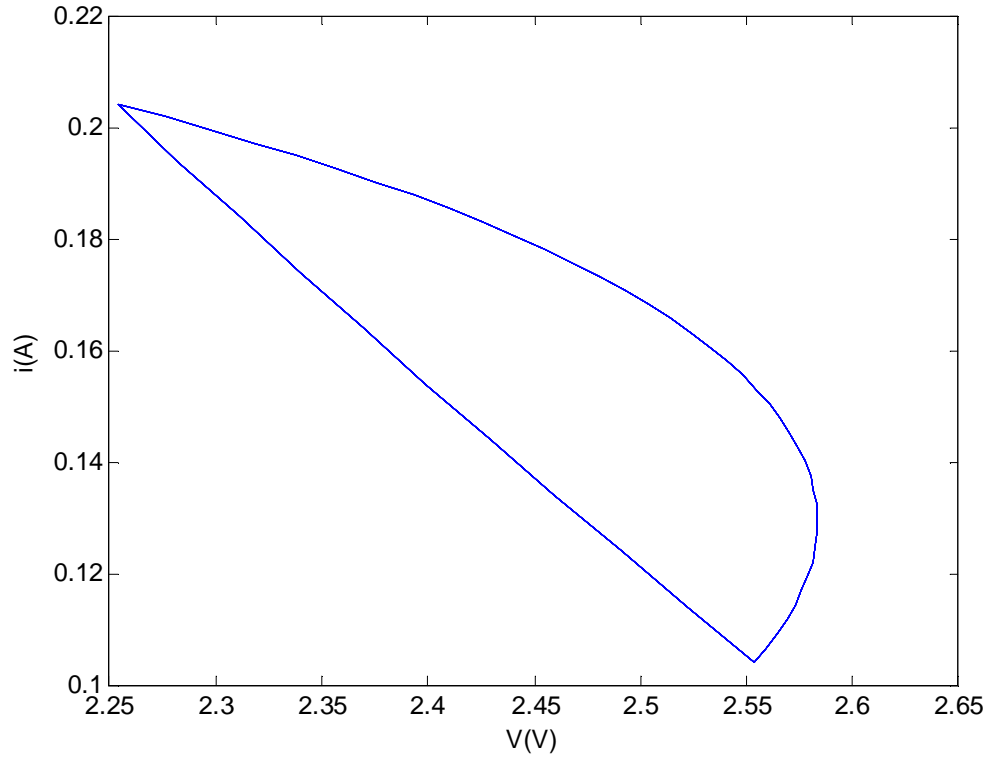
T	50 μ s
R	20 Ω
L	1 mH
C	4 μ F
V_{in}	10 V
d	%20 ve %80



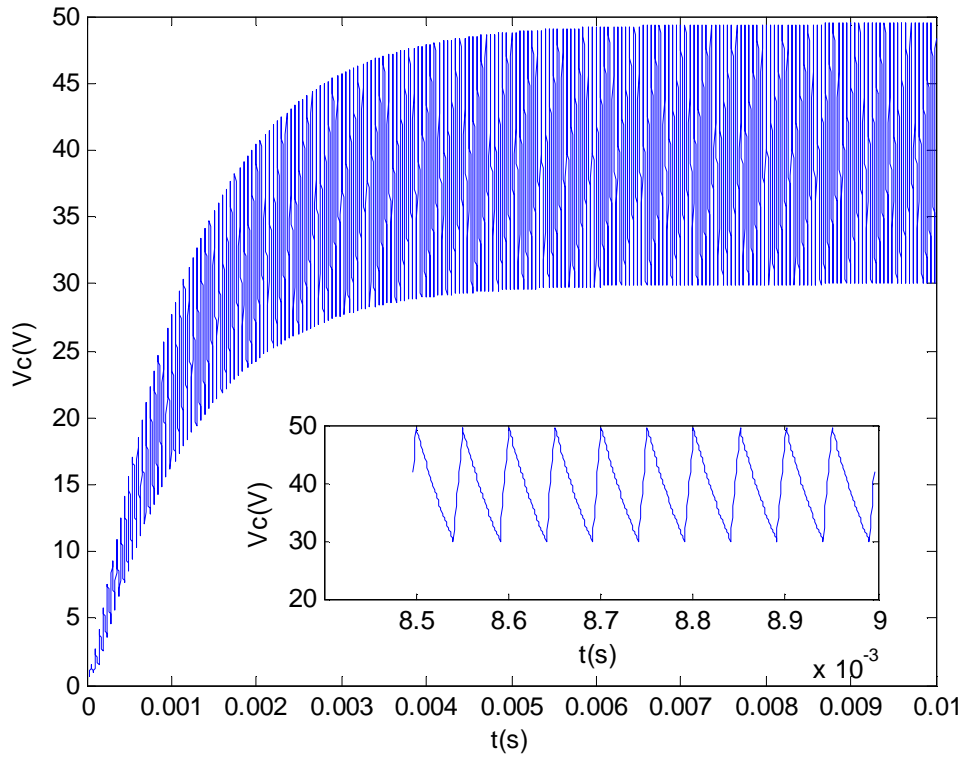
Şekil 3.37. Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi $d=0.2$



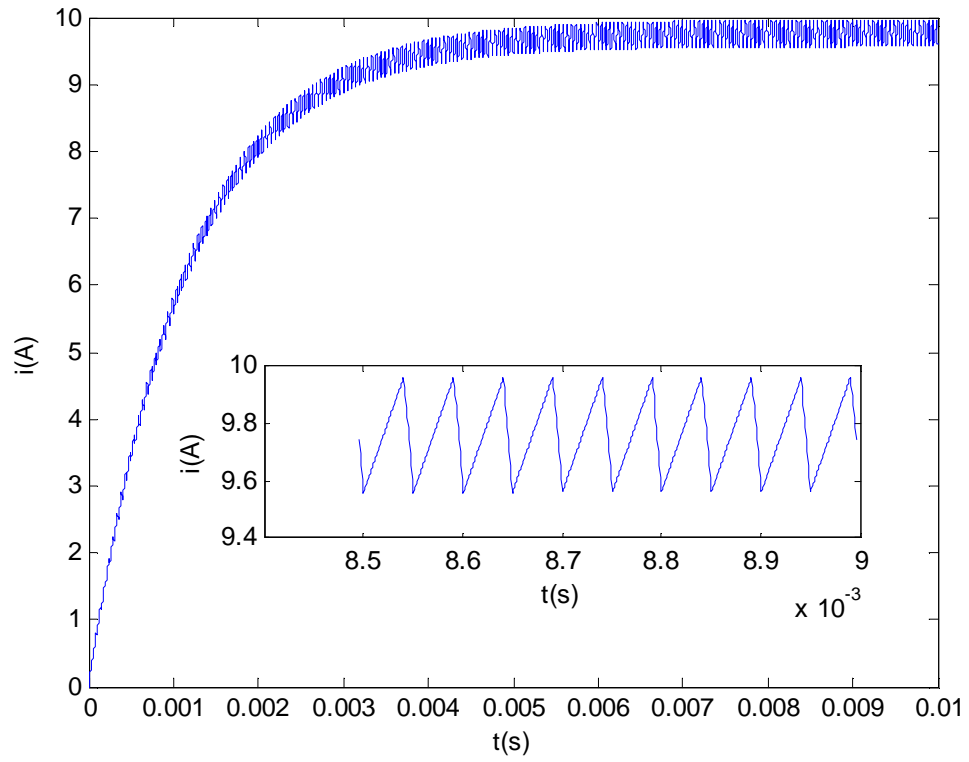
Şekil 3.38. Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü bobin akımı $d=0.2$



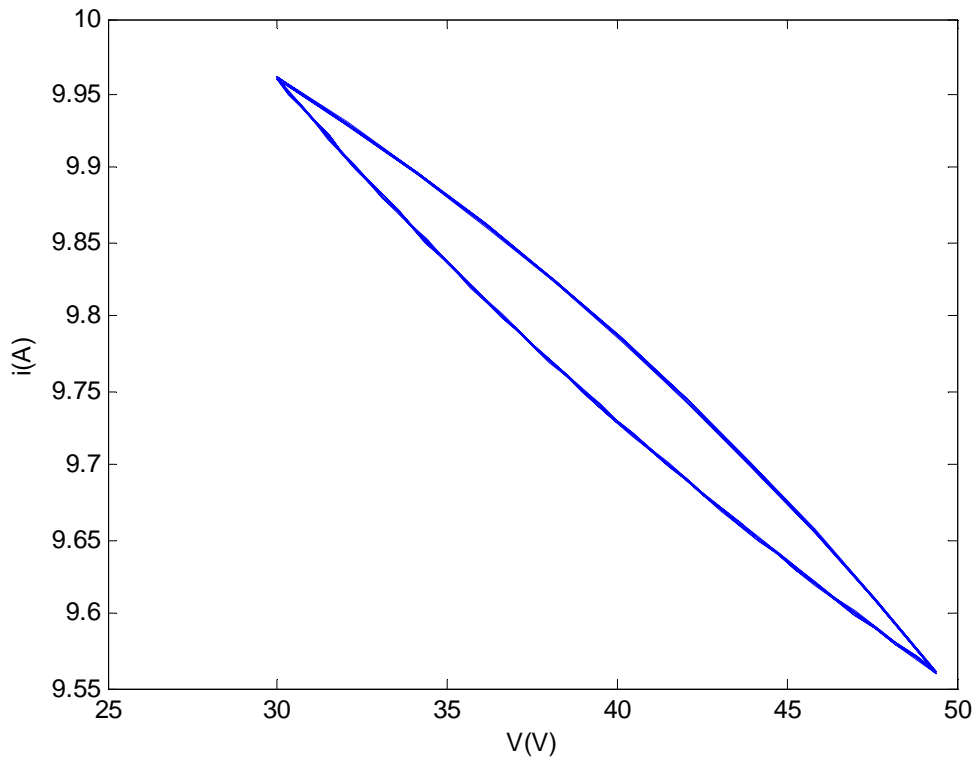
Şekil 3.39. Alçaltıcı dönüştürücü faz portresi $d=0.2$ (kapasite gerilimi ile bobin akımı arasında)



Şekil 3.40. Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi $d=0,8$



Şekil 3.41. Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücü bobin akımı $d=0,8$



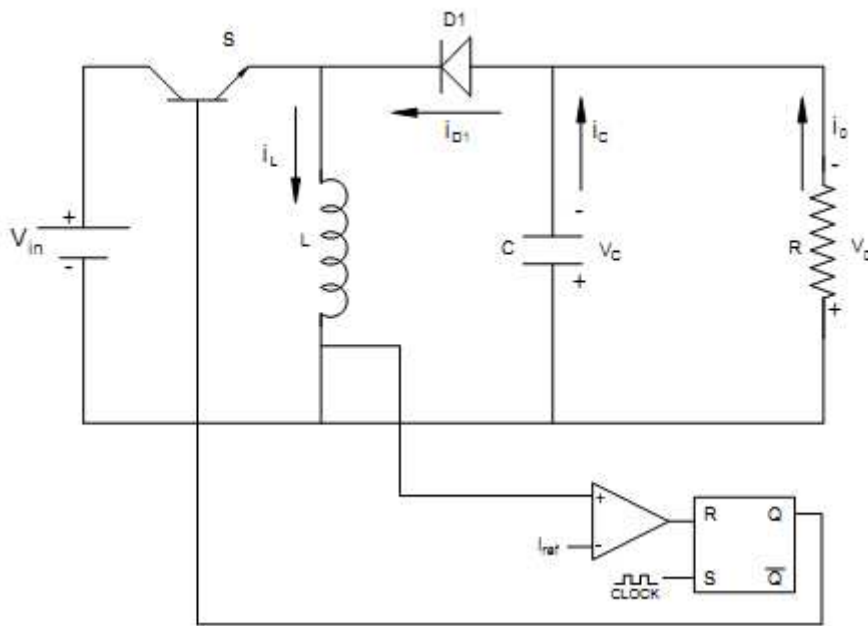
Şekil 3.42. Alçaltıcı- Yükseltici dönüştürücü faz portresi $d=0.8$ (kapasite gerilimi ile bobin akımı arasında)

Tablo 3.5 'deki parametreler kullanılarak Matlab –Simulink modeli (Şekil 3.35 ve Şekil 3.36) yardımıyla $d=0.2$ ve $d=0.8$ durumunda bobin akımı Şekil 3.38 ve Şekil 3.41' de, çıkış gerilimi Şekil 3.37 ve Şekil 3.40'de, çıkış gerilimi ile bobin akımı arasında çizilen faz portresi Şekil 3.39 ve Şekil 3.42' den görülmektedir.

Giriş gerilimimiz 10 V ve $d=0,2$ olduğunda çıkış gerilimi ortalama değeri denklem 8 kullanılarak 2,5 V olduğu hesaplanır ve bilgisayar benzetimleriyle Şekil 3.37' den görülmektedir. Aynı şekilde $d=0,8$ olduğunda ortalama çıkış gerilimi 40 V olduğu Şekil 3.40' den görülmektedir.

3.3.1. Akım kontrollü Alçaltıcı - Yükseltici dönüştürücüler

Akım kontrollü alçaltıcı - yükseltici tip dönüştürücü Şekil 3.43' de gösterilmiştir.



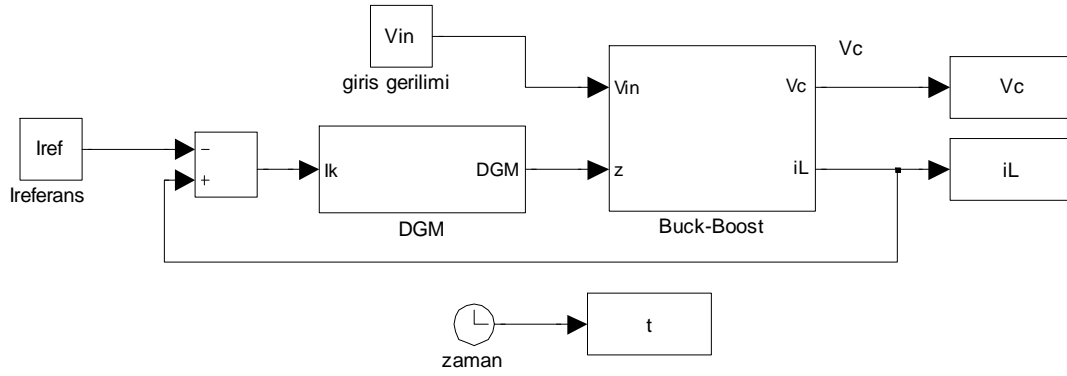
Şekil 3.43. Akım kontrollü Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devre şeması

S anahtarı referans akımı I_{ref} ile bobin akımı I_L karşılaştıran karşılaştırıcının çıkışı ile iletim veya kesim moduna geçirilir. Anahtar iletim modunda olduğu zaman, bobin akımı yükselir ve I_{ref} referans akımına ulaştığı zaman anahtar kesim moduna geçer. Bu sırada sabit frekanslı darbe işareti geldiği zaman anahtar tekrar iletim moduna geçer [52].

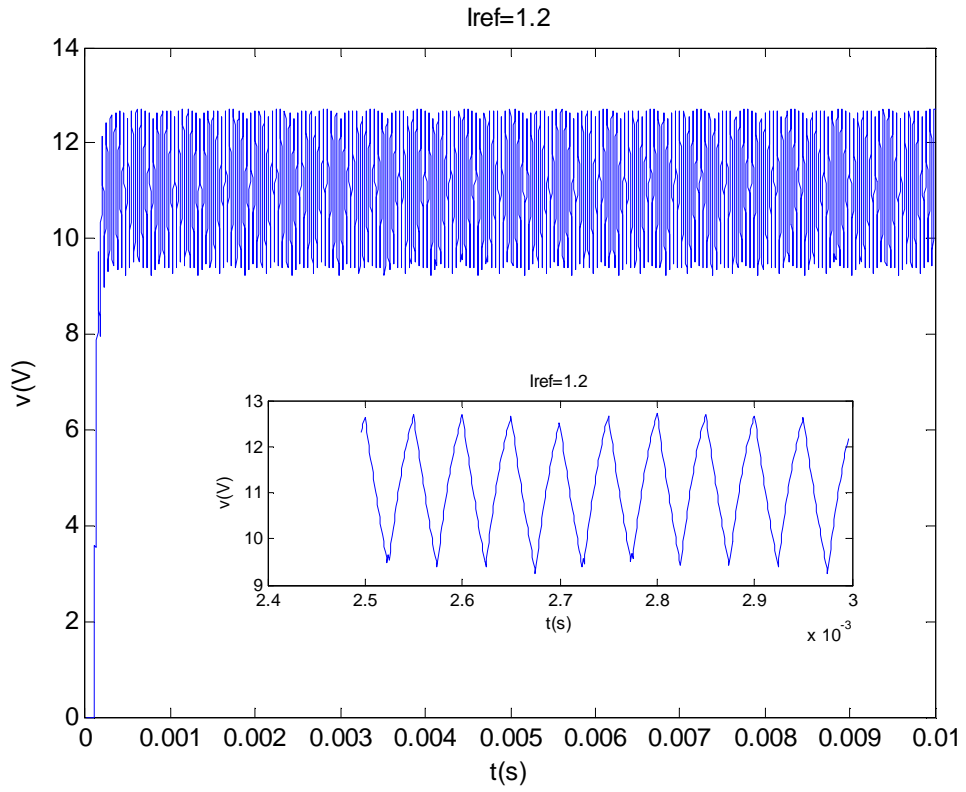
Tablo 3.6. Akım kontrollü Alçaltıcı – Yükseltici dönüştürücü devre parametreleri

T	50 μ s
R	20 Ω
L	1 mH
C	4 μ F
V_{in}	12 V
I_{ref}	1.2 A

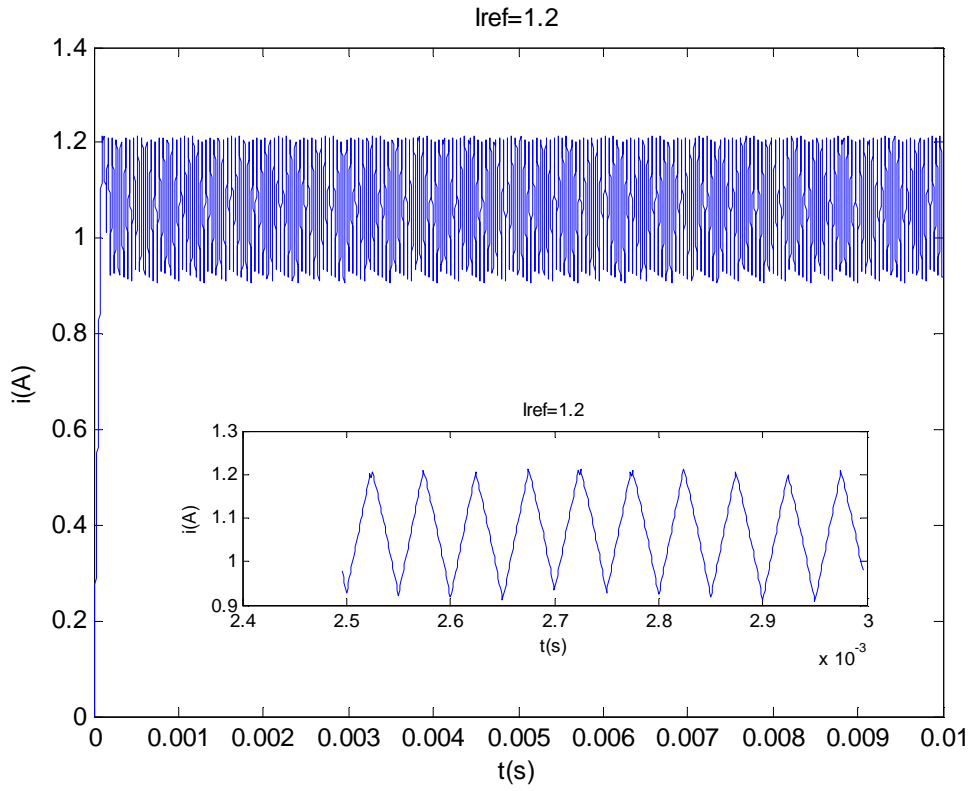
Tablo 3.6 'deki parametreler kullanılarak Matlab–Simulink modeli (Şekil 3.44) yardımıyla çıkış gerilimi veya kapasite gerilimi Şekil 3.45' de bobin akımı Şekil 3.46' te gösterilmiştir. Çıkış gerilimi ile bobin akımı arasında çizilen faz portresi Şekil 3.47' dan görülmektedir. DGM üretici ise Şekil 3.28' deki gibi tasarlanmıştır.



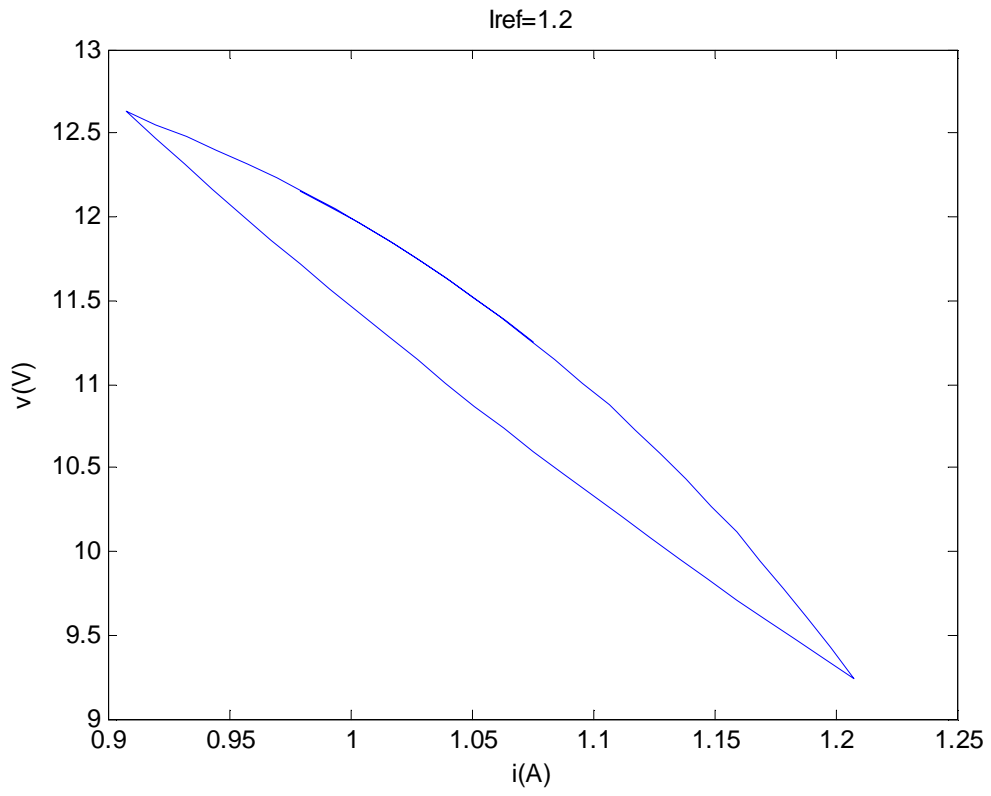
Şekil 3.44. Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü Matlab-Simulink modeli



Şekil 3.45. Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi



Şekil 3.46. Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü bobin akımı



Şekil 3.47. Akım kontrollü Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücünün faz portresi

BÖLÜM 4. ANAHTARLAMALI DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNİN KAOTİK ANALİZİ

Güç elektroniği devreleri doğrusal olmayan olaylar bakımından zengin bir yapıya sahiptir. Bu devreler anahtarlama dolaylı kaotik davranışa sahip olabilir. Pratikte, güç elektroniği devrelerinde meydana gelen doğrusal olmayan olayların başlıca sebepleri [53];

- BJT, MOSFET, IGBT, tristör ve diyot gibi yarıiletken elemanların doğrusal olmayan DA karakteristiğine sahip olması,
- Devrenin doğrusal olmayan kapasite içermesi,
- Devrenin doğrusal olmayan bobin içermesi, örneğin trafonun sebep olduğu doğrusal olmayan (nonlineer) bobin etkisi,
- Kontrol devrelerinin karşılaştırıcı, DGM, çarpma entegreleri ve sayısal denetleyiciler gibi doğrusal olmayan eleman içermesi,

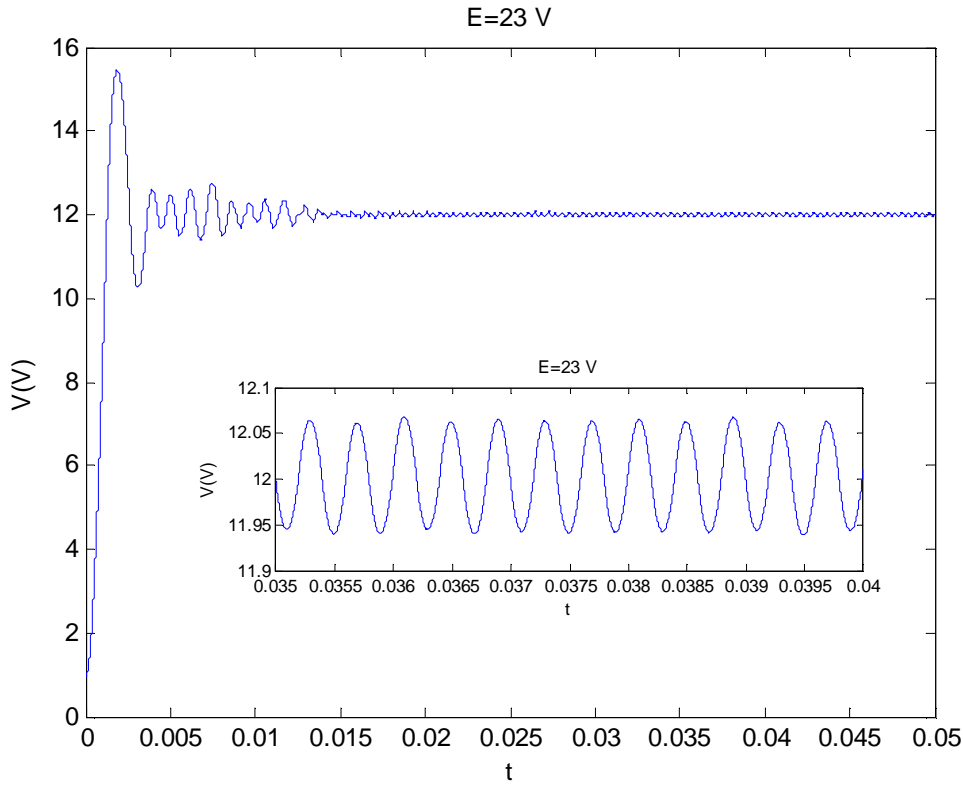
olarak sayılabilir.

DA – DA dönüştürücüler sadece ‘periyodik 1 çalışma’ denilen gerilimin ve akımın dalga şekillerinin periyodik yapıda çalışabilecek şekilde tasarlanır. Periyodik 1 çalışma koşulunda iken devrede herhangi bir parametrenin değişmesi ile periyodik 1 çalışma koşulundan periyodik 2 çalışma durumuna geçmesi gibi devre bir çalışma durumundan diğer bir çalışma durumuna geçmesine çatallaşma denir.

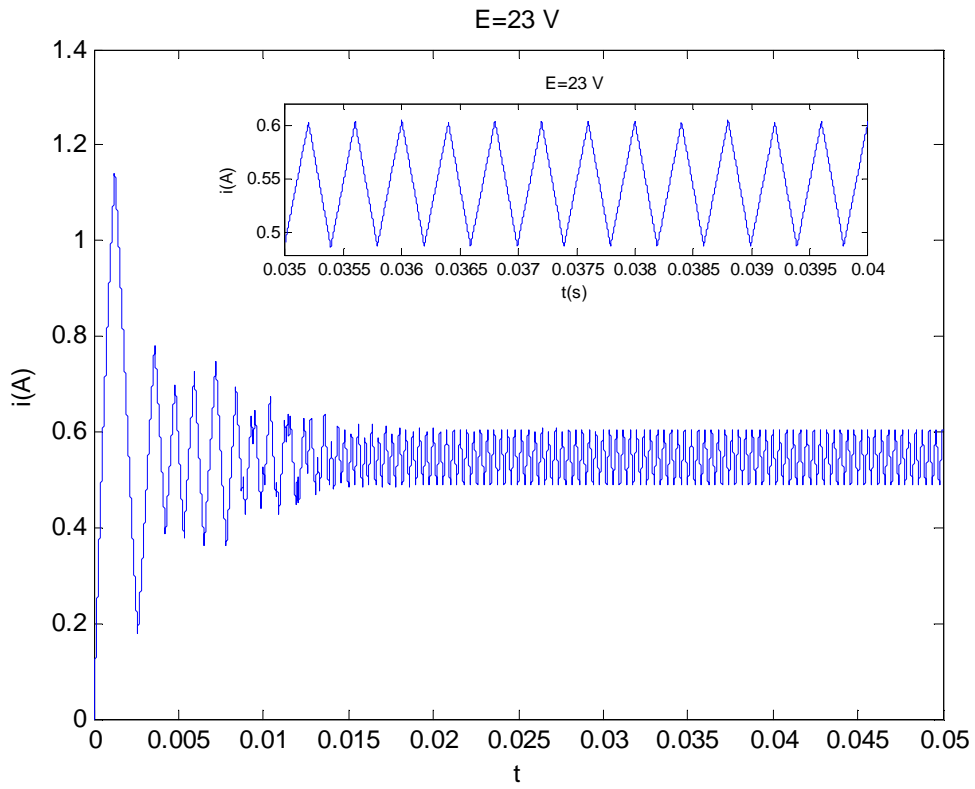
4.1. Gerilim Kontrollü Alçaltıcı DA-DA Dönüştürücüde Kaotik Analiz

Bu bölümde, gerilim kontrollü DA-DA alçaltıcı dönüştürücülerde meydana gelen kaotik olaylar incelenmiştir. Gerilim kontrollü alçaltıcı dönüştürücülerin giriş geriliminin değişimine göre devrenin normal çalışma durumundan düzensiz salınımlara ve kaotik yapıya geçişi benzetimler ile gösterilmiştir.

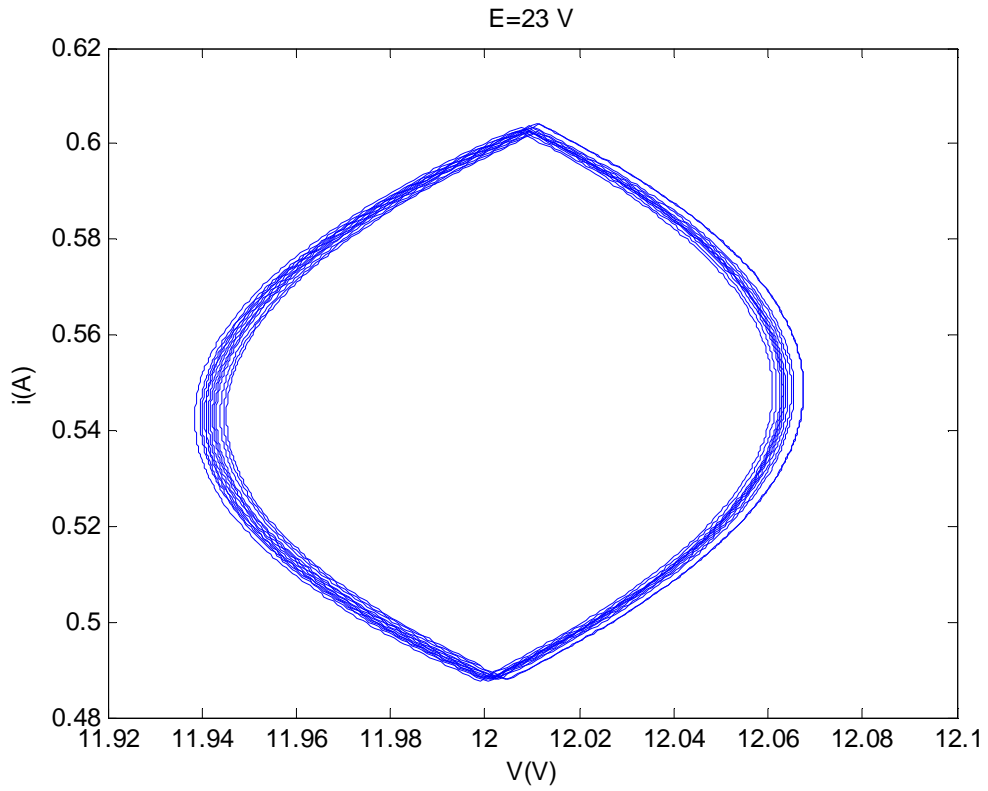
Giriş gerilimi $E=23\text{ V}$ olduğunda devrenin kondansatör geriliminin (Şekil 4.1) ve bobin akımının (Şekil 4.2) periyodik olduğu görülmektedir. Şekil 4.3' ten görüldüğü gibi DA-DA dönüştürücüler normal çalışma durumunda limit çevrim yaparlar. Şekil 4.4' te de V_k hata kontrol işareti, V_r rampa işareti ve bu iki işaretin karşılaştırılmasıyla DGM işareti üretildiği gösterilmektedir. Kondansatör geriliminin güç spektrumu Şekil 4.5' te verilmiştir. Şekil 4.5' ten görüldüğü gibi gerilim tek bir frekanslı sinyalden meydana gelmesi sebebiyle bu duruma periyot 1 durumu denir.



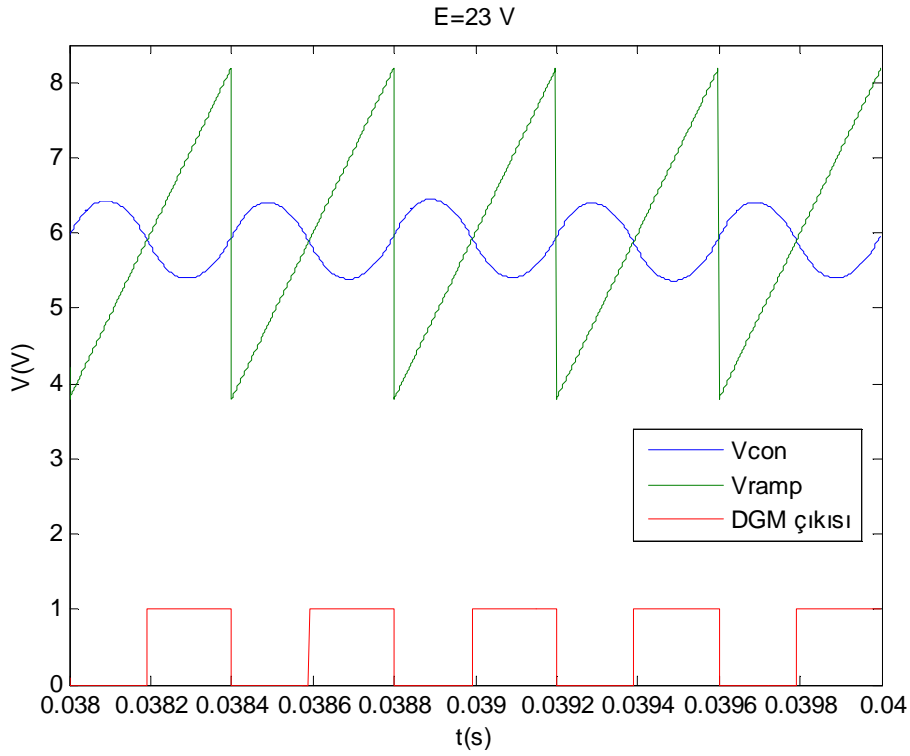
Şekil 4.1. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($E=23\text{V}$)



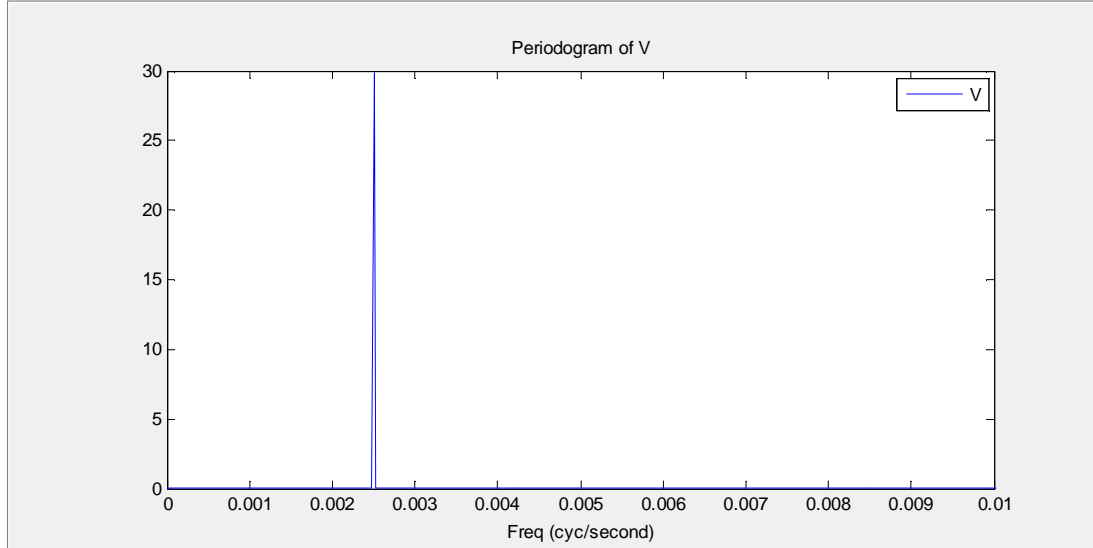
Şekil 4.2. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün akım dalga şekli ($E=23V$)



Şekil 4.3. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün faz uzayı ($E=23V$)

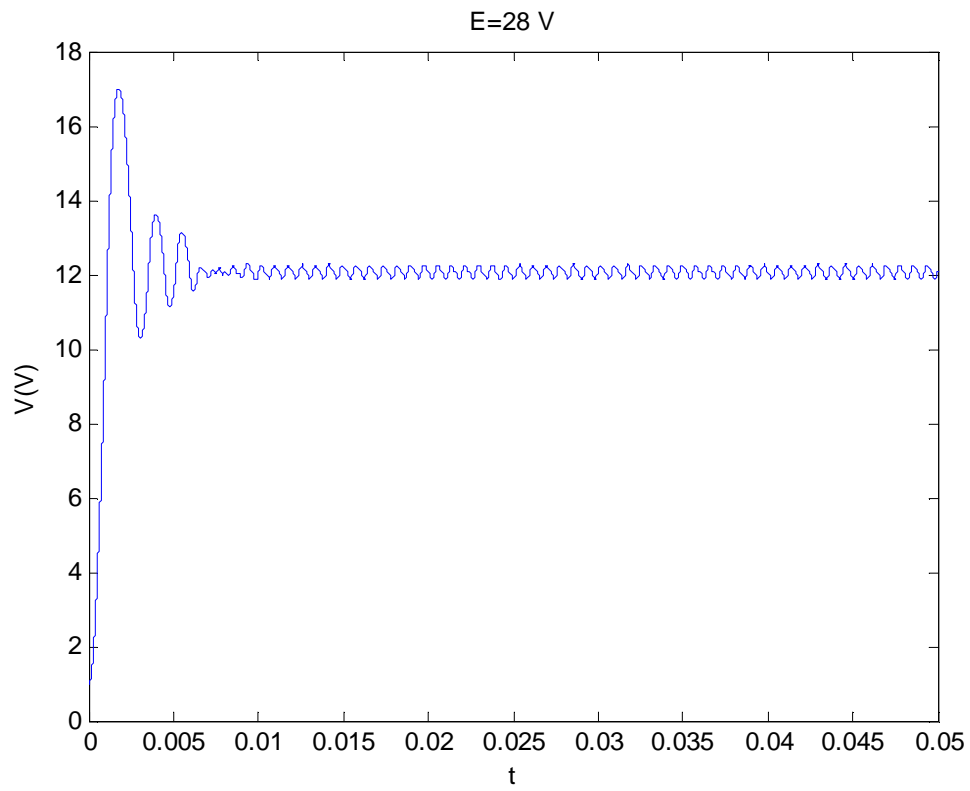


Şekil 4.4. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti ($E=23V$)

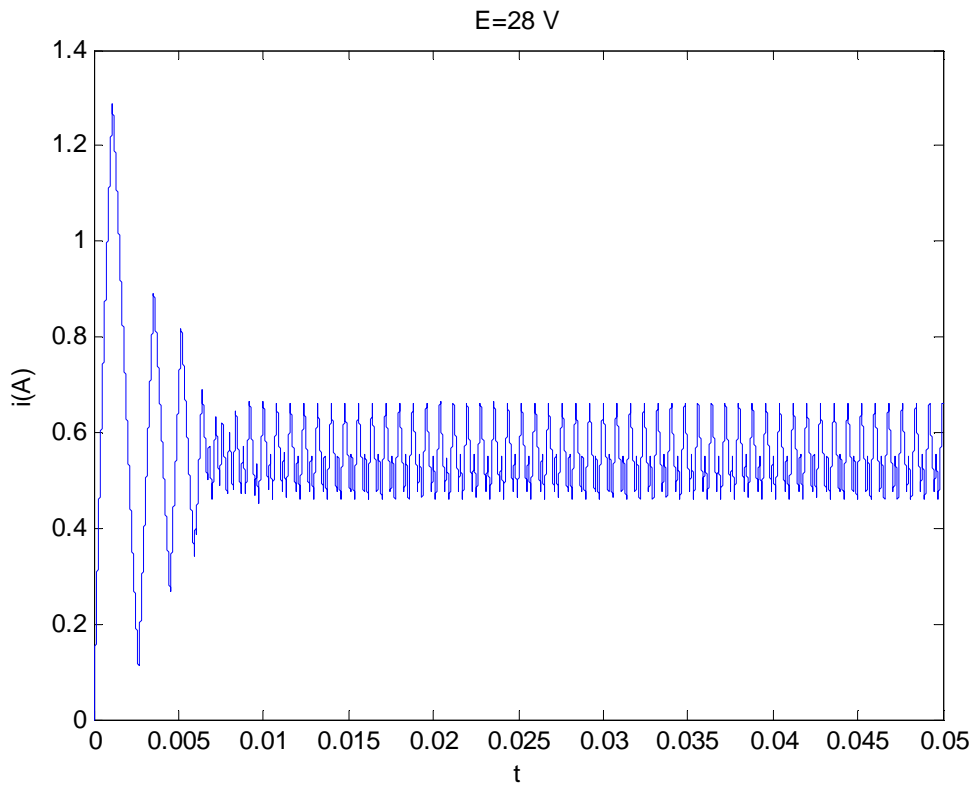


Şekil 4.5. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim güç spektrumu $E=23V$

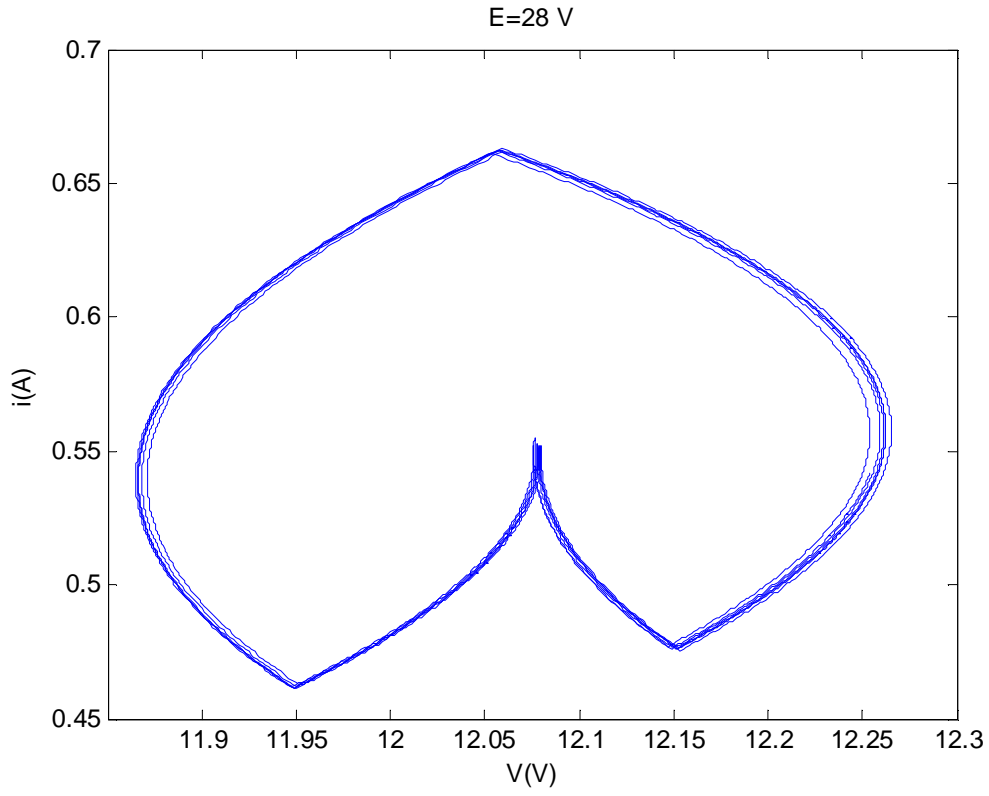
Giriş gerilimini $E=28 V$ olarak uyguladığımızda, gerilim (Şekil 4.6) ve akımda (Şekil 4.7) dalgalanmalar meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda, Şekil 4.8' de faz uzayı ve Şekil 4.9' da DGM çıkışı gösterilmiştir. Şekil 4.10' da gerilim spektrumundan görüldüğü gibi gerilim iki farklı işaretin toplamından oluşmuş diyebiliriz. Bu duruma periyot 2 durumu denilebilir.



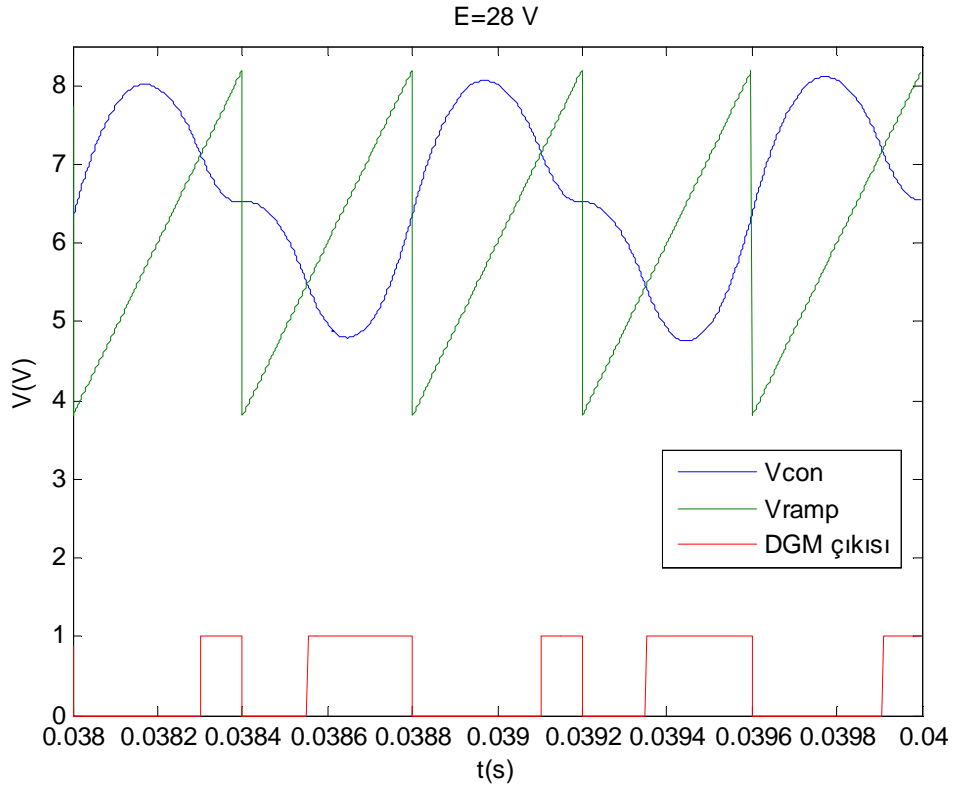
Şekil 4.6. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim dalga şekli E=28V



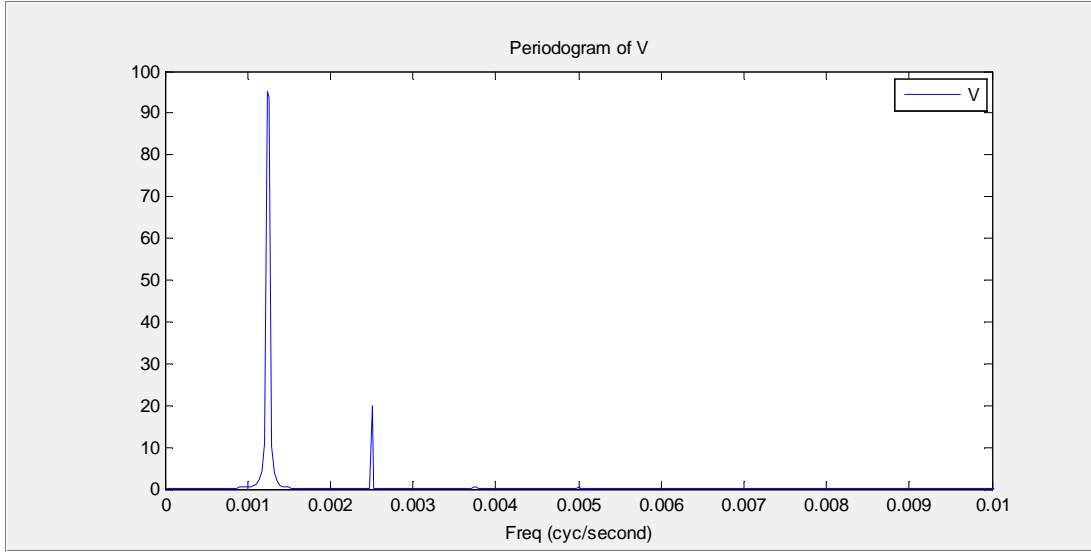
Şekil 4.7. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün akım dalga şekli E=28V



Şekil 4.8. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün faz uzayı $E=28V$

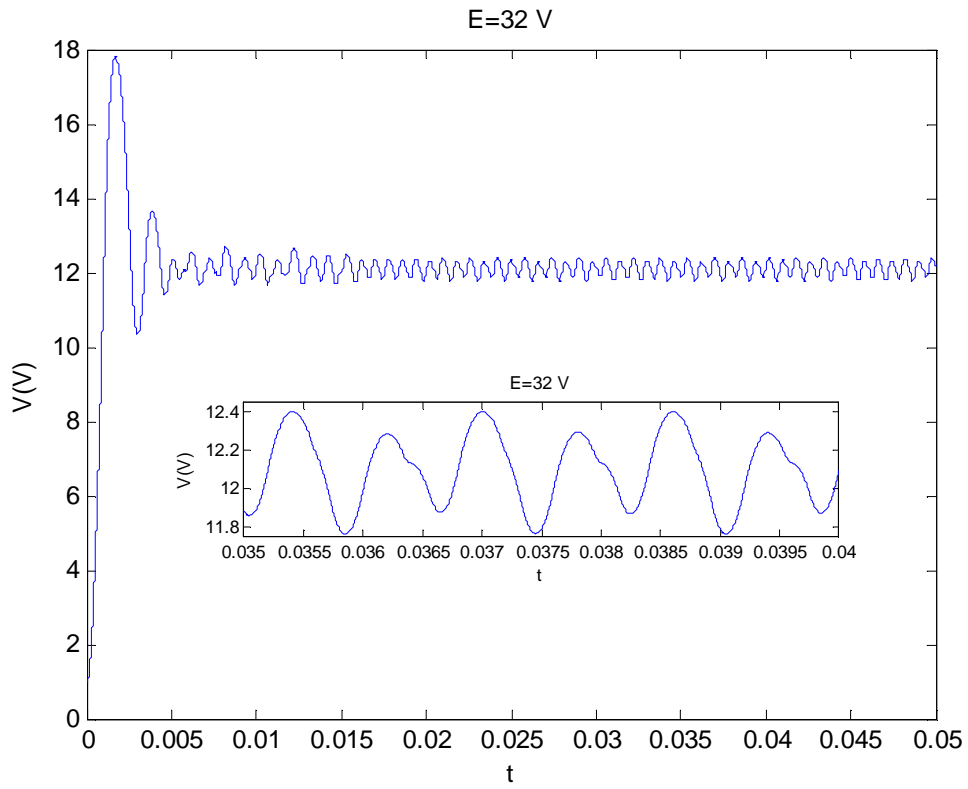


Şekil 4.9. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti $E=23V$

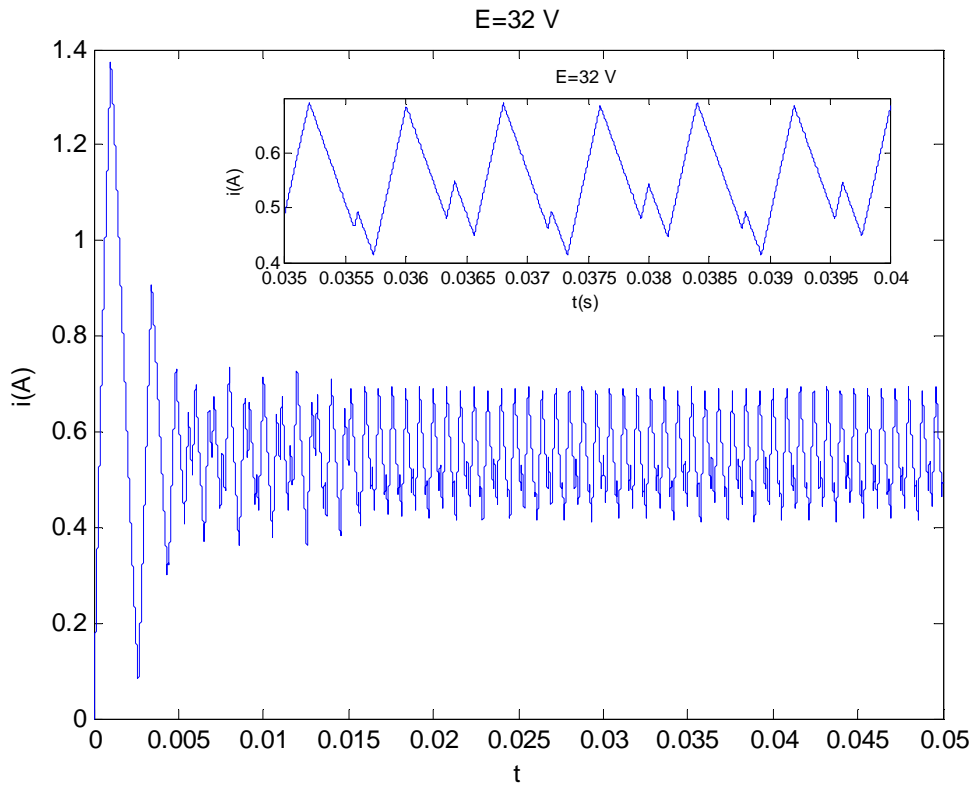


Şekil 4.10. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim güç spektrumu $E=23V$

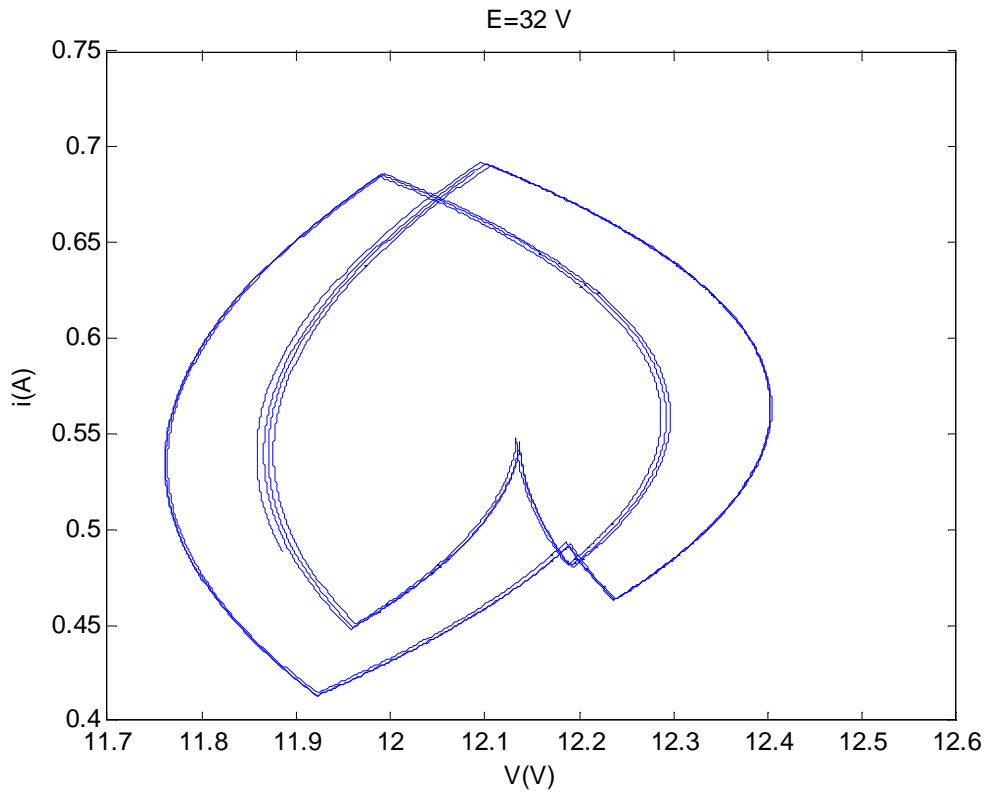
Giriş gerilimini $E=32 V$ uyguladığımızda, Şekil 4.11’ de gerilim, Şekil 4.12’ de akım dalga şekilleri, Şekil 4.13’ de faz uzayı verilmiştir. Bu durumda güç spektrumuna (Şekil 4.15) baktığımızda dört farklı frekans değerinden oluşmasından dolayı bu duruma periyot 4 durumu denilebilir. Şekil 4.14’ te ise DGM çıkış işareti gösterilmiştir.



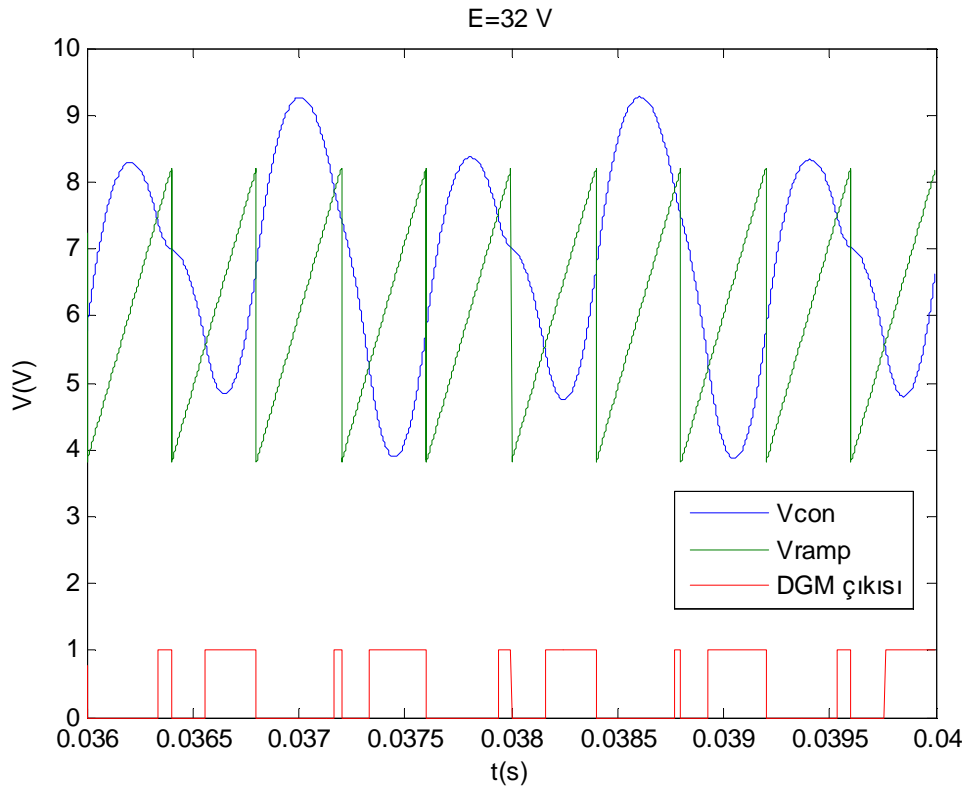
Şekil 4.11. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim dalga şekli $E=32V$



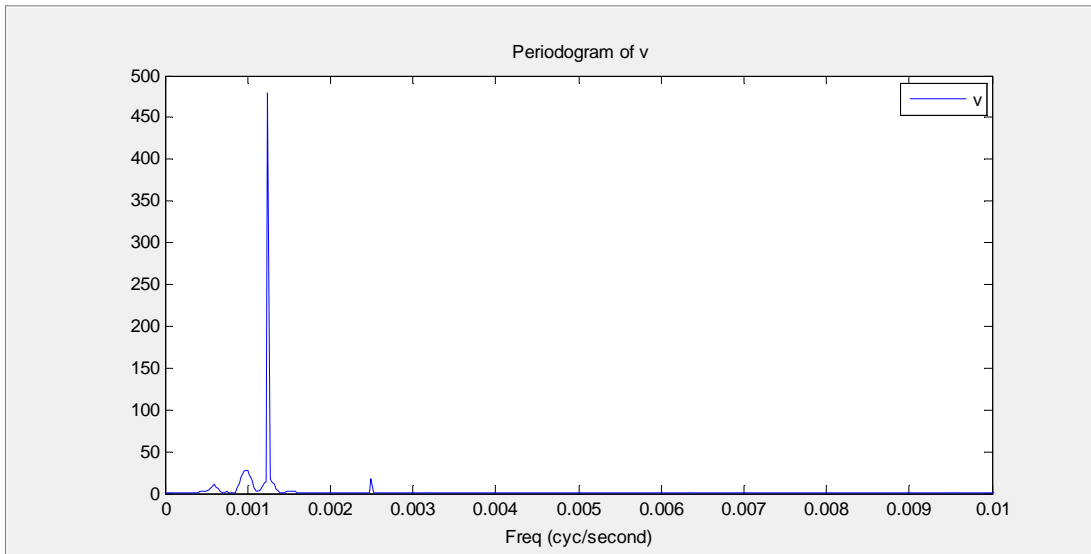
Şekil 4.12. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün akım dalga şekli $E=32V$



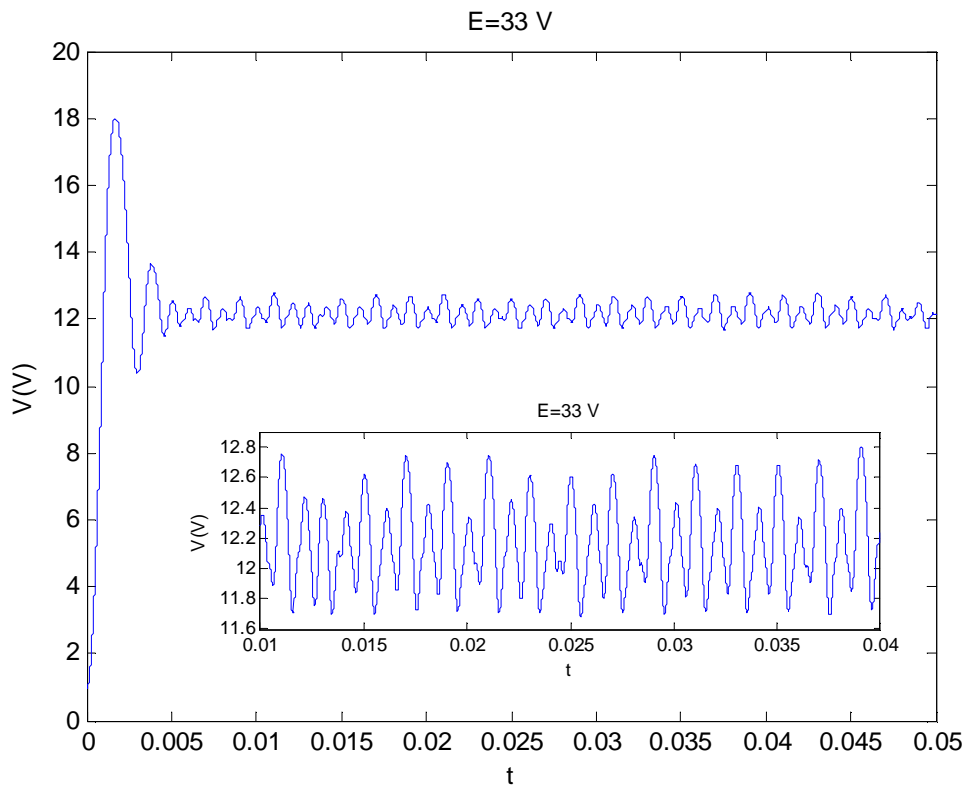
Şekil 4.13. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün faz uzayı E=32V



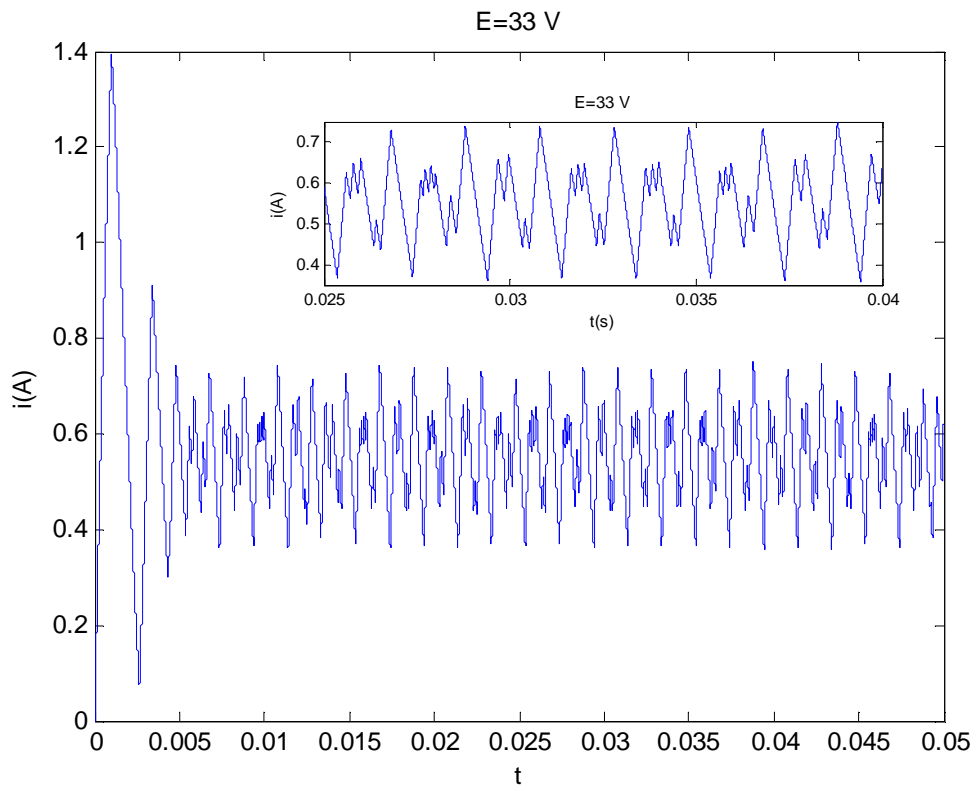
Şekil 4.14. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti E=32V



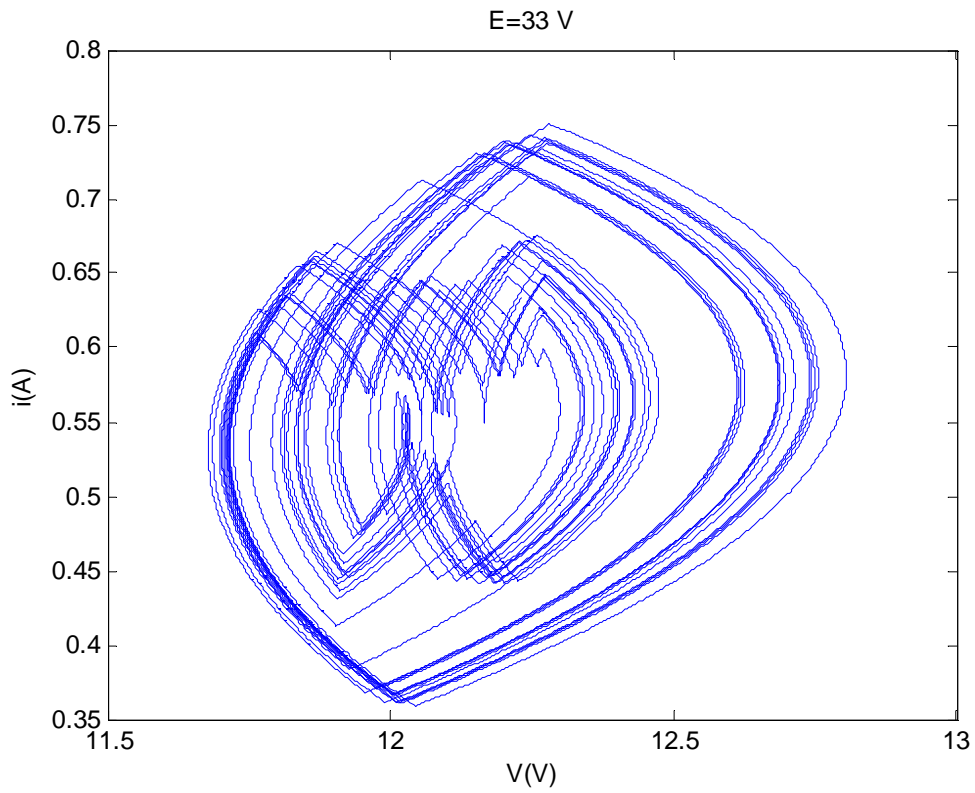
Şekil 4.15. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün gerilim güç spektrumu $E=32V$



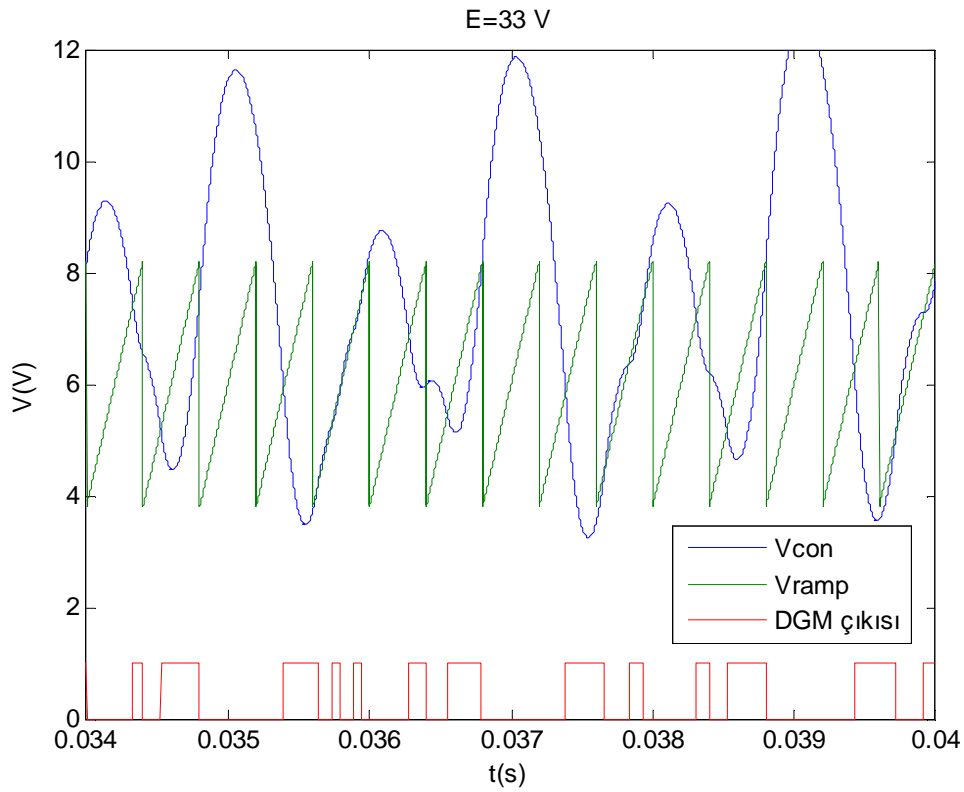
Şekil 4.16. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik gerilim dalga şekli $E=33V$



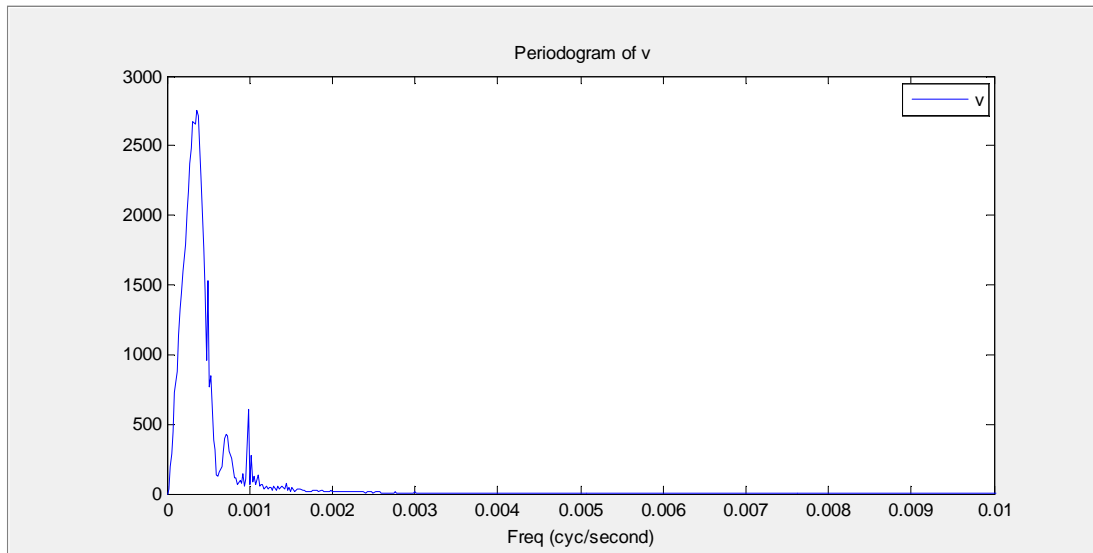
Şekil 4.17. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik akım dalga şekli $E=33$ V



Şekil 4.18. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik faz uzayı $E=33$ V



Şekil 4.19. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün V_{con} kontrol işareti, V_{ramp} rampa işareti ve DGM çıkış işareti ($E=33V$)

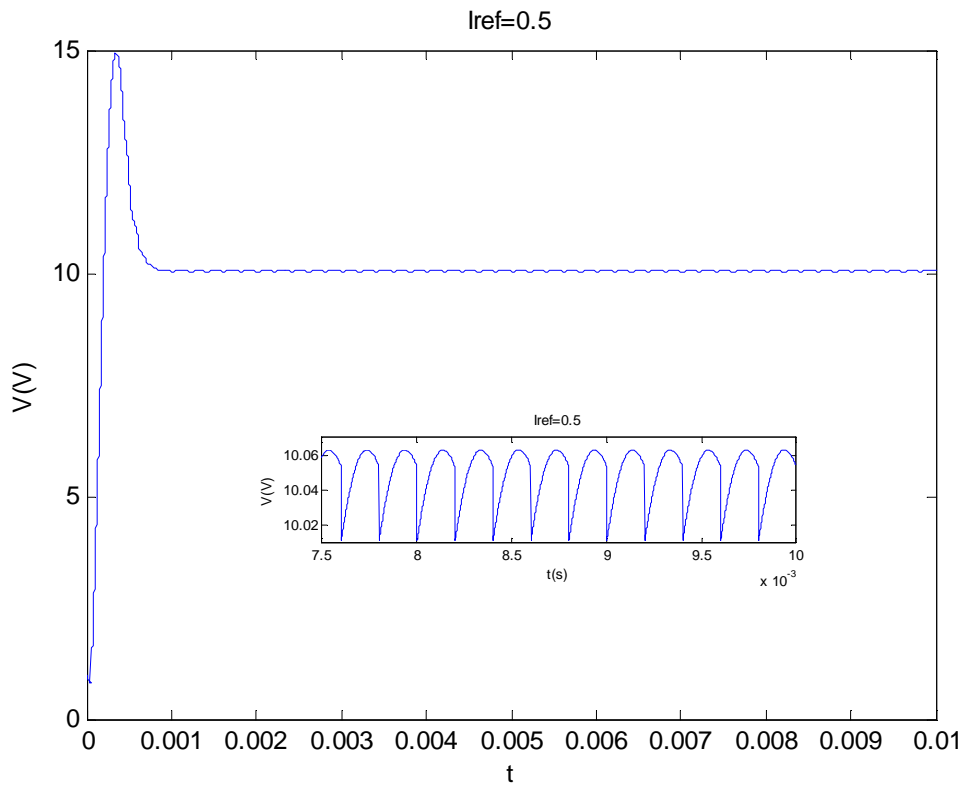


Şekil 4.20. Gerilim kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün kaotik gerilim güç spektrumu ($E=33V$)

Son olarak giriş gerilimi $E=33 V$ alındığında, devrede osilasyonlar, düzensiz periyodik olmayan çıkışlar görülmektedir (Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19). Kaotik durumda olduğundan dolayı güç spektrumun gürültü gibi belli bir frekans aralığına dağıldığı görülmektedir (Şekil 4.20).

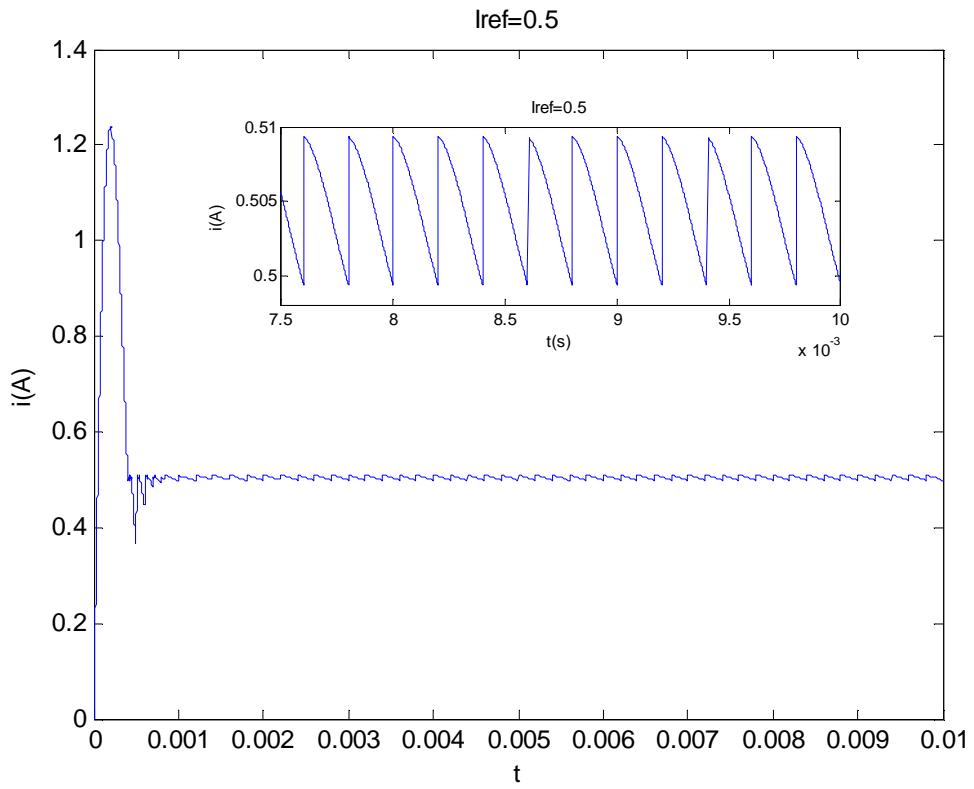
4.2. Akım Kontrollü Yükseltici Dönüştürücülerde Kaotik Analiz

Bu bölümde, akım kontrollü yükseltici dönüştürücülerin referans akımının değişmesiyle normal çalışma durumundan kaotik duruma geçişi incelenmiştir. $I_{ref}=0.5$ A olduğunda dönüştürücü normal çalışma yani periyot 1 durumundadır. Bu durumda devrenin kondansatör gerilimi, bobin akımı dalga şekilleri ve faz uzayı gösterilmiştir (Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23).

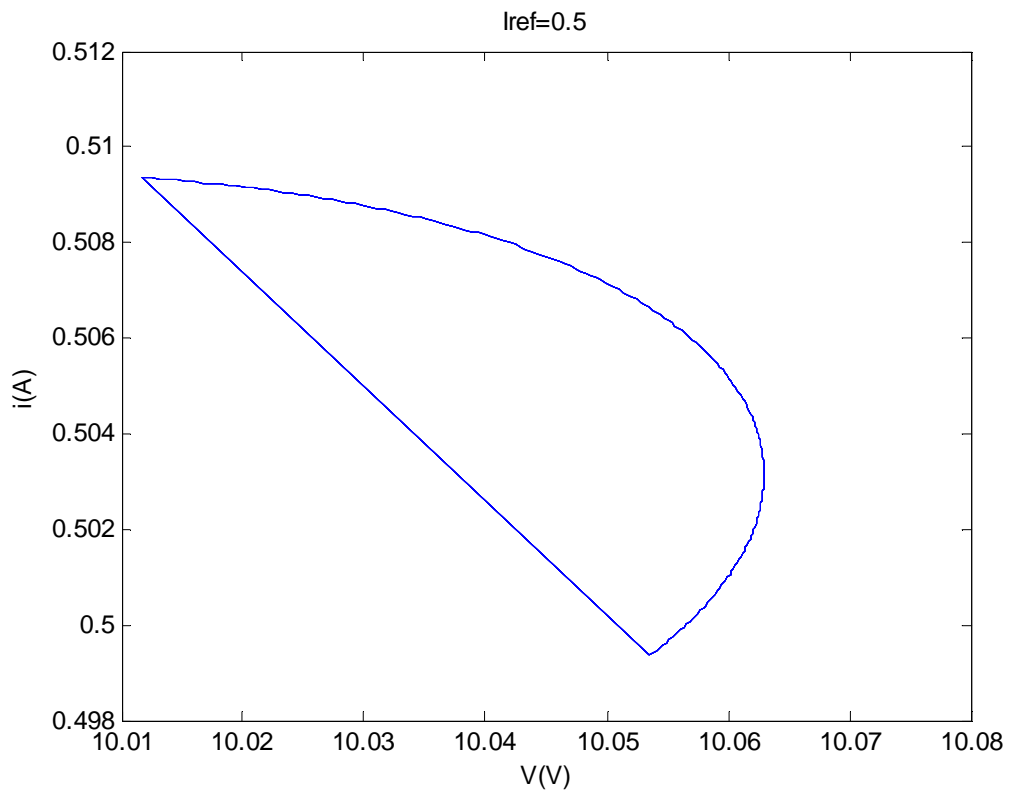


Şekil 4.21. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli $I_{ref}=0.5$ A

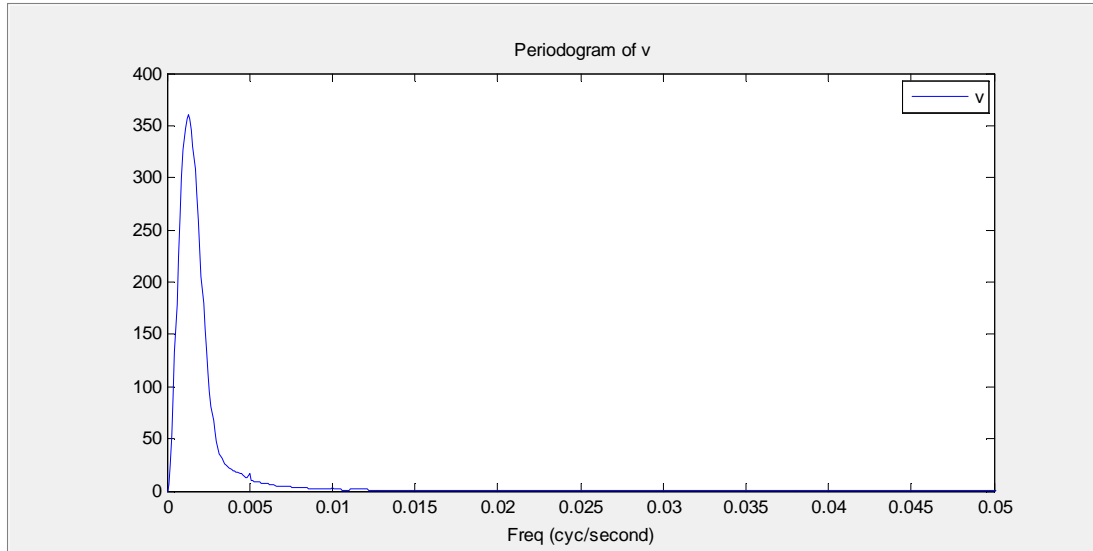
$I_{ref}=0.5$ A olduğunda devrede kondansatör gerilimi ve bobin akımı periyodiktir. Kondansatör geriliminin güç spektrumunu Şekil 4.24' de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=0.5A$)

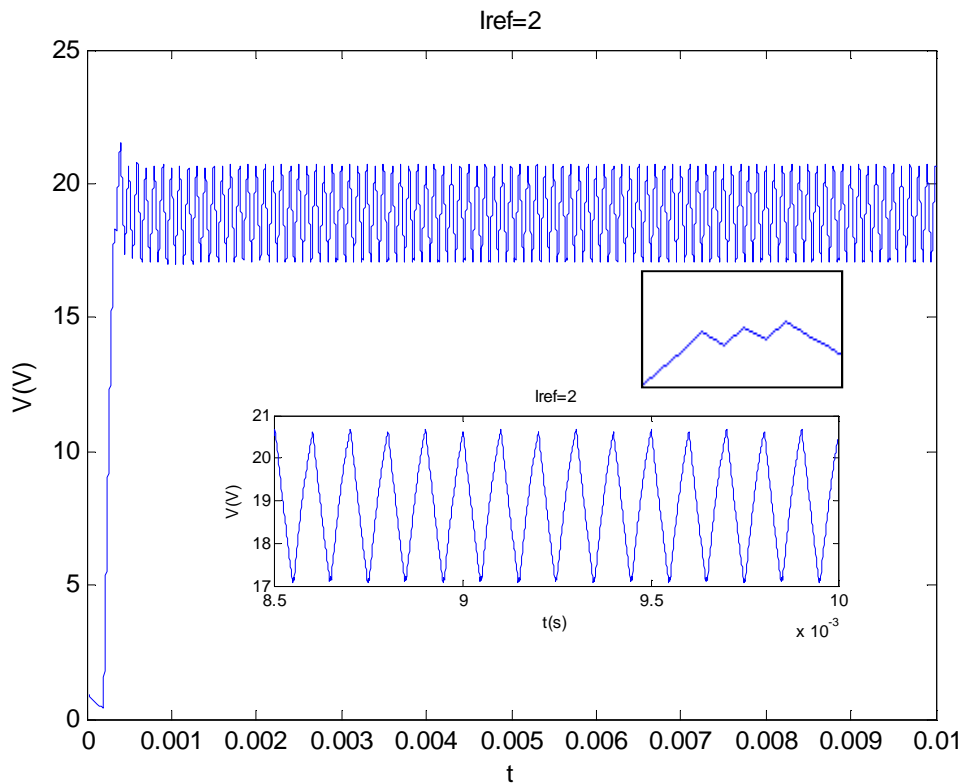


Şekil 4.23. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=0.5A$)

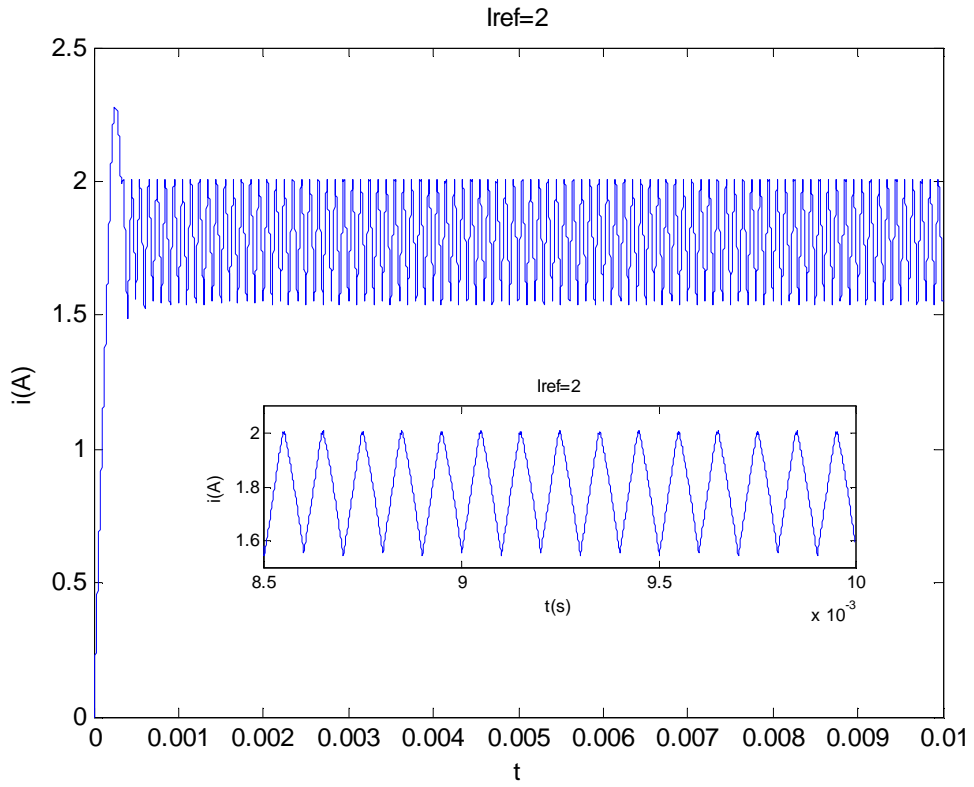


Şekil 4.24. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=0.5A$)

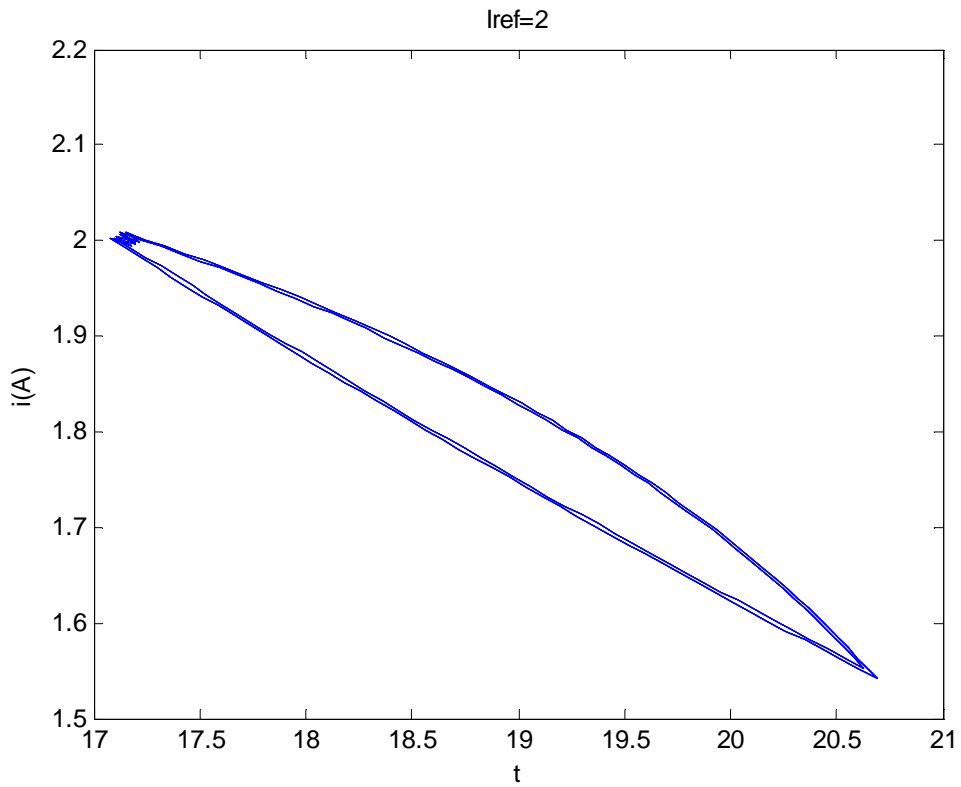
Referans akımı 2 A olduğunda devre değerlerinin çatallanarak periyot 2 durumuna geçmiştir (Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28).



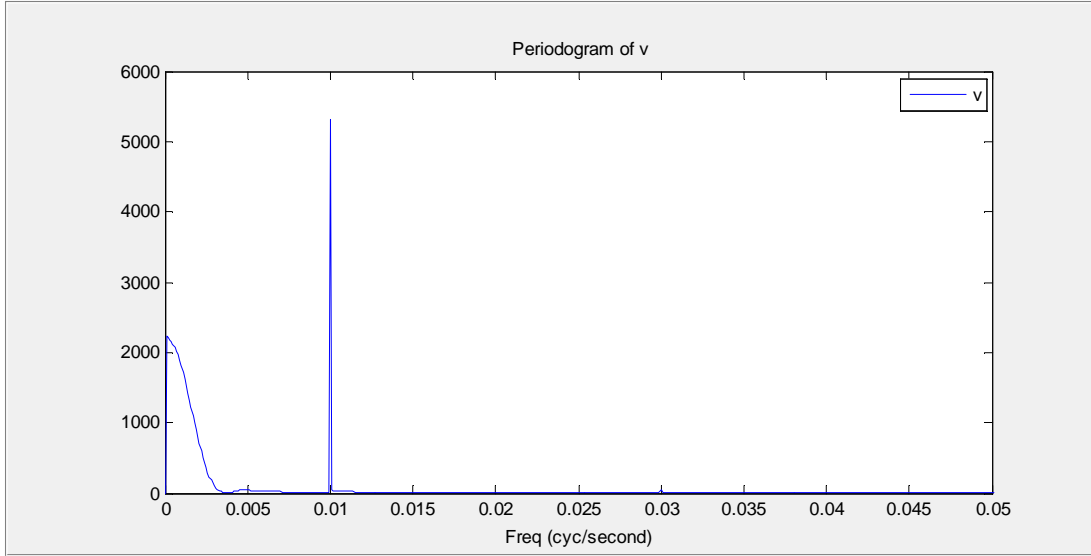
Şekil 4.25. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=2A$)



Şekil 4.26. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=2A$)

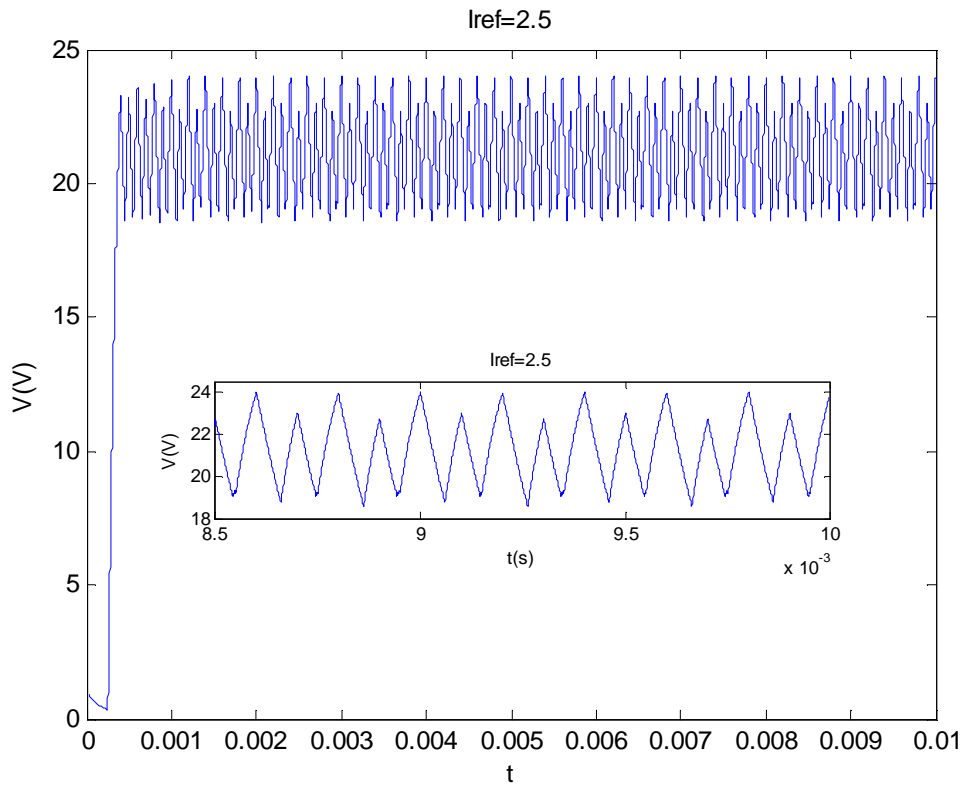


Şekil 4.27. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=2A$)

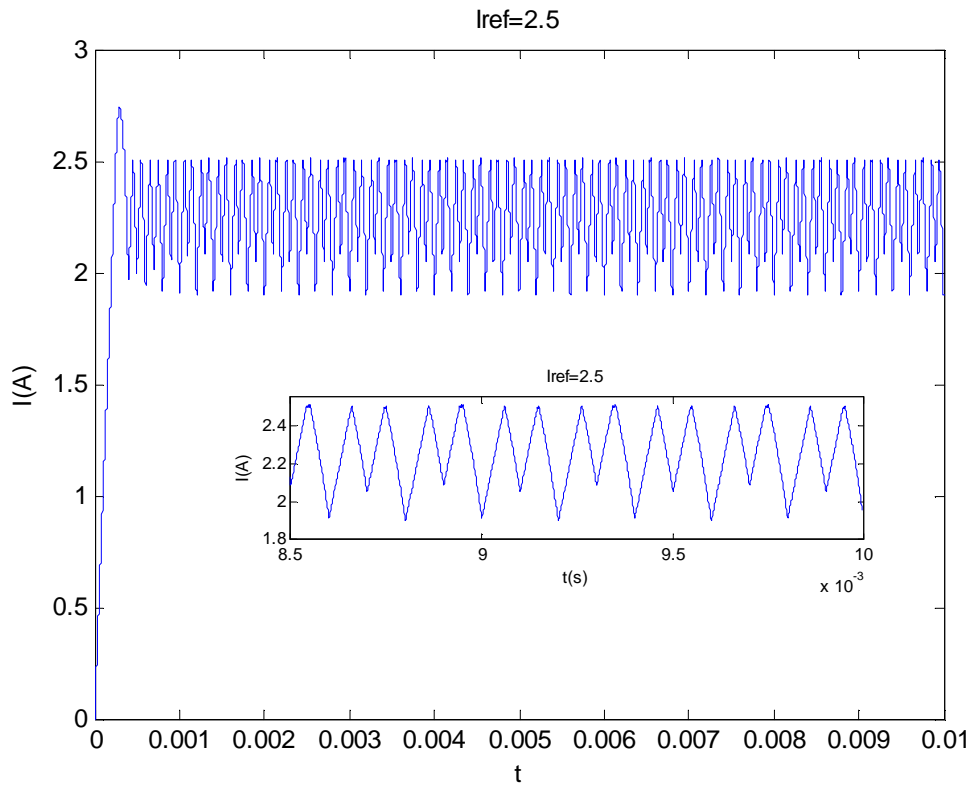


Şekil 4.28. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=2A$)

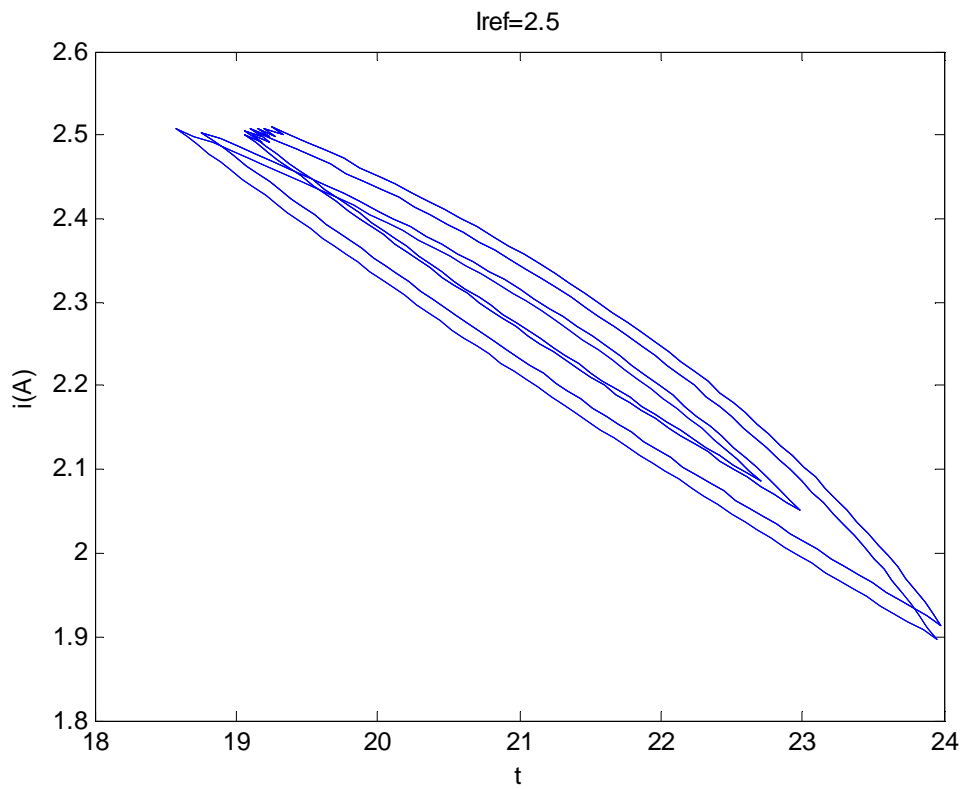
Referans akımı 2,5 A olduğunda devre değerlerinin çatallanarak periyot 4 durumuna geçmiştir (Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32).



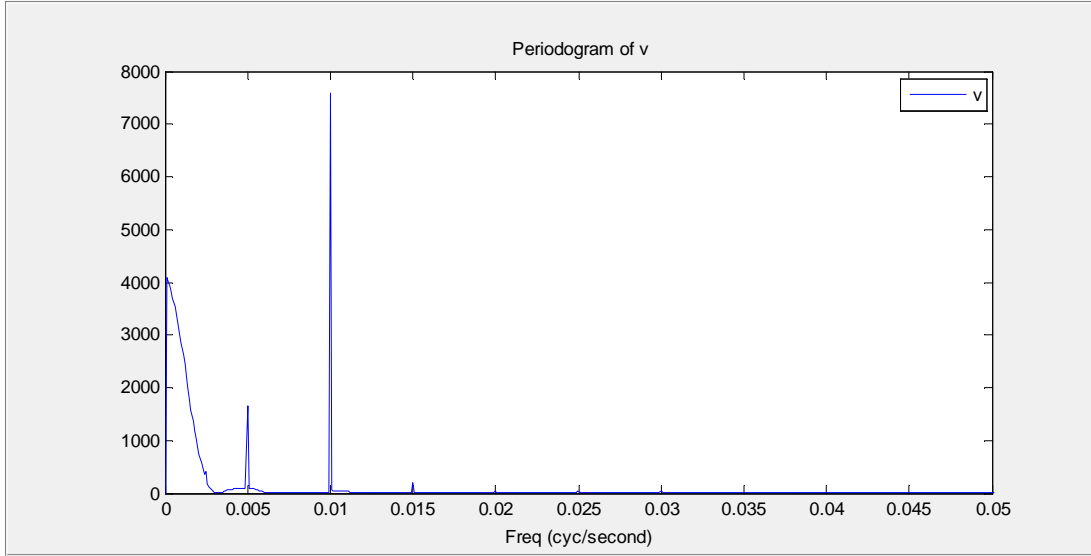
Şekil 4.29. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=2,5A$)



Şekil 4.30. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=2,5A$)

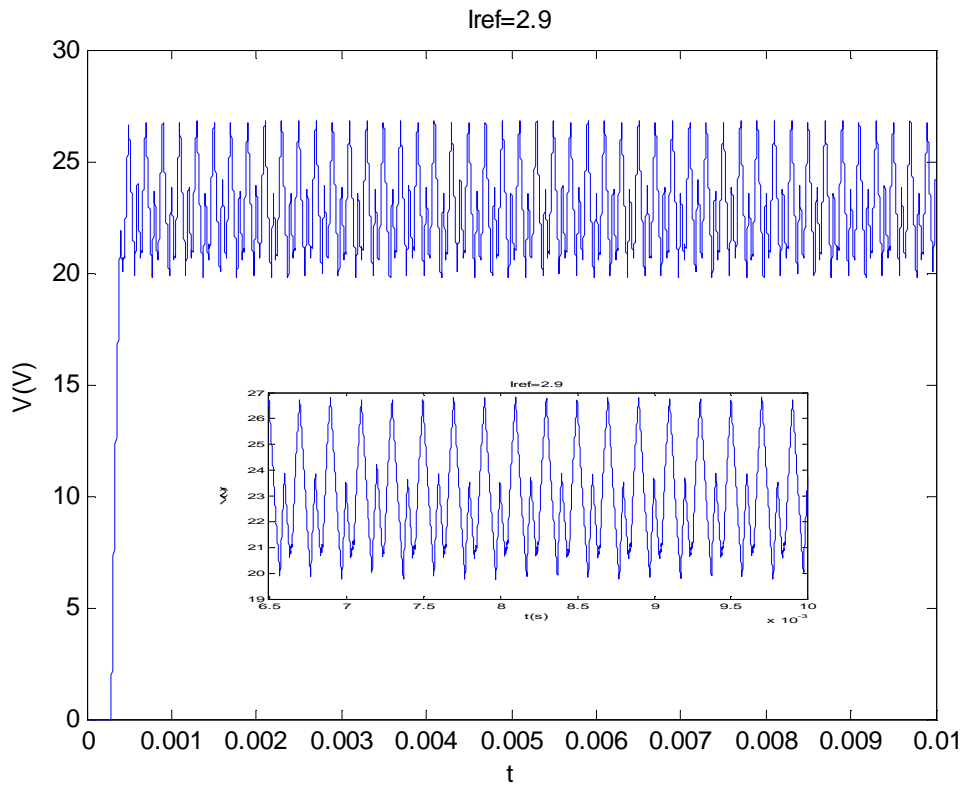


Şekil 4.31. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=2,5A$)

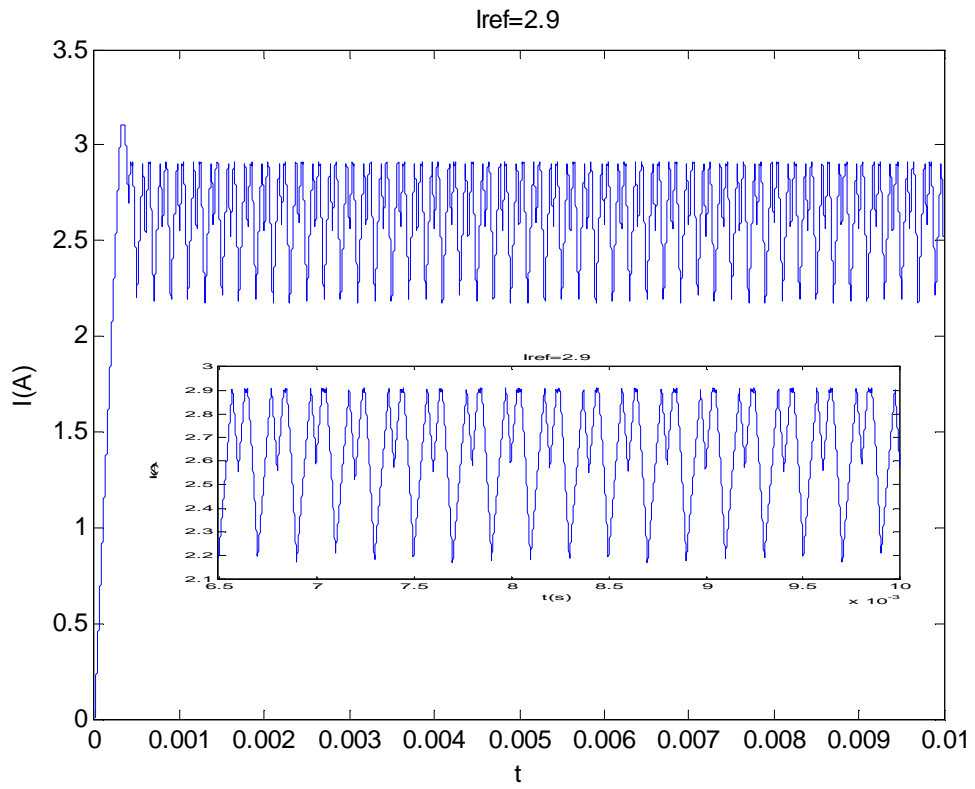


Şekil 4.32. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=2,5A$)

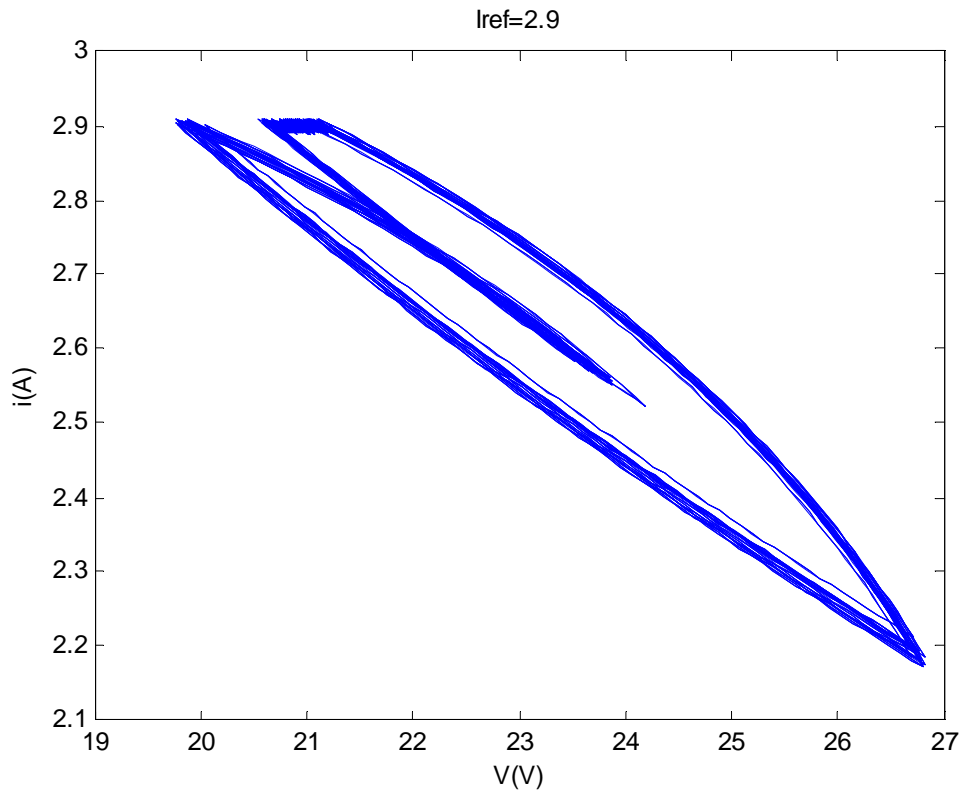
Referans akımı 2.9 A olduğunda devre değerlerinin çatallanarak kaotik duruma geçmiştir (Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36).



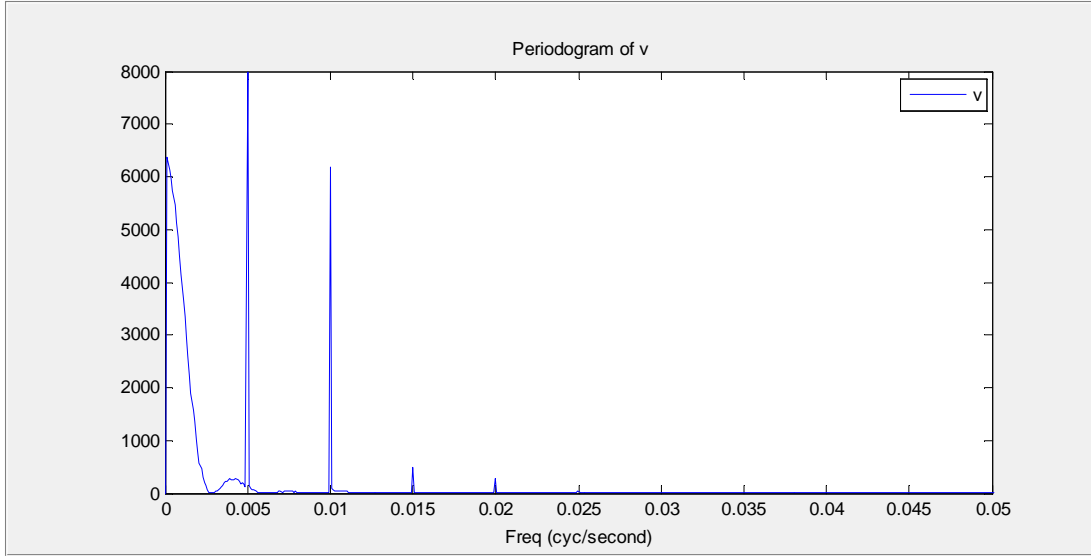
Şekil 4.33. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=2,9A$)



Şekil 4.34. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=2,9A$)



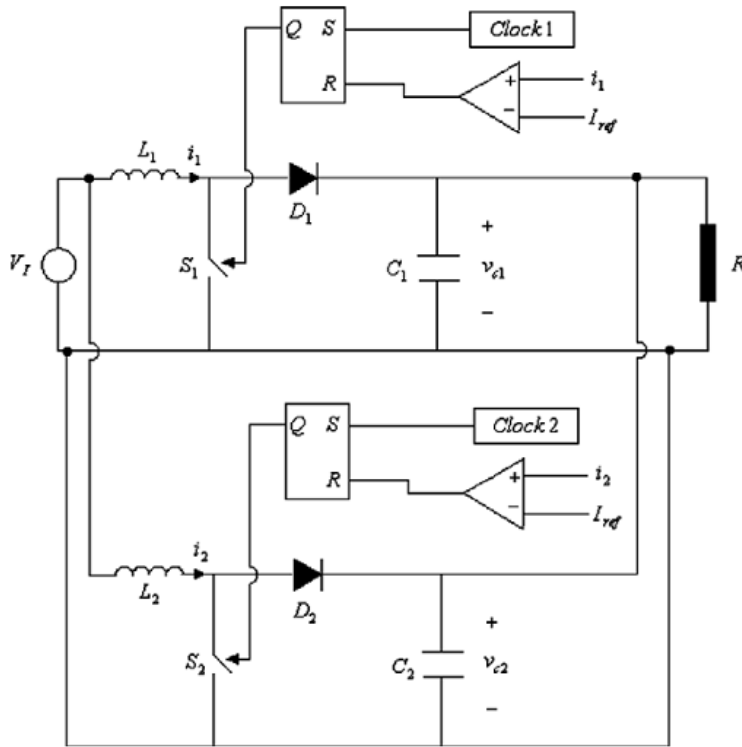
Şekil 4.35. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı ($I_{ref}=2,9A$)



Şekil 4.36. Akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim güç spektrumu ($I_{ref}=2,9A$)

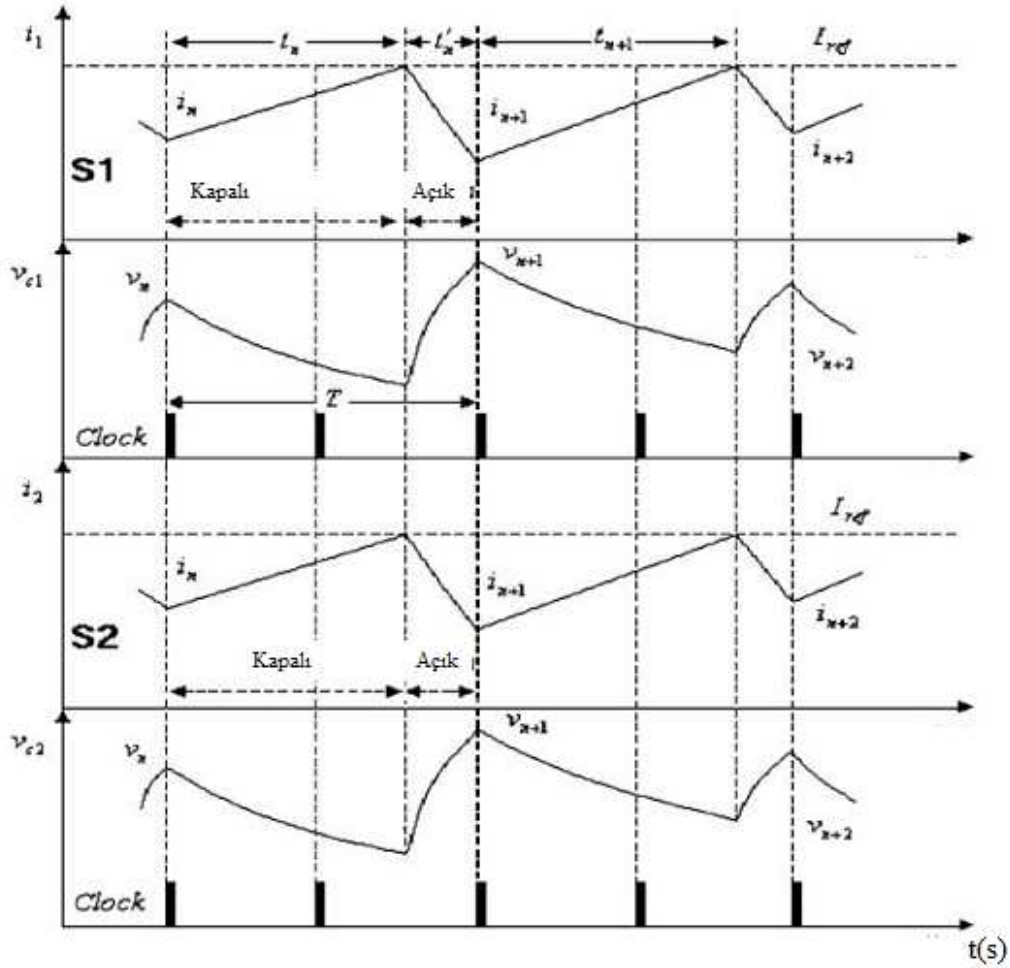
4.3. Paralel Bağlı Yükseltici DA-DA Dönüştürücüde Kaotik Analiz

Girişi ve çıkışı paralel bağlı iki yükseltici DA-DA (Boost) dönüştürücü Şekil 4.37’ de gösterilmiştir. Her bir yükseltici dönüştürücünün çalışma şekli bölüm 3’ te anlatılan bir yükseltici dönüştürücü gibidir.

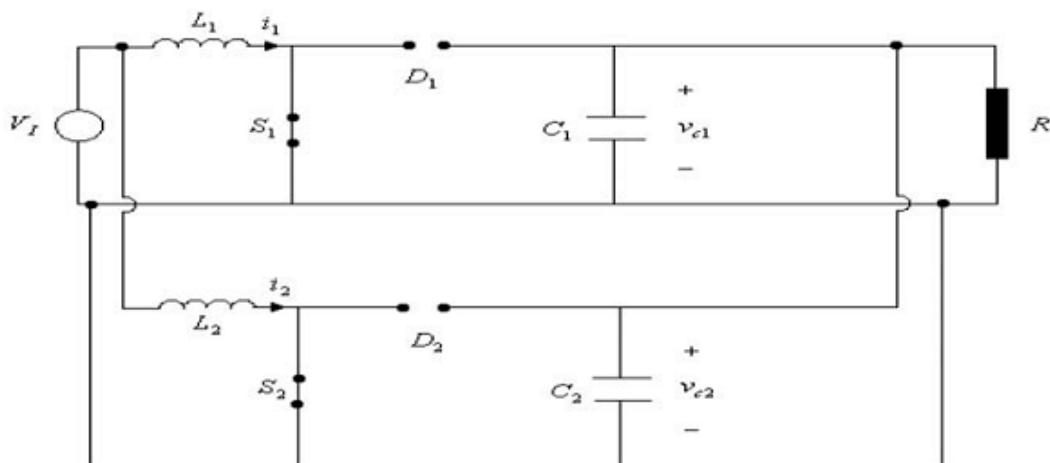


Şekil 4.37. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün devre şeması

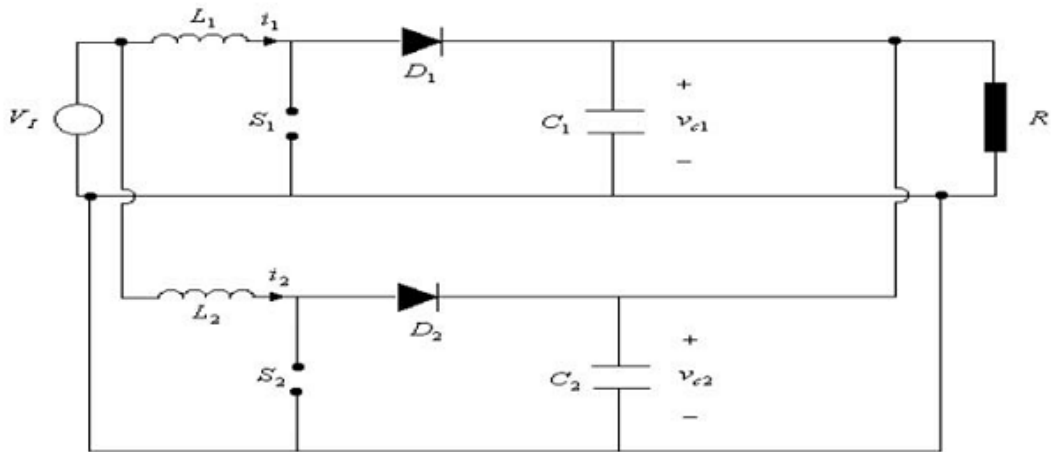
Şekil 4.38' de paralel bağlı yükseltici dönüştürücünün genel akım ve gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün genel akım ve gerilim dalga şekilleri



Şekil 4.39. Anahtar iletimde iken paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün devre şeması

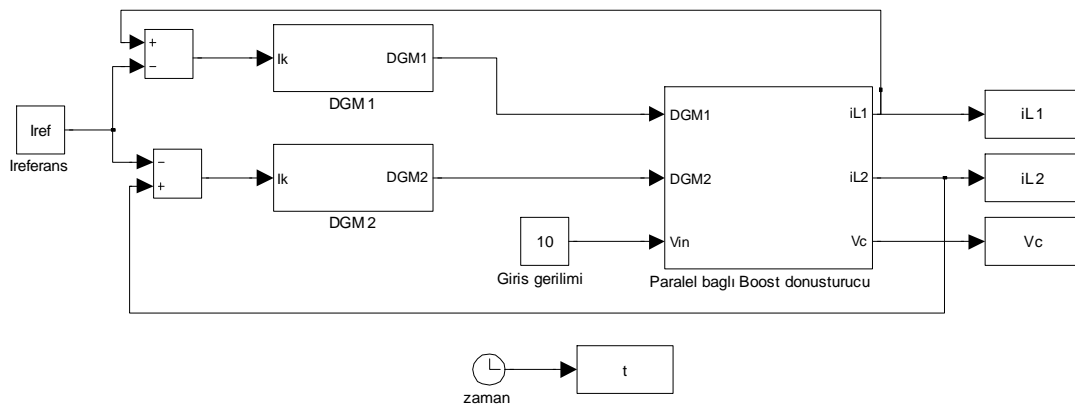


Şekil 4.40. Anahtar kesimde iken paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün devre şeması

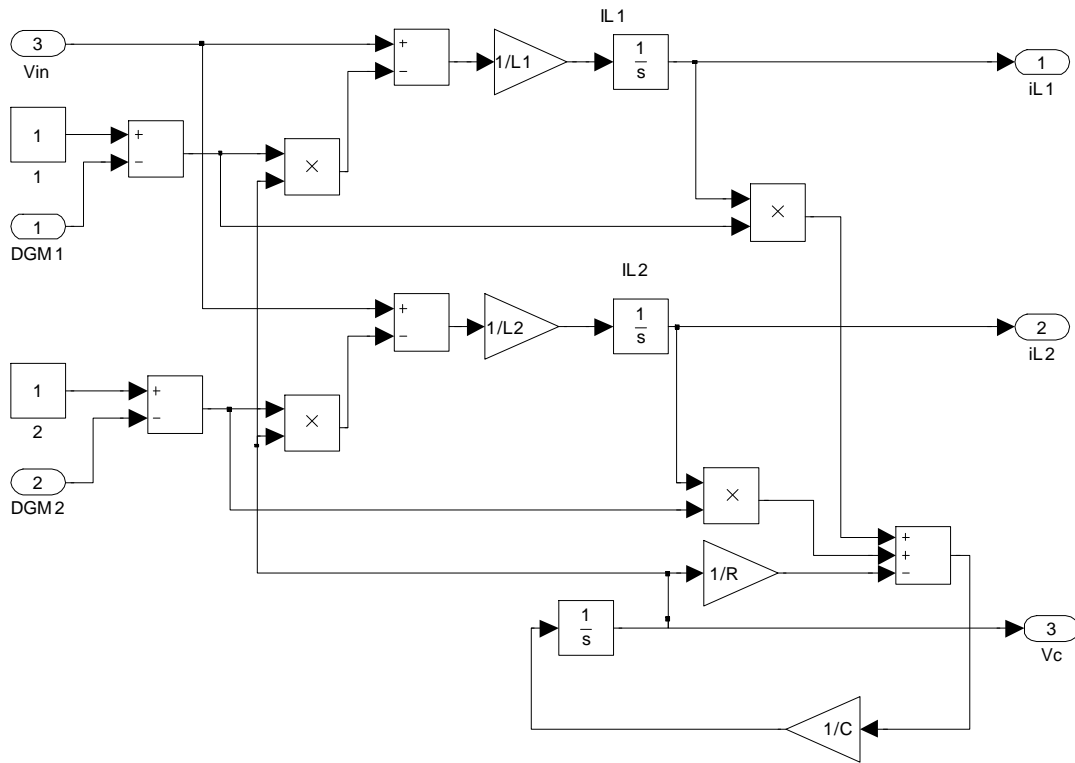
Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da anahtar iletimde ve kesimde iken devre şemaları verilmiştir. Buna göre, paralel bağlı yükseltici dönüştürücünün durum denklemleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} \frac{di_{L1}}{dt} &= \frac{1}{L_1} [v_{in} - v_C (1 - u_{S1})] \\ \frac{di_{L2}}{dt} &= \frac{1}{L_2} [v_{in} - v_C (1 - u_{S2})] \\ \frac{dv_C}{dt} &= \frac{1}{C} \left[\frac{-v_C}{R} + i_{L1} (1 - u_{S1}) + i_{L2} (1 - u_{S2}) \right] \end{aligned} \quad (4.1)$$

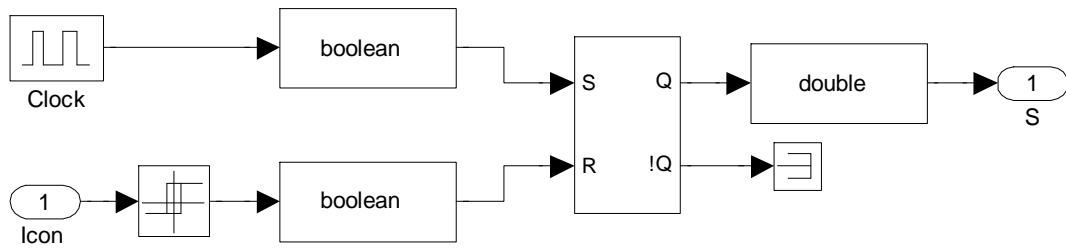
Burada u_{S1} ve u_{S2} anahtarın iletim veya kesim durumuna göre sırasıyla ‘0’ veya ‘1’ konumunu alır [49]. Devrenin Simulink modeli Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ‘te verilmiştir.



Şekil 4.41. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün Matlab-Simulink modeli



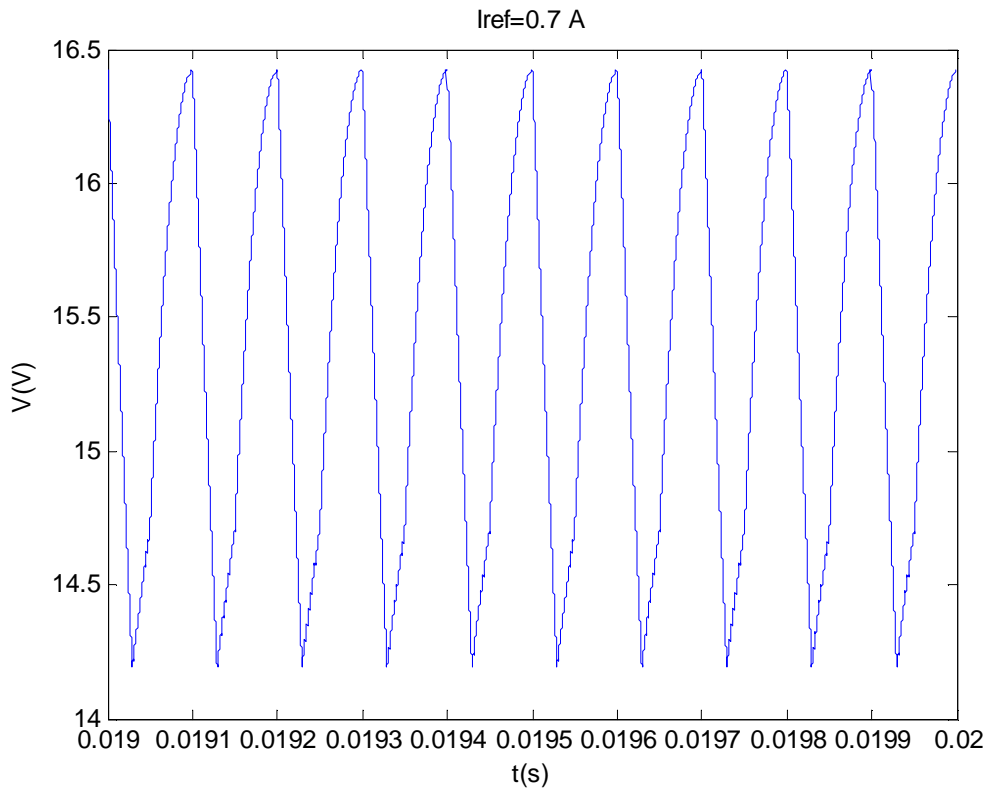
Şekil 4.42. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün durum uzayı Matlab-Simulink modeli



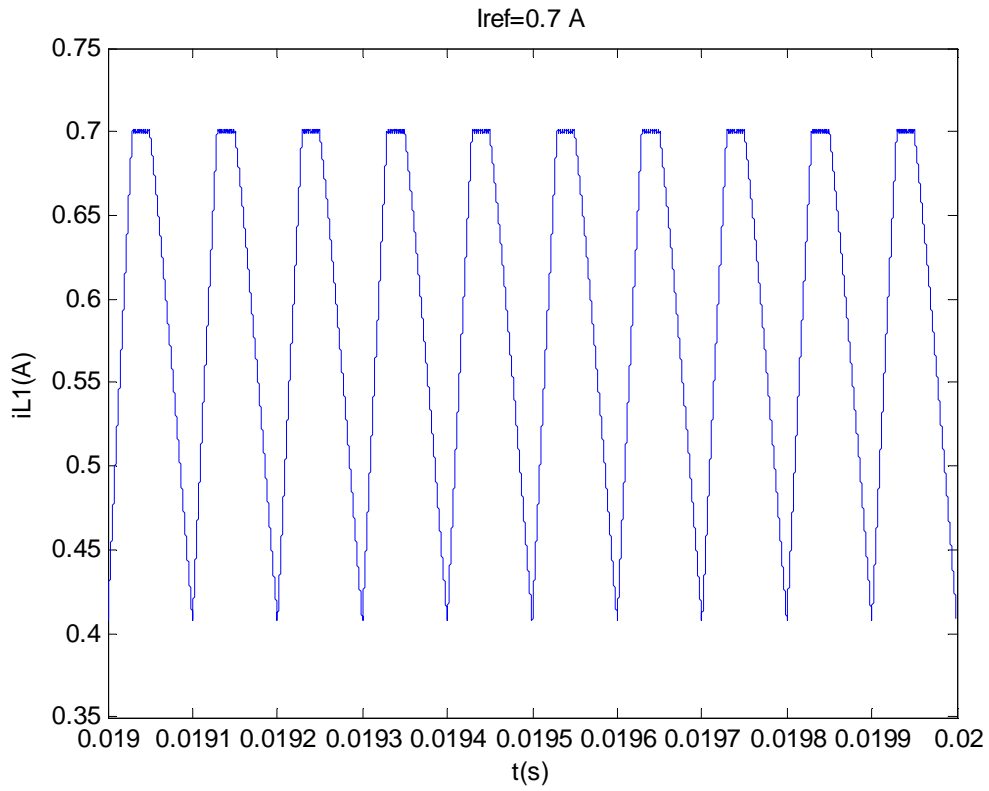
Şekil 4.43. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün DGM üretici Matlab-Simulink modeli

Tablo 4.1. Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün devre parametreleri

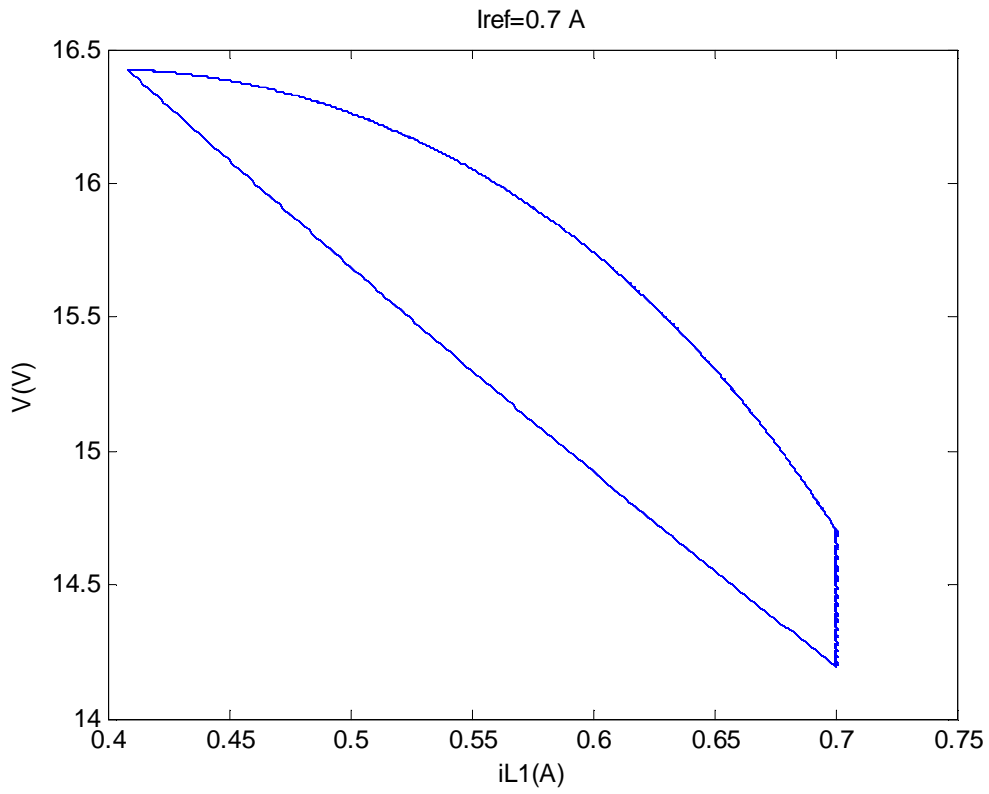
T (Anahtarlama Periyodu)	100 μ s
V_{in} (Giriş Gerilimi)	10 V
L_1 (Bobin 1)	1 mH
L_2 (Bobin 2)	0.9 mH – 1 mH – 1.1 mH
C (Kondansatör)	10 μ F
R (Yük Direnci)	20 Ω



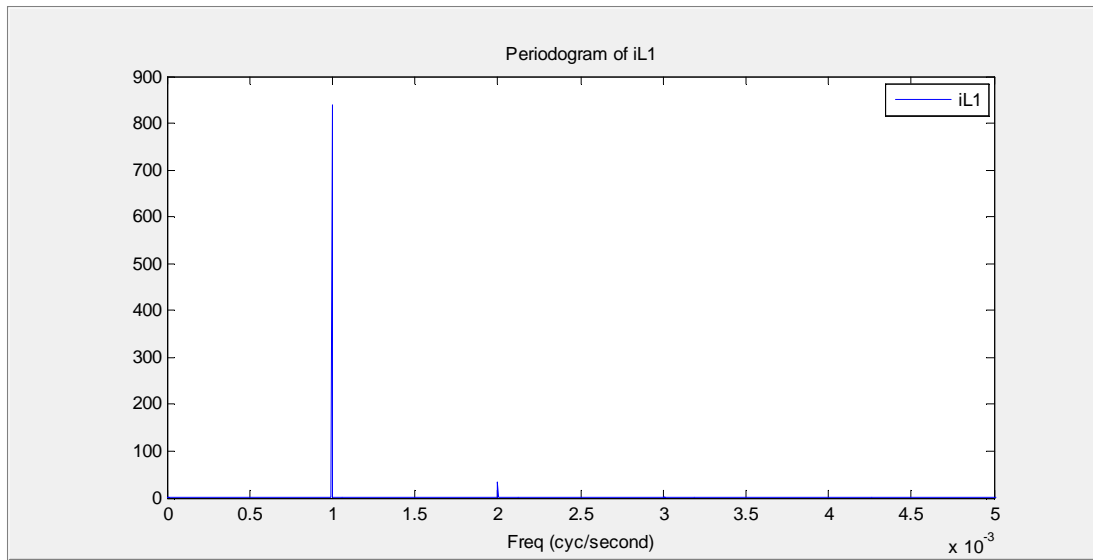
Şekil 4.44. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli ($I_{ref}=0.7A$)



Şekil 4.45. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli ($I_{ref}=0.7A$)

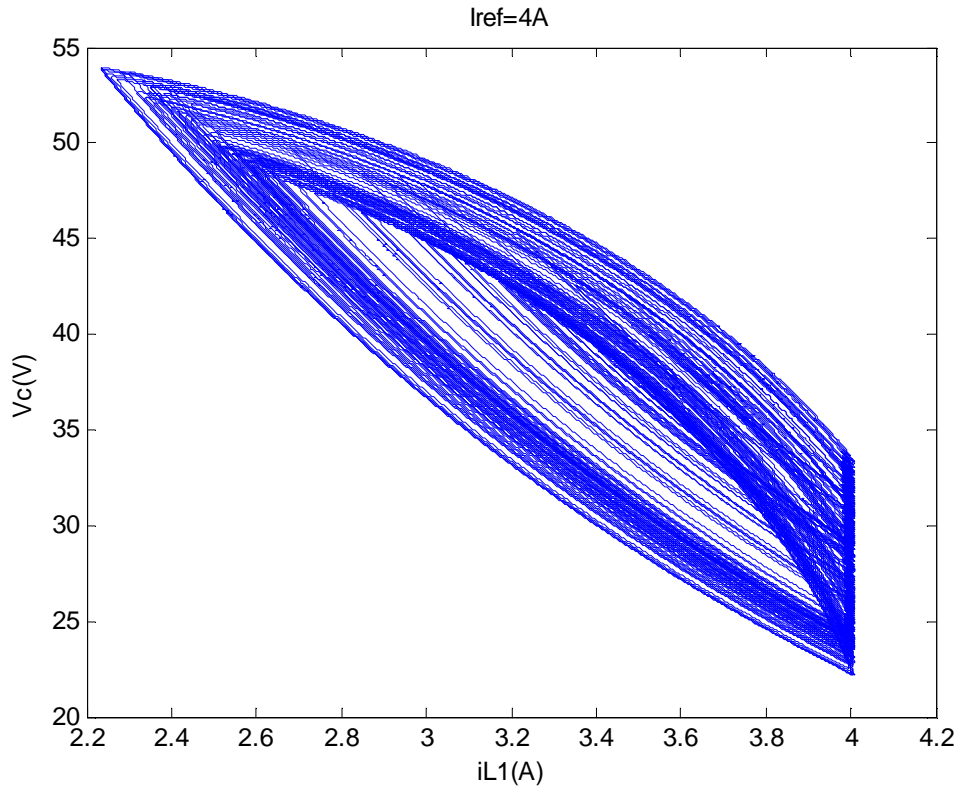


Şekil 4.46. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün (normal çalışma altında) faz uzayı ($I_{ref}=0.7A$)

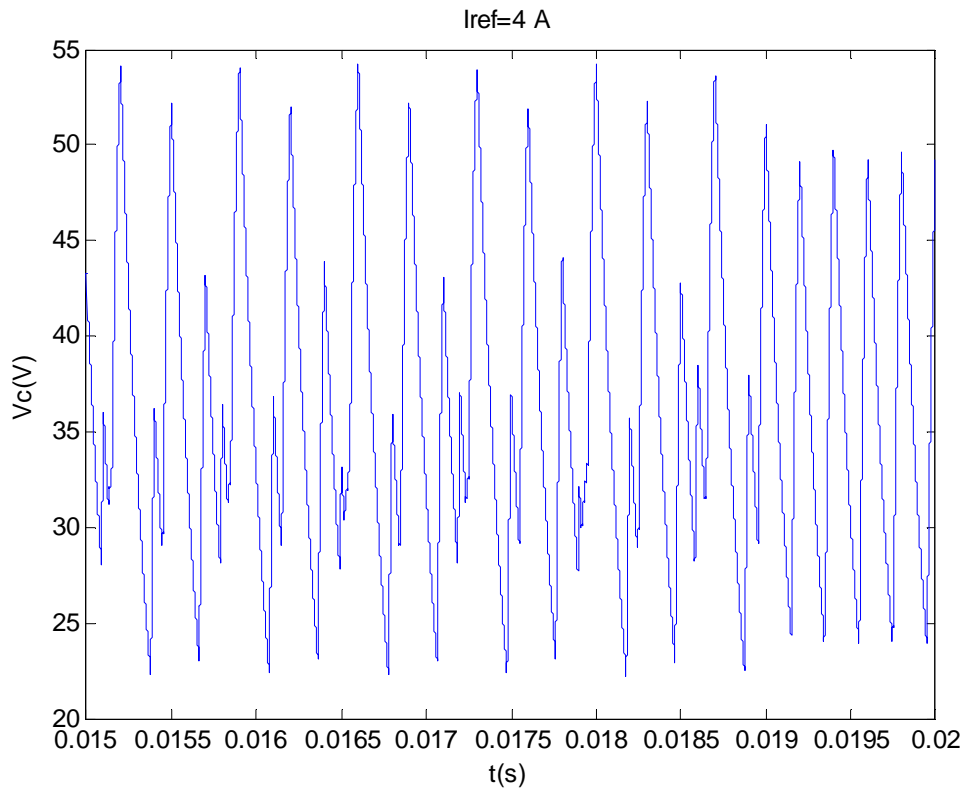


Şekil 4.47. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün akım güç spektrumu ($I_{ref}=0.7A$)

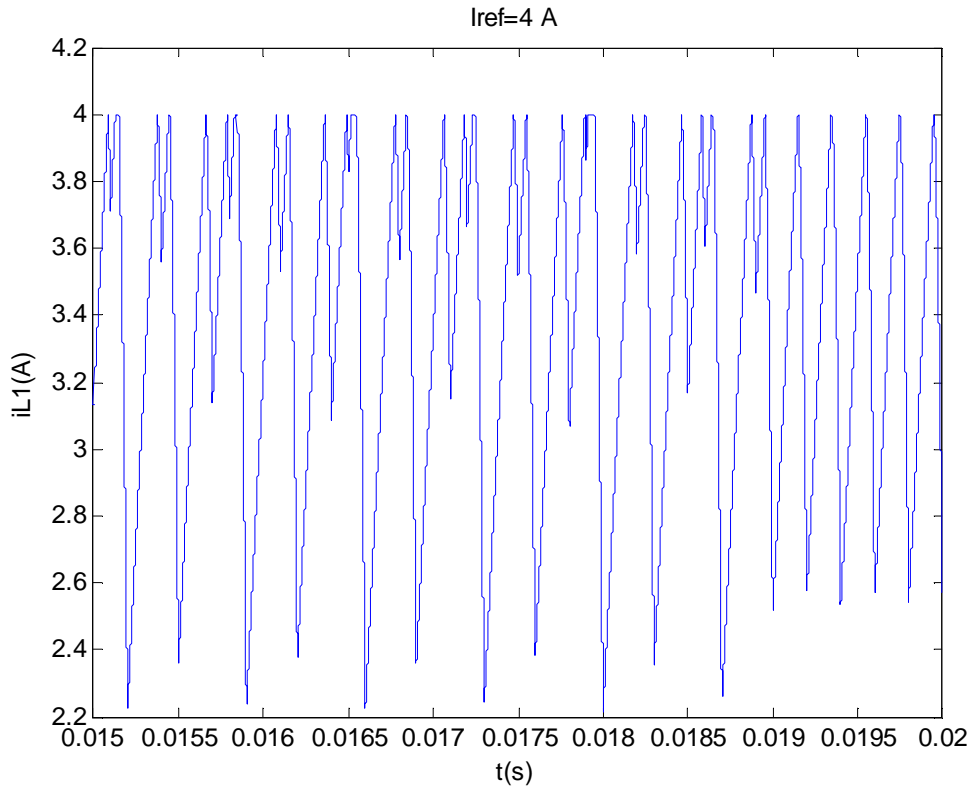
Dönüştürücünün $I_{ref}=0.7$ iken normal çalışma durumunda olduğu görülmektedir (Şekil 4.44, Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47).



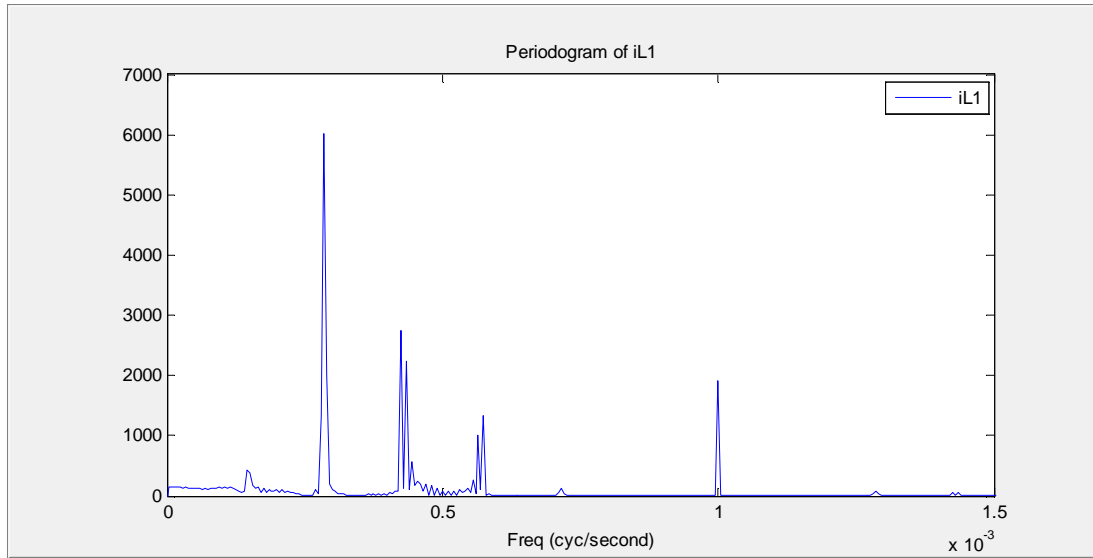
Şekil 4.48. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün kaotik faz uzayı (I_{ref}=4A)



Şekil 4.49. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün kaotik gerilim dalga şekli (I_{ref}=4A)



Şekil 4.50. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün kaotik akım dalga şekli ($I_{ref}=4A$)

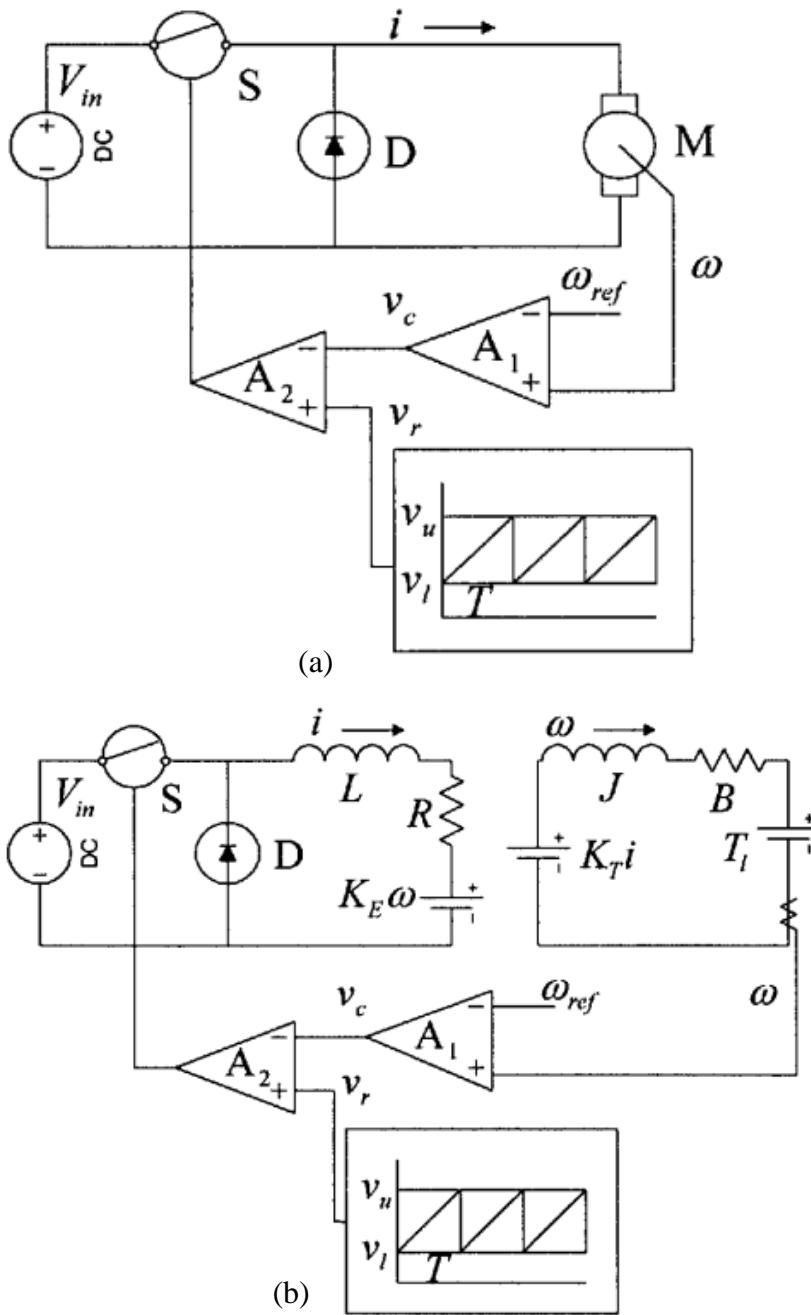


Şekil 4.51. Paralel bağlı Yükseltici dönüştürücünün akım güç spektrumu ($I_{ref}=4A$)

Dönüştürücünün $I_{ref}=4$ A olduğunda kaotik çalışma durumunda olduğu görülmektedir (Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51).

4.4. DA Sürücü Devresinde Kaotik Analiz

Bu bölümde, DA sürücü denilen DA Alçaltıcı kıyıcı beslemeli DA motor devresinde meydana gelen doğrusal olmayan olayların kaotik analizi yapılmıştır. Sistemin belli bir parametreye göre normal çalışma durumundan kaosa geçişi incelenmiştir [20, 21]. Gerilim kontrollü DA sürücü devresi Şekil 4.52.a' de gösterilmiştir. Şekil 4.52.b' de gerilim kontrollü DA sürücü devresinin eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 4.52. (a) Gerilim kontrollü DA sürücü devresi (b) Gerilim kontrollü DA sürücü eşdeğer devresi

v_c ve v_r kontrol işareti,

$$\begin{aligned} v_c(t) &= g(\omega(t) - \omega_{ref}) \\ v_r(t) &= v_l + (v_u - v_l) \text{mod}(t/T,1) \end{aligned} \quad (4.2)$$

yazılır. Burada $\omega(t)$ anlık endüvi hızı, ω_{ref} referans endüvi hızı v_u ve v_l rampa işaretinin maksimum ve minimum gerilim değerleri ve T rampa işaretinin periyodudur.

Sistem durum denklemleri karşılaştırıcı çıkışının '1' veya '0' olma durumuna göre iki durumda gösterilebilir. karşılaştırıcı çıkışı '1' olduğunda sistem durum denklemleri,

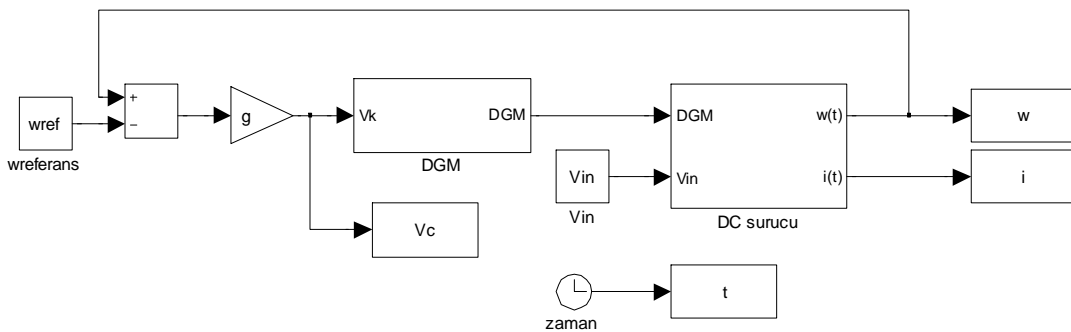
$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -B/J & K_T/J \\ -K_E/L & -R/L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -T_l/J \\ V_{in}/L \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

karşılaştırıcı çıkışı '0' olduğunda sistem durum denklemleri,

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -B/J & K_T/J \\ -K_E/L & -R/L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -T_l/J \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

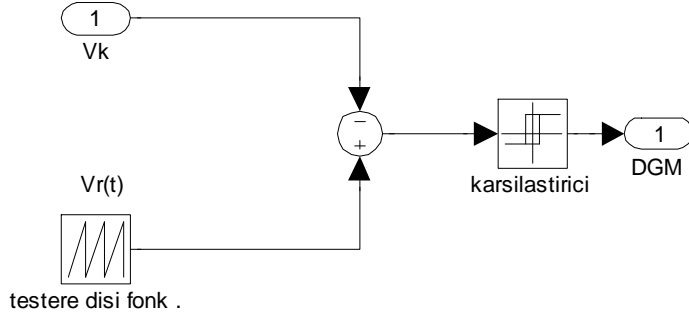
gibi olur.

Burada R endüvi direnci, L endüvi endüktansı, V_{in} DA giriş gerilimi, K_E geri EMK sabiti, K_T tork sabiti, B viskoz (sönümleme) katsayısı, J yük ataleti, T_l yük torkunu ifade etmektedir.

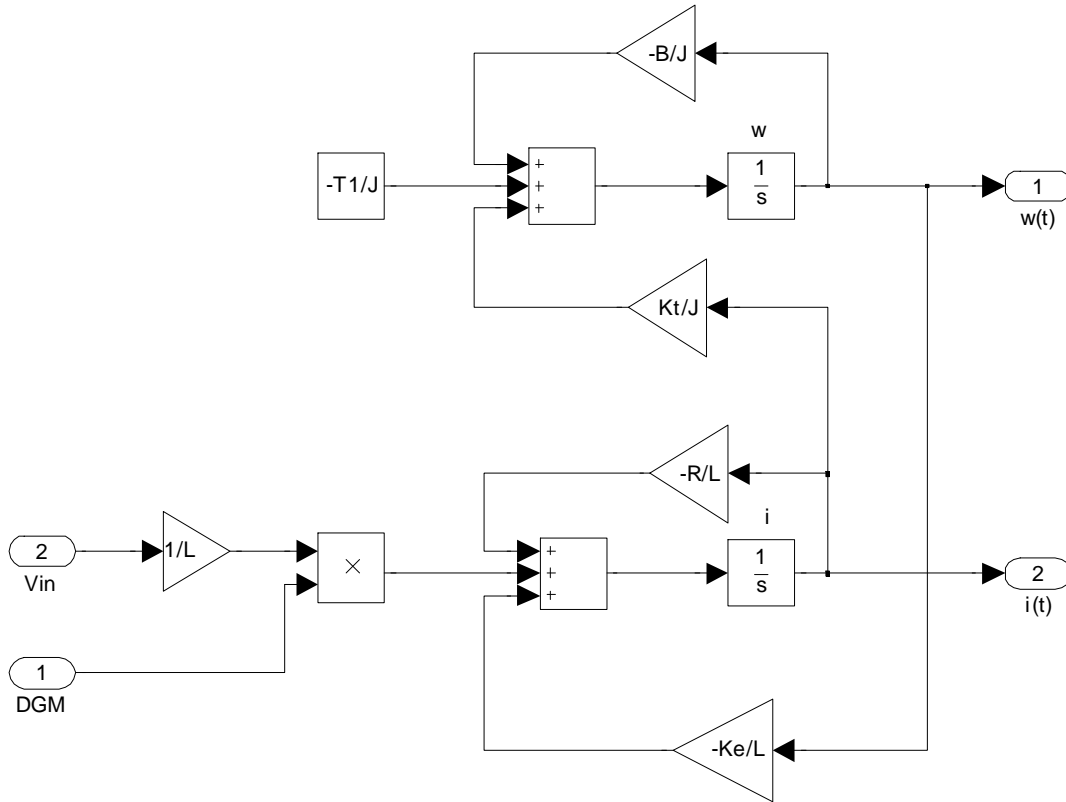


Şekil 4.53. Gerilim kontrollü DA sürücü devresinin Simulink modeli

Matlab – Simulink modeli (Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55) ve Tablo 4.2'deki parametreler kullanılarak $g=0.25$ olduğunda devrenin normal çalışma durumunda olduğu görülmektedir. (Şekil 4.56, Şekil 4.57, Şekil 4.58).



Şekil 4.54. Gerilim kontrollü DA sürücü devresinin DGM üretici Simulink modeli

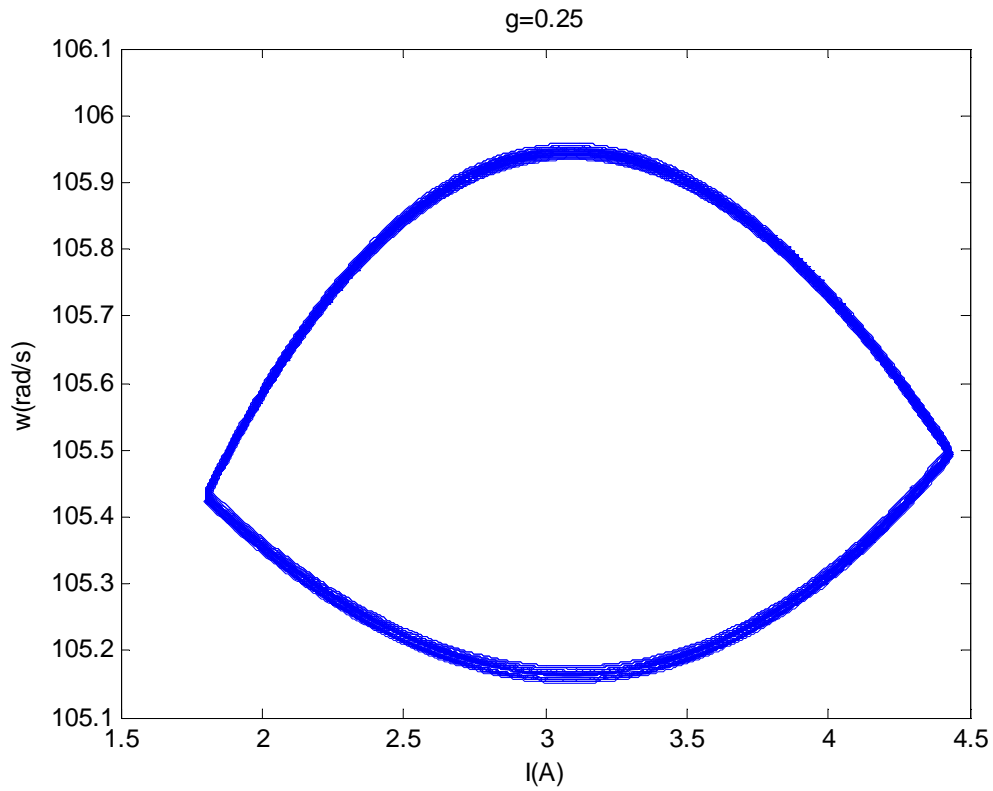


Şekil 4.55. Gerilim kontrollü DA sürücü durum denklemleri Simulink modeli

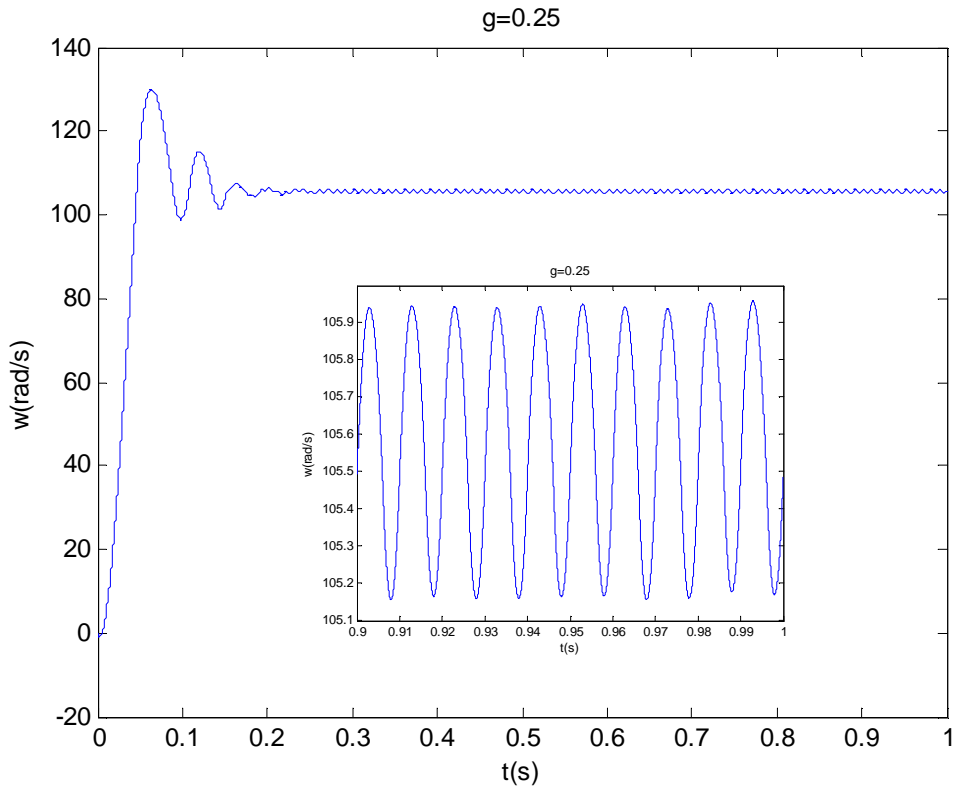
Tablo 4.2. Gerilim kontrollü DA sürücü devre parametreleri

Devre parametreleri	R (Ω)	L (mH)	V _{in} (V)	K _E
	2,8	53.7	60	0,1356
	K _T	B	J	T ₁
	0,1324	0,000275	0,000557	0,38

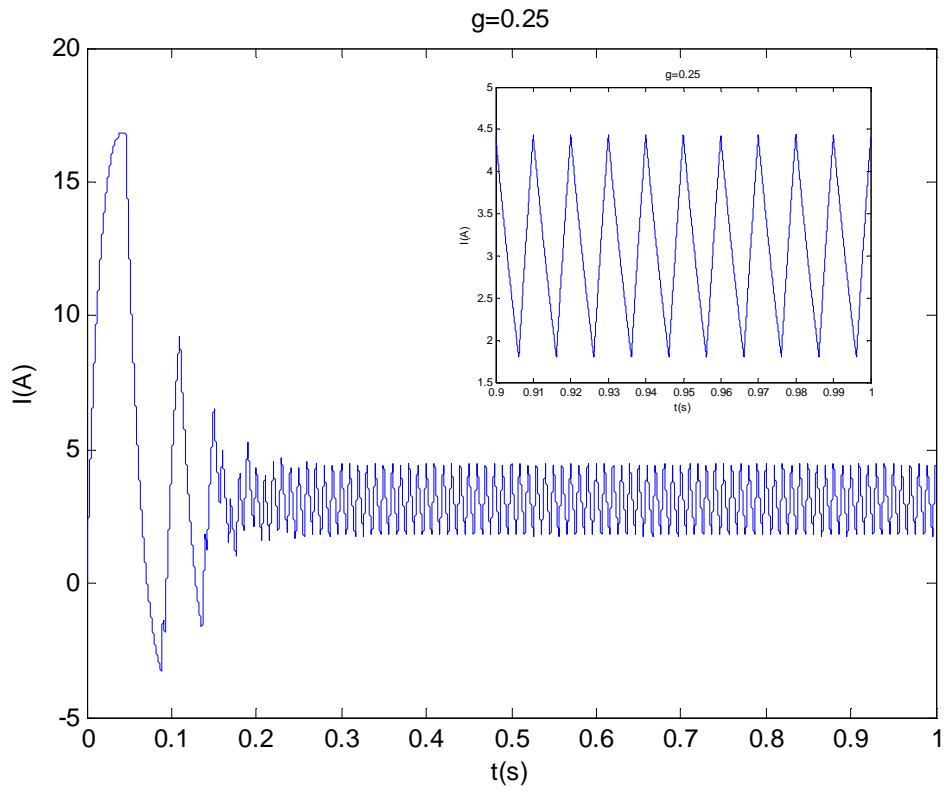
Kontrol parametreleri	V _u (V)	V _L (V)	T (ms)	ω_{ref} (rad/s)	g
	2,2	0	10	100	0,25-0,9



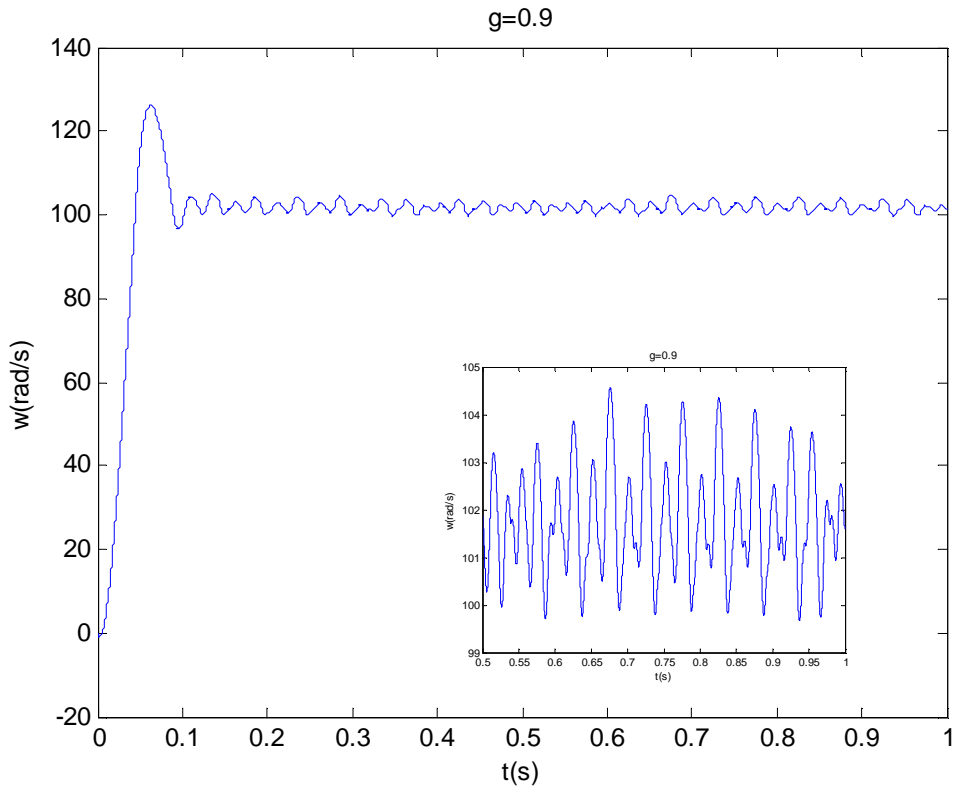
Şekil 4.56. Gerilim kontrollü DA sürücü faz uzayı (g=0,25)



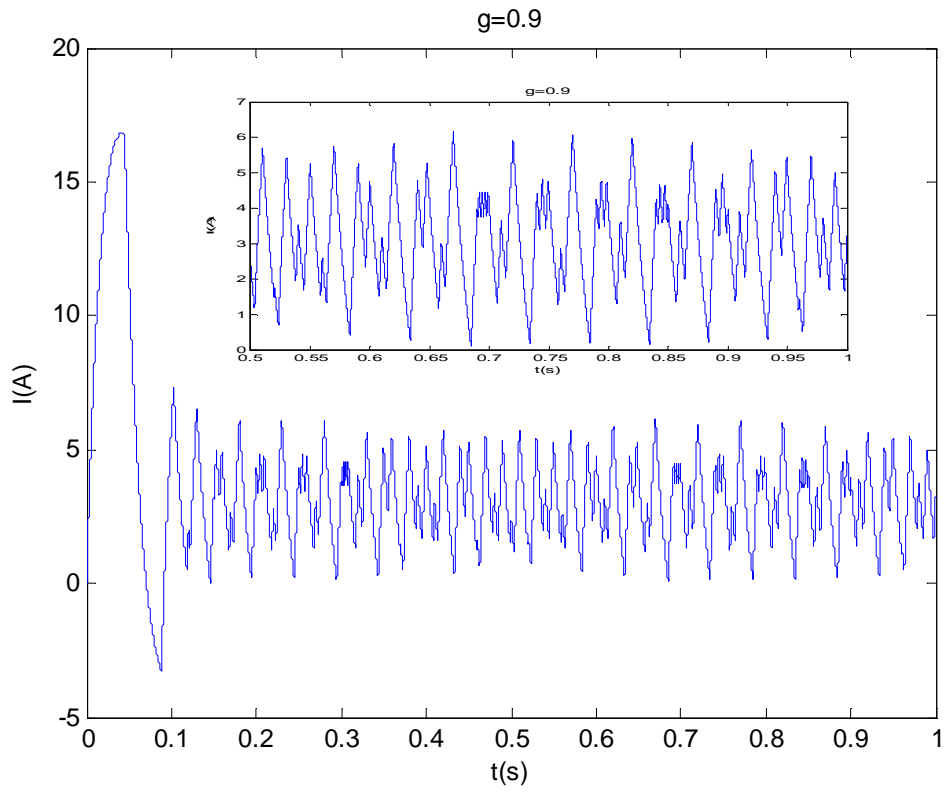
Şekil 4.57. Gerilim kontrollü DA sürücü rotor hızı dalga şekli ($g=0,25$)



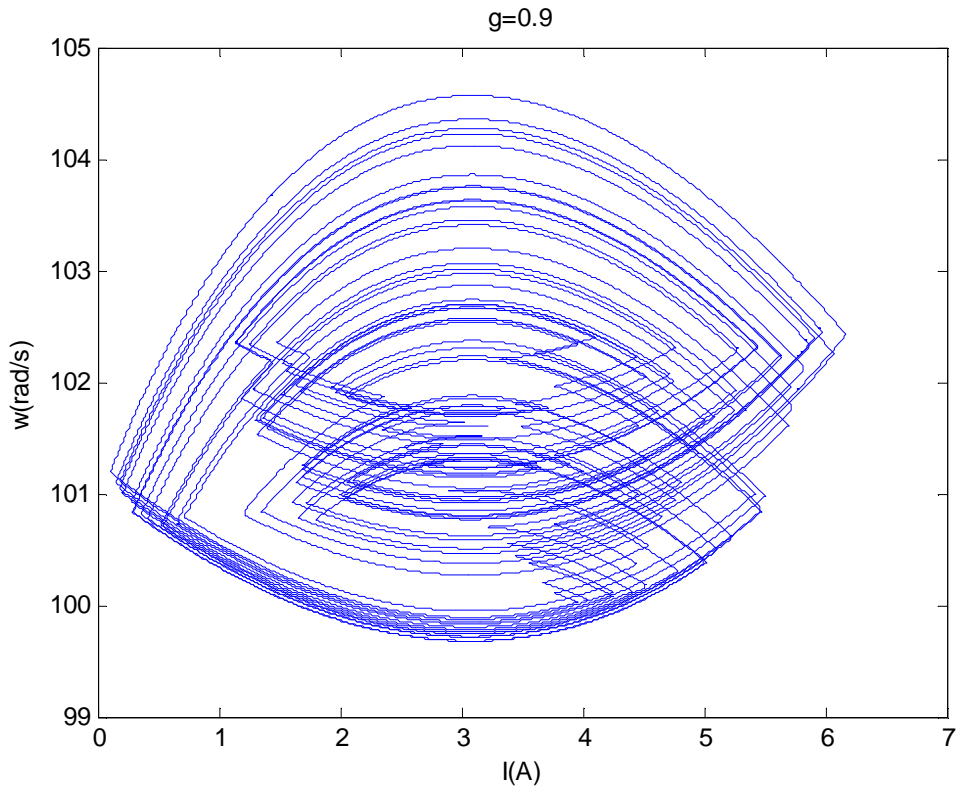
Şekil 4.58. Gerilim kontrollü DA sürücü akım dalga şekli ($g=0,25$)



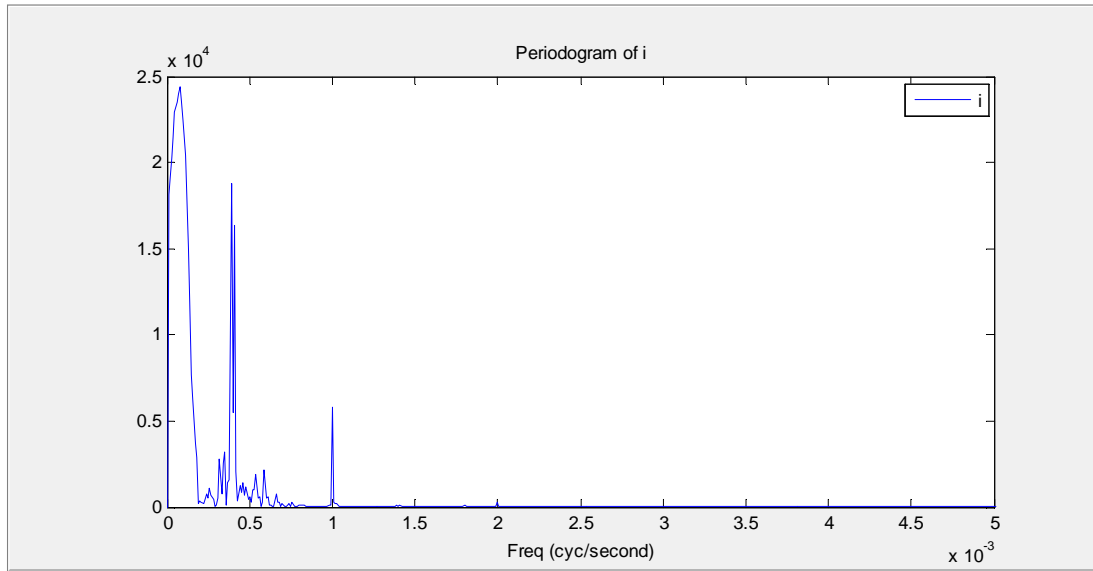
Şekil 4.59. Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik rotor hızı dalga şekli ($g=0,9$)



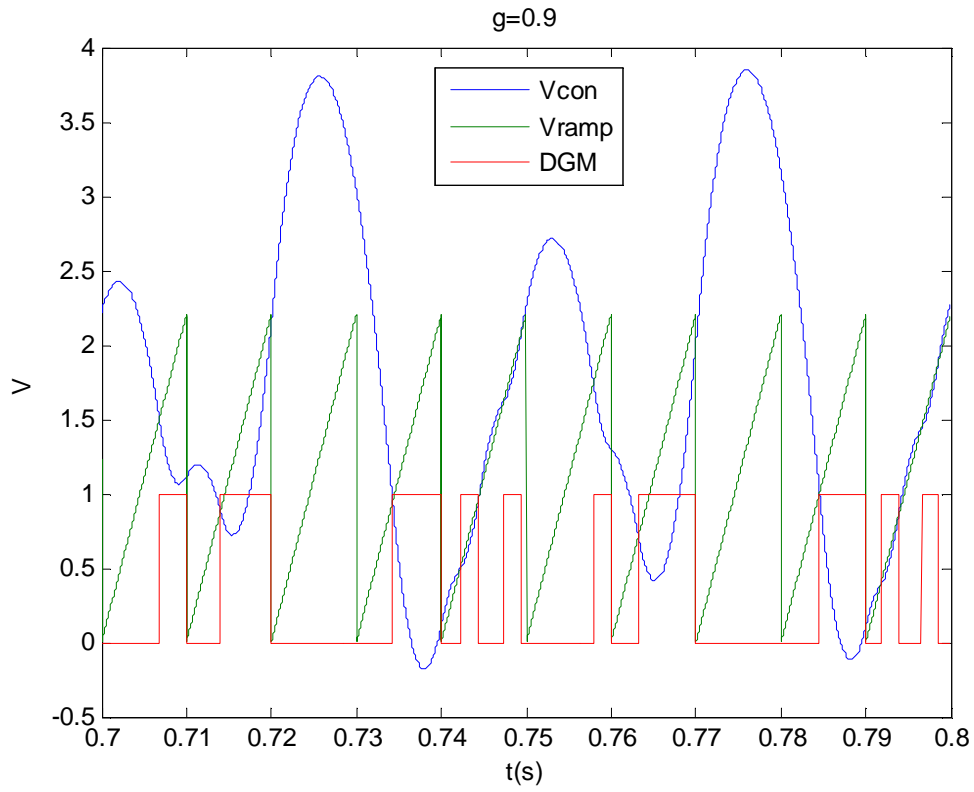
Şekil 4.60. Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik akım dalga şekli ($g=0,9$)



Şekil 4.61. Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik faz uzayı (g=0,9)

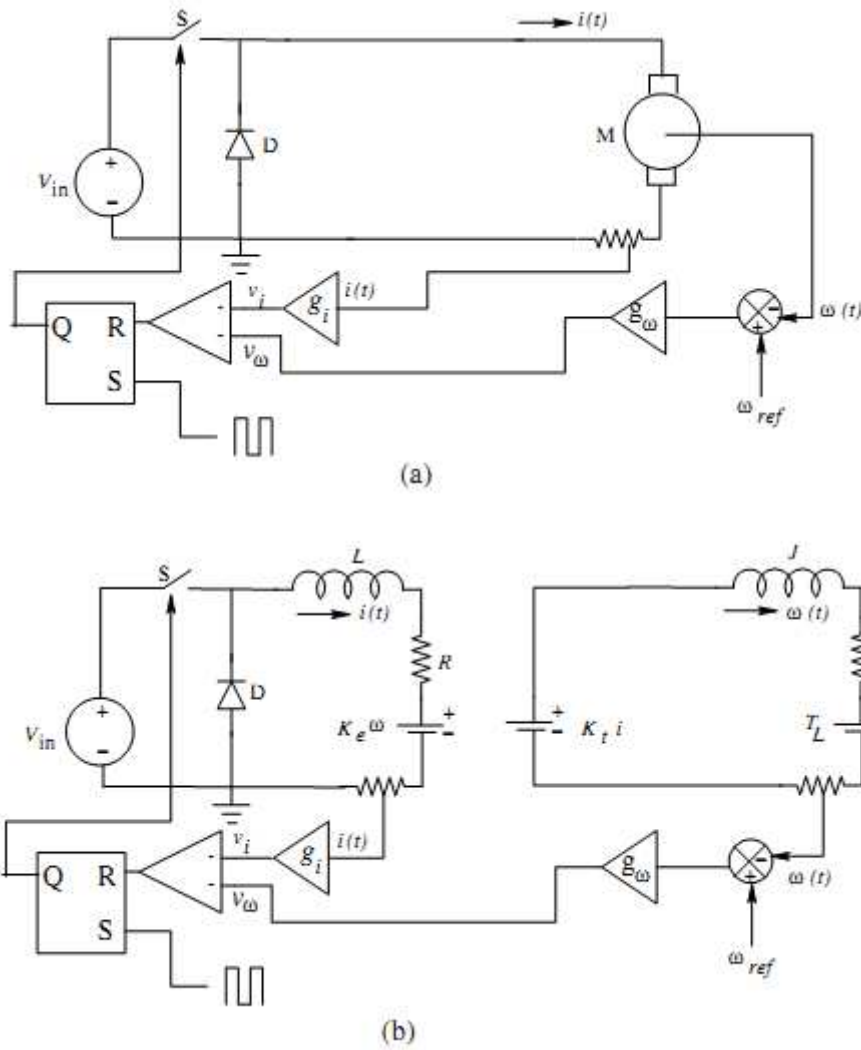


Şekil 4.62. Gerilim kontrollü DA sürücü kaotik akım güç spektrumu (g=0,9)



Şekil 4.63. Gerilim kontrollü DA sürücü V_{con} kontrol işaretleri, V_{ramp} rampa işaretleri ve DGM çıkış işaretleri ($g=0,9$)

Sadece $g=0.9$ olarak değiştirildiğinde devrenin kaotik çalışma durumuna geçişi görülmektedir. (Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62). Bu kaotik durumda üretilen DGM işaretleri Şekil 4.63'te gösterilmiştir.



Şekil 4.64. (a) Akım kontrollü DA sürücü devresi (b) Akım kontrollü DA sürücü eşdeğer devresi

Akım kontrollü DA sürücü devresi ise şekil 4.64a' de gösterilmiştir. Şekil 4.64b' de akım kontrollü DA sürücü devresinin eşdeğer devresi verilmiştir.

Şekil 4.64' de görülen g_i ve g_ω sabit kazanç katsayıdır ve v_i ve v_ω hız ve akım kontrol işaretleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} v_\omega(t) &= g_\omega(\omega_{ref} - \omega(t)) \\ v_i(t) &= g_i i(t) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Burada $i(t)$ DA motorun endüvi akımı, $\omega(t)$ endüvi hızı, ω_{ref} referans hızı göstermektedir. v_i ve v_ω kontrol işaretleri karşılaştırıldıktan sonra v_i kontrol işareti v_ω kontrol işaretinden büyükse, karşılaştırıcının çıkışı '1' olur ve SR tutucu resetlenip çıkışı '0' olur. Periyodu T olan kare dalga ise SR tutucuyu set edip çıkışı '1' olur.

Sistem durum denklemleri SR tutucusunun çıkışının '1' veya '0' olma durumuna göre iki durumda gösterilebilir. SR tutucusunun çıkışı '1' olduğunda sistem durum denklemleri,

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -B/J & K_T/J \\ -K_E/L & -R/L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -T_l/J \\ V_{in}/L \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

SR tutucusunun çıkışı '0' olduğunda sistem durum denklemleri,

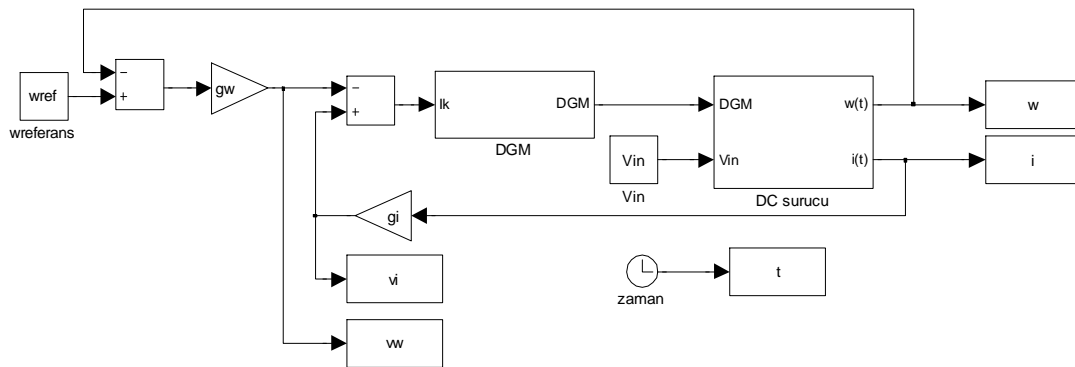
$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -B/J & K_T/J \\ -K_E/L & -R/L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -T_l/J \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

anahtar kesim durumunda ve süreksiz iletim modunda olduğunu varsayarsak,

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -B/J & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega(t) \\ i(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -T_l/J \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

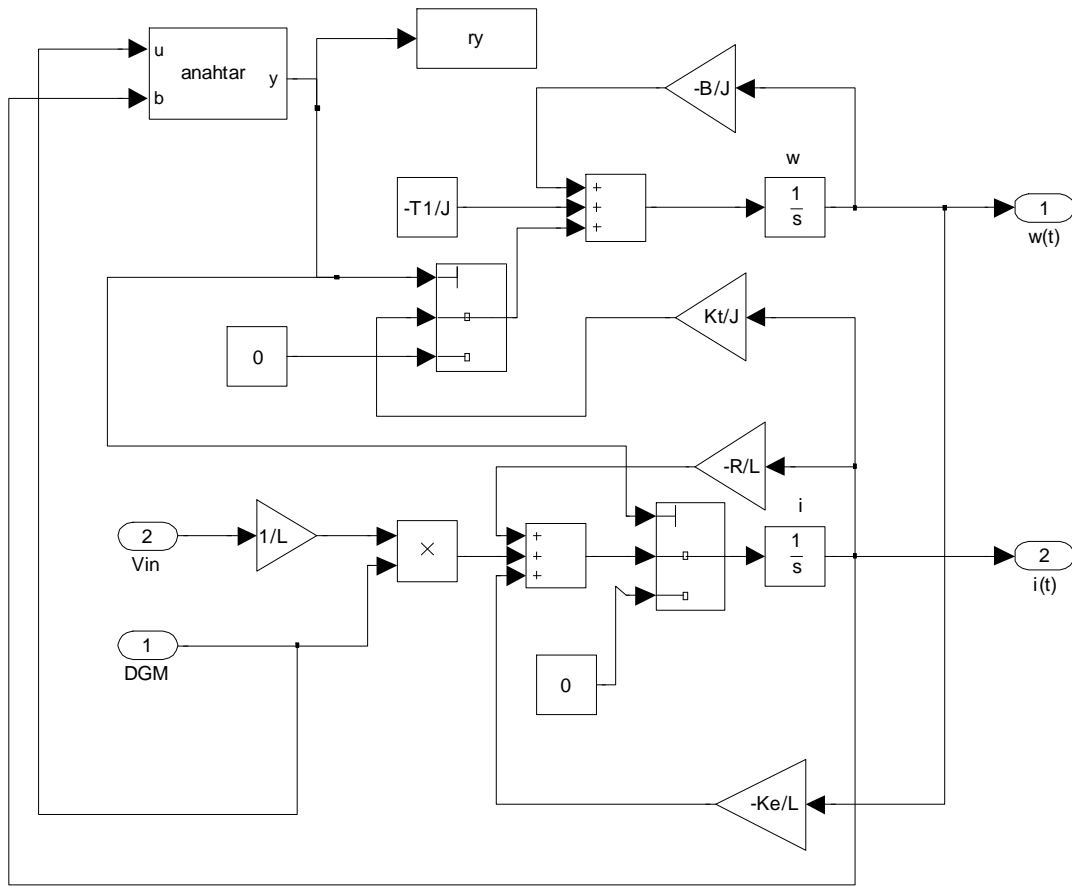
gibi olur.

Burada R endüvi direnci, L endüvi endüktansı, V_{in} DA giriş gerilimi, K_E geri EMK sabiti, K_T tork sabiti, B viskoz katsayısı, J yük ataleti, T_l yük torkunu ifade etmektedir.



Şekil 4.65. Akım kontrollü DA sürücü devresinin Simulink modeli

Şekil 4.65 ve Şekil 4.66' da Simulink modeli gösterilmiştir ve DGM kısmı Şekil 4.43'teki gibi tasarlanmıştır.



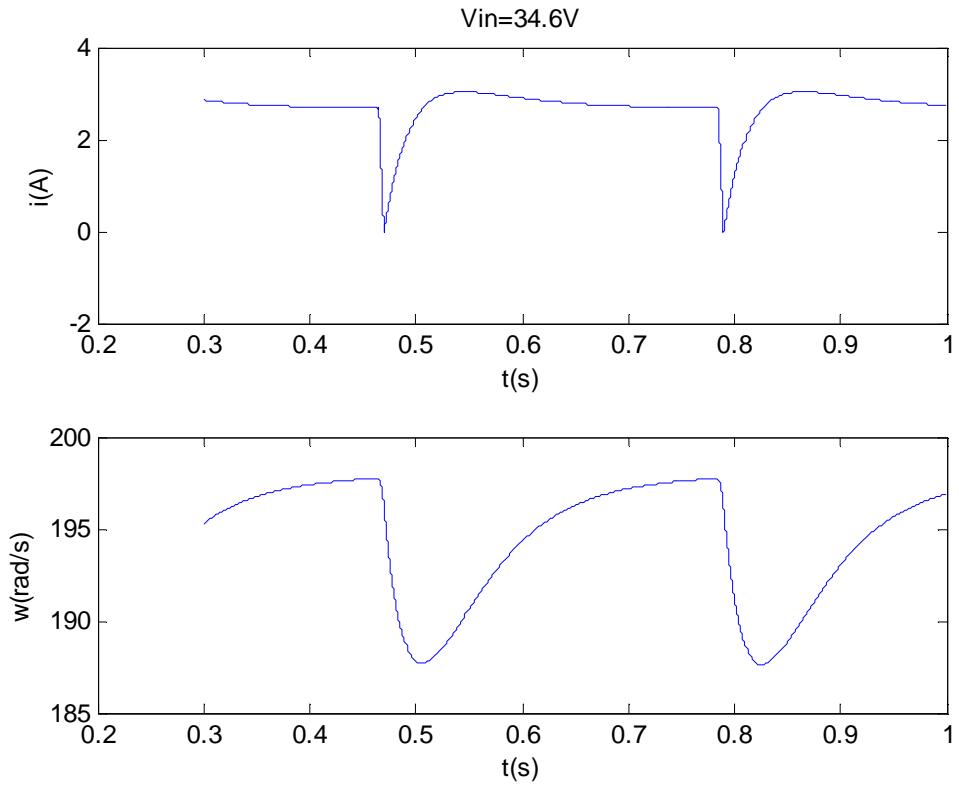
Şekil 4.66. Akım kontrollü DA sürücü devresinin durum uzayı Simulink modeli

Tablo 4.3 Akım kontrollü DA sürücü devre parametreleri

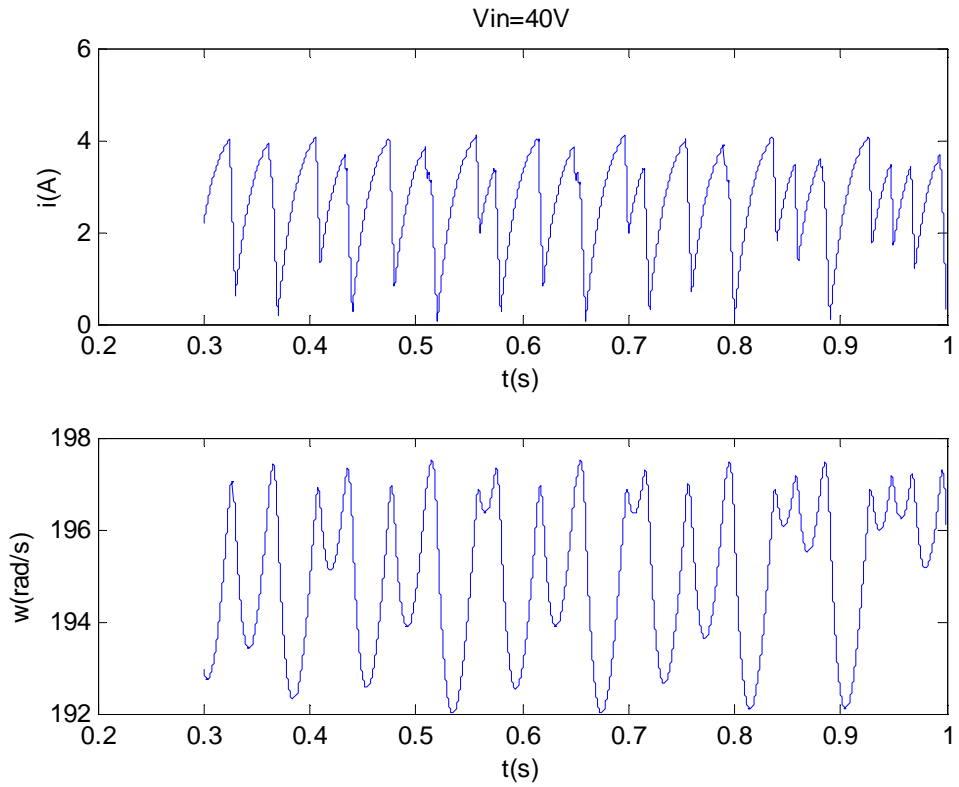
Devre parametreleri	R (Ω)	L (mH)	V_{in} (V)	K_E
	2,9	53,7	40	0,1356
	K_T	B	J	T_1
0,1324	0,000275	0,000557	0,3	

Kontrol parametreleri	V_u (V)	V_L (V)	T (ms)	ω_{ref} (rad/s)	g_i	g_w
	2,2	0	10	200	1,1	1,3

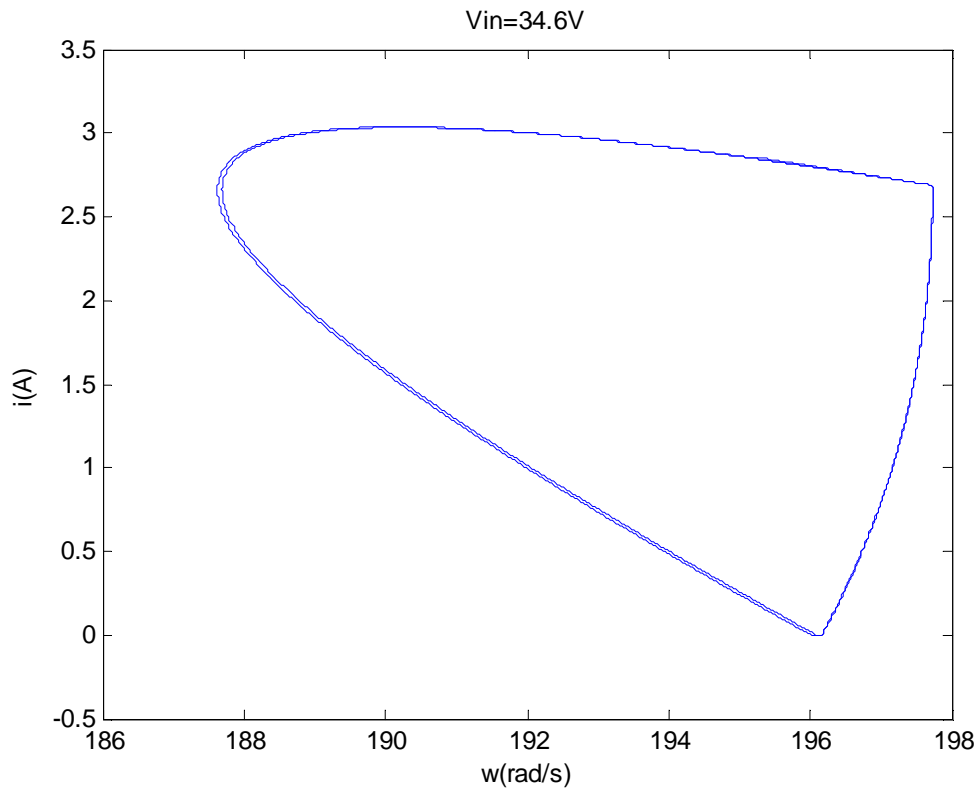
Belli şartlar altında (Tablo 4.3) devrenin giriş gerilimini değiştirerek devrenin normal durumundan kaotik durumu geçişi görülmektedir (Şekil 4.67, Şekil 4.68, Şekil 4.69, Şekil 70).



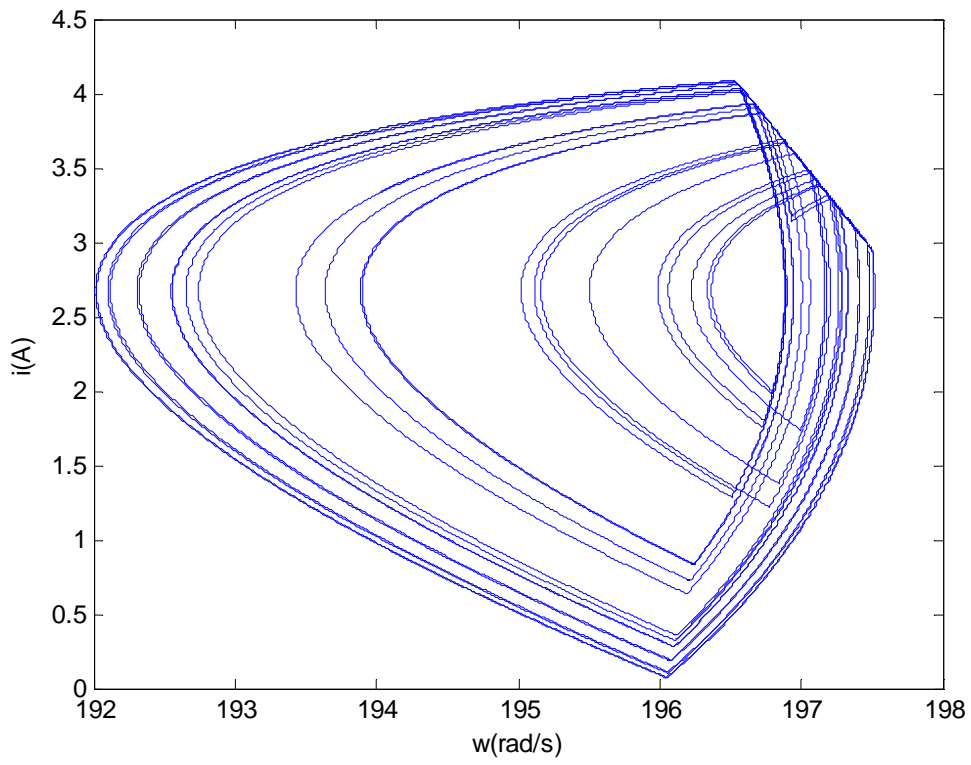
Şekil 4.67. Akım kontrollü DA sürücüsünün akım ve hız dalga şekilleri



Şekil 4.68 .Akım kontrollü DA sürücüsünün kaotik akım ve hız dalga şekilleri



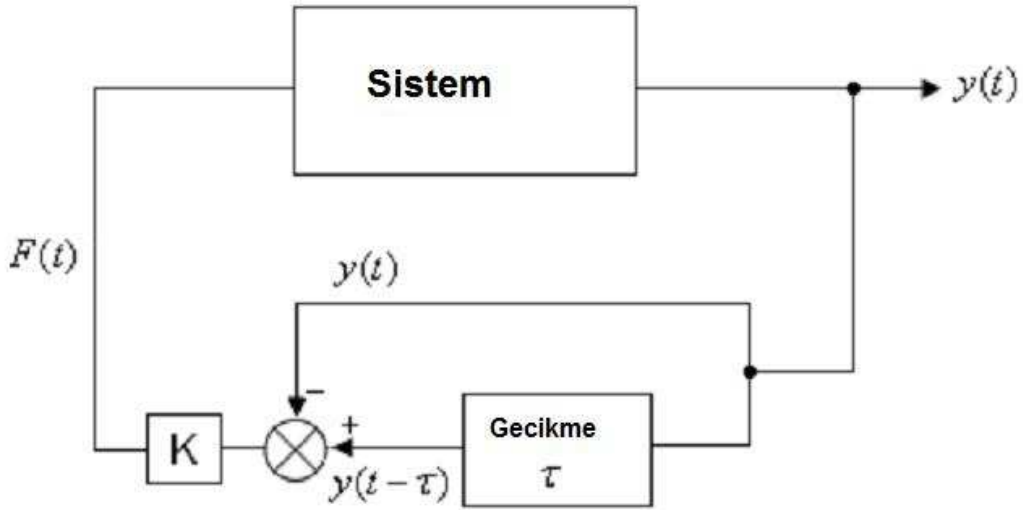
Şekil 4.69. Akım kontrollü DA sürücü devresinin faz uzayı



Şekil 4.70. Akım kontrollü DA sürücü devresinin kaotik faz uzayı

BÖLÜM 5. ANAHTARLAMALI DA – DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN OLAYLARIN KONTROLÜ

İlk olarak Ott, Grebogi ve Yorke kaotik sistemlerin kontrolü için OGY [23] olarak adlandırılan bir kontrol metodu önermişlerdir. İlk kaos kontrol metodunun uygulanmasıyla, birçok kaos kontrol metodu bulunmuş ve kaosu kontrolü için kaotik sistemlere uygulanmıştır [26, 27, 52].



Şekil 5.1. Genel zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol şeması

Pyragas [26] kaotik davranışın gecikmeli geri beslemeli kontrol metodunun uygulanması ile kaosu kontrol edilebileceğini göstermiştir. Genel gecikmeli geri beslemeli kontrol şeması Şekil 5.1' de gösterilmiştir.

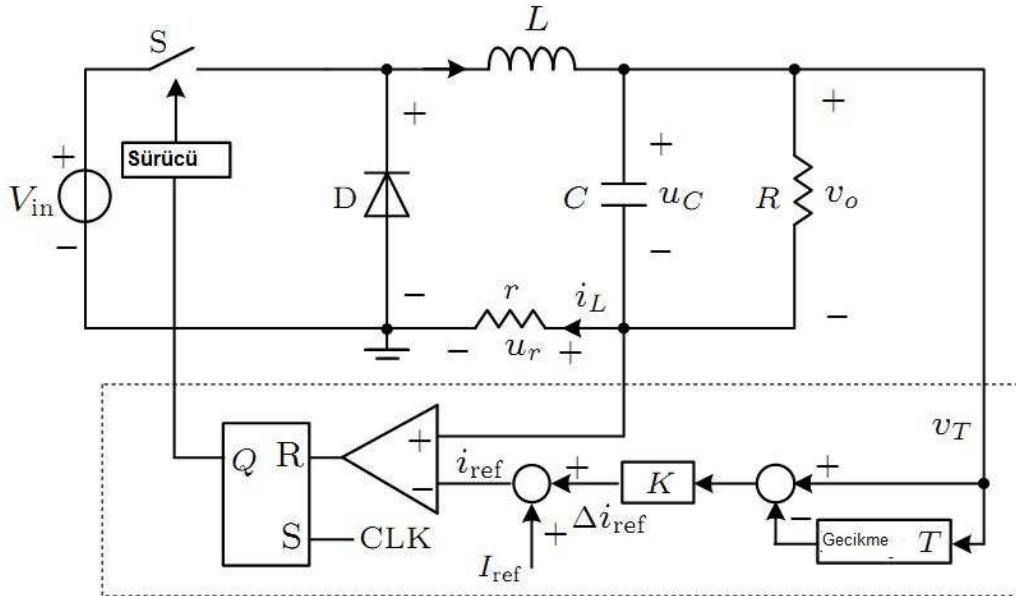
Herhangi bir durum değişkeninin o anki değeri ile τ saniye önceki değeri arasındaki farkının K sabiti ile çarpılması ile oluşan $F(t)$ geri besleme kontrol kuvveti sisteme uygulanır.

$$\begin{aligned} \dot{y} &= P(y, x) + F(y, t) \\ \dot{x} &= Q(y, x) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Burada

$$F(y, t) = K[y(t - \tau) - y(t)] \quad (5.2)$$

olarak yazılır.



Şekil 5.2. Akım kontrollü Alçaltıcı dönüştürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kaos kontrolü

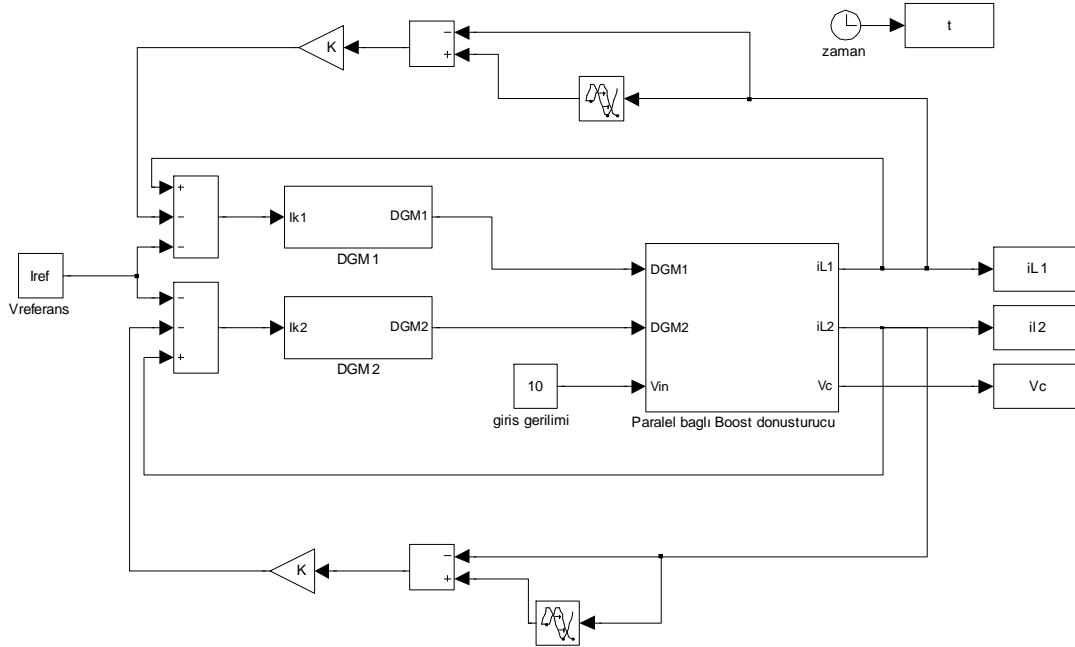
Akım kontrollü alçaltıcı dönüştürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün genel şeması Şekil 5.2' de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, zaman gecikmeli geri beslemeli kontrol yöntemi uygulanarak kontrollü devrenin referans akımı,

$$i_{ref}(t) = i_{ref} + K[v_o(t) - v_o(t - \tau)] \quad (5.3)$$

olarak yazılır.

5.1. Paralel Bağlı Yükseltici DA-DA Dönüştürücüde Kaos Kontrol

Kontrollü paralel bağlı yükseltici DA-DA dönüştürücünün Simulink modeli Şekil 5.3' te verilmiştir.



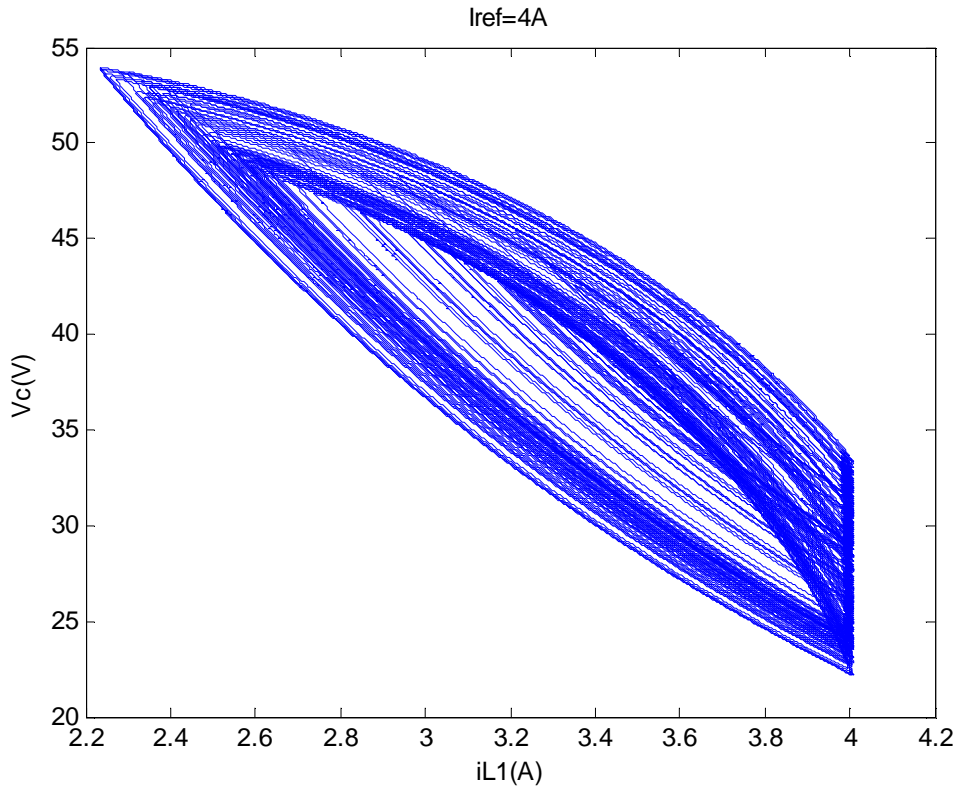
Şekil 5.3. Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink modeli

$I_{ref}=4A$ olduğunda paralel bağlı yükseltici DA-DA dönüştürücünün kaotik durumda olduğu Şekil 5.4' te görülmektedir. Kaotik durumda iken Şekil 5.6 ve Şekil 5.8'de çıkış gerilimi ve bobin akımı dalga şekilleri görülmektedir. Kaotik durumda iken devreye denetleyici uygulandıktan sonra devrenin normal çalışma durumuna geldiği Şekil 5.5, Şekil 5.7 ve Şekil 5.9' dan görülmektedir.

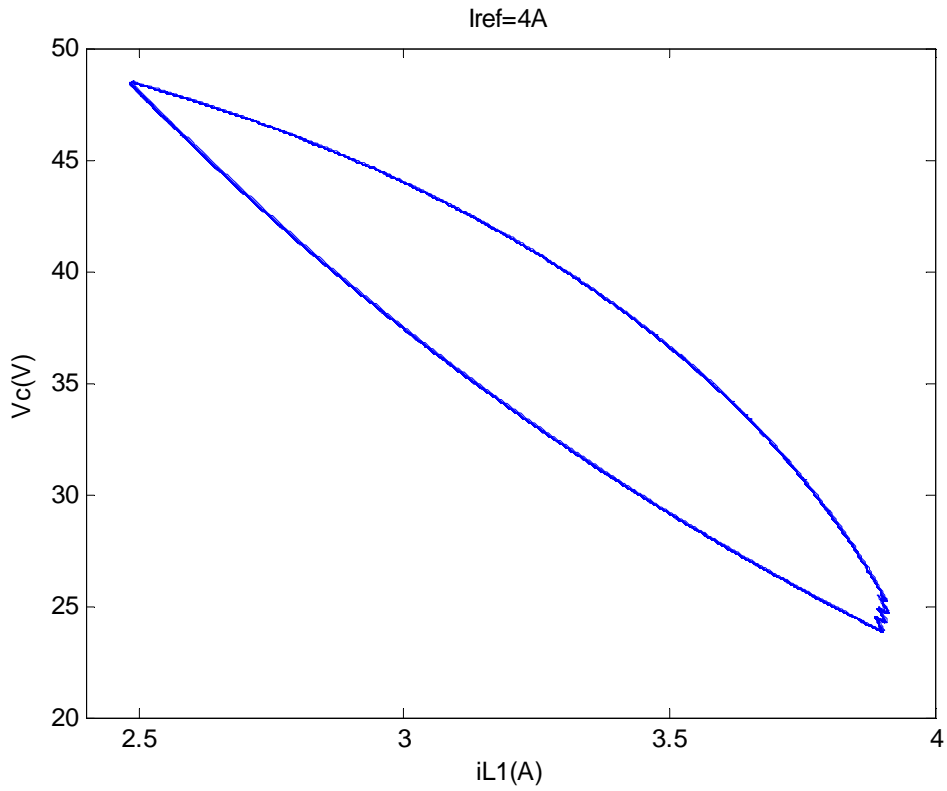
Burada kontrollü devrenin referans akımı,

$$i_{ref}(t) = i_{ref} + K[i_L(t) - i_L(t - \tau)] \quad (5.4)$$

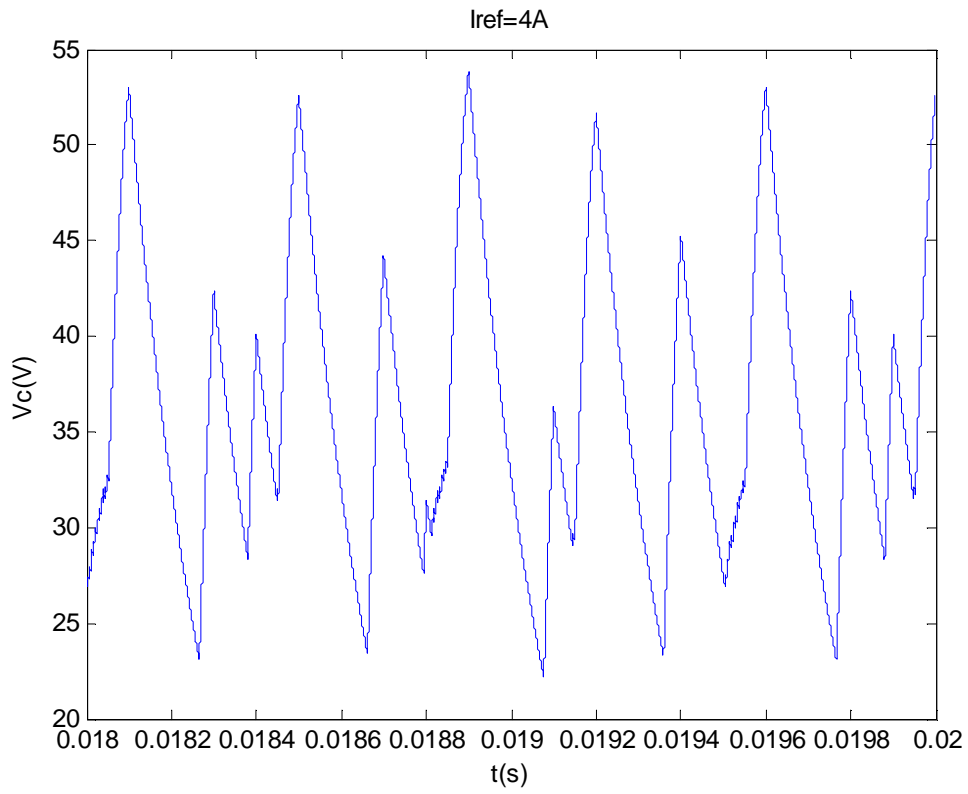
yazılır.



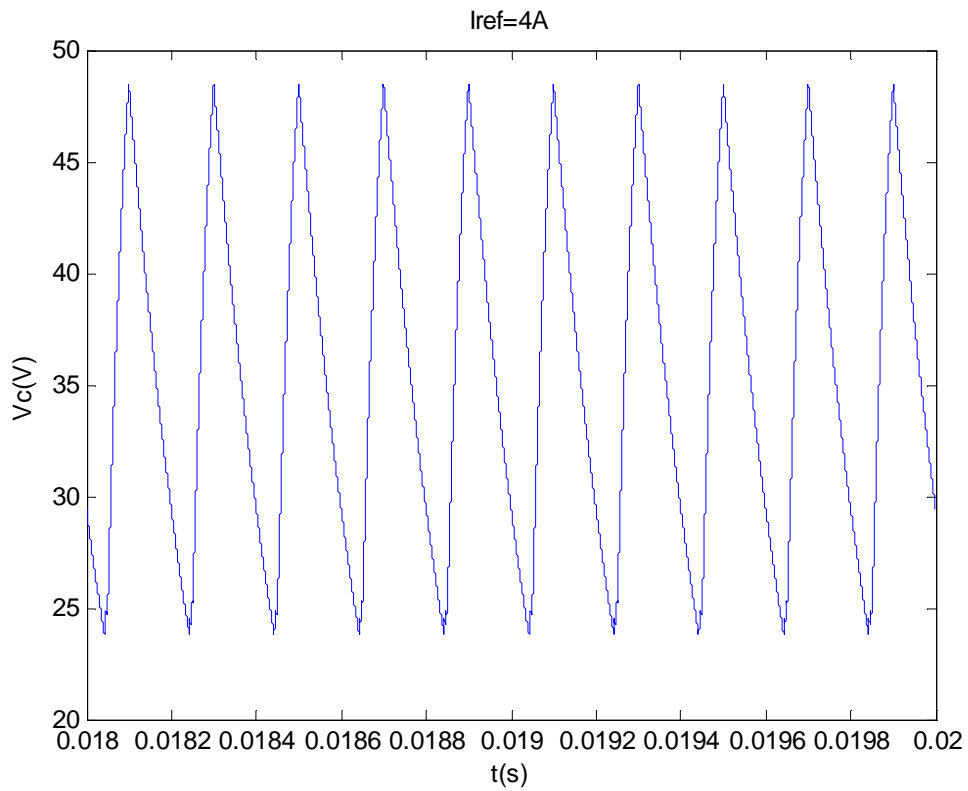
Şekil 5.4. Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün kaotik faz uzayı ($I_{ref}=4$ A)



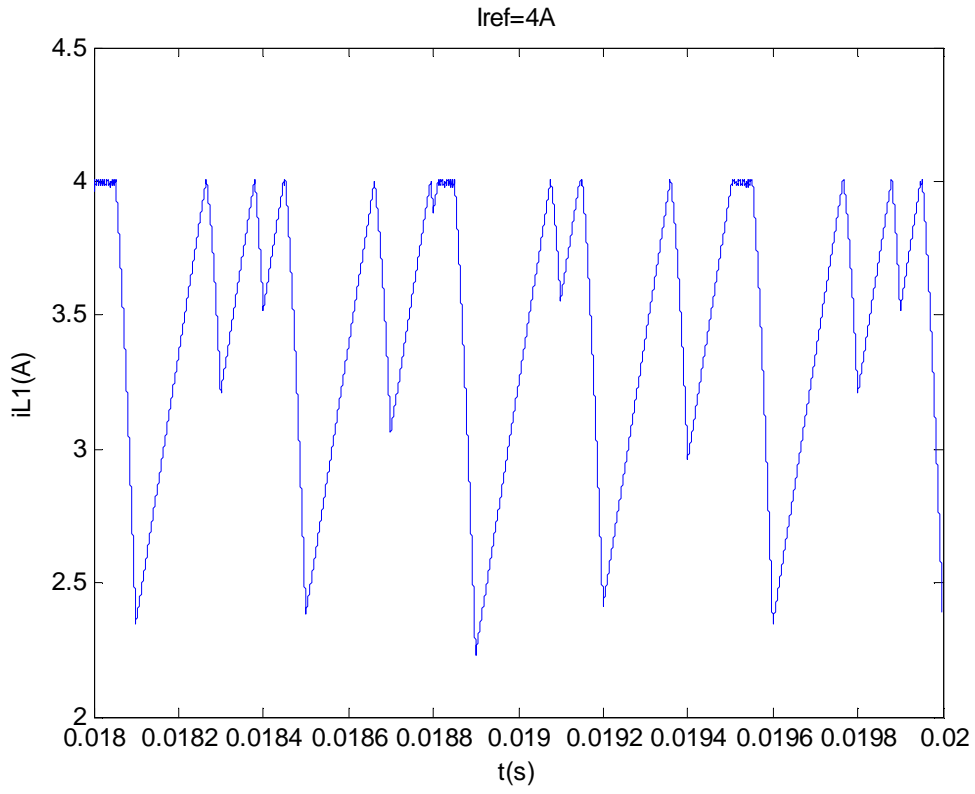
Şekil 5.5. Denetleyici aktif iken paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün faz uzayı
(Kaos sonrası, $I_{ref}=4$ A, $\tau = 100 \mu s$ $K=0.1$)



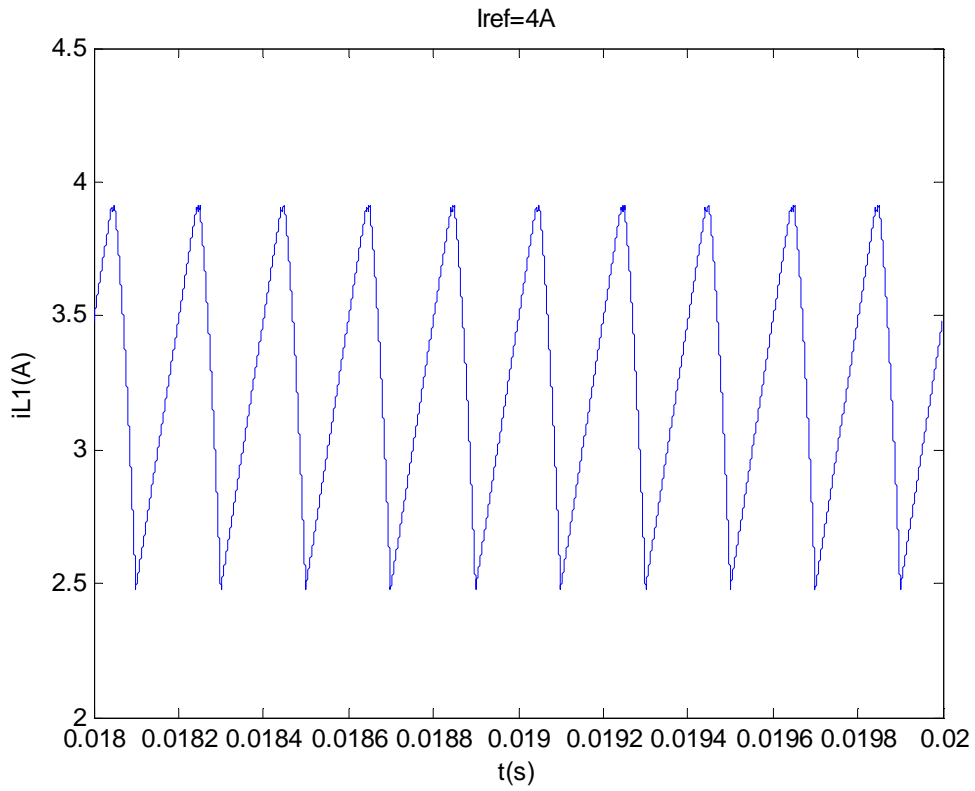
Şekil 5.6. Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün kaotik gerilim dalga şekli ($I_{ref}=4 A$)



Şekil 5.7. Denetleyici aktif iken paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün gerilim dalga şekli (Kaos sonrası, $I_{ref}=4 A$, $\tau = 100 \mu s$ $K=0.1$)



Şekil 5.8. Paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün kaotik akım dalga şekli ($I_{ref}=4$ A)



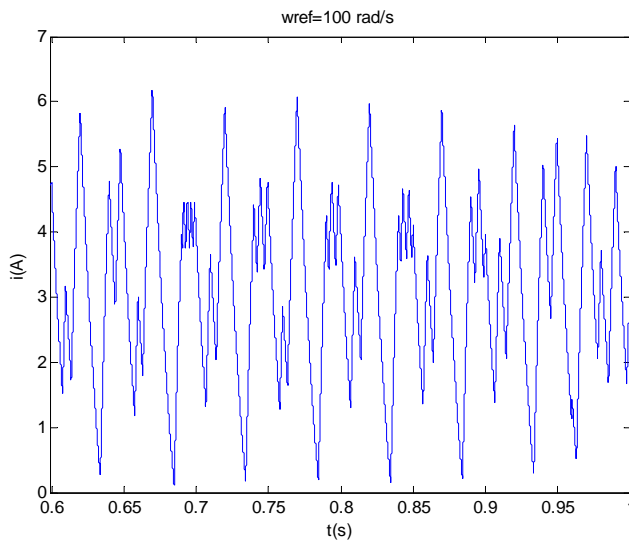
Şekil 5.9. Denetleyici aktif iken paralel bağlı akım kontrollü Yükseltici dönüştürücünün akım dalga şekli (Kaos sonrası, $I_{ref}=4$ A, $\tau = 100 \mu s$ $K=0.1$)

5.2. Gerilim Kontrollü DA Sürücüsünde Kaos Kontrol

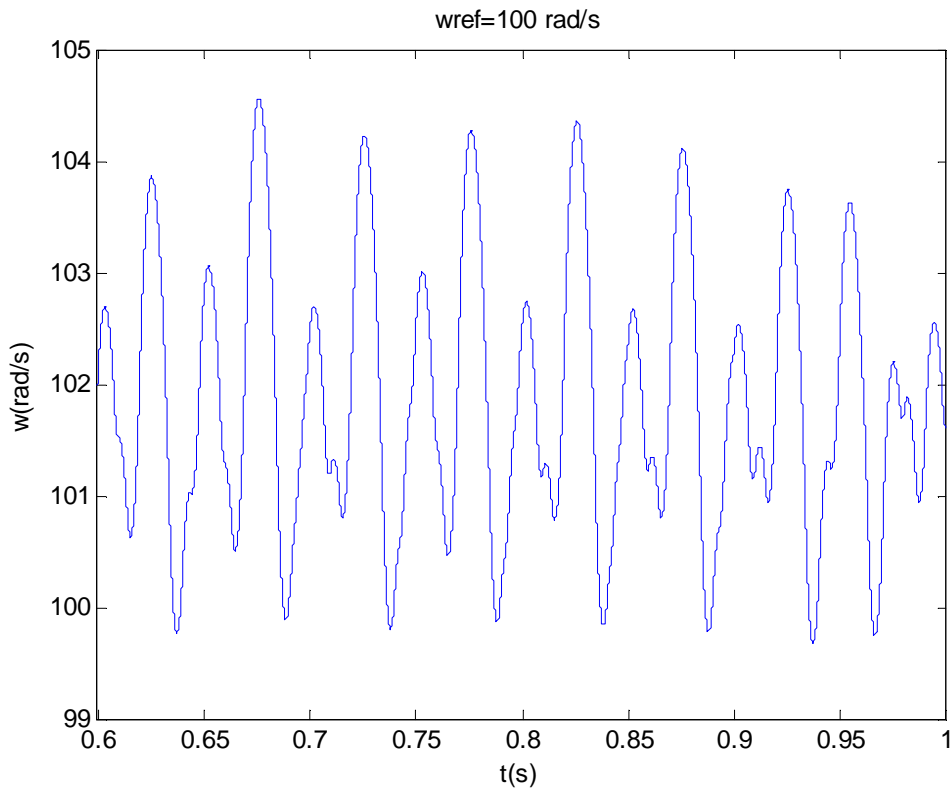
Gerilim kontrollü DA sürücüsünde meydana gelen kaotik olaylar ve gerekli benzetimler bölüm 4.4' te gösterilmişti. Bu bölümde ise kaotik durumda olan gerilim kontrollü DA sürücüyü zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyici uygulanarak devrenin kaotik durumdan normal duruma gelmesi sağlanmıştır. Gerilim kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması Şekil 5.19' da görülmektedir.

Zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyicinin devreye uygulanıp K kazanç katsayısının değişimine göre dönüştürücünün periyot 4, periyot 2 ve periyot 1 durumlarına geldiği gösterilmiştir.

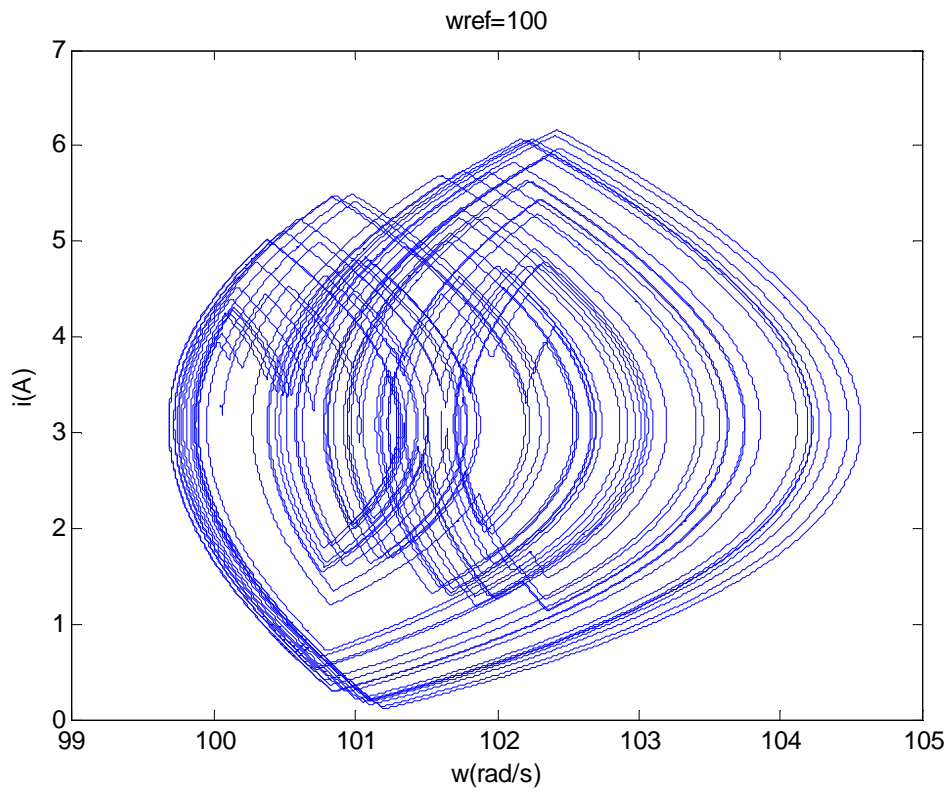
Belirli şartlar altında devrenin kaotik durumda olduğu Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12' den görülmektedir. Kontrollü dönüştürücüde denetleyici parametreleri $K=50$, $\tau = 10 \mu s$ olarak seçildiğinde, Şekil 5.13' den dönüştürücünün periyot 4 çalışma durumuna geldiği görülmektedir. K kazanç katsayısını artırıp $K=100$ yaptığımızda dönüştürücünün periyot 2 (Şekil 5.15), $K=300$ yaptığımızda ise periyot 1 (Şekil 5.17) denilen normal çalışma durumuna geldiği görülmektedir. Zaman gecikmesi $\tau = 100 \mu s$ alındığında, dönüştürücünün $K=5$ iken periyot 4 çalışma durumuna (Şekil 5.14), $K=10$ iken periyot 2 çalışma durumuna (Şekil 5.16), $K=20$ iken ise periyot 1 denilen normal çalışma durumuna geldiği görülmüştür (Şekil 5.18).



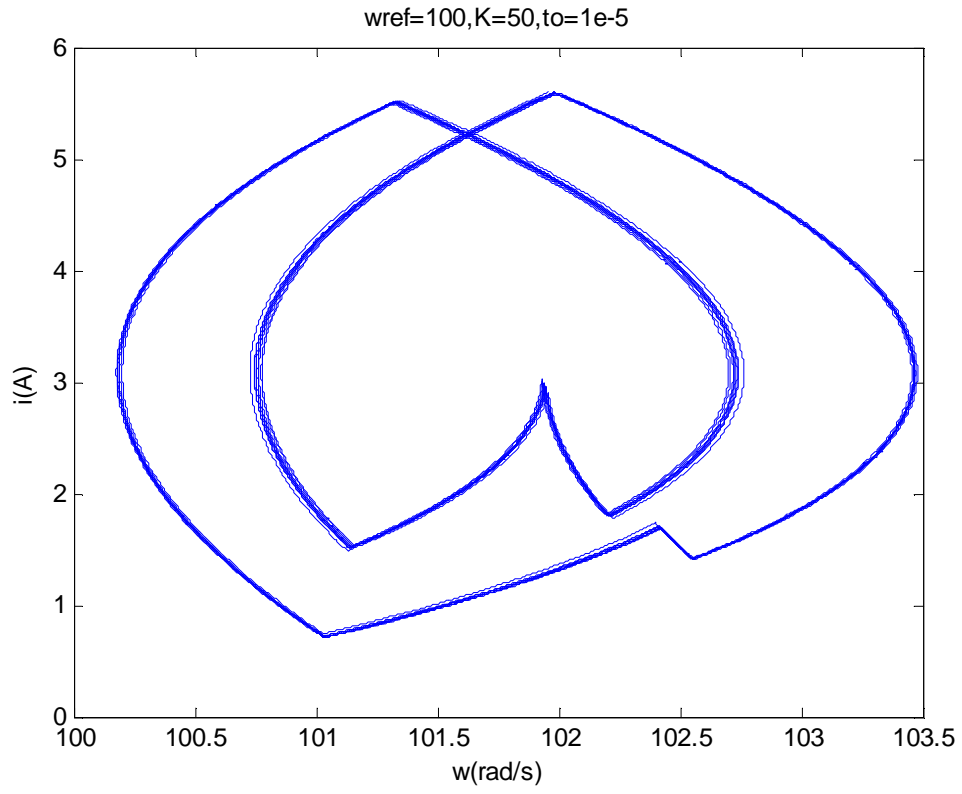
Şekil 5.10. Gerilim kontrollü DA sürücünün kaotik akım dalga şekli ($\omega_{ref}=100\text{rad/s}$)



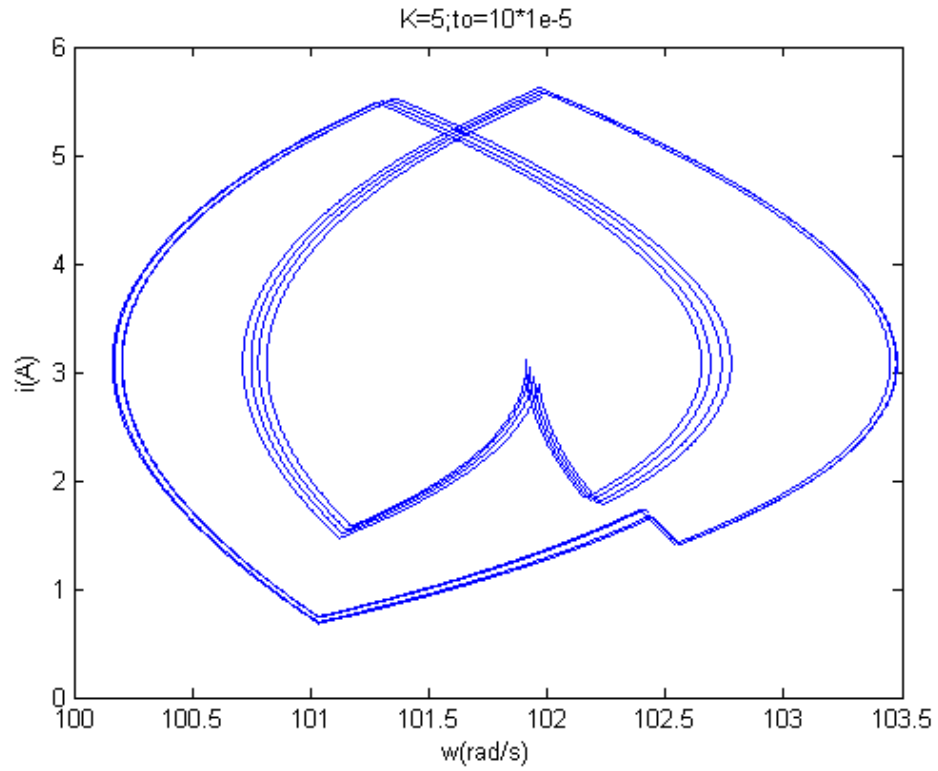
Şekil 5.11. Gerilim kontrollü DA sürücünün kaotik rotor hızı dalga şekli ($\omega_{ref}=100\text{rad/s}$)



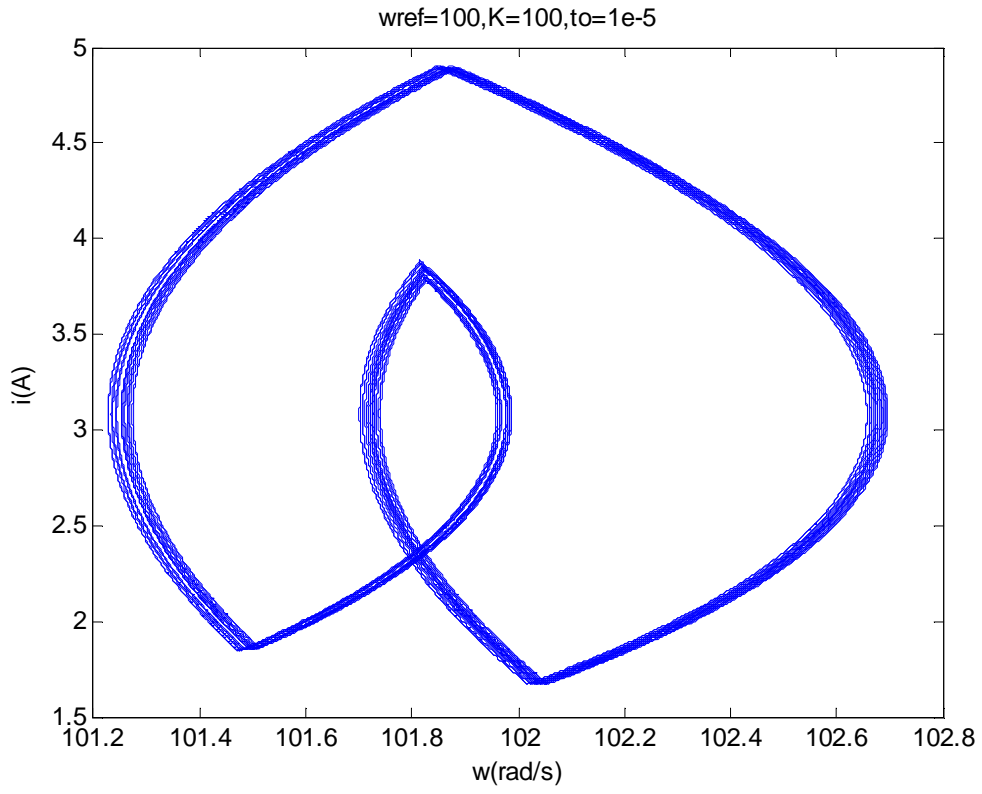
Şekil 5.12. Gerilim kontrollü DA sürücünün kaotik faz uzayı ($\omega_{ref}=100\text{rad/s}$)



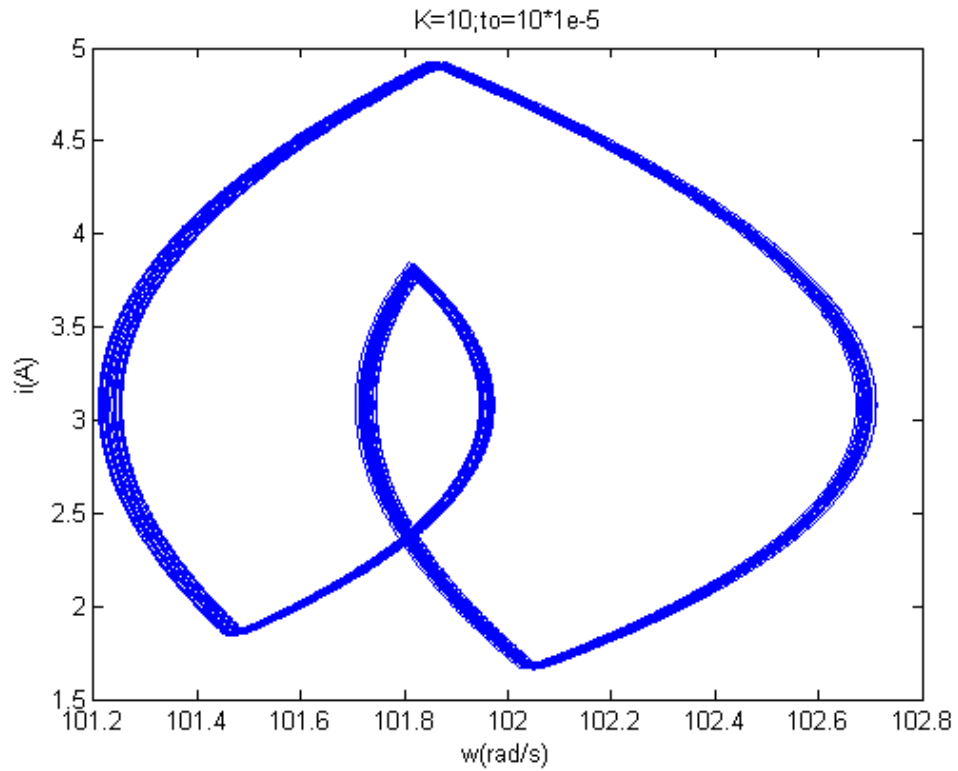
Şekil 5.13. Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-4, $\omega_{ref}=100\text{rad/s}$, $K=50$, $\tau = 10 \mu\text{s}$)



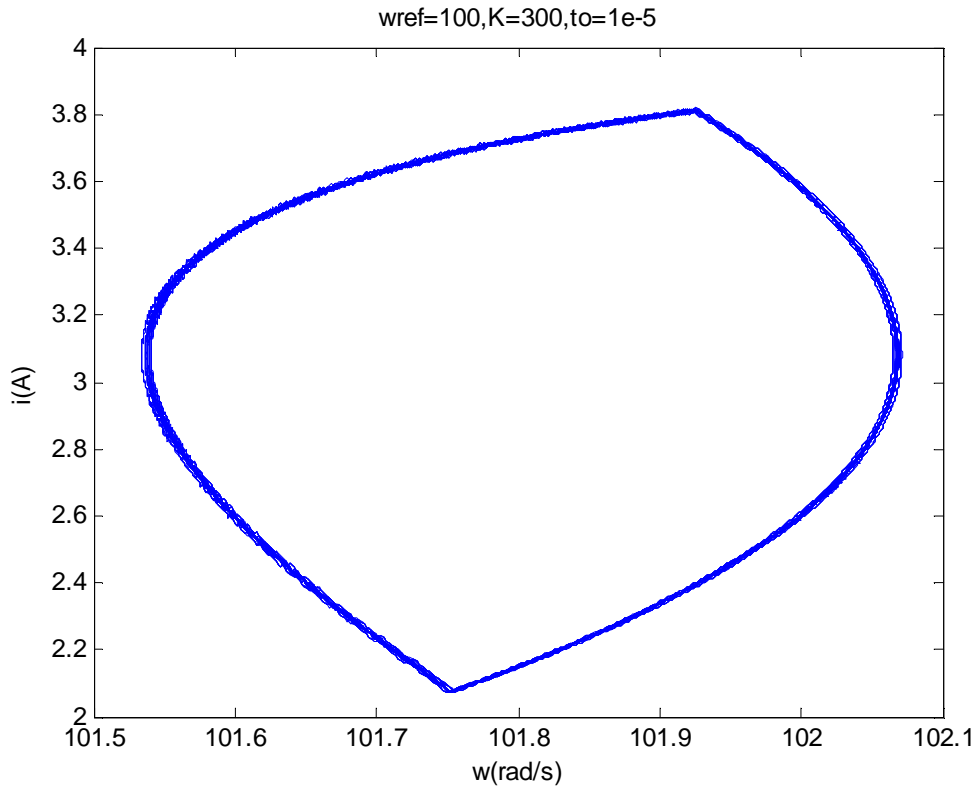
Şekil 5.14. Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-4, $\omega_{ref}=100\text{rad/s}$, $K=5$, $\tau = 100 \mu\text{s}$)



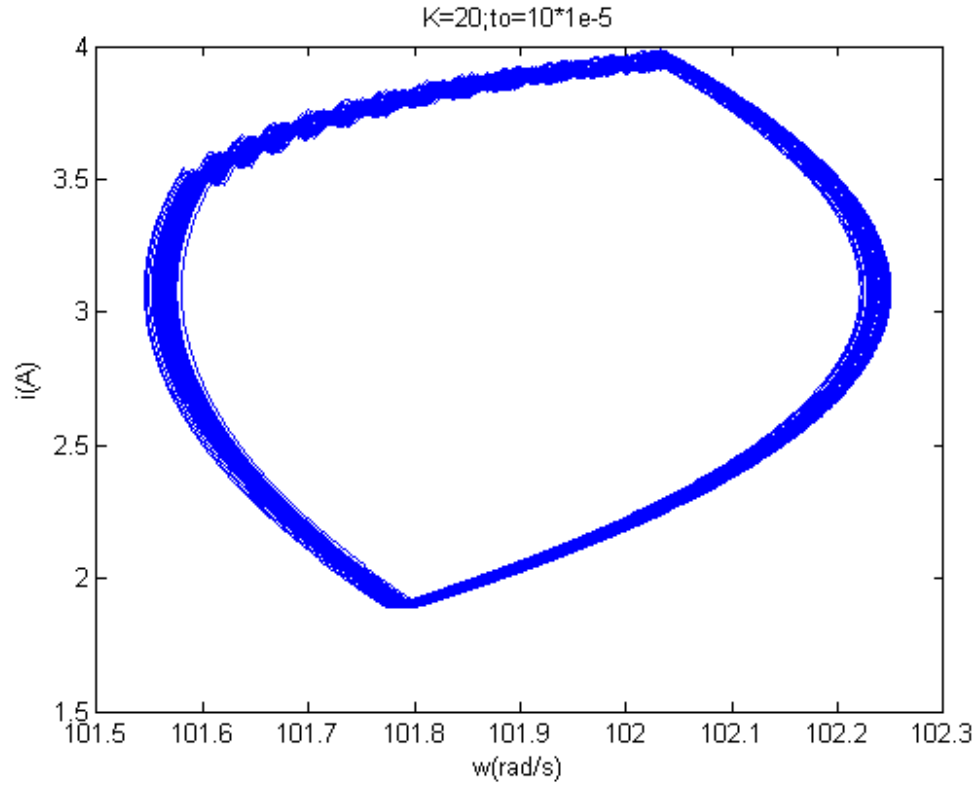
Şekil 5.15. Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-2, $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=100$, $\tau = 10 \mu s$)



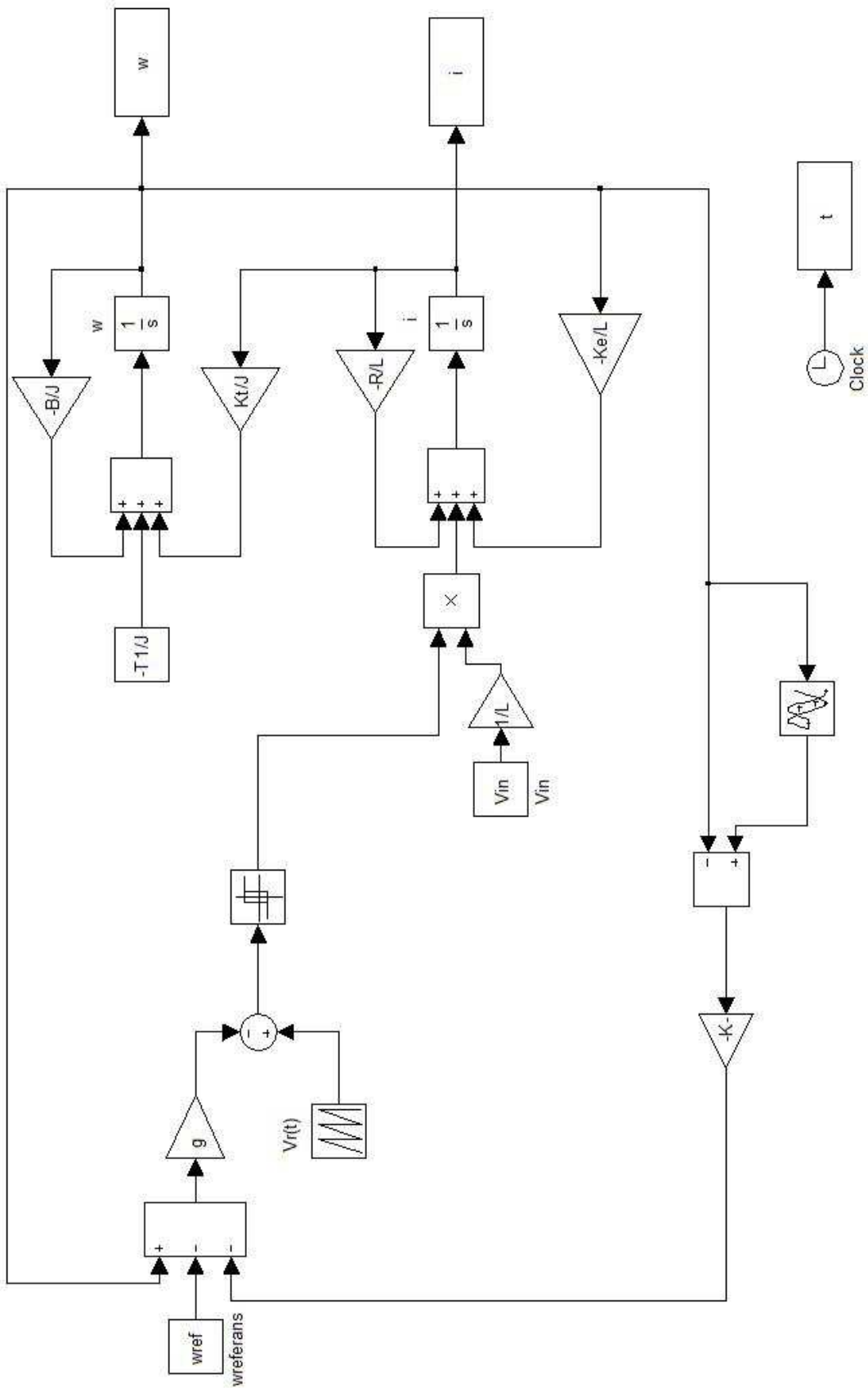
Şekil 5.16. Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-2, $\omega_{ref}=100$ rad/s, $K=10$, $\tau = 100 \mu s$)



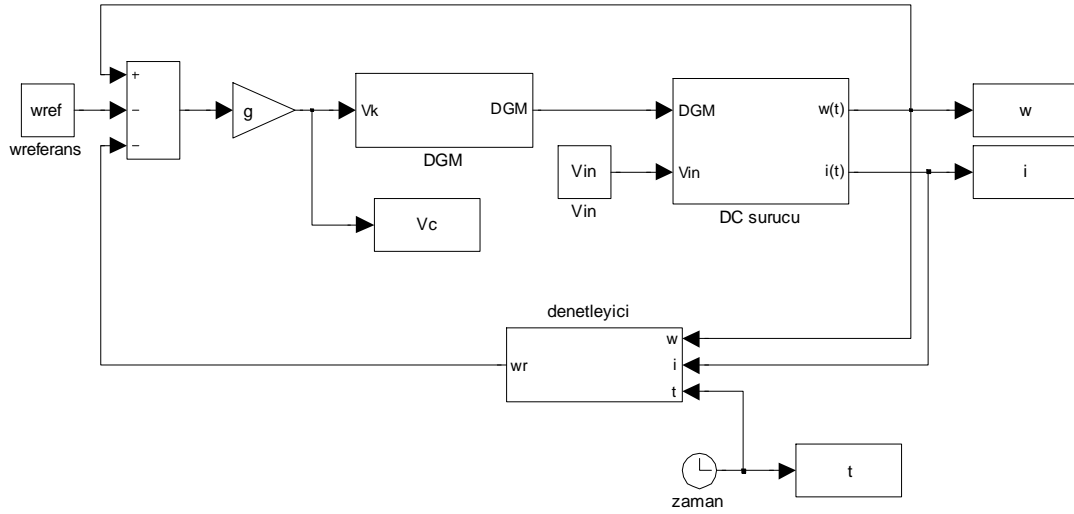
Şekil 5.17. Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-1 limit çevrim, $\omega_{ref}=100\text{rad/s}$, $K=300$, $\tau = 10 \mu\text{s}$)



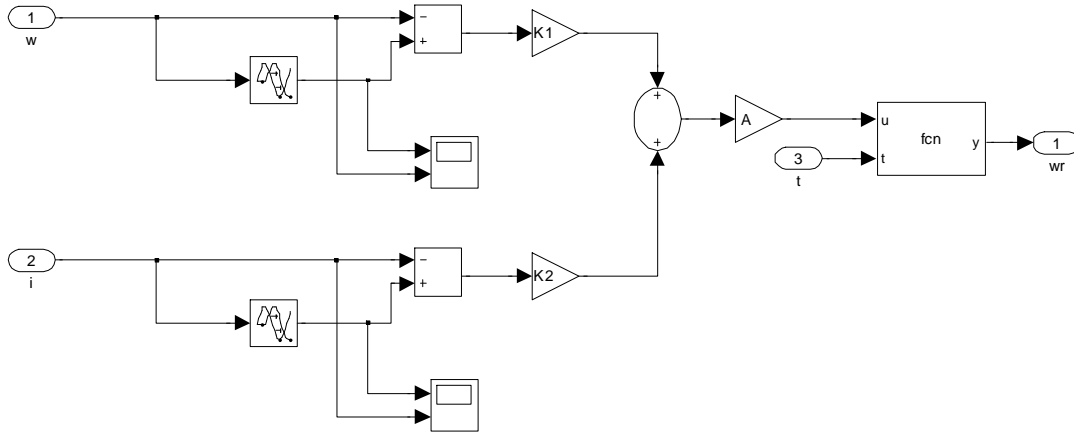
Şekil 5.18. Denetleyici aktif iken gerilim kontrollü DA sürücünün faz uzayı (periyot-1 limit çevrim, $\omega_{ref}=100\text{rad/s}$, $K=20$, $\tau = 100 \mu\text{s}$)



Şekil 5.19. Gerilim kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması

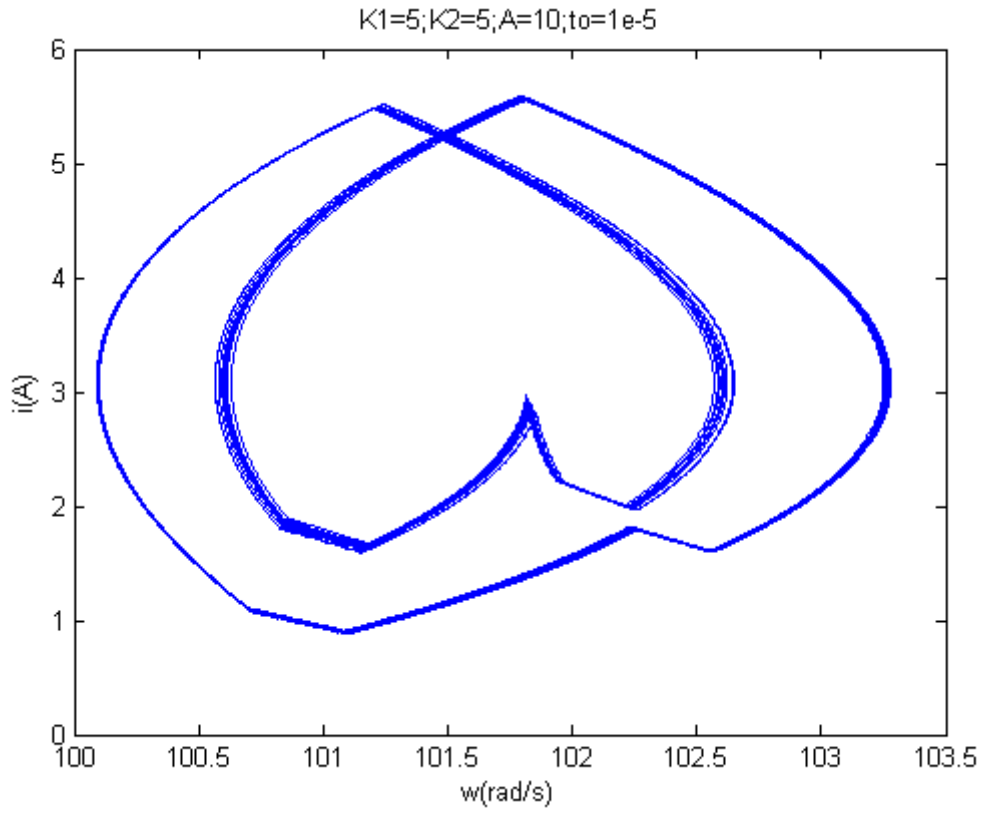


Şekil 5.20. Gerilim kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması

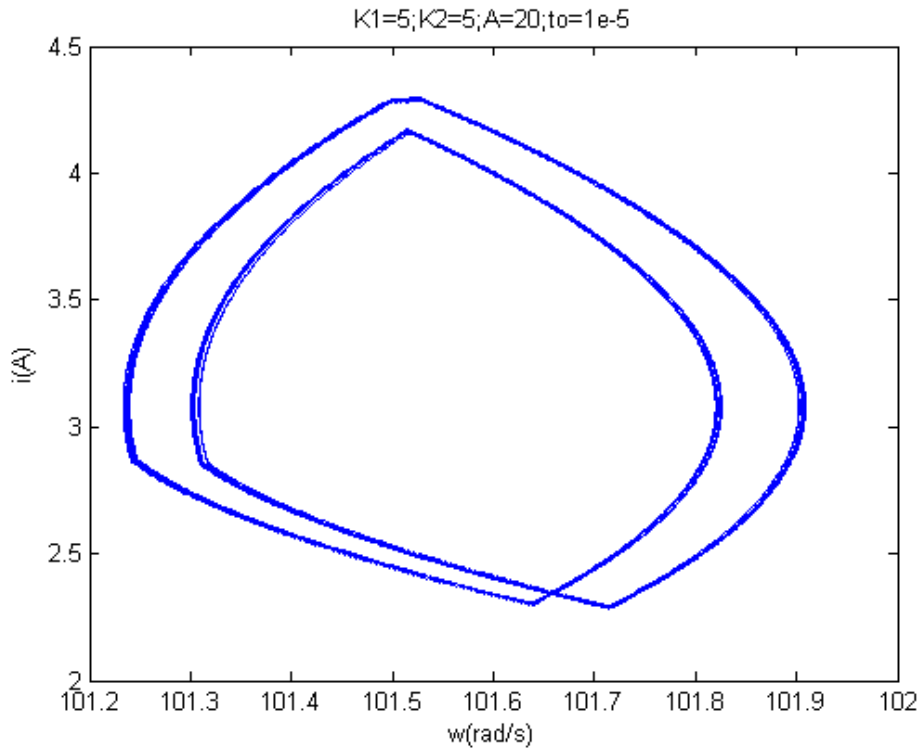


Şekil 5.21. Gerilim kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici Matlab-Simulink şeması

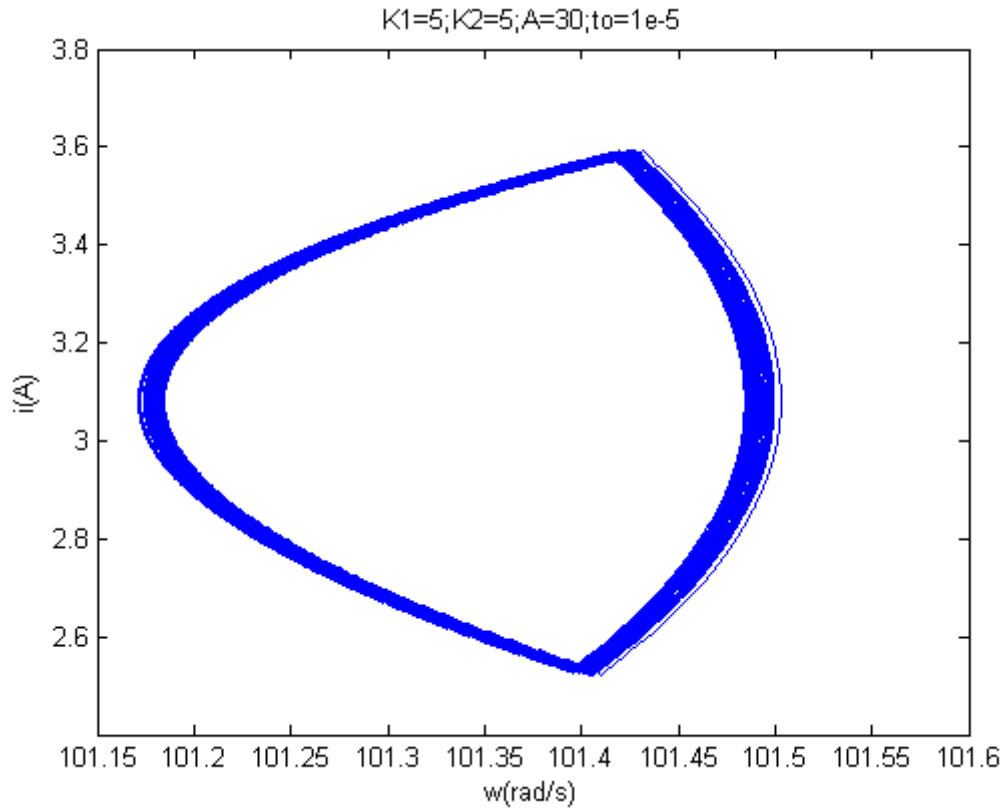
Diğer bir kontrol durumu ise denetleyici hem endüvi hızı hem bobin akımından geri besleme alınıp tasarlanmıştır (Şekil 5.20, Şekil 5.21). Kazanç katsayıları $K_1=5$ ve $K_2=5$ olarak sabit alınmıştır. A kazanç katsayısını artırarak, $A=10$ alındığında periyot 4 durumu (Şekil 5.22), $A=20$ olduğunda periyot 2 durumu (Şekil 5.23), $A=30$ olduğunda ise periyot 1 (Şekil 5.24) denilen normal çalışma durumuna geldiği gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 4, $K_1=5$, $K_2=5$, $A=10$, $\tau=10\mu s$, kaos sonrası)



Şekil 5.23. Zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 2, $K_1=5$, $K_2=5$, $A=20$, $\tau=10\mu s$, kaos sonrası)

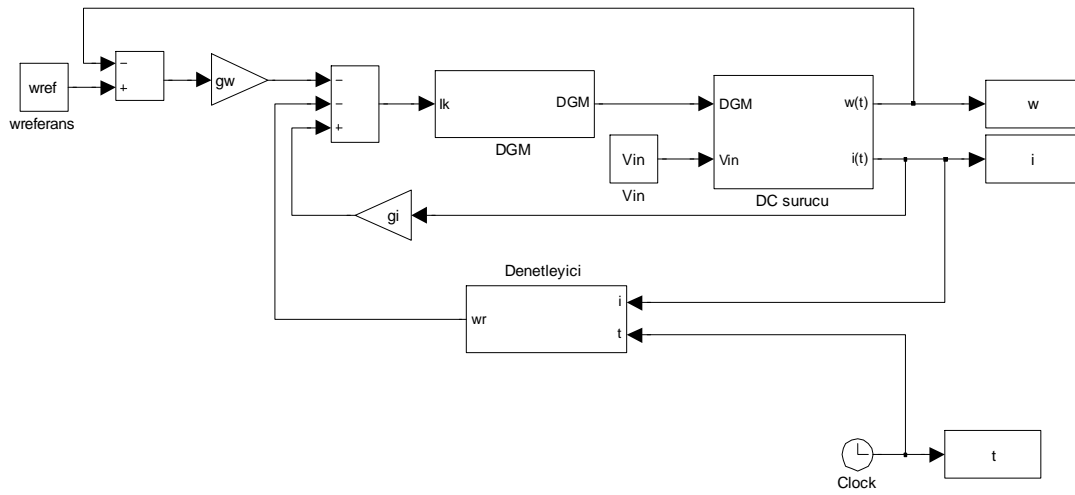


Şekil 5.24. Zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 1-limit çevrim, $K_1=5$, $K_2=5$, $A=30$, $\tau=10\mu s$, kaos sonrası)

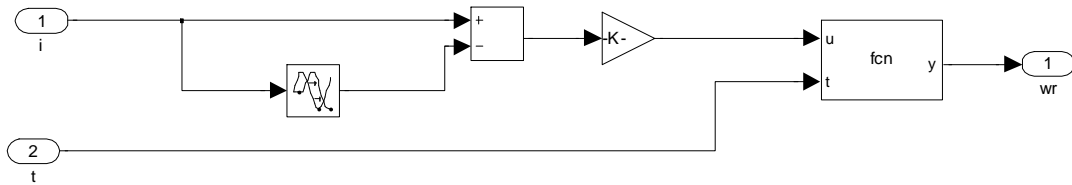
5.3. Akım Kontrollü DA Sürücünde Kaos Kontrol

Akım kontrollü DA sürücüsünde meydana gelen kaotik olaylar ve gerekli benzetimler bölüm 4.4' te verilmişti. Bu bölümde ise bölüm 5.2' de olduğu gibi kaotik durumda olan akım kontrollü DA sürücüyü zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyici uygulanarak devrenin kaotik durumdan normal duruma gelmesi sağlanmıştır. Akım kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması Şekil 5.25' de ve zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyici Şekil 5.26' da görülmektedir.

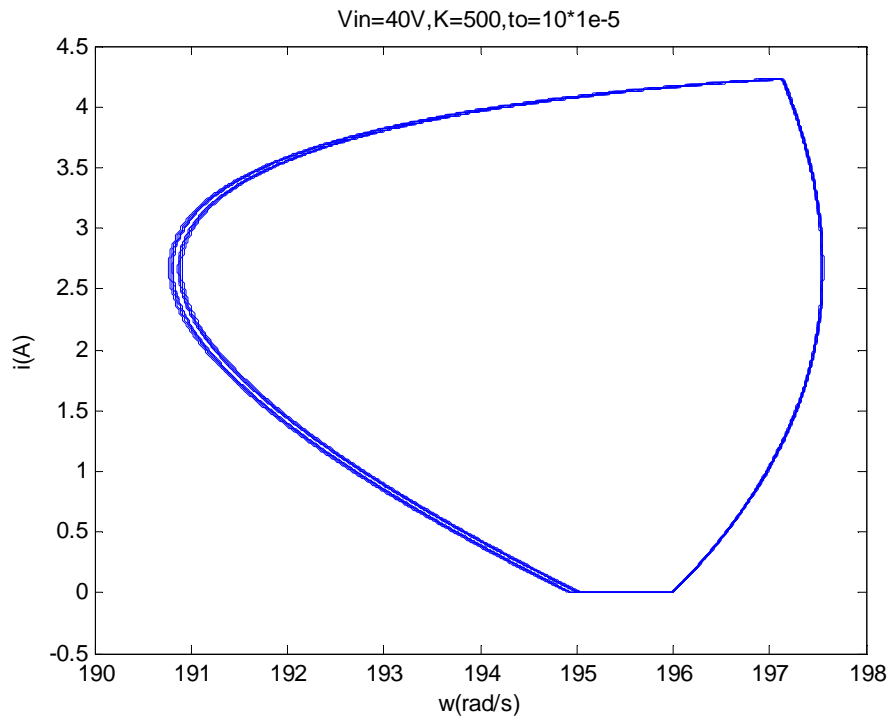
Zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyicinin devreye uygulanıp denetleyici parametreleri $K=500$ $\tau=100\mu s$ alındığında akım kontrollü DA sürücünün kaotik durumdan normal çalışma durumuna geldiği akım, hız zaman serilerinden ve faz uzayından görülmektedir (Şekil 5.27, Şekil 5.28).



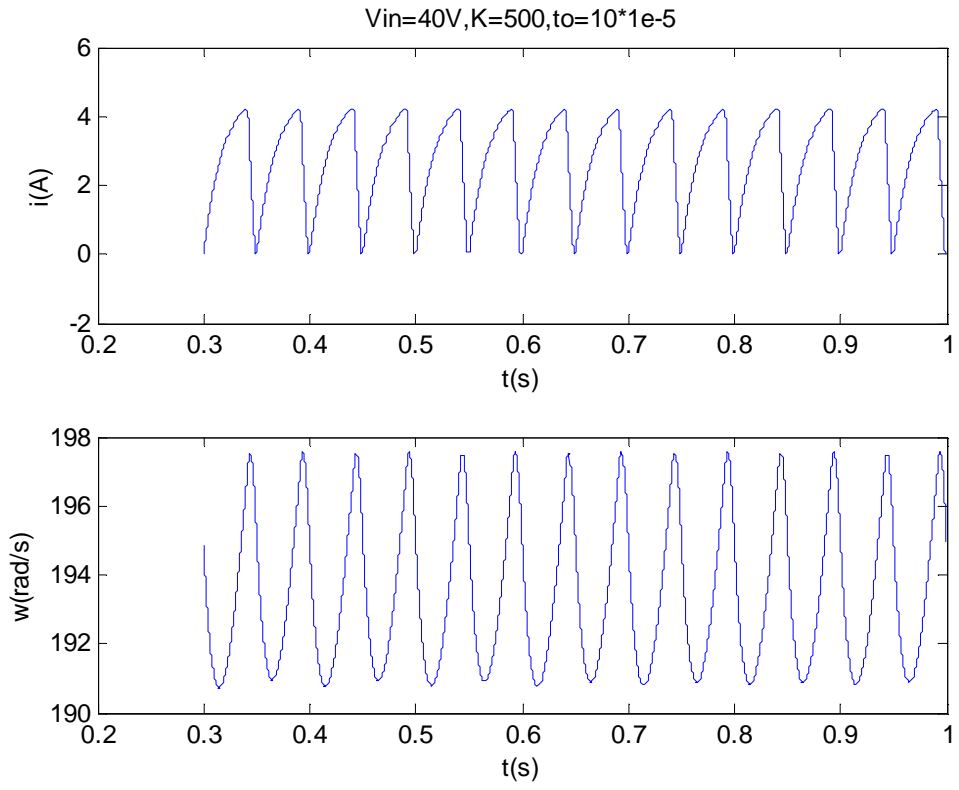
Şekil 5.25. Akım kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli geri beslemeli kontrolünün Matlab-Simulink şeması



Şekil 5.26. Akım kontrollü DA sürücünün zaman gecikmeli akım geri beslemeli denetleyici Matlab-Simulink şeması



Şekil 5.27. Zaman gecikmeli akım geri beslemeli denetleyici aktif iken faz uzayı (periyot 1 limit çevrim, $K=500$ $\tau=100\mu s$, kaos sonrası)



Şekil 5.28. Zaman gecikmeli akım geri beslemeli denetleyici aktif iken akım ve hız dalga şekilleri (Kaos sonrası, $K=500$ $\tau=100\mu s$)

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Pratik uygulamalarda, güç elektroniği devrelerinde BJT, MOSFET, IGBT, tristör ve diyot gibi yarı iletken anahtarlama elemanların doğrusal olmayan DA karakteristiğine sahip olması, devrenin doğrusal olmayan kapasite veya bobin içermesi ve özellikle kontrol devrelerinin karşılaştırıcı, DGM üretici, çarpma entegreleri, sayısal denetleyiciler gibi elemanlar doğrusal olmayan bir şekilde davranabilir. Bundan dolayı, güç elektroniği devrelerinde doğrusal olmayan olaylar meydana gelir. Bu doğrusal olmayan olaylar çıkış geriliminde ve bobin akımında çeşitli harmoniklere, düzensiz periyodik olmayan osilasyonlara ve kaosa neden olmaktadır.

Bu tezde, güç elektroniği devrelerinde kullanılan Alçaltıcı, Yükseltici, Alçaltıcı-Yükseltici, paralel bağlı Yükseltici dönüştürücülerinin açık çevrim kontrol ve gerilim veya akım geri beslemeli kapalı çevrim kontrolleri MATLAB-SIMULINK[®] programında devre modelleri kurularak benzetim sonuçları elde edilmiştir. Bu anahtarlama geri beslemeli DA - DA dönüştürücülerde ve DA sürücüsünde meydana gelen doğrusal olmayan olayların benzetimler ile kaotik davranışları gösterilmiştir.

Gerilim kontrollü alçaltıcı DA - DA dönüştürücüde giriş geriliminin değişimiyle devrenin normal durumdan kaotik duruma geçişi sırasında meydana gelen durumlar bölüm 5' de verilmiştir. Giriş gerilimi 23V olduğunda dönüştürücü normal çalışma (Şekil 4.3), 28V olduğunda periyot 2 (Şekil 4.8), 32V olduğunda periyot 4 (Şekil 4.13), 33V olduğunda ise dönüştürücünün kaotik duruma (Şekil 4.18) geçtiği görülmüştür.

Akım kontrollü yükseltici DA-DA dönüştürücüde referans akımının değişimiyle devrenin normal durumdan (Şekil 4.23) kaotik duruma (Şekil 4.35) geçişi sırasında meydana gelen periyot 2 (Şekil 4.27), periyot 4 (Şekil 4.31) durumları gösterilmiştir.

Ayrıca, paralel bağlı yükseltici DA-DA dönüştürücünün referans akımının artmasıyla kaotik duruma geldiği şekil 4.48’de gösterilmiştir.

Gerilim kontrollü DA sürücüde g katsayısının değişmesiyle (Şekil 4.61) akım kontrollü DA sürücüde giriş geriliminin değişmesi (Şekil 4.70) ile devrenin kaotik davranabileceği görülmüştür.

Dönüştürücü çıkışında doğrusal olmayan olaylar sonucunda meydana gelen istenmeyen periyodik olmayan dalgalanmaları engellemek için anahtarlamalı DA - DA güç dönüştürücülerinin kaos kontrolü araştırılmış ve uygulamalarla gösterilmiştir.

Zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyici tasarlanıp paralel bağlı yükseltici DA - DA dönüştürücüsüne uygulanarak devrenin kaotik durumdan normal çalışma durumuna gelmesi şekil 5.5’ten görüldüğü gibi sağlanmıştır. Gerilim kontrollü DA sürücünün kaos kontrolünde uygulanan zaman gecikmeli geri beslemeli denetleyicinin gecikme zamanı $\tau = 100 \mu s$ ve $\tau = 10 \mu s$ olduğunda dönüştürücülerin normal çalışma durumuna gelmesi için sırasıyla kazanç katsayısının $K=10$ ve $K=300$ olduğu gösterilmiştir (Şekil 5.17, Şekil 5.18). Ayrıca, zaman gecikmeli akım ve hız geri beslemeli denetleyici tasarlanıp DA sürücünün kaotik durumdan normal çalışma durumuna geldiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] BANERJEE, S., VERGHESE, G.C., Nonlinear Phenomena in Power Electronics: Attractors, Bifurcations, Chaos, and Non-linear Control. IEEE Press, 2001
- [2] ÜRGÜN, S., ERFIDAN, T., ÇORUH, N., DA-DA Buck Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi, ELECO'2008 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, 2008
- [3] BERNARDO, M.D., TSE, C.K., Chaos in Power Electronics: An Overview
- [4] KASSAKIAN, J.G., SCHLECHT, M.F., VERGHESE, G.C., Principles of Power Electronics, Addison--Wesley, 1991
- [5] NICOLAS, B., FADEL, M., CHÉRON, Y., Robust Control of Switched Power Converters via Sliding Mode, ETEP, Vol. 6, No. 6, November/December, pp. 413-418, 1996
- [6] LIN, S.C., TSAI, C.C., Adaptive voltage regulation of PWM buck DC-DC converters using backstepping sliding mode control, International Conference on Control Applications, 2004. Proceedings of the 2004 IEEE, Taiwan, 2-4 Sept. 2004
- [7] CORRADINI, L., MATTAVELLI, P., Modeling of Multisampled Pulse Width Modulators for Digitally Controlled DC-DC Converters, IEEE Transactions on Power Electronics, Volume: 23 , Issue: 4, p. 1839 - 1847, 2008
- [8] BROCKETT, R.W., WOOD, J.R., Understanding power converter chaotic behavior in protective and abnormal modes, in Powercon II, 1984
- [9] BANERJEE, S., Is the Knowledge about Bifurcation and Chaos in Power Electronics Useful in Practice? IEEE '2006
- [10] OLIVAR, G., Chaos in Buck Converter, PhD thesis in Mathematics, Universitat Politecnica de Catalunya, April, 1997

- [11] BERNARD, M.D., GAROFALO, F., GLIELMO, L., VASCA, F., Analysis of Chaotic Buck, Boost and Buck-Boost Converters through Switching Maps, IEEE 1997
- [12] WANG, L.L., ZHOU, Y.F., CHEN, JN., Study on the Dynamical Model and Analytical Method for DC-DC Switching Converter, IPEMC, 2006
- [13] FOSSAS, E., OLIVAR, G., Study of Chaos in the Buck Converter, IEEE Transactions on Circuits and Systems-I Fundamental Theory and Applications, vol. 43, no. 1, January 1996.
- [14] CHAKRABARTY, K., PODDAR, G., BANERJEE, S., Bifurcation Behavior of the Buck Converter, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 11, no. 3, May 1996.
- [15] WOOD, J.R., Chaos: A Real Phenomenon in Power Electronics, Applied Power Electronics Conference and Exposition, p: 115 - 124, 1989
- [16] DEANE, J.H.B., HAMILL, D.C., Analysis, simulation and experimental study of chaos in the buck converter, in IEEE Power Electronics Specialists Con. pp. 491-498, June 1990
- [17] DEANE, J., HAMILL, D., Instability, Subharmonics and Chaos in Power Electronic Systems, IEEE Trans. Power Electronics, vol.5, no.3, pp.260-267, 1990
- [18] NATSHEH, A.N., KETTLEBOROUGH J.G., NAZZAL, J.M., Analysis, simulation and experimental study of chaotic behaviour in parallel-connected DC-DC boost converters, Chaos, Solitons and Fractals 39 2465-2476, 2009
- [19] NAGY, I., MATAKAS, JR.L., MASADA, E., Application of the theory of chaos in PWM technique of induction motors, in Proc. Int. Conf. Power Electronics, pp. 58-63, 1995
- [20] CHEN, J.H., CHAU, K.T., CHAN, C.C., Chaos in voltage-mode controlled DC drive systems, INT. J. Electronics, vol. 86, no. 7, 857- 874, 1999
- [21] CHEN, J.H., CHAU, K.T., CHAN, C.C., Analysis of Chaos in Current-Mode-Controlled DC Drive Systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 47 n. 1,p. 67-76, 2000
- [22] BASAK, B., PARUI, S., Bifurcation and Chaos in Current Mode Controlled DC Drives In Continuous and Discontinuous Conduction Mode of Operation, 2009 IEEE, TENCON 2009
- [23] OTT, E., GREBOGI, C., YORKE, J.A., Controlling chaos, Physical Review Letters, vol. 64, no. 11, pp. 1196-1199, 1990

- [24] BUENO, R.S., MARRERO, J.L.R, Application Of The OGY Method To The Control Of Chaotic DC-DC Converters: Theory And Experiments, ISCAS 2000 - IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May 28-31, Geneva, Switzerland, 2000
- [25] ZHU, N., WEILIN, W., Two-Parameter Chaotic Control In The Voltage Controlled Buck Converter, The Fifth International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2003. PEDS 2003
- [26] PYRAGAS, K., Continuous Control Of Chaos By Self-Controlling Feedback, Phys. Lett. A, Vol. 170, Pp.421 - 428 , 1992
- [27] BATLLE, C., FOSSAS, E., OLIVAR, G., Time-Delay Stabilization Of The Buck Converter, 1st International Conference Control of Oscillations and Chaos Proceedings, 1997
- [28] STROGATZ, S.H., Nonlinear Dynamics And Chaos, Perseus Books Publishing, New York, Pp. 498, 1994
- [29] ALLİGOOD, K.T., SAUER, T.D., YORKE, J.A., Chaos, Springer-Verlag, New York, Pp 603, 1997
- [30] ÖZER, A.B., Elektriksel Sürücü Sistemlerinde Doğrusal Olmayan Olguların Kaotik Analizi ve Yumuşak Hesaplama Yöntemleri ile Denetimi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005
- [31] RUELLE, D., Raslantı Ve Kaos, Tübitak Yayınları, Pp 183, 2004
- [32] GLEİCK, J., Kaos, Tübitak Yayınları, Pp 412, 2003
- [33] UYAROĞLU, Y., Elektrik Güç Sistemlerinde Çatallaşma Analizi İle Kaotik Olayların İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Haziran 2002
- [34] YİĞİT E., Güç Trafolarında Ferrerezonans Olayların Kaotik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Mayıs 2009
- [35] ÖZKAYNAK, F., Doğrusal Olmayan Sistemlerde Lyapunov Üsttellerini Hesaplayan Yazılımın Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [36] KHALİL, H.K., Nonlinear Systems, Prentice Hall , pp 26-28, 1996
- [37] HILBOR,N R.C., Chaos And Nonlinear Dynamics, Oxford University Press, New York, Pp 650, 2003
- [38] BAKER, G.L., GOLLUB, J.P., Chaotic Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge, Pp 179, 1990

- [39] PEHLİVAN, İ., Yeni Kaotik Sistemler: Elektronik Devre Gerçeklemeleri, Senkronizasyon ve Güvenli Haberleşme Uygulamaları, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Mart 2007
- [40] LORENZ, E.N., Deterministic non-periodic flows, J. Atmos.Sci., Vol.20, No.1, 130–141, 1963
- [41] CASTILLO, O., MELİN, P., Soft Computing For Control Of Nonlinear Dynamical Systems, Physica-Verlag, New York, Pp 221, 2001
- [42] MATSUMOTO, T., A chaotic attractor from Chua's circuit, IEEE Trans. CAS, vol. CAS-31, pp. 1055-1058, Dec. 1984
- [43] SHAW, R., Strange attractor, chaotic behavior and information flow. Zeitschrift für Naturforsch A: 36, 80-112, 1981
- [44] EMİROĞLU, S., UYAROĞLU, Y., Kaotik Burke-Shaw çekicisinin aktif kontrol ile senkronizasyonu, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0154, ISSN:1306-3111, 2011
- [45] KUBAT, C., TAŞKIN, H., Nonlinear Dynamical Behaviours of The Physical Processes : A Comparison Between Crisp And Fuzzy Models, ISDC '97
- [46] TIGAN, G., Analysis of a dynamical system derived from the Lorenz system, Sci. Bull. Politehnica Univ. Timisoara Tomul 50(64) (Fascicola 1), 61-72, 2005
- [47] EMİROĞLU, S., UYAROĞLU, Y., YILMAZ, Z., Passivity based chaos control of the T system, Proceedings of 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems (IMS 2010) ,International University of Sarajevo, Sakarya University Department of Industrial Engineering, Bosnia Herzegovina, September 15-17, 118-125, 2010
- [48] UEDA, Y., AKAMATSU, N., Chaotically Transitional Phenomena in the Forced Negative-Resistance Oscillator, IEEE Trans. Circuit. Syst., Vol. CAS-28, pp.217-224, 1981
- [49] NATSHEH, A.N., Analysis, Simulation and Control of Chaotic Behaviour In Power Electronic Converters, PhD thesis, Loughborough University, October, 2008
- [50] MEHRIZI-SANI, A., KINSNER, W., FILIZADEH, S., On The Chaotic Behaviour Of Buck Converters, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2007. Pp. 1145 – 1149, CCECE 2007

- [51] LIHONG, H., MEIMEI, J., ZHONGWEN, D., JIANHUA, W., Chaos Control For The Boost Converter Under Current-Mode Control, Control And Decision Conference (CCDC), Chinese, pp. 3579 – 3583, 2010
- [52] KAVITHA, A., UMA, G., Resonant Parametric Perturbation Method To Control Chaos in Current Mode Controlled DC-DC Buck-Boost Converter, Journal Of Electrical Engineering & Technology Vol. 5, No. 1, Pp. 171~178, 2010
- [53] IQBAL, S., AHMED, M., QURESHI, S.A., Investigation Of Chaotic Behavior In DC-DC Converters, World Academy Of Science, Engineering And Technology 33 2007

ÖZGEÇMİŞ

Selçuk EMİROĞLU, 1987 yılında Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya' da tamamladı. 2004 yılında Adapazarı Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 2004 – 2009 yılları arasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü'nü tamamladı. 2009 yılından beri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Müh. ABD, Elektrik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimi'ne devam etmektedir.