



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜRÜCÜ TİP BİR DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN SİSTEM
TANIMLAMA YÖNTEMİYLE TASARIMI VE
OPTİMİZASYONU**

Nurullah BOZKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Şubat-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Nurullah BOZKURT tarafından hazırlanan “Düşürücü tip bir DA-DA dönüştürücünün sistem tanımlama yöntemiyle tasarımı ve optimizasyonu” adlı tez çalışması .../02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç Dr. Fevzi HANSU

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM

.....

Üye

Doç. Dr. Serdar EKİNCİ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Tarık ARAL
LEE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented by academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Nurullah BOZKURT

Tarih: 15/02/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

DÜŞÜRÜCÜ TIP BİR DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN SİSTEM TANIMLAMA YÖNTEMİYLE TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Nurullah BOZKURT

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM

2022, 71 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Fevzi HANSU
Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM
Doç. Dr. Serdar EKİNCİ**

Bir dönüştürücünün transfer fonksiyonunu elde etmek için matematiksel modelleme gibi karmaşık işlemler gerekmektedir. Sistem tanımlama yöntemleri bu noktada matematiksel modelleme gerektiren işlemleri çok hızlı ve doğru bir şekilde çözmemize olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, MATLAB / Simulink uygulaması ile kontrolsüz bir düşürücü tip DA-DA dönüştürücü tasarımı yapıldıktan sonra sistem tanımlama metodu kullanılarak transfer fonksiyonuna dayalı yeni bir modelleme tasarımı amaçlanmıştır. Simulink uygulaması üzerinde belirlenen giriş ve çıkış değerleri tasarımı yapılan sistemin transfer fonksiyonunun katsayılarının belirlenebilmesi için veri girişleri olarak kullanılmıştır. MATLAB Sistem Tanımlama Araç Kutusu kullanılarak farklı kutup ve sıfırlar ile katsayılar belirlenmiş ve transfer fonksiyonları modelleri önerilmiştir. Önerilen modellerin performans değerleri ve ortaya konmuştur. Tasarımı yapılan sistem için transfer fonksiyonu seçimi yapılmıştır. Kontrolsüz olan sistemi kararlılık derecesini arttırmak için sisteme PID kontrolör eklenmiştir. PID kontrole ait parametrelerin optimizasyonu için Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB 'PID Tuner' uygulaması ve MATLAB 'pidtune' fonksiyonu kullanılmış ve söz konusu yöntemlerin performans değerleri karşılaştırılmıştır. MATLAB uygulamalarının literatürde yaygın olarak kullanılan Ziegler-Nichols yöntemine göre daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Sistem için MATLAB 'PID Tuner' uygulaması ile katsayıları belirlenmiş olan PID kontrolör tercih edilmiştir.

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresinin kontrolsüz ve PID kontrollü açık çevrim ve kapalı çevrim performansları kıyaslanmıştır. Devre sonuçları incelendiğinde, MATLAB sistem tanımlama araç kutusu kullanılarak çıkarımı yapılan transfer fonksiyonunun devreyi hızlı ve doğru bir şekilde modellediği ve kontrolör tasarımı basitleştirildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü, MATLAB, Sistem Tanımlama, Transfer Fonksiyonu.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND OPTIMIZATION OF THE BUCK CONVERTER WITH THE SYSTEM IDENTIFICATION METHOD

Nurullah BOZKURT

**THE GRADUATE EDUCATION INSTITUTE OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRIC-ELECTRONIC ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Davut SEVİM

2022, 71 Pages

Jury

**Doç. Dr. Fevzi HANSU
Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM
Doç. Dr. Serdar EKİNCİ**

Complex operations such as mathematical modeling are required to obtain the transfer function of a converter. At this point, system identification methods allow us to solve operations that require mathematical modeling very quickly and accurately.

In this study, after designing an uncontrolled buck converter with MATLAB / Simulink application, a new modeling design based on the transfer function was aimed using the system identification method. The input and output values determined on the Simulink application are used as data inputs to determine the coefficients of the transfer function of the designed system. By using MATLAB System Definition Toolbox, different poles and zeros and coefficients were determined and transfer function models were proposed. The performance values of the proposed models are presented. The transfer function has been selected for the designed system. A PID controller has been added to the system to increase the stability of the uncontrolled system. For the optimization of PID control parameters, Ziegler-Nichols step response method, MATLAB 'PID Tuner' application and MATLAB 'pidtune' function were used and the performance values of these methods were compared. It has been shown that MATLAB applications give more successful results than the Ziegler-Nichols method, which is widely used in the literature. PID controller whose coefficients were determined with MATLAB 'PID Tuner' application was preferred for the system.

The buck converter simulation circuit's uncontrolled and PID controlled open-loop and closed-loop performances are compared. When the circuit results were examined, it was seen that the transfer function extracted using the MATLAB system definition toolbox modeled the circuit quickly and accurately and simplified the controller design.

Keywords: Buck Converter, MATLAB, System Identification, Transfer Function

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM' e teşekkür ederim. Bilgi ve birikiminden her daim faydalandığım Sayın Öğr. Gör. Turgut KAYA' ya ve Sayın Doç. Dr. Serdar EKİNCİ' ye teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her alanında bana desteğini esirgemeyen değerli eşim Esra BOZKURT'a ve beni bu günlere getiren anneme ve babama teşekkürlerimi borç bilirim.

Nurullah BOZKURT
BATMAN-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER.....	ix
ÇİZELGELER.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Bildirişleri	2
1.2. Tezin Bölümleri	5
2. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	6
2.1. Düşürücü (Buck) Dönüştürücü	8
2.2. Yükseltici (Boost) Dönüştürücü	10
2.3. Düşüren-Yükselten (Buck-Boost) Dönüştürücü	14
2.4. CUK Dönüştürücü	16
2.5. DA-DA Dönüştürücülerin Kontrolü	18
2.5.1. Açık çevrim kontrol	19
2.5.2. Kapalı çevrim kontrol	19
2.5.3. Oransal (P) kontrol.....	20
2.5.4. Oransal-integral (PI) kontrol.....	21
2.5.5. Oransal-türevsel (PD) kontrol.....	22
2.5.6. Oransal-integral-türevsel (PID) kontrol.....	23
2.5.7. Geri besleme metodları	26
2.5.8. Darbe genişlik modülasyonu	28
3. MODEL VE TASARIM	30
3.1. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Modeli	30
3.1.1 Düşürücü tip DA-DA Dönüştürücü Devresinin Transfer Fonksiyonu Çıkarımı	30
3.1.2 Görev döngüsü (duty cycle) hesabı	32
3.1.3 Endüktans hesabı	35
3.1.4 Kapasitans hesabı.....	39
3.2. Simülasyon Devresi Hesaplamaları	40
3.3. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Matematiksel Analizi.....	42
3.4. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Devre Tasarımı	43

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE OPTİMİZASYON	45
4.1. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Devre Sonuçları	45
4.2. MATLAB / Sistem Tanımlama Araç Kutusu ile Transfer Fonksiyonu Tahmini 49	
4.3. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Devresine PID Kontrolör Uygulanması	54
4.4. PID Kontrolör Parametrelerinin Optimizasyonu	55
4.4.1 Ziegler-Nichols metodu ile PID kontrol parametre optimizasyonu.....	55
4.4.2 MATLAB yazılımı PID Tuner uygulaması ile PID kontrol parametre optimizasyonu	56
4.4.3 MATLAB yazılımı ‘pidtune’ fonksiyonu ile PID kontrol parametre optimizasyonu	57
4.4.4 PID kontrol parametre optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	58
4.5. PID Kontrolörlü Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Devre Sonuçları	62
5. SONUÇLAR.....	68
KAYNAKLAR	69
6. ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. DA-DA dönüştürücüye ait kontrollü tip temel blok şeması	6
Şekil 2.2. DA-DA dönüştürücünün bobin akımına göre iletim durumları	8
Şekil 2.3. Düşüren dönüştürücü devresi	9
Şekil 2.4. Düşüren dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları.....	10
Şekil 2.5. Yükselten dönüştürücü devresi.....	11
Şekil 2.6. Yükselten dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu	11
Şekil 2.7. Yükselten dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu	12
Şekil 2.8. Yükselten dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları	14
Şekil 2.9. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi.....	14
Şekil 2.10. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu	15
Şekil 2.11. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu.....	15
Şekil 2.12. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları	16
Şekil 2.13. CUK dönüştürücü devresi	17
Şekil 2.14. CUK dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu.....	17
Şekil 2.15. CUK dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu	18
Şekil 2.16. Açık çevrim kontrol sistemi temel elemanları.....	19
Şekil 2.17. Kapalı çevrim kontrol sistemi temel elemanları	19
Şekil 2.18. Sistemin farklı kazanç değerlerinde ve kontrolörsüz durumlardaki birim basamak cevapları.....	21
Şekil 2.19. PI kontrolörlü sisteminin sabit $K_p = 4$ ve değişken K_i için step cevapları ..	22
Şekil 2.20. PD kontrolörlü sisteminin sabit $K_p = 4$ ve değişken K_d için step cevapları	23
Şekil 2.21. PID İdeal form blok diyagramı.....	25
Şekil 2.22. Gerilim modlu geri besleme blok diyagramı	27
Şekil 2.23. Akım modlu geri besleme blok diyagramı	27
Şekil 2.24. Görev döngüsünün farklı yüzdelerde çalışma aralıkları.....	28
Şekil 2.25. Modülatör yapısı.....	29
Şekil 3.1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu.....	31
Şekil 3.2. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu	34
Şekil 3.3. Bobin akımı	37
Şekil 3.4. Kaynak akımı.....	38
Şekil 3.5. Diyot akımı	38
Şekil 3.6. Kondansatör akım ve gerilim dalga formları.....	39
Şekil 3.7. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresi	44
Şekil 4.1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simulink devresi çıkış gerilim grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü	46
Şekil 4.2. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simulink devresi bobin akım grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü	47
Şekil 4.3. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simulink devresi mosfet (I_a) ve diyot (I_d) akım grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü.....	48
Şekil 4.4. Transfer fonksiyonu çıkarımını açıklayan iş akış şeması	49
Şekil 4.5. Sistem tanımlama araç kutusuna değişkenlerin tanımlanması	50
Şekil 4.6. Farklı transfer fonksiyonlarının basamak cevapları	51
Şekil 4.7. Transfer fonksiyonu açık çevrim cevabı	52
Şekil 4.8. Transfer fonksiyonu açık çevrim basamak cevabı	53
Şekil 4.9. PID kontrolörlü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi.....	54
Şekil 4.10. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi	55
Şekil 4.11. PID tuner üzerinden otomatik parametre seçimi	57

Şekil 4.12. Ziegler-Nichols, MATLAB ‘PID Tuner’ ve MATLAB ‘pidtune’ kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramları	59
Şekil 4.13. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramlarına ait sonuç grafiği	60
Şekil 4.14. PID kontrol parametre değerleri	61
Şekil 4.15. PID kontrollü düşürücü dönüştürücü çıkış gerilim grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü	63
Şekil 4.16. PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü bobin akım grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü	64
Şekil 4.17. PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü mosfet (I_a) ve diyot (I_d) akım grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü	65
Şekil 4.18. Kontrolsüz ve PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü blok diyagramı	66
Şekil 4.19. Kontrolsüz ve PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü blok diyagram cevap grafiği	67

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Devre parametreleri	41
Çizelge 3.2. Matematiksel analiz sonuçları	43
Çizelge 4.1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün matematiksel analizi ve kontrolsüz simülasyon devresi sonuçları	45
Çizelge 4.2. Farklı kutup ve sıfır değerli transfer fonksiyonları ve doğruluk yüzdeleri.	51
Çizelge 4.3. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün açık çevrim geçici hal cevabı performans değerleri	53
Çizelge 4.4. Ziegler-Nichols parametre seçim tablosu	56
Çizelge 4.5. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi bulunan PID kontrolör parametre değerleri	56
Çizelge 4.6. MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ile bulunan PID kontrolör parametre değerleri	57
Çizelge 4.7. Ziegler-Nichols basamak cevap yönetmi ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolör parametre değerlerinin karşılaştırılması	58
Çizelge 4.8. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramları performans değerleri	60
Çizelge 4.9. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüsüne ait matematiksel analiz, kontrolsüz ve PID kontrollü simülasyon devre sonuçları	62
Çizelge 4.10. Kontrolsüz ve PID kontrollü sistem cevaplarının performans değerleri karşılaştırılması	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C	Kondansatör
D	Görev çarpanı
$D1$	Diyot
E	Hata
f_s	Anahtarlama frekansı
I_C	Kondansatör akımı
I_d	Diyot üzerinden geçen akım
I_L	Ortalama bobin akımı
I_{Lmin}	En yüksek bobin akımı
I_{Lmax}	En düşük bobin akımı
I_0	Çıkış akımı
I_S	Kaynak akımı
K_d	Türevsel katsayı
K_i	İntegral katsayı
K_p	Oransal katsayı
L	Bobin
RL	Yük direnci
$S1$	Yarı iletken anahtar
t_{on}	İletim süresi
t_{off}	Kesim süresi
T	Periyot
U	Kontrolör çıkış değeri
V_0	Yük (çıkış) gerilimi
V_C	Kondansatör gerilimi
V_S	Giriş gerilimi
V_L	Bobin gerilimi

Kısaltmalar

CCM	Sürekli İletim Modu
DA	Doğru Akım
DCM	Süreksiz iletim Modu
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
I	İntegral
P	Orantısız
PI	Orantısız İntegral
PD	Orantısız Türev
PID	Orantısız İntegral Türev
$SEPIC$	Tek Uçlu Primer İndüktör Çevirici

1. GİRİŞ

Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler ile güç elektroniğinde de çok ciddi gelişmeler olmuştur. Günümüzde güç elektroniği sistemleri, birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan biri de anahtarlamalı düşürücü tip DA-DA dönüştürücüleridir. Düşüren tip DA-DA dönüştürücüler, işletmelerde üretimi gerçekleştiren makinelerin güç kaynaklarında, motor kontrol devrelerinde ve günlük hayatta kullanılan bilgisayar, televizyon gibi birçok üründe kullanılmaktadır (Yalduz, 2015).

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüler bobinli olurlar ve genellikle izolesiz yapıda üretilirler. Bu dönüştürücüler temelde bir aktif ve bir pasif devre elemanının çalışma devreye bağlanması ile elde edilirler (Rashid, 2007).

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücülerde, çıkış voltajının büyüklüğü, dönüştürücü anahtarının girişindeki darbenin görev oranının kontrol edilmesi ve dönüştürücü anahtarının her döngüde açılıp kapatılmasıyla kontrol edilir (Özdemir & Yazıcı, 2018), (Emadi, 2005). Bu güç kaynakları genellikle CCM (Sürekli iletim modu) modunda çalıştırılırlar (Emadi, 2005), (Bodur, 2014). Bunun nedeni ise mosfet ve diyot arasında periyodik akım aktarımı vardır, bu aktarım sırasında anahtarlamalardan kaynaklanan kayıplar artar (Bodur, 2014), (Basso, 2014), (Surya Santoso & Beaty, 2018) ve (Christiansen, Alexander, & Jurgen, 2005). Sistem CCM' de çalıştığında güç aktarımı mükemmelere yakın olduğu için bu kayıpların en aza indirilmiş olacaktır (Basso, 2014), (Surya Santoso & Beaty, 2018).

DA-DA dönüştürücülerin çeşitli topolojileri bulunmaktadır. Bunlar temel olarak iki ayrı grup olarak ayrılır. Bunlar; İzole olmayan DA-DA dönüştürücüler (klasik tipler) ve İzole olan DA-DA dönüştürücülerdir. İzole olmayan DA-DA dönüştürücüler; Düşürücü (Buck) Dönüştürücü, Yükseltici (Boost) Dönüştürücü, Düşürücü–Yükseltici Dönüştürücü (Buck-Boost), CUK Dönüştürücü, Zeta Dönüştürücü, SEPIC Dönüştürücüdür. İzole olan DA-DA dönüştürücüler ise Flyback Dönüştürücü, İleri (Forward) Dönüştürücü, Tek uçlu iki transistörlü İleri Dönüştürücü (Single-Ended Two-Transistor Forward Converter), Faz Kaydırmalı Tam köprü Dönüştürücüdür (Gider, 2020).

1.1. Kaynak Bildirişleri

Literatürde Düşürücü dönüştürücü devre tasarımı, kontrolü ve model tahmini ile ilgili ile ilgili yapılmış olan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar arasında;

Ghazy ve Amin, çalışmalarında doğrusal olmayan sistemlerde kayan modlara yol açan titreşim kontrol stratejileri ve kendi kendini ayarlayan kontrol şemaları kullanılarak genel ilişkiler kurmuştur. Sonuçlar, DA-DA düşürücü dönüştürücünün düzenlenmesi için bir kayan rejim tasarımına uygulanmıştır. Dönüştürücünün parametreleri, çalışması sırasında değişebildiği ve bu nedenle titreme kontrolünün tasarımı, bu parametrelerin uç değerlerine bağlı olduğu ve bu da, dönüştürücüler üzerinde stres yarattığı açıklanmıştır. Bu stresi azaltmak için, dönüştürücünün parametreleri, optimum anahtarlama anlarını belirlemek için değişken yapı kontrolü ile kullanılan ARMAX model tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir (Ghazy & Amin, 2001).

Buiatti, Amaral, ve Marques Cardoso, çalışmalarında DA-DA düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici dönüştürücülerin parametrelerini tahmin etmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. için en küçük kareler yöntemini kullanan bir yöntem sunmuştur (Buiatti, Amaral, & Marques Cardoso, 2007).

Zhao, çalışmasında basit donanımla uygulanabilen otomatik ayarlı kontrolör geliştirir. Kontrolör, kasıtlı olarak getirilen sınır döngüsü salınımlarının genliğini ve frekansını inceleyerek çıkış kapasitansı, yük direnci, köşe frekansı ve sönümlleme faktörü gibi güç aşaması parametrelerini tahmin eder (Zhao, 2008).

Algreer, Armstrong, ve Giaouris, çalışmalarında DA-DA dönüştürücünün parametrelerini tanımlamak için yeni bir çevrimiçi yaklaşım önermektedirler. Önerilen yöntem, geçici dönemlerde ani yük değişikliklerini hızlı bir şekilde saptayabilir ve hesaba katabilir. Bununla birlikte tahmin algoritması, çıktı tepe aşım değerine ulaşmadan önce model parametrelerini güncelleyebilir (Algreer, Armstrong, & Giaouris, 2009).

Osman ve Osman, çalışmalarında zaman alanına dayalı bir sistem tanımlama yöntemi geliştirmişlerdir. Örneklenen veriler, matematiksel bir modeli tahmin etmek ve doğrulamak için analiz edilir ve ön işleme tabi tutulur. Önerilen yöntem, yük parametresini iyi bir doğrulukla belirleyebilir (Osman & Osman, 2011).

Taborda, Angulo, ve Olivar, çalışmalarında hata üzerinden Sıfır Ortalama Dinamik veya ZAD stratejisine dayalı Dijital-PWM kontrollü düşürücü dönüştürücüde yeni bir parametre tahmin yöntemi bildirilmiştir. Tahmin kanunu, Sabit Noktalı İndükleme Kontrolü veya FPIC tekniğine dayanmaktadır. Güç dönüştürücülerde yük değeri genellikle bilinmemektedir; bu nedenle yük değerinin tahmin yasasına sahip bir kontrolör uygundur (Taborda, Angulo, & Olivar, 2011).

Li ve Low, çalışmalarında DA-DA düşürücü dönüştürücünün tam parametre tahmini için yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Yeni yaklaşım, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon kullanılarak gerçekleştirildi. Geleneksel RLS yönteminin aksine, önerilen yöntem tam durum gözlemleri bir durum uzayı modeline dayanmaktadır. Bu nedenle, farklı ölçüm gürültü seviyeleri altında parametre tahmin performansı iyileştirilmiştir (Li & Low, 2016).

Cen ve Stewart, çalışmalarında, düşürücü dönüştürücülerinin durumlarını izlemek ve kapasitans ve endüktans gibi bileşen parametrelerini tahmin etmek için model gözlemci tabanlı bir şema önermişlerdir. Düşürücü dönüştürücülerde uygulanan mevcut güvenilirlik yaklaşımlarının aksine, önerilen şema temel parametreler için çevrimiçi tahmin gerçekleştirir (Cen & Stewart, 2017).

Abbas ve Abbas, çalışmalarında dönüştürücülerin dinamiklerinin tahminini ele almaktadırlar. Önerilen araştırmada, dönüştürücü dinamiklerini tahmin etmek için görev döngüsünden çıkış voltajı tahminine kadar frekans cevabına dayalı veriler kullanılmıştır (Abbas & Abbas , 2018).

Padhee , Pati, ve Mahapatra, çalışmalarında DA-DA düşürücü dönüştürücü için kapalı döngü parametrik sistem tanımlamasının adım adım analizini sağlar. Kapalı döngü parametrik tanımlamada, giriş-çıkış deneysel verileri, DA-DA düşürücü dönüştürücünün transfer fonksiyonu katsayılarını tahmin etmek için kullanılır (Padhee , Pati, & Mahapatra, 2018).

Hekimoğlu, Ekinci, ve Kaya, çalışmalarında bir DA-DA düşürücü dönüştürücü sistemindeki PID denetleyici parametrelerinin optimum değerlerini belirlemek için balina optimizasyon algoritmasını (WOA) kullanan yeni bir tasarım yöntemi sunmuşlardır. Önerilen algoritmanın basitliği optimum PID parametrelerinin etkin bir şekilde hızlı ve yüksek kalitede ayarlanmasını sağlamıştır (Hekimoğlu, Ekinci, & Kaya, 2018).

Andries, Goras, David, Buzo, ve Pelz, çalışmalarında yazılım kontrol döngüsüne sahip bir düşürücü tip DA-DA dönüştürücüsüne uygulanan ayrı bir zaman alanlı sistem tanımlama yöntemini açıklamaktadır. Yöntemin özü, düşürücü tip DA-DA dönüştürücüsünün, PWM kontrol sinyalinin girdisi olarak dikkate alınarak dönüştürücünün çıkışının açık döngü dinamiklerine iyi bir doğrulukla yaklaşan bir transfer fonksiyonunun tahmin edilmesinden oluşur. Teknik, ek bir optimizasyon gerçekleştirerek tahmin doğruluğunu artırmak için gelişmiş bir yaklaşım kullanır. Tanımlama sürecinin bir analizi yapılır ve birkaç parametrenin etkisi tartışılır. Yöntem, deneysel sonuçlarla doğrulanır (Andries, Goras, David, Buzo, & Pelz, 2019).

Pembegüllü, çalışmasında düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün PID kontrolünü ele almıştır. PID katsayılarını simulink üzerinden optimize etmiş ve sistem kontrolünü sağlamıştır. Bunlara ek olarak farklı parametreler ile simülasyonlar gerçekleştirmiştir (Pembegüllü, 2019).

Ekinci, Hekimoğlu, Eker, ve Sevim, çalışmalarında bir düşürücü dönüştürücüdeki PID kontrol parametrelerinin ayarı için ateşböceği algoritmasının (FA) parçacık sürüsü optimizasyonu (PSA) algoritması ile hibritleştirilmesi ile elde edilen HFPSO algoritmasını kullanan yeni bir tasarım yaklaşımını sunmuşlardır. Çalışma sonucunda önerilen kontrolörün balina optimizasyon algoritması (WOA) ve genetik algortmadan (GA) daha verimli olduğu ispatlanmıştır (Ekinci, Hekimoğlu, Eker, & Sevim, 2019).

Rasheed, çalışmasında kademeli bir DA-DA dönüştürücü sistem için çevrimiçi ayarlı yarasa optimizasyon algoritmasına dayalı bir PID denetleyici tasarlamıştır. PID denetleyicinin optimal parametrelerinin belirlenmesi için yarasa optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları önerilen kontrolör sisteminin diğer kontrolör sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, geçici durumda yükselme ve yerleşme zamanlarında en aza indirme kabiliyeti olduğu gösterilmiştir (Rasheed, 2020).

Yukarıdaki örneklenen çalışmalarda görüleceği üzere çalışma alanları iki gruba ayrılmıştır. Birincisi düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün sistem tasarım aşamasındaki parametre ve transfer fonksiyonu tahmini üzerine çalışmalar yapılmıştır. İkinci çalışma grubunda matematiksel olarak çıkarımı yapılan düşürücü tip DA-DA dönüştürücüye kontrolör eklendikten sonra kontrolör parametrelerini optimize etmeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ziegler-Nichols ve kutup yerleştirme gibi geleneksel yöntemler ile beraber özellikle sezgisel üstü algoritmalar ile yeni yaklaşımlar sunulmuştur (Hekimoğlu, Ekinci, & Kaya, 2018).

Tez çalışmasını literatürde yapılan çalışmalardan farklı kılan özelliği düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün sistem tasarımı yapıldıktan sonra matematiksel olarak çözümleme gerektiren ve zaman alıcı transfer fonksiyonu hesabı yerine sistem tanımlama tabanlı transfer fonksiyonu tahmini üzerinden transfer fonksiyonu çıkarımı yapılmış ve bu aşamadan sonra sisteme eklenen PID kontrolörün parametre optimizasyonu karşılaştırılmalı olarak çalışılmıştır.

1.2. Tezin Bölümleri

Tez çalışmasının Giriş bölümünden sonra DA-DA Dönüştürücüler başlıklı 2. Bölümde düşürücü tip DA-DA dönüştürücüler ile ilgili bilgi verilmiş olup dönüştürücü çeşitleri açıklanmıştır. Ardından dönüştürücülerin kontrol yöntemleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

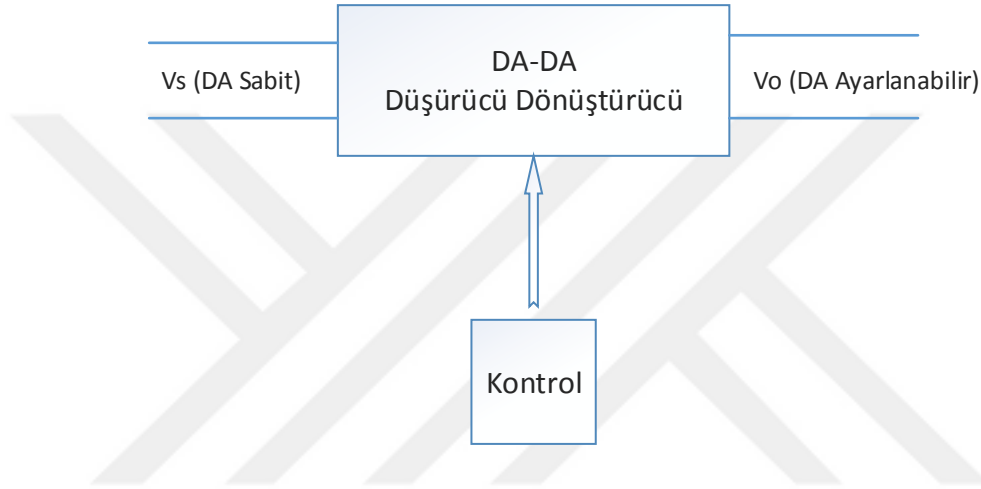
Tez çalışmasının 3. Bölümünde ilk olarak düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün matematiksel analizi ve transfer fonksiyonu çıkarımı yapılmıştır. Daha sonra devre elemanları değerleri belirlenmiş ve referans devre oluşturulmuştur.

Tez çalışmasının 4. Bölümünde öncelikle kontrolsüz olarak tasarlanan düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresinin sonuçları incelenmiştir. MATLAB Sistem Tanımlama Araç Kutusu aracılığı ile kontrolsüz olarak tasarlanan simülasyon devresinin transfer fonksiyonu tahmini yapılmış daha sonra simülasyon devresine PID kontrolör eklenmiştir. PID parametre optimizasyonunun yapılması için Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonları ile PID kontrolör parametre değerleri ayarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Optimizasyon işleminden sonra kontrolsüz ve PID kontrolörlü tasarlanan düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devrelerinin performans analizleri çıkarılmıştır.

Tez çalışması sonuçlar başlıklı 5. Bölüm ile tamamlanmıştır.

2. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Güç elektronik sistemlerinde yaygın olarak kullanılan DA-DA dönüştürücüler, herhangi bir DA giriş gerilimini bir başka DA çıkış gerilimine dönüştüren elektronik devre veya elektromekanik cihazdır. DA-DA dönüştürücüler aynı zamanda bir çeşit güç dönüştürücüsüdür. Güç seviyesi uygulama alanlarında düşük gerilimli pillerde kullanılabileceği gibi yüksek gerilimli güç aktarımlarında da kullanılabilirler. DA-DA dönüştürücüye ait kontrollü tip temel blok şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1. DA-DA dönüştürücüye ait kontrollü tip temel blok şeması

Şekil 2.1’ deki blok şema incelendiğinde, V_S giriş gerilimi ve V_O ise çıkış gerilimidir (Pembegüllü, 2019).

DA-DA dönüştürücünün çalışmasıyla ilgili temel sorun, DA-DA dönüştürücülerinin yanlış işlevine yol açan düzensiz güç kaynağıdır. DA-DA dönüştürücüler için kullanılan çeşitli analog ve dijital kontrol yöntemleri vardır. Bazıları gerilim ve akım modu kontrol teknikleri dâhil olmak üzere endüstri tarafından benimsenmiştir. DA-DA dönüştürücü girişleri genellikle regüle edilmemiş DA gerilim girişidir. Bir gerilim regülatörünün uygulanması, yük akımındaki veya giriş gerilimindeki değişikliklere bakılmaksızın sabit bir çıkış gerilimi korumalıdır. DA-DA dönüştürücülerinin verimliliğini artırmak için çeşitli kontrol şemalarına sahip çeşitli gerilim regülatörleri kullanılmaktadır. Günümüzde, güç elektroniği ve geliştirilmiş teknolojiye ileriye doğru ilerlemeden dolayı, doğru ve güvenilir düzenleme için daha ciddi bir gereklilik arzu edilmektedir. Bu, DA-DA dönüştürücüler için daha gelişmiş ve güvenilir

bir kontrolör tasarımına ihtiyaç duymaktadır. Belirli amaçlar için gerekli olan çeşitli DA-DA dönüştürücüler vardır (Lorentz, 2009).

DA-DA dönüştürücündeki çeşitlilik, farklı tipte kontrol tekniklerine ihtiyaç duymuştur. Çünkü tüm teknikler farklı özelliklere sahip olduğundan tek bir teknik tüm dönüştürücülere uygulanamaz. Çeşitli DA-DA dönüştürücülerinin performansını kolaylaştırmak için kullanılan bazı kontrol teknikleri vardır. Bunlar DA-DA dönüştürücülerin Gerilim Modu Kontrolü (Voltage mode control), Akım Modu Kontrolü (Current mode control), PI- PD- PID Kontrolörler, Kayar Mod Kontrolörleri (Sliding mode controllers), Bulanık Mantık Kontrolör (Fuzzy Logic Controller) gibi (Lorentz, 2009).

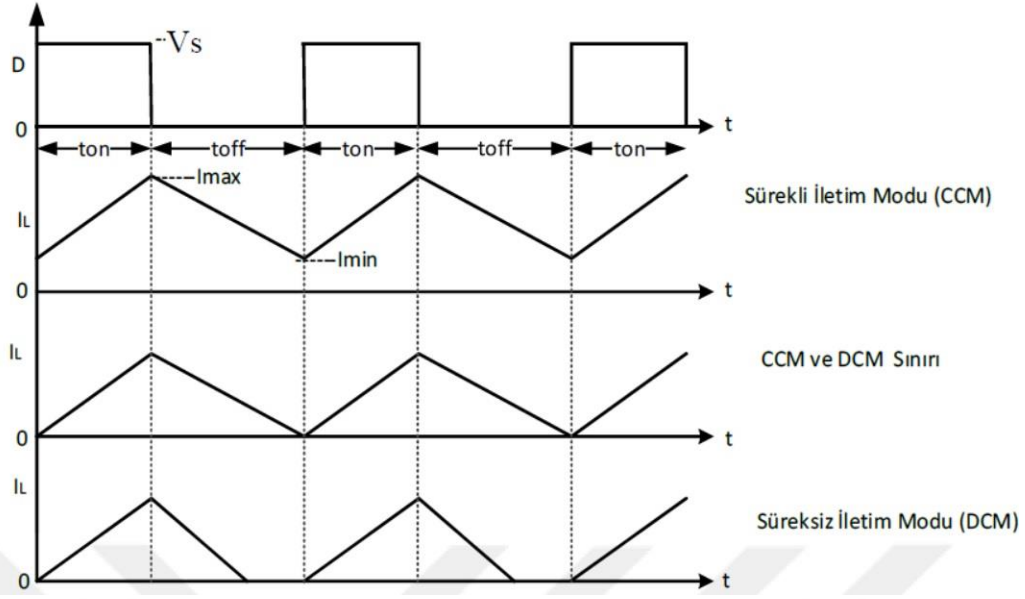
DA-DA dönüştürücülerin bir anahtarlama periyodu boyunca bobin üzerinden geçen akımın, süreklilik durumuna göre iki farklı çalışma modu vardır (Narsardin, 2012).

- a- Sürekli iletim modu (CCM)
- b- Süreksiz iletim modu (DCM)

Sürekli iletim modu: DA-DA dönüştürücülerin de bir anahtarlama periyodu boyunca bobin üzerinden geçen akımın sürekli olduğu çalışma modudur. Sürekli iletim modunda anahtar iletimde iken, bobin üzerindeki akım doğrusal olarak artar, anahtar kesimde iken yine doğrusal olarak azalır fakat hiçbir zaman sıfıra düşmez.

Süreksiz iletim modu: DA-DA dönüştürücülerin de bir anahtarlama periyodu boyunca bobin üzerinden geçen akımın sürekli olmadığı çalışma modudur. Süreksiz iletim modunda, anahtar iletimde iken şarj olan bobin akımı doğrusal olarak artar, anahtar kesimde iken deşarj olan bobin akımı yine doğrusal olarak azalır ve sıfıra düşer. Anahtar tekrar ilettime geçinceye kadar belli bir süre sıfırda kalır.

Şekil 2.2' de DA-DA dönüştürücüleri için sürekli iletim modu, süreksiz iletim modu ve bu ikisi arasındaki sınır durumu için bobin akımı değişimi gösterilmiştir (Yalduz, 2015).



Şekil 2.2. DA-DA dönüştürücünün bobin akımına göre iletim durumları

DA-DA dönüştürücüler kendi aralarında izolasyonlu ve izolasyonsuz olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İzolasyonlu (transformatörlü) dönüştürücüler; geri dönüşlü (fly back) dönüştürücüler, ileri yönlü (forward) dönüştürücüler, tam köprü (full bridge) dönüştürücüler, yarım köprü (half bridge) dönüştürücüler, push pull dönüştürücüler olarak sıralanabilir. İzolasyonsuz (endüktanslı) dönüştürücüler; yükseltici (boost) dönüştürücüler, düşürücü (buck) dönüştürücüler, düşürücü-yükseltici (buck-boost) ve CUK dönüştürücüler olarak sıralanabilir.

Çalışmamızın konusu izolasyonsuz (endüktanslı) dönüştürücüler olduğu için sadece bu bölüme ait dönüştürücü çeşitleri incelenecektir.

2.1. Düşürücü (Buck) Dönüştürücü

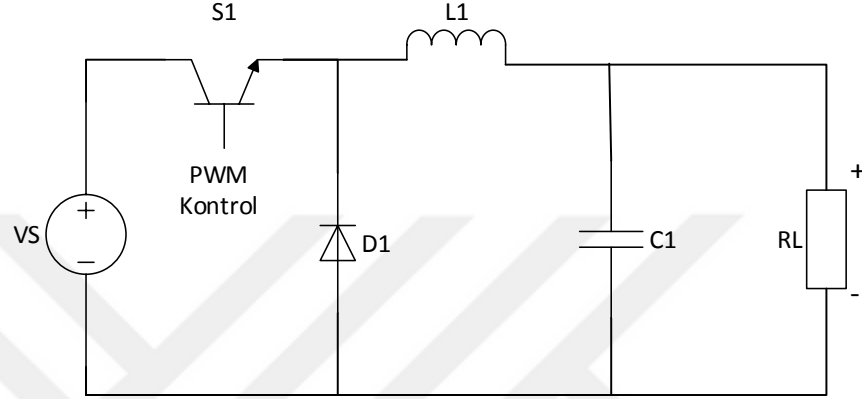
DA-DA Düşürücü Dönüştürücü devresi temel olarak belirli bir DA giriş voltajını istediğimiz daha düşük bir DA çıkış voltajına dönüştürme işlevini gerçekleştirir. Devrede kontrol edilebilen bir yarı iletken anahtar, bir diyot, bir LC alçak geçiren filtresi ve çıkışta bir yük bulunmaktadır.

Çıkış Voltajını dönüştürme işlemi yarı iletken güç anahtarının kontrol edilmesi ile gerçekleştirilir. Kontrol işlemleri için çeşitli metotlar mevcuttur. Ancak son yıllarda güç

elektronik alanında yaygın olarak kullanılan kontrol tekniği Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) tekniğidir.

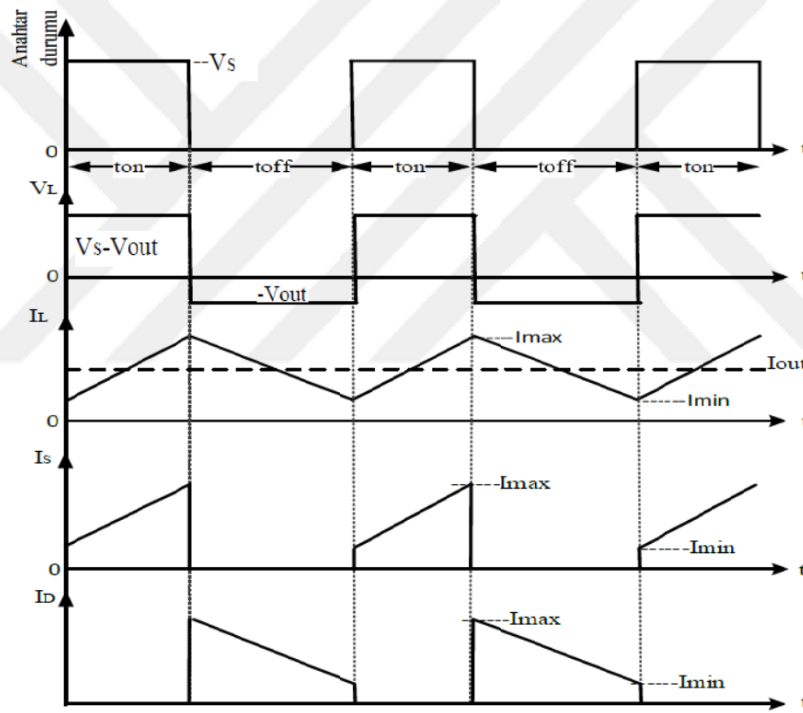
PWM kontrol yönteminde, referans gerilim ile çıkış gerilimi farkı yükseltilir. Elde edilen kontrol işareti, testere dişi dalga ile karşılaştırılır. Karşılaştırıcı devrenin çıkışından sisteme uygulanacak olan PWM kontrol işareti elde edilir (Bodur, 2014).

Şekil.2.3'te temel düşüren dönüştürücü devresi şematik devresi verilmiştir.



Şekil 2.3. Düşüren dönüştürücü devresi

Sürekli çalışma durumuna göre düşürücü dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagram gösterimi Şekil 2.4'te gösterilmiştir (Yalduz, 2015).



Şekil 2.4. Düşüren dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları

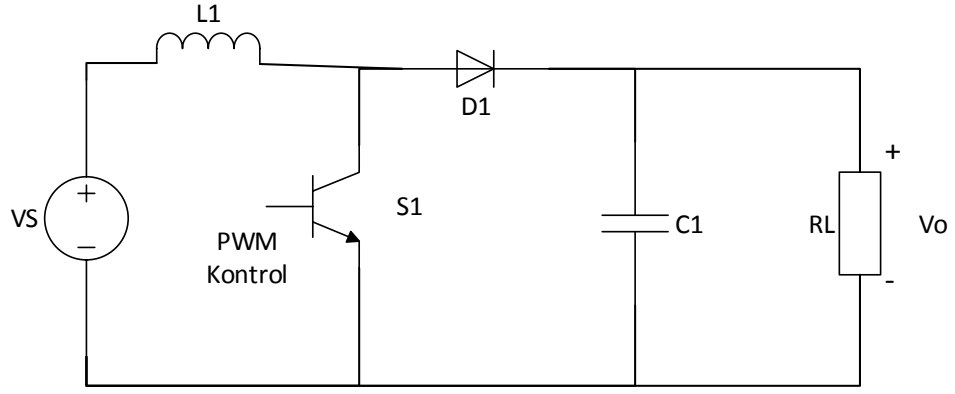
Düşürücü dönüştürücü sürekli iletim modunda veya süreksiz iletim modunda çalışabilir. İkisi arasındaki fark, sürekli iletim modunda bobindeki akımın sıfıra düşmemesidir. Genel performans açısından kıyaslanırsa sürekli iletim modunda maksimum çıkış gücünün elde edilir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi sürekli çalışma durumunda bobin akımı sıfıra düşmemektedir.

Düşürücü dönüştürücü devresi ile ilgili detaylı bilgi 3. bölümde verilmiştir.

2.2. Yükseltici (Boost) Dönüştürücü

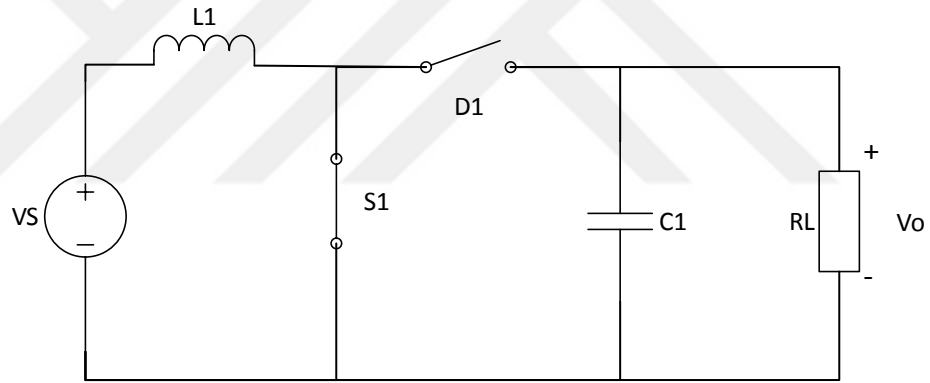
Yükselten dönüştürücü adından da anlaşılacağı gibi, çıkış gerilimi her zaman girişteki gerilimden daha büyüktür. Bu çeviriciler daha çok çıkış gerilimi ayarlı doğru akım güç kaynakları ve doğru akım motorlarının enerji geri kazanımlı frenlemesinde kullanılırlar (Mohan, Undeland, & Robbins, 2003).

DA-DA yükseltici dönüştürücü devresi temel olarak belirli bir DA giriş voltajını istediğimiz daha yüksek bir DA çıkış voltajına dönüştürme işlevini gerçekleştirir. Devrede kontrol edilebilen bir yarı iletken anahtar, bir diyot, bir bobin, bir kondansatör ve bir yük direnci bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Yükselten dönüştürücü devresi

Düşüren dönüştürücü devresine benzer olarak yükselten dönüştürücü devresinde de yarı iletken anahtarın açık ve kapalı olduğu durumun kontrol edilmesi mantığı vardır.



Şekil 2.6. Yükselten dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu

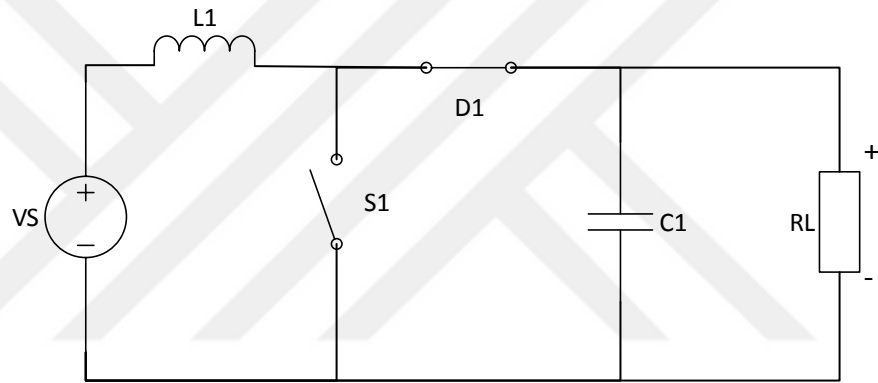
Şekil 2.6’ da gösterilen kontrollü S_1 anahtar iletime geçince diyot ters kutuplanır ve çıkış devresini girişten ayırır, bu esnada kaynak akımı devresini, bobin ve anahtar üzerinden tamamlar. Çıkıştaki yük akımı ve gerilimi C_1 kondansatörü tarafından sağlanır. Anahtarın iletimde, D_1 diyotunun kesimde olduğu bu ton süresi boyunca, dönüştürücü eşdeğer devresi şekilde gösterilmiştir. Anahtar ideal kabul edildiği için anahtar üzerine bir gerilim düşümü olmaz ve kaynak gerilimi bobine uygulanmış olur. Bu durumda bobinde kaynak gerilimine eşit ileri yönde bir gerilim düşümü olur. Bobin gerilimi eşitliği;

$$V_L = V_S \quad (2.1)$$

Bobin üzerindeki gerilimin akıma göre değişimi de;

$$V_L = V_S = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.2)$$

Eşitlikleri ile ifade edilir (Yalduz, 2015).



Şekil 2.7. Yükselten dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu

Şekil 2.7’de gösterimi yapılan S1 anahtarı kesime geçince bobin polaritesi yön değiştirir ve kaynak gerilimi ile aynı yönde olur. D1 diyotu ilettime geçer ve devrenin çıkışı hem girişten hem de bobinden beslenir. Böylece çıkış gerilimi seviyesi yükseltilmiş olur. Çıkış gerimi eşitliği aşağıdaki gibi gösterilir.

$$V_0 = V_S + V_L \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 eşitliği bobin gerilimi şeklinde gösterilmek istenirse aşağıdaki eşitlikler elde edilir;

$$V_L = -L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.4)$$

$$V_L = V_0 - V_S \quad (2.5)$$

Devredeki yarı iletken anahtarın iletim ve kesim durumlarındaki bobin gerilimleri toplamı kararlı halde sifıra eşitlenmelidir. Bu durumda durum denklemleri aşağıdaki gibi toplanır;

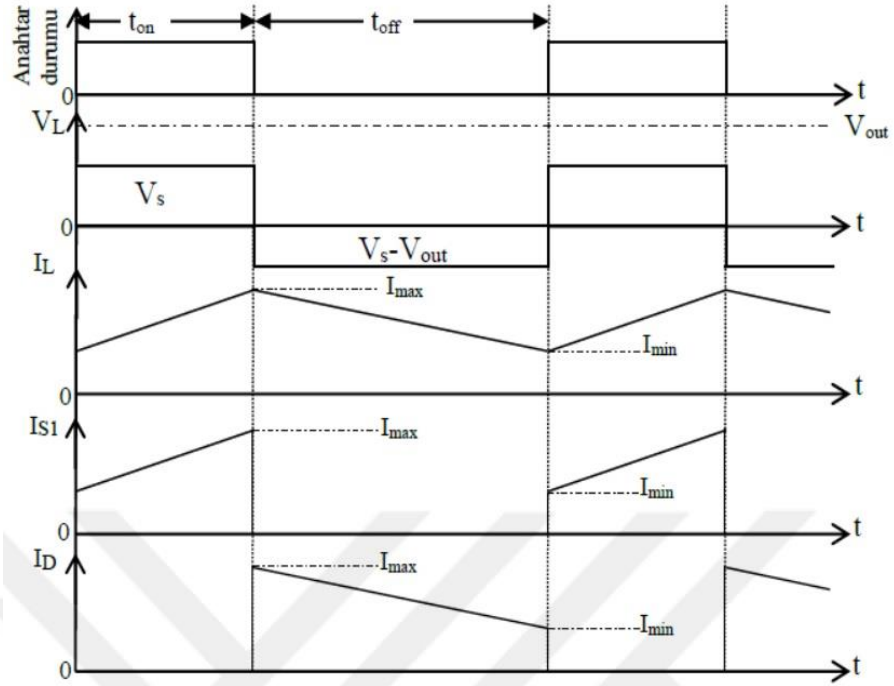
$$V_{Lon} t_{on} + V_{Loff} t_{off} = 0 \quad (2.6a)$$

$$V_S t_{on} + (V_S - V_0) t_{off} = 0 \quad (2.6b)$$

Eşitlikler düzenlenir ve gerekli hesaplamalar yapılırsa sonuç olarak;

$$V_0 = \frac{V_S}{1-D} \quad (2.7)$$

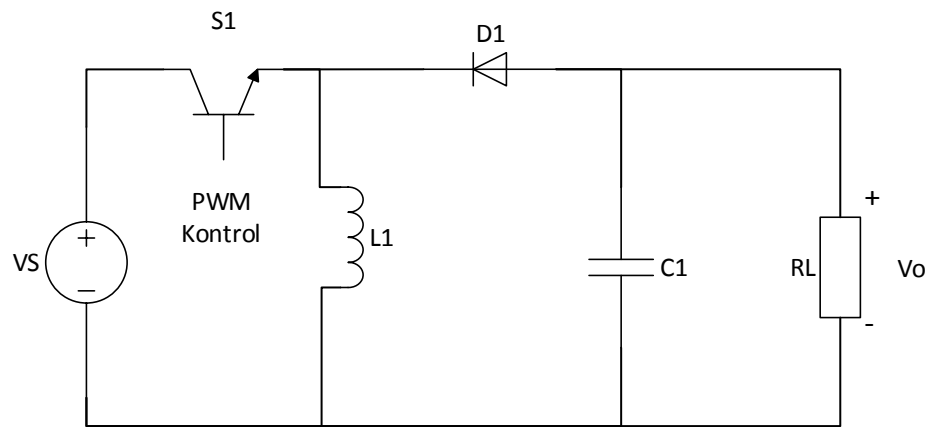
Denklemleri elde edilir. Yükselten dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Yükselten dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları

2.3. Düşüren-Yükselten (Buck-Boost) Dönüştürücü

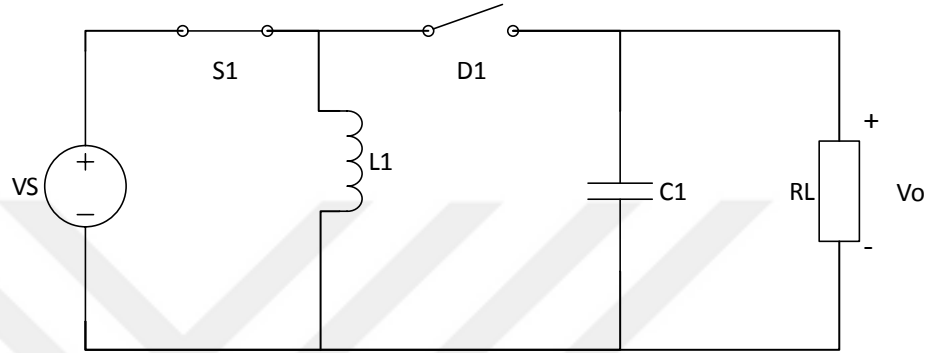
DA-DA düşüren-yükselten dönüştürücü devresi temel olarak belirli bir DA giriş voltajını istediğimiz daha yüksek veya daha düşük bir DA çıkış voltajına dönüştürme işlevini gerçekleştirir. Devrede kullanılan elemanlar düşüren ve yükselten dönüştürücü devrelerinde kullanılan elemanlarla benzerdir.



Şekil 2.9. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi

Şekil 2.10'da, anahtar iletim durumunda iken kaynak gerilimi direkt olarak bobin üzerine akar. Gerilimler eşitlenir ve bobin üzerindeki akım düzenli olarak artış gösterir. Anahtar iletimde olduğu sürece bobin gerilim ve akım denklemleri aşağıdaki gibi gösterilir;

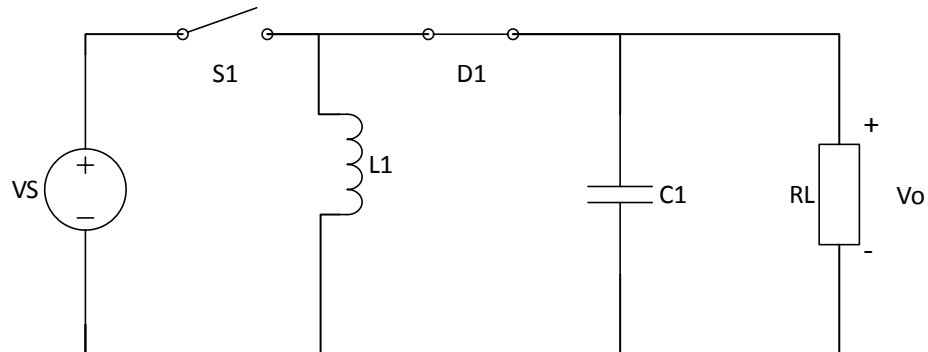
$$V_L = V_S = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.8)$$



Şekil 2.10. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu

Şekil 2.11'de, anahtar kesime gittiğinde bobin ters polarize olur, bobin gerilimi çıkış gerilimine eşitlenir aynı zamanda bobin akımı da düzenli olarak azalış gösterir. Anahtar kesimde olduğu sürece bobin gerilim ve akım denklemleri aşağıdaki gibi gösterilir;

$$V_L = V_0 = -L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (2.9)$$

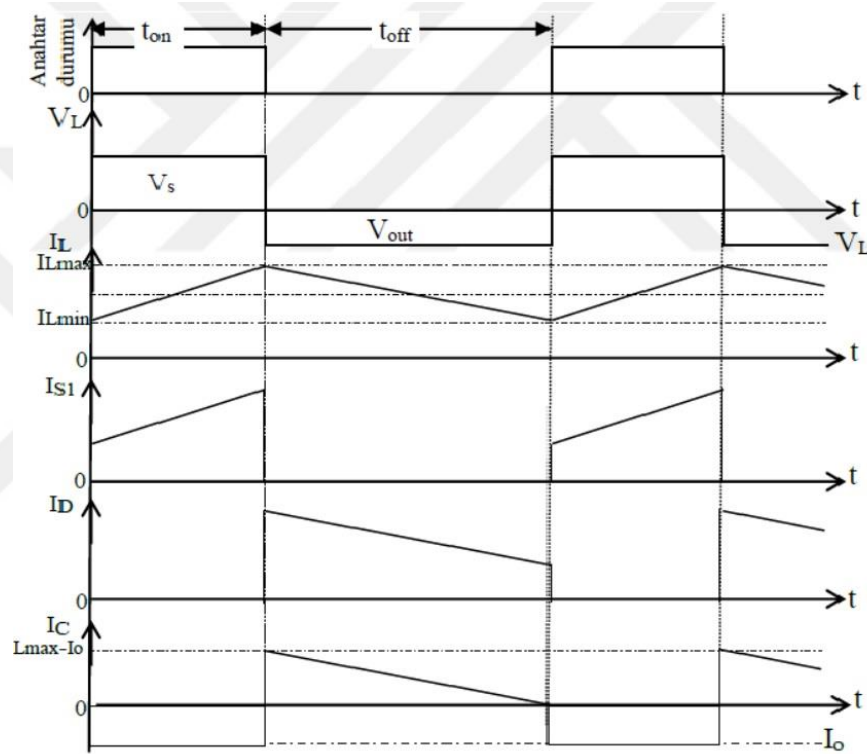


Şekil 2.11. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu

Düşüren-yükselten dönüştürücüsü giriş gerilimi, çıkış gerilimi ve doluluk oranı arasındaki eşitlik aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{D}{1-D} \quad (2.10)$$

Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları Şekil 2.12'de gösterilmiştir.

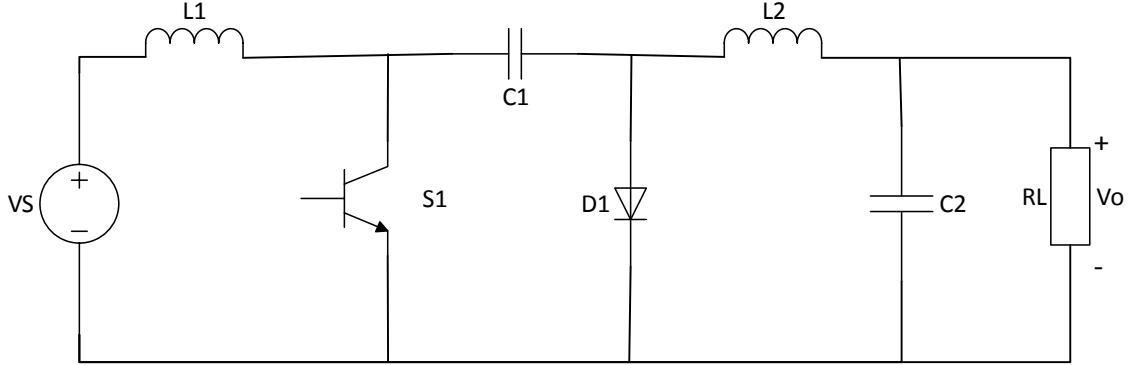


Şekil 2.12. Düşüren-yükselten dönüştürücü devresi akım ve gerilim diyagramları

2.4. CUK Dönüştürücü

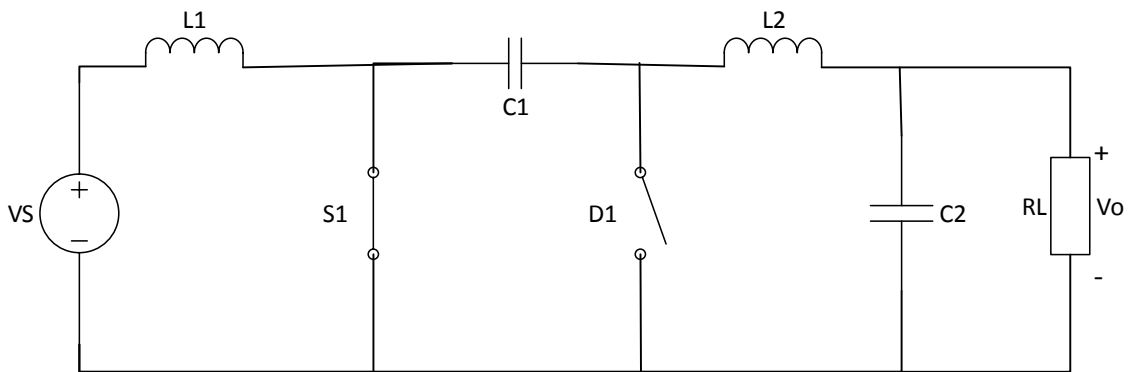
Bu dönüştürücü bulan kişinin adıyla anılmaktadır. Düşüren-Yükselten dönüştürücü devresine dualite ilkesi uygulanarak elde edilmiştir. Düşüren-Yükselten dönüştürücüye benzer olarak CUK dönüştürücü çıkış gerilimi, giriş geriliminden daha düşük veya daha yüksektir. CUK dönüştürücüde de giriş gerilimine göre ters kutuplu çıkış gerilimi oluşturur. Fakat burada ana enerji depolamada ve girişten çıkışa taşıma elemanı olarak C1 kapasitörü kullanılır (Mohan, Undeland, & Robbins, 2003).

Devrede kontrol edilebilen bir yarı iletken anahtar, bir diyot, iki bobin, iki kondansatör ve bir yük direnci bulunmaktadır.



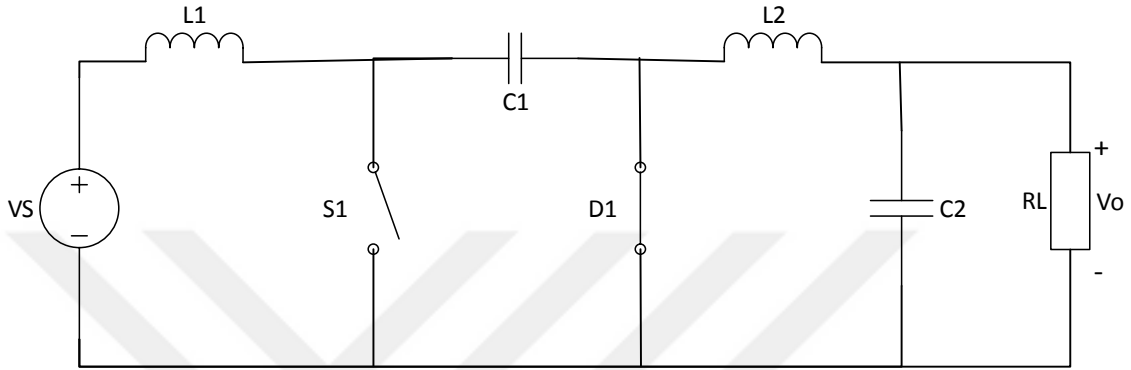
Şekil 2.13. CUK dönüştürücü devresi

Şekil 2.14'te, S1 anahtarı iletim durumunda iken daha önce VC1 gerilimine şarj olmuş C1 kondansatörü D1 diyotunu ters kutuplar ve L1, L2 bobin akımları S1 anahtarı üzerinden akar. L1 bobini kaynaktan şarj olurken akımı doğrusal bir şekilde artır. $VC1 > V_o$ olduğundan C1 kondansatörü enerjisini L2 bobini, RL çıkış yükü ve C2 kondansatörü üzerinden deşarj ederken, C2 kondansatörü ve L2 bobini şarj olur. L2 bobin akımı da doğrusal olarak artır (Yaldız, 2015).



Şekil 2.14. CUK dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu

Şekil 2.15’da, S1 anahtarı kesim durumunda iken L1 ve L2 bobin akımları diyot üzerinden akar. C1 kondansatörü hem kaynaktan hem de L1’ den gelen enerji ile şarj olur ve L1 bobini deşarj olduğundan akımı doğrusal bir şekilde azalır. Anahtar iletimdeyken L2 bobini üzerinde birikmiş olan enerji çıkışı besler. L2 deşarj olurken akımı da doğrusal bir şekilde azalır (Yalduz, 2015).



Şekil 2.15. CUK dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu

CUK dönüştürücüsü giriş gerilimi, çıkış gerilimi ve doluluk oranı arasındaki eşitlik aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{V_o}{V_s} = -\left(\frac{D}{1-D}\right) \quad (2.11)$$

2.5. DA-DA Dönüştürücülerin Kontrolü

Kontrol sisteminin amacı;

- A. Süreçlerin çıkışlarını, istenen sabit bir değerde denetim altına almak.
- B. Süreçlerin çıkışlarının belirli bir değişim formunu takip etmesini sağlamak.
- C. Olayların belirli bir sıra dâhilinde oluşmasını sağlamak. Bu, özel zamanlarda meydana gelen zaman tahrikli/sürüşlü olayların sırası olabilir veya doğrudan olay tahrikli/sürüşlü olabilir. Böylelikle olaylar, özel koşullar gerçekleştiğinde meydana gelir (Bodur A. , 2011).

Kontrol sistemleri genel manada açık çevrim kontrol sistemi ve kapalı çevrim kontrol sistemi olmak üzere 2 bölümde incelenir.

2.5.1. Açık çevrim kontrol

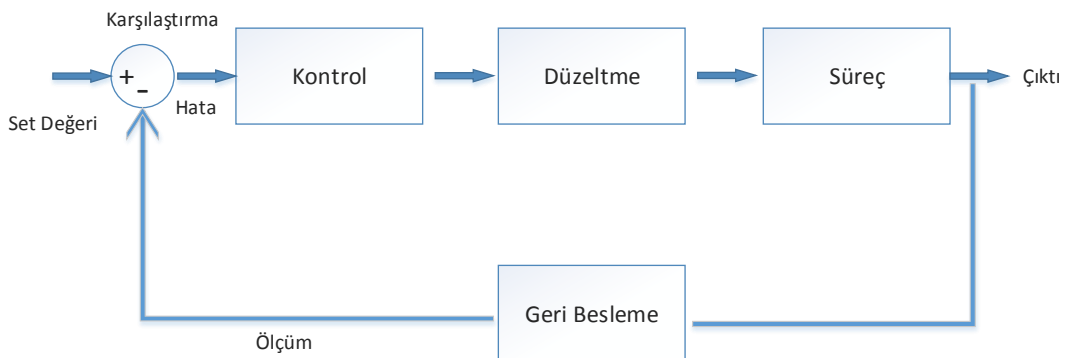
Açık çevrim kontrol sistemi; sistemin çıkışından geri besleme yapılmayan, istenilen sonuca ulaşabilmek için bir önceki verinin bilgilerini kullanan ve sisteme giriş olarak verilecek girdinin seçilebildiği sistem olarak adlandırılabilir. Şekil 2.16 (Bodur A. , 2011) böyle bir sistemin temel formunu göstermektedir.



Şekil 2.16. Açık çevrim kontrol sistemi temel elemanları

2.5.2. Kapalı çevrim kontrol

Kapalı çevrim kontrol sistemi terimi, kontrol edilen değişkenin geri beslendiği sistemler için kullanılır; bu nedenle sistemin girdisi, istenilen çıktıya ulaşmak için yeniden düzenlenebilir. Şekil 2.17 (Bodur A. , 2011) böyle bir sistemin temel formunu göstermektedir.



Şekil 2.17. Kapalı çevrim kontrol sistemi temel elemanları

Sistemde geri besleme yapmak; sistemdeki gerçek değer ile önceden ayarlanmış değerin karşılaştırılması suretiyle arada çıkan fark değerin azaltılmasını sağlar. Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde hataya olan farklı tepkilerine göre yaygın olarak kullanılan dört yaklaşım vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

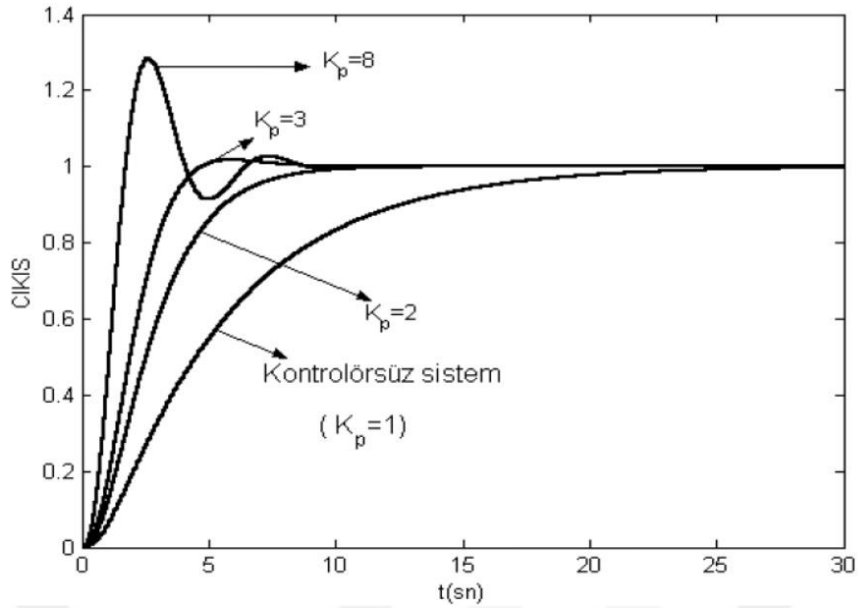
- 1- Oransal (P) Kontrol
- 2- Oransal-İntegral (PI) Kontrol
- 3- Oransal-Türevsel (PD) Kontrol
- 4- Oransal-İntegral-Türevsel (PID) Kontrol

2.5.3. Oransal (P) kontrol

Oransal kontrol, hata değeri ile orantılı olacak şekilde bir çıkış değeri üreten sistemler olarak adlandırılır. Burada kontrolcü çıktısı hata sinyalinin değeri $e(t)$ ile kontrolcü sinyalinin değeri, yani oransal kazanç (K_p) çarpılarak bulunur.

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.12)$$

Oransal kontrolün tek başına kullanımı büyük bir ofset hatasına neden olur. Ofset oransal kontrol ile tek başına yok edilemeyecek kalıcı hatadır. Oransal kazancın sisteme yaptığı etkileri basit bir sistemin birim basamak girişine verdiği cevapları inceleyerek görülebilir. Sistemin kontrolörü P yapısında olduğu ve farklı K_p değerleri için; sistemin P kontrolörlü ve kontrolörsüz çıkışları Şekil 2.18' deki grafikten incelenebilir (Yıkan, 2005).



Şekil 2.18. Sistemin farklı kazanç değerlerinde ve kontrolörsüz durumlardaki birim basamak cevapları

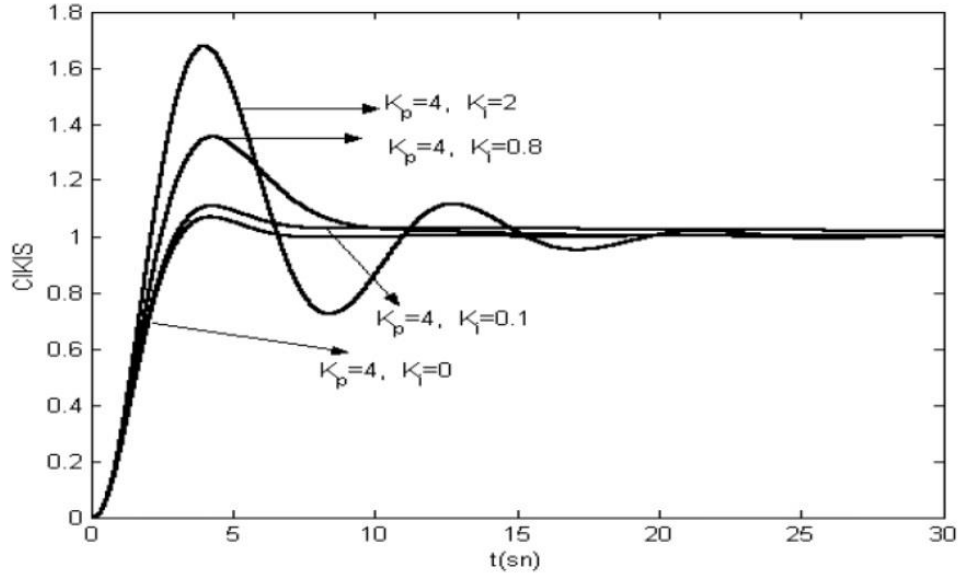
Şekil 2.18'deki grafikte görüleceği üzere K_p katsayısının artması ile birlikte sistemdeki aşım da artmaktadır. Buna karşılık aşım zamanında azalma görülmektedir.

2.5.4. Oransal-integral (PI) kontrol

Oransal-İntegral (PI) Kontrol, oransal kontrol etkisi ile birlikte integral kontrol etkisinin toplamından oluşur. Burada integral etkisi birikmiş olan anlık hata integrali ile ($\int e(t)dt$) ile kontrolcü sinyalinin değeri yani integral kazanç (K_i) çarpılarak bulunur. İntegral kontrolün amacı oransal kontrol sonucunda oluşan kalıcı hal hatasını sönmölemektedir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt \quad (2.13)$$

PI yapısında kontrolörün sabit $K_p=4$ değeri için farklı K_i değerlerinde sistemin birim basamak cevapları Şekil 2.2.19' da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi K_i parametresinin değişimi; sistem cevabını etkilemektedir (Yıkan, 2005).



Şekil 2.19. PI kontrolörlü sisteminin sabit $K_p = 4$ ve değişken K_i için step cevapları

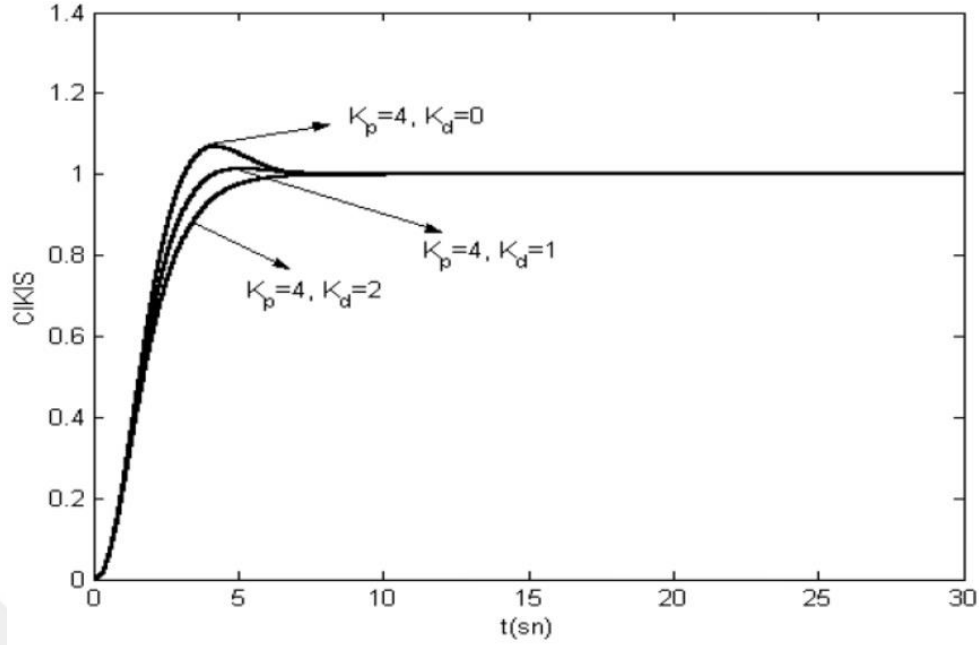
Şekil 2.19'deki grafikte görüleceği üzere K_i katsayısının artması ile birlikte sistemdeki aşım da artmaktadır. Sistemin kararlı duruma yerleşme zamanı artmaktadır.

2.5.5. Oransal-türevsel (PD) kontrol

Oransal-Türevsel (PD) Kontrol, oransal kontrol etkisi ile birlikte türevsel kontrol etkisinin toplamından oluşur. Burada türevsel etki hata sinyali eğrisinin eğimi yani hatanın zamana göre değişiminin oranı $\left(\frac{de(t)}{d(t)}\right)$ ile kontrolcü sinyalinin değeri yani türevsel kazanç (K_d) çarpılarak bulunur. İntegral kontrolün amacı oransal kontrol sonucunda oluşan kalıcı hal hatasını sönmülemektir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{d(t)} \quad (2.14)$$

PD yapısında kontrolörün sabit $K_p=4$ değeri için farklı K_d değerlerinde sistemin birim basamak cevapları Şekil 2.20' de görülebilir (Yıkan, 2005).



Şekil 2.20. PD kontrolörlü sisteminin sabit $K_p = 4$ ve değişken K_d için step cevapları

Şekil 2.20'deki grafikte görüleceği üzere K_d katsayısının artması ile birlikte sistemdeki aşım da azalmaktadır.

2.5.6. Oransal-integral-türevsel (PID) kontrol

Oransal-İntegral-Türevsel (PID) kontrolörler, endüstriyel otomasyon ve kontrolün neredeyse tüm alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Önceki bölümlerde açıklanan Oransal (P), İntegral (I) ve Türevsel (D) kontrolcülerin değişik formlarda birleşiminden oluşmuştur. PID tasarımı için kullanılan başlıca algoritmalar standart, paralel ve seri olmak üzere üç formdadır. Bu algoritmalar birkaç varyasyon veya değişiklik içerir. Bu üç algoritma arasındaki en büyük fark, kontrolör kazancının belirlenme şeklidir. Paralel form, yalnızca orantılı kısmı etkileyen orantılı bir kazanıma sahipken, diğer iki form, üç terimi de etkileyen bir denetleyici kazancına sahiptir.

2.5.6.1.Standart form

Standart form bazı metinlerde genişletilmiş form olarak da adlandırılır. Standart forma ait denklemler (2.15) ve (2.16) 'da gösterildiği gibidir. Denklem (2.17)' de standart form eşdeğer transfer fonksiyonu laplace formu verilmiştir. Kontrolör parametreleri, orantılı kazanç K_p , integral süresi T_i ve türev zamanı T_d 'dir. "E" terimi, ayar noktası ile işlem çıktı değişkeni arasındaki fark olan kontrol hatasıdır.

$$u(t) = K_p [e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (2.15)$$

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (2.16)$$

$$g(s) = \frac{u(s)}{e(s)} = K_p [1 + \frac{1}{T_i(s)} + T_d(s)] \quad (2.17)$$

2.5.6.2.Paralel (ideal) form

Paralel formun anlaşılması basittir, ancak Ziegler-Nichols ve Cohen-Coon gibi geleneksel ayarlama yöntemiyle ayarlanması zordur. Kontrolör, üç terimi etkileyen bir kazancı olan standart formun aksine yalnızca orantılı kısmı etkileyen bir kazanç faktörüne sahiptir. Bununla birlikte, bu, parametre değerlerinin denklemde verildiği eşdeğer bir standart forma dönüştürülebilir.

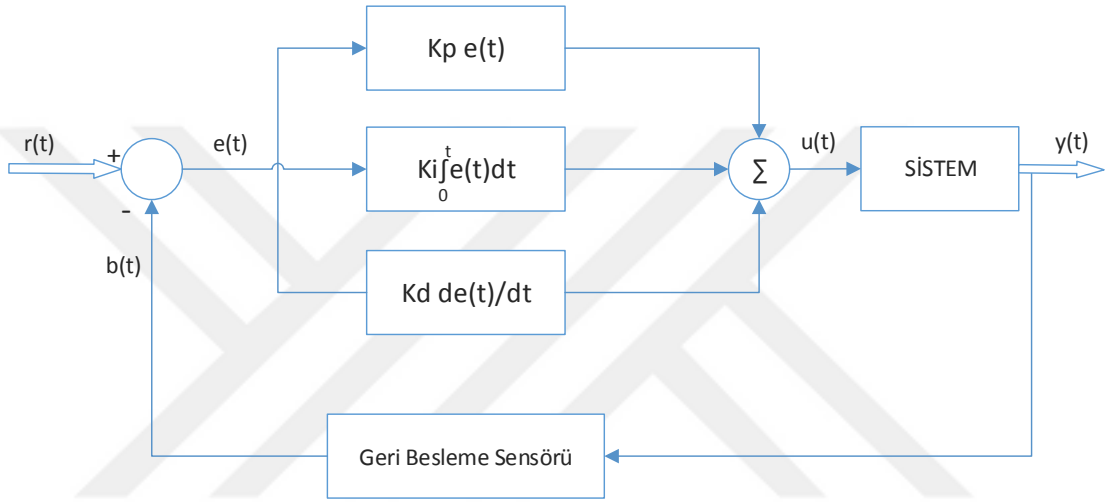
PID kontrolörün çıkış bağlantı eşitlikleri denklem (2.18) ve (2.19) ile gösterilmektedir. Denklem (2.20)' de paralel form eşdeğer transfer fonksiyonu laplace formu verilmiştir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.18)$$

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.19)$$

$$g(s) = \frac{u(s)}{e(s)} = K_p + \frac{T_i}{s} + T_d(s) \quad (2.20)$$

PID kontrolörün ideal formuna ait kontrolü blok diyagramı Şekil 2.21’de (Yalduz, 2015) gösterilmiştir. Sistemde ilk olarak istenilen girdi ve gerçek çıktı arasındaki fark, $e(t)$ PID kontrolöre gönderilir. Daha sonra kontrolör bu hatanın hem türevini hem de integralini hesaplar. Kontrolör çıkışında oransal, integral ve türevsel çarpımların tümü toplanır ve $u(t)$ sinyali elde edilir. Söz konusu sinyal sisteme işlenecek ve yeni çıktılar elde edilecektir. Bu çıktı değerleri geri besleme ile tekrar gönderilecek ve yeni hata değerleri bulunarak döngü devam ettirilecektir.



Şekil 2.21. PID İdeal form blok diyagramı

2.5.6.3.Seri (kademeli) form

Bu aynı zamanda seri, kademeli, gerçek veya etkileşimli PID denetleyicisi olarak da adlandırılır. Bu form, seri olarak çalıştırılan PI ve PD elemanlarıdır. Denetleyicinin parametreleri birbiriyle etkileşim halindedir. Kontrolörün diferansiyel ve transfer fonksiyonu denklemi sırasıyla denklem (2.21) ve (2.22) 'de verilmiştir.

$$u(t) = K_p \left[e(t) + K_i \int e(t) dt \right] * \left[1 + K_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.21)$$

$$u(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i(s)} \right] * [1 + T_d(s)] \quad (2.22)$$

PID kontrolörler sistem kontrolüne iyi bir cevap verirler ancak bazı durumlarda en iyi performansı vermeyebilirler. Bu nedenle, sistem dinamiklerinin değişmesi durumunda PID parametrelerinin (orantılı kazanç, integral ve türev süresi) yeniden ayarlanmasına ihtiyaç duyulabilir. PID parametrelerini ayarlama işlemi manuel veya otomatik olarak yapılabilir. Büyük bir endüstri birçok PID 'ye sahip olabilir ve bunları manuel olarak ayarlamak zaman alır ve süreçte aksama süresine neden olur ve bu nedenle bir otomatik ayar özelliğine sahip bir adaptif veya bir kontrol cihazı geliştirme ihtiyacı doğar.

PID parametrelerin uygun şekilde elde edilebilmesi amacıyla ortaya konulan çok sayıda çalışma mevcuttur. İyi bilinen yaklaşımlar arasında Ziegler-Nichols (Z-N) metodu, Cohen-Coon metodu, hata değerlerinin toplamını esas alan minimum ISE ve IAE yöntemleri bulunmaktadır (Kocaoğlu, 1988).

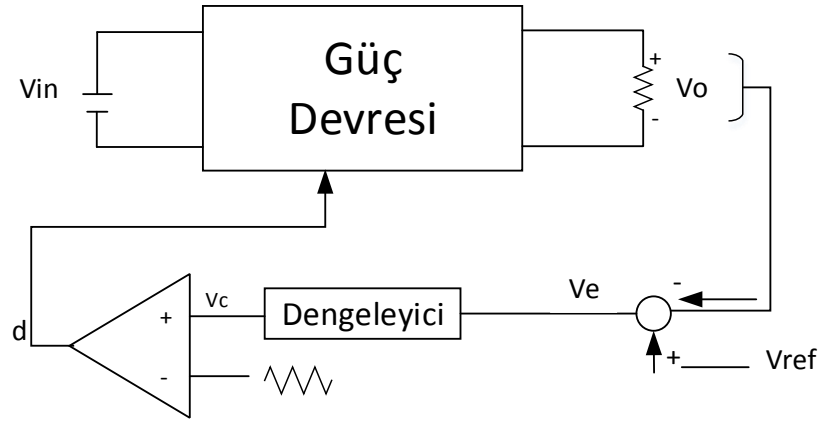
Kontrol sistemlerinde kullanılan denetleyicilerin iyi sonuç verecek şekilde ayarlanması, önemli bir kontrol problemidir. PID denetleyici parametrelerinin ayarlanmasında geleneksel PID ayarlama tekniklerinin yanı sıra yapay zekâya dayalı yaklaşımlar da sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar arasında özellikle genetik algoritmaların (GA) ve bulanık mantığa dayalı yöntemlerin ön plana çıktığı görülmektedir (Griffin, 2003).

2.5.7. Geri besleme metodları

Anahtarlama dönüştürücülerde temelde iki farklı geri besleme metodu kullanılmaktadır. Bunlar Gerilim Modlu ve Akım Modlu geri besleme metodudur.

2.5.7.1. Gerilim modlu geri besleme

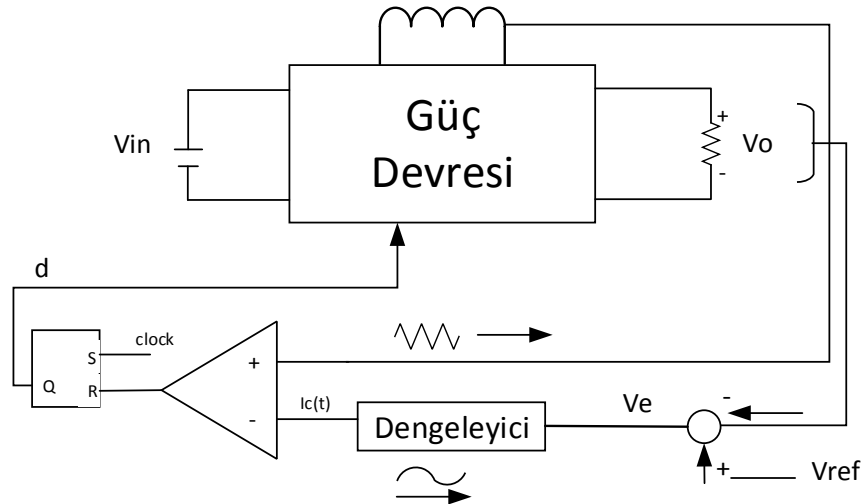
Gerilim modu kontrolü çıkış geriliminin bir geri besleme döngüsü ile sistem girişine aktarılıp referans gerilim değeri ile karşılaştırıldığı ve hata değerine ulaşıldığı sistem olarak tanımlanabilir. Elde edilen hata sinyali bir Darbe Genişliği Modülasyonu (DGM) jeneratörü tarafından üretilen üçgen dalgalarla karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda çıkış geriliminin kontrol edilebilmesi amacıyla DGM sinyalinin darbe genişliği belirlenir.



Şekil 2.22. Gerilim modlu geri besleme blok diyagramı

2.5.7.2. Akım modlu geri besleme

Akım modu kontrolünde çıkış gerilim modunda kullanılan üçgen dalga formları yerine devredeki bobin akımının tespit edildiği ve kullanıldığı bir metottur. Akım modu iki tür geri besleme döngüsüne sahip olduğu için gerilim moduna göre daha karmaşıktır. Ancak basitleştirilmiş bir faz dengeleme devre tasarımı avantajı vardır.

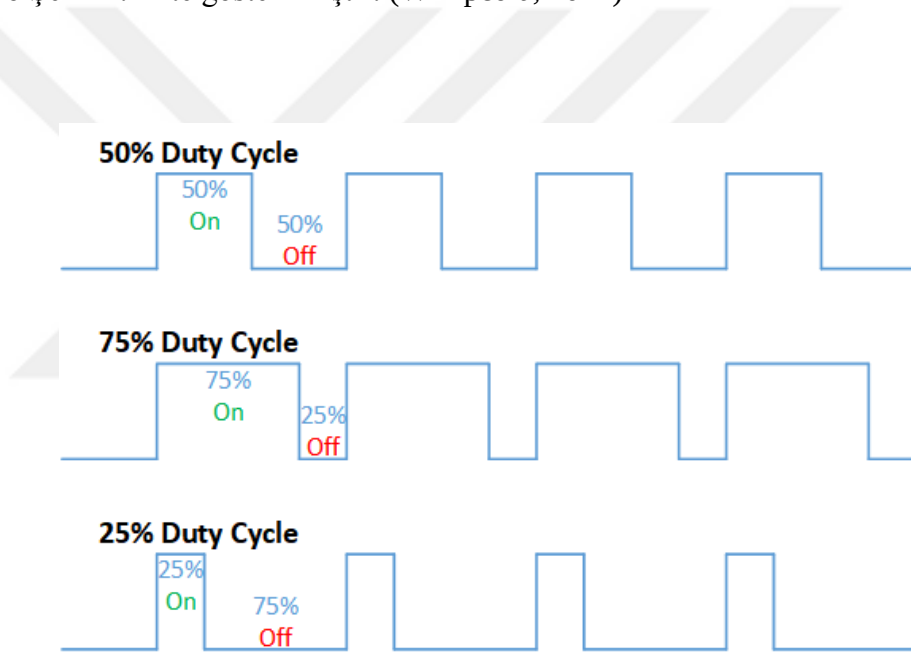


Şekil 2.23. Akım modlu geri besleme blok diyagramı

2.5.8. Darbe genişlik modülasyonu

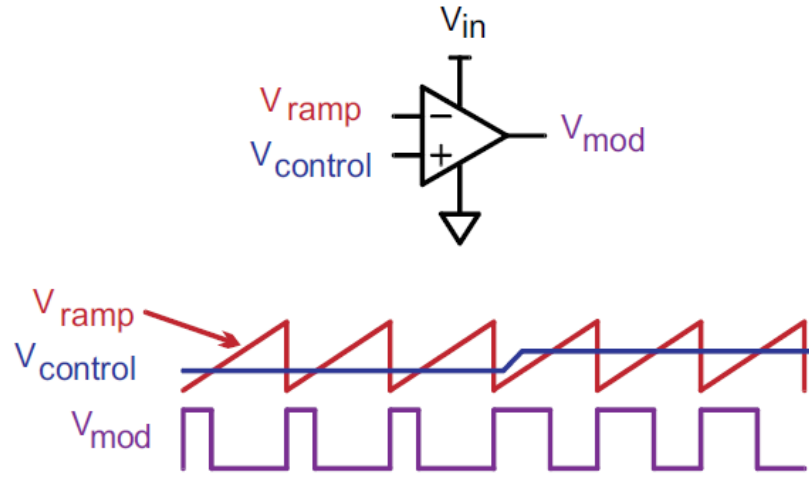
Darbe genişlik modülasyonu (DGM), bir analog giriş sinyalinin genliğini temsil etmek için değişken genişlikte darbeler üreten bir modülasyon tekniğidir. DGM tekniği dönüştürücü devresindeki yarı iletken cihazının açma ve kapama sürelerini değiştirerek yarı iletken cihazın çıkış gücünü kontrol etmemizi sağlar.

Görev döngüsü (duty cycle) kavramı açık olan sürenin toplam periyot süresine oranı olarak tanımlanabilir. Görev döngüsü yüzde olarak belirtilir. Görev döngüsü %50 olduğu zaman açık olan süre ve kapalı olan süre eşit olur. Görev döngüsü %75 olursa açık olan daha fazla olur, %25 olursa açık olan süre daha kısalmış olur. Bu üç durumu gösteren senaryo Şekil 2.24'te gösterilmiştir. (Wikipedia, 2021)



Şekil 2.24. Görev döngüsünün farklı yüzdelerde çalışma aralıkları

Modülatörün yapısında temel olarak bir testere dişi dalga üreten bir jeneratör ve bir gerilim karşılaştırıcı bloğu mevcuttur. Şekil 2.25'te gerilim modlu modülatör yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Modülatör yapısı

Şekil 2.25’de görüleceği üzere kontrol gerilimi arttıkça çıkışın görev döngüsü de artacaktır.

3. MODEL VE TASARIM

3.1. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Modeli

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüler anahtarlama, dolayısıyla zamanla değişen ve doğrusal olmayan devreler olduklarından bu dönüştürücülerde kullanılacak denetleyicileri tasarlayabilmek için önce sistemin doğrusal hale getirilmiş modellerinin elde edilmesi gerekir. Bunun için genellikle durum-uzay ortalaması ya da devre ortalaması gibi modelleme yöntemleri kullanılır (Erickson & Maksimovic, 2004) (Hart, 2011).

Bir sistemin giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak modellemenin bir diğer yöntemi de transfer fonksiyonu sayesinde gerçekleştirilir. Doğrusal olmayan devreyi doğrusal hale getirip modellemek için transfer fonksiyonuna ihtiyaç vardır.

3.1.1 Düşürücü tip DA-DA Dönüştürücü Devresinin Transfer Fonksiyonu Çıkarımı

Transfer fonksiyonu modelleri, bir polinom oranını kullanarak bir sistemin girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkiyi tanımlar. Payda polinomunun köklerine model kutuplar denir. Pay polinomunun köklerine model sıfırlar denir.

Bir transfer fonksiyonu modelinin parametreleri, kutupları, sıfırları ve iletim gecikmeleridir.

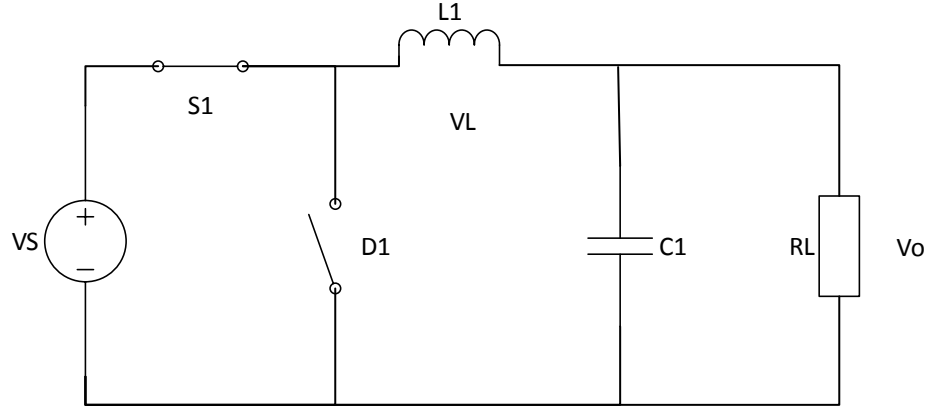
Sürekli zamanda, bir transfer fonksiyonu modeli şu biçime sahiptir:

$$Y(s) = \frac{\text{num}(s)}{\text{den}(s)} U(s) + E(s) \quad (3.1)$$

Burada, $Y(s)$, $U(s)$ ve $E(s)$ sırasıyla çıkış, giriş ve gürültünün Laplace dönüşümlerini temsil eder. $\text{num}(s)$ ve $\text{den}(s)$, girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi tanımlayan pay ve payda polinomlarını temsil eder (Mathworks, 2021).

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresinin transfer fonksiyonunun çıkarımı için Kirchhoff akım ve gerilim yasalarından faydalanılır.

Şekil 3.1 Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi anahtar iletim durumunu göstermektedir. S1 anahtarı kapalı iken;



Şekil 3.1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi anahtar iletim durumu

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresine Kirchhoff gerilim kanunu uygulanıp sonucun laplace dönüşümü yapılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir;

$$V_s(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} + V_0(t) \quad (3.2a)$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_s(t)}{L} - \frac{V_0(t)}{L} \quad (3.2b)$$

$$i_L(s) = \frac{V_s(s) - V_0(s)}{sL} \quad (3.2c)$$

Düşürücü dönüştürücü devresine Kirchhoff akım kanunu uygulanıp sonucun laplace dönüşümü yapılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir;

$$i_C = i_L - i_{RL} \quad (3.3a)$$

$$C \frac{dV_0(t)}{dt} = i_L - \frac{V_0(t)}{R} \quad (3.3b)$$

$$\frac{dV_0(t)}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{V_0(t)}{RC} \quad (3.3c)$$

$$i_L(s) = sCV_0(s) + \frac{V_0(s)}{R} \quad (3.3d)$$

Kirchhoff gerilim ve Kirchhoff akım kanunları sonucu bulunan denklemler (3.2c) ve (3.3d) eşitlenirse;

$$\frac{V_s(s) - V_0(s)}{sL} = sCV_0(s) + \frac{V_0(s)}{R} \quad (3.4a)$$

$$\frac{V_s(s)}{sL} = sCV_0(s) + \frac{V_0(s)}{R} + \frac{V_0(s)}{sL} \quad (3.4b)$$

$$V_s(s) = s^2LCV_0(s) + sL\frac{V_0(s)}{R} + V_0(s) \quad (3.4c)$$

$$V_s(s) = V_0(s)(s^2LC + sL\frac{1}{R} + 1) \quad (3.4ç)$$

$$\frac{V_0(s)}{V_s(s)} = \frac{1}{(s^2LC + sL\frac{1}{R} + 1)} \quad (3.4d)$$

$$\frac{V_0(s)}{V_s(s)} = \frac{1/LC}{(s^2 + s\frac{1}{RC} + \frac{1}{LC})} \quad (3.4e)$$

Düşürücü dönüştürücü devresinin transfer fonksiyonu (3.4e) denklemi elde edilmiş olur.

3.1.2 Görev döngüsü (duty cycle) hesabı

Temel elektronik bilgilerimizden hatırlanacağı üzere anahtarlama frekansı ve periyot arasındaki devre eşitliği denklem (3.5)'te gösterilmiştir.

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.5)$$

Bir periyot süresinde S1 anahtarının açık olduğu zaman (t_{on}), kapalı olduğu zaman (t_{off}) diye belirtilirse (3.6) denklemi elde edilir.

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (3.6)$$

Görev döngüsü veya doluluk oranı (duty cycle) anahtarlama elemanının iletimde olduğu sürenin tüm periyot süresine oranı olarak adlandırılır. Görev döngüsü aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad 0 \leq D \leq 1 \quad (3.7)$$

İdeal bir dönüştürücüde tüm elemanlar mükemmel kabul edilir. Bobin ve Kondansatörün iç dirençleri ihmal edilir.

Devredeki çalışma mantığının anlaşılabilmesi için S1 yarı iletken anahtarın açık ve kapalı olduğu durumlar ile ilgili devre elemanlarının akım ve gerilim değerleri incelenmelidir:

Şekil 3.1' de gösterimi verilen düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresinin yarı iletken anahtarı iletim durumunda iken; diyot kesimde olur, giriş gerilim kaynağı anahtar açık olduğu sürece ($t_{on} = DT$) devre elemanlarını besler. Bobin gerilimi giriş gerilimi ile çıkış geriliminin farkına eşit olur. Kondansatör gerilimi de çıkış gerilimine eşitlenir.

$$V_L = V_S - V_0 \quad (3.8)$$

$$V_C = V_0 \quad (3.9)$$

Bobin gerilimi doğrusal bir şekilde artar ve bobinde bir miktar enerji birikir. Bobin geriliminin akıma bağlı değişimi denklem (3.10)'da gösterilmiştir.

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (3.10)$$

(3.8), (3.9) ve (3.10) denklemlerindeki eşitlikler çözümlenirse;

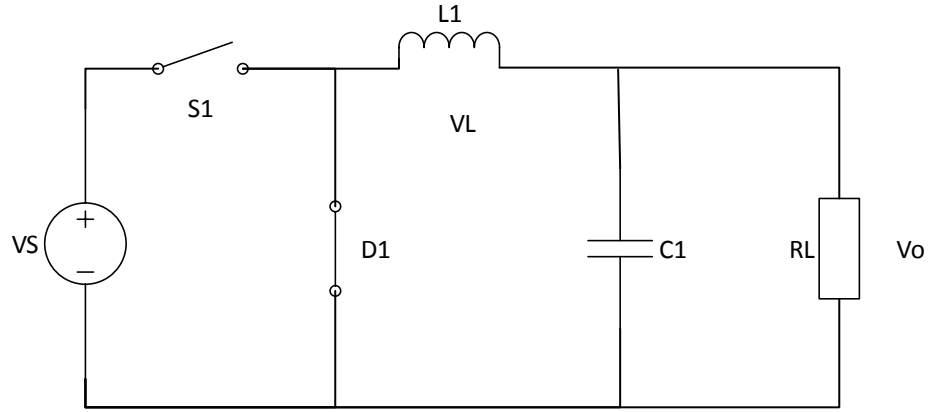
$$V_L = V_S - V_0 = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (3.11a)$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_S - V_0}{L} \quad (3.11b)$$

$$i_C = C \frac{dV_0(t)}{dt} \quad (3.11c)$$

$$\frac{dV_0(t)}{dt} = \frac{1}{C} \left(i_L - \frac{V_0}{R} \right) \quad (3.11ç)$$

S1 anahtarının açık olduğu duruma ait (3.11a), (3.11b), (3.11c) ve (3.11ç) denklemleri elde edilir.



Şekil 3.2. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi anahtar kesim durumu

Yarı iletken anahtarı kesim durumunda iken; diyot iletimde olur ve giriş kaynak gerilimi devre dışı kalır. Anahtar kapalı olduğu sürece ($t_{off} = (1 - D)T$) bobin deşarj olmaya başlar, voltaj polaritesi tersine döner ve bobin üzerindeki yük kondansatör üzerinden akmaya başlar. Bobin gerilimi ve kondansatör gerilimi çıkış gerilimine eşitlenir.

$$V_L = (-V_0) = L \frac{di_L(t)}{d(t)} \quad (3.12a)$$

$$\frac{di_L(t)}{d(t)} = -\frac{V_0}{L} \quad (3.12b)$$

$$\frac{dV_0(t)}{d(t)} = \frac{1}{C} \left(\frac{i_L - V_0}{R} \right) \quad (3.12c)$$

S1 anahtarının kapalı olduğu durum denklemleri (3.12a), (3.12b) ve (3.12c) elde edilir. Kararlı durumda dalga formu bir periyot zamanından diğerine tekrar etmesi gerektiğinden, bobin gerilimi V_L 'nin bir periyot zamanı toplamı sıfır olmalıdır. Anahtar açık ve kapalı durumları bobin gerilimi üzerine uygulanırsa;

$$V_{Lon} t_{on} + V_{Loff} t_{off} = 0 \quad (3.13a)$$

$$(V_S - V_0) DT + (-V_0)(1 - D)T = 0 \quad (3.13b)$$

Denklem (3.13b)'de gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra düşürücü dönüştürücü görev döngüsü denklemi (3.14) elde edilir.

$$D = \frac{V_0}{V_S} \quad (3.14)$$

Söz konusu denklem sonucunda görüleceği üzere düşürücü dönüştürücülerde görev döngüsü, çıkış voltajı ile doğrudan orantılıdır ve başka bir devre parametresine ihtiyaç duymaz.

3.1.3 Endüktans hesabı

Devrenin kararlı durumda olduğunu varsayarsak, S1 anahtarı kapanmadan önce bobinde bir miktar akım olabilir. Bu akım bobinin en düşük değerde olduğu I_{Lmin} değeridir. Dolayısıyla $0 \leq t \leq T_{on} = DT$, olan herhangi bir zaman aralığında bobin akımı denklem (3.15)'deki gibi olur.

$$i_L(t) = \frac{V_S - V_0}{L} t + I_{Lmin} \quad (3.15)$$

Bu arada bobin akımı doğrusal olarak artar ve maksimum olacağı değere I_{Lmax} ulaşır. $t = T_{on} = DT$, olacağı için;

$$I_{Lmax} = \frac{V_S - V_0}{L} DT + I_{Lmin} \quad (3.16)$$

Maksimum akımı denklemi (3.16) elde edilir. Bobin akımının minimum değerinden maksimum olduğu değere kadar olan değişimini gösteren tepeden tepeye akım dalgalanması ΔI_L , olarak tanımlanırsa (3.16) denkleminde akım dalgalanması denklemi (3.17) türetilir.

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{V_S - V_0}{L} DT \quad (3.17)$$

Akım dalgalanması görev d6ngüsü ile doğru orantılı ancak bobin endüktans değeri ile ters orantılıdır. Çıkış gerilimi üzerindeki akım dalgalanması uygun bir bobin seçimi ile kontrol edilebilir.

S1 anahtarı kapalı iken düşürücü dönüştürücü devresine Kirchhoff gerilim kanunu uygulanırsa, bobin akımı diyot üzerinden ters polarize olur ve yolunu tamamlar. S1 anahtarının kapalı olduğu $0 \leq t \leq T_{on}$, herhangi bir sürede bobinden geçen akımın diferansiyel denklemi (3.18)'de olduğu gibi yazılır.

$$L \frac{di(t)}{dt} = -V_0 \quad (3.18)$$

S1 anahtarının kapanmasından hemen önce bobin akımı I_{Lmax} değerine ulaşmıştı. Yukarıdaki denklem çözümlenirse aşağıdaki denklem elde edilir.

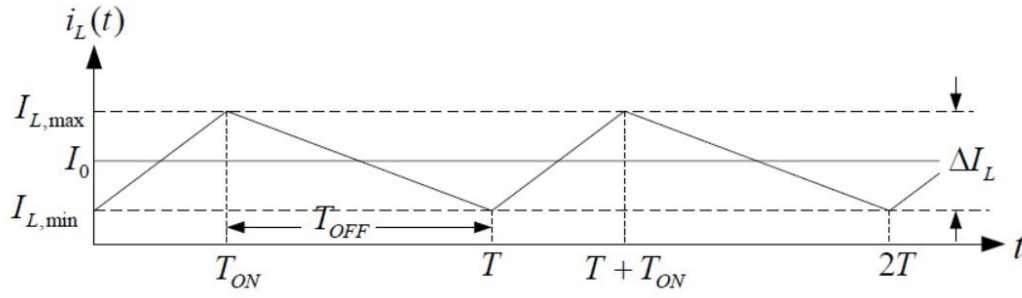
$$i_L(t) = -\frac{V_0}{L}t + I_{Lmax} \quad (3.19)$$

Anahtar kapalı olduğu sürece bobin akımı doğrusal olarak azalır ve en son bobin akımı minimum olacağı değere I_{Lmin} düşer. Denklem (3.19)'da $t = T_{off} = (1 - D)T$, değerleri yerine yazılırsa;

$$I_{Lmin} = -\frac{V_0}{L}(1 - D)T + I_{Lmin} \quad (3.20)$$

Anahtar kapalı olduğu durumdaki minimum akım denklemi elde edilir. Akım dalgalanması denklemi de denklem (3.20)'den türetilir.

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{V_0}{L}(1 - D)T \quad (3.21)$$



Şekil 3.3. Bobin akımı

Şekil 3.3'te bobin akımının T_{on} ve T_{off} zaman aralıklarındaki değişiminin grafiği gösterilmektedir. Bobindeki ortalama akım, denklem (3.22)'de gösterildiği gibi yük üzerinden geçen akıma eşit olmalıdır.

$$I_{Lort} = I_0 = \frac{V_0}{R} \quad (3.22)$$

Bobinden geçen maksimum ve minimum akımlar denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I_{Lmax} = I_{Lort} + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_0}{R} + \frac{V_0}{2L}(1 - D)T \quad (3.23)$$

$$I_{Lmin} = I_{Lort} - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2L}(1 - D)T \quad (3.24)$$

Kaynak tarafından sağlanan akım, Şekil 3.4'te görüleceği üzere anahtar açıkken I_{Lmin} 'den I_{Lmax} 'a yükselir. Ancak anahtar kapalı olduğu süre boyunca sıfıra eşittir.

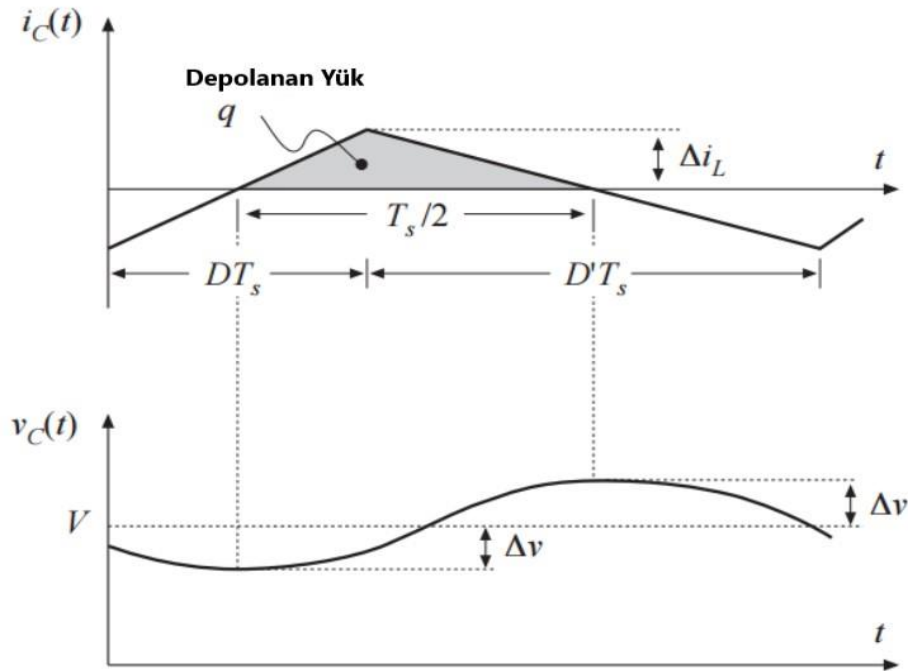
Sürekli iletim modunda bobinde her zaman bir miktar akım vardır. Ancak minimum akımı sıfır varsayabiliriz. Sonuç olarak bobindeki minimum endüktans değerini bulmak için Denklem (3.27a)'dan faydalanırız ve minimum endüktans formülü olan Denklem (3.27b)'yi elde ederiz.

$$\frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2L_{\min}} (1 - D)T = 0 \quad (3.27a)$$

$$L_{\min} = \frac{1-D}{2} RT = \frac{1-D}{2f} R \quad (3.27b)$$

3.1.4 Kapasitans hesabı

İdeal bir devrede, yük akımında dalgalanma olmayacağından kondansatör akımı üzerindeki dalgalanma, bobin üzerindeki dalgalanmaya eşit olmalıdır. Kapasitör gerilim dalgalanması, kapasitör akım dalga formunun pozitif bölümündeki toplam yük ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 3.6. Kondansatör akım ve gerilim dalga formları

Kondansatör akımı pozitif olduğunda, kondansatör plakalarında yük birikir ve kondansatör gerilimi artar. Bundan dolayı kondansatör akım dalga biçiminin iki sıfır geçişi arasında, kondansatör gerilimi minimumdan maksimum değerine çıkar. Toplam değişim simetriktir ve kondansatör gerilimindeki değişiklik (V_C), tepeden tepeye çıkış gerilim dalgalanmasına veya ($2\Delta v$)'ye eşittir. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi (q) yükü, sıfır geçişleri arasındaki akım dalga biçiminin integralidir. Söz konusu şekildeki integral, taralı üçgenin alanı olarak ifade edilebilir. Akım dalga formunun simetri özelliğinden dolayı DT_s ve $D'T_s$ alt aralıklarının merkez noktalarında sıfır geçişler meydana gelir. Bundan dolayı üçgenin taban boyu ($T_s/2$) olur. Toplam (q) yükü denklem (3.28)'deki gibi olur.

$$q = \frac{1}{2} \Delta i_L T_s \quad (3.28)$$

Kapasitör temel bağlantısı $Q = C * V$ 'dir. Şekil 3.6 üzerine söz konusu denklem uygulanacak olursa denklem (3.29) elde edilir.

$$q = C(2\Delta v) \quad (3.29)$$

Denklem (3.28) ve (3.29) eşitlikleri çözümlenirse gerilim dalgalanması tepe büyüklüğü (Δv) elde edilir.

$$\Delta v = \frac{\Delta i_L T_s}{8C} = \frac{\left(\frac{V_0(1-D)T}{L}\right)T}{8C} = \frac{V_0(1-D)}{8CLf^2} \quad (3.30)$$

Denklem (3.30) sayesinde belirlenmiş bir gerilim dalgalanması için kapasitör hesabı yapılabilir.

3.2. Simülasyon Devresi Hesaplamaları

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresinde amacımız 12 V giriş gerilimini kararlı bir şekilde 5V çıkış gerilimine dönüştürmektir. Simülasyon devresi

sürekli iletim modunda ve 20kHz çalışma frekansı altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Çıkış akımı için 0,73A tercih edilmiş ve buna göre yük direnci 6.8Ω olarak seçilmiştir. Denklem (3.14)'ten görev döngüsü hesaplanır;

$$D = \frac{V_0}{V_s} = \frac{5}{12} = 0.417 \quad (3.31)$$

Devredeki minimum endüktans ve kapasitans değerlerinin hesaplanabilmesi için (3.27b) ve (3.30) denklemleri kullanılır. Burada kapasitör hesabı yapılırken çıkış gerilim dalgalanması (%1) olarak alınmıştır. Söz konusu eşitliklerde değerler yerine konulursa minimum endüktans ve kapasitans değerleri elde edilir.

$$L = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0.417)6.8}{2 \times 10000} = 0.198\text{mH} \cong 0.2\text{mH} \quad (3.32)$$

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2} * \frac{1}{\left(\frac{\Delta V_0}{V_0}\right)} = \frac{(1-0.417)}{8 \times 0.2 \times 10^{-3} \times (10000^2) * 0.01} = 364.6\mu\text{F} \cong 400\mu\text{F} \quad (3.33)$$

Devrenin ortalama bobin çıkış akımı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$I_{Lort} = I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{5}{6.8} = 0.735A \quad (3.34)$$

Düşürücü dönüştürücü devresinde kullanacağımız devre elemanlarına ait değerler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Devre parametreleri

Devre Elemanı	Açıklama	Değeri
V_s	Giriş gerilimi	12V
L	Endüktans değeri	0.2mH
C	Kapasitans değeri	400 μ F
R	Yük direnci	6.8 Ω
f_s	Anahtarlama frekansı	10kHz
V_0	Çıkış gerilimi	5V
D	Doluluk oranı	0.417
% ΔV_0	Çıkış Gerilimi Dalgalanma Yüzdesi	0.01

3.3. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Matematiksel Analizi

Devre parametreleri bulunduktan sonra düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün matematiksel analizi yapılarak analiz sonuçları tasarlanacak devre sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Öncelikle devrenin çıkış gerilimi;

$$V_0 = D \times V_S = 0.417 \times 12 = 5 \text{ V} \quad (3.35)$$

Denklem 3.35'teki gibi hesaplanır. Devrenin yük (çıkış) akımı;

$$I_R = \frac{V_0}{R} = \frac{5}{6.8} = 0.735 \text{ A} \quad (3.36)$$

Denklem 3.36'daki gibi hesaplanır. Devrenin ortalama bobin akım ve gerilimi;

$$I_{Lort} = I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{5}{6.8} = 0.735 \text{ A} \quad (3.37)$$

$$V_L = V_S - V_0 = 12 - 5 = 7 \text{ V} \quad (3.38)$$

Denklem 3.37 ve 3.38'deki gibi hesaplanır. Devrenin çıkış gücü hesabı;

$$P_0 = I_0 \times V_0 = 0.735 \times 5 = 3,675 \text{ W} \quad (3.39)$$

Denklem 3.39'daki gibi hesaplanır. Çizelge 3.2'de matematiksel analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Matematiksel analiz sonuçları

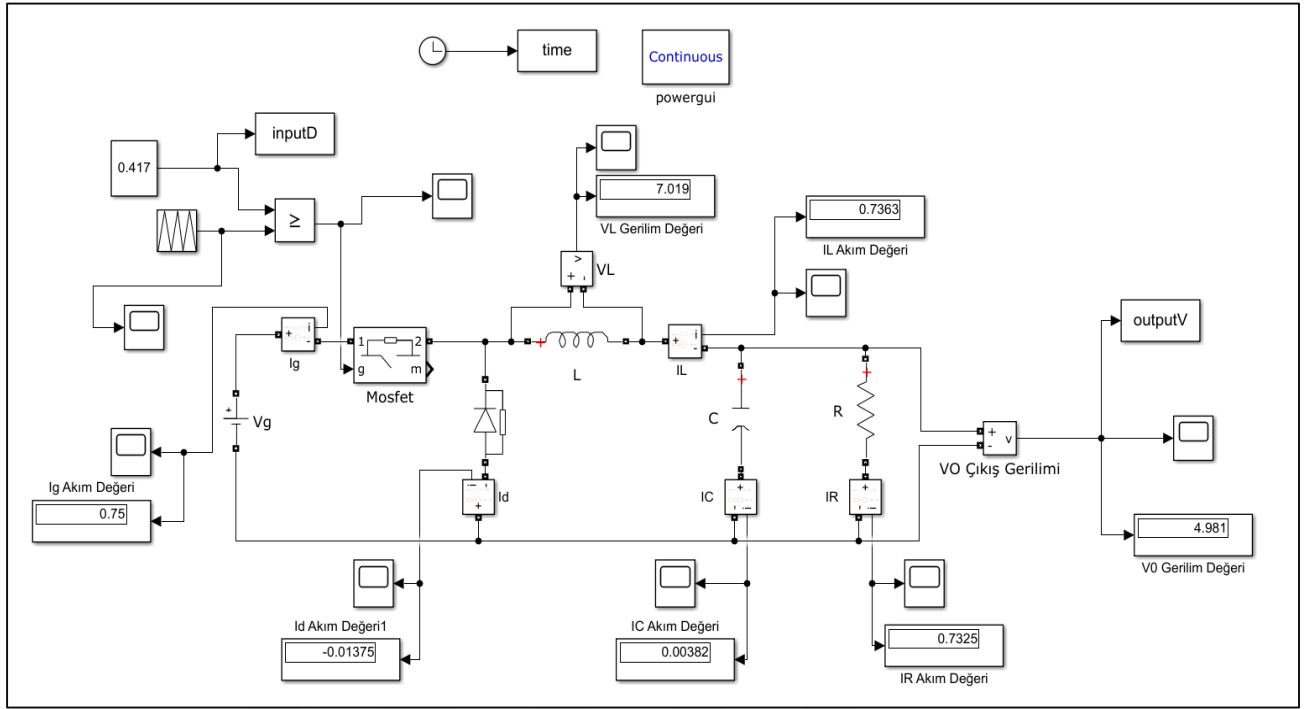
Değer	Açıklama	Matematiksel Analiz Sonuçları
$V_0(V)$	Çıkış gerilimi	5
$I_R(A)$	Yük (çıkış) akımı	0.735
$V_L(V)$	Bobin gerilimi	7
$I_L(A)$	Bobin akımı	0.735
$P_0(W)$	Çıkış gücü	3.675

3.4. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Devre Tasarımı

Düşürücü dönüştürücü devremizi tasarlarken dönüştürücümüzün sabit durumda olduğunu varsayıp yarı iletken anahtarlama elemanını ideal kabul edip endüktif ve kapasitif elemanların iç kayıplarını ihmal edeceğiz. Ayrıca dönüştürücü sürekli iletim modunda çalıştığı varsayılacaktır.

Tez çalışmasında ilk olarak diğer simülasyon devrelerimizde referans olarak kullanacağımız temel bir düşürücü dönüştürücü devresi tasarlanmıştır. Düşürücü tip DA-DA simülasyon devresi tasarımı için MATLAB R2019a programı Simulink uygulaması kullanılmıştır.

Tasarlanan Simulasyon devresi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresi

Şekil 3.7’de tasarlanan düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresindeki elemanlara ait değerler Çizelge 3.1’den alınmıştır.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE OPTİMİZASYON

4.1. Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Devre Sonuçları

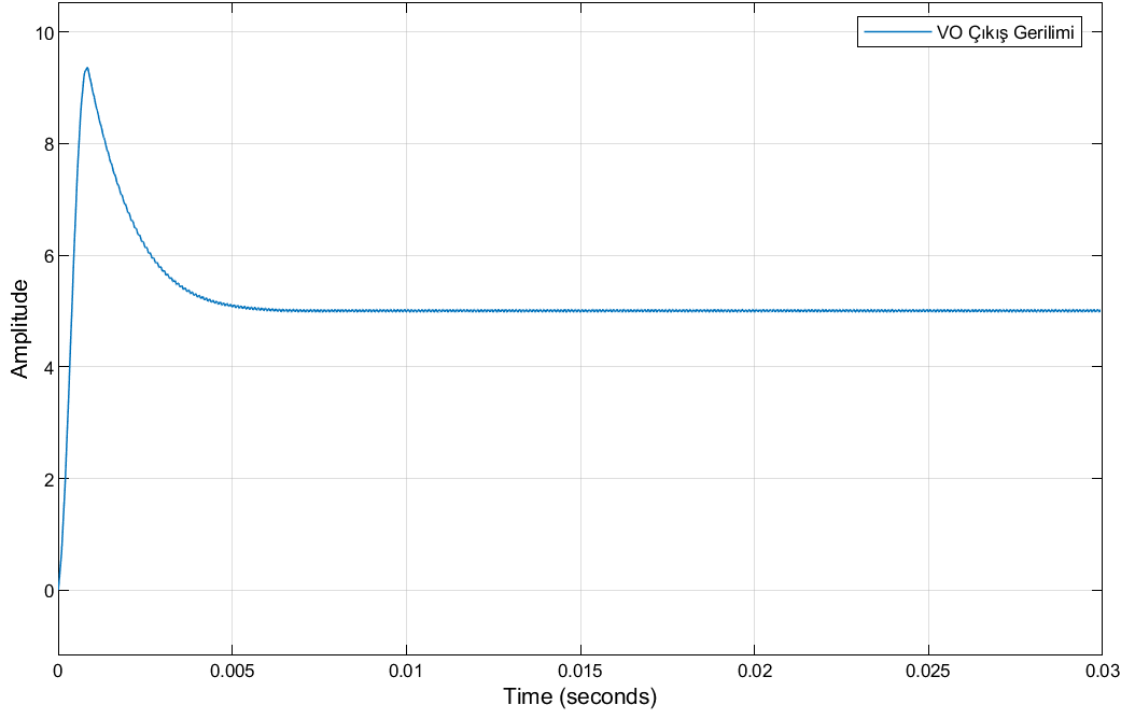
Kontrolsüz bir şekilde tasarımı yapılan düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün matematiksel analiz sonuçları ve simülasyon devresine ait sonuçlar Çizelge 4.1’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün matematiksel analizi ve kontrolsüz simülasyon devresi sonuçları

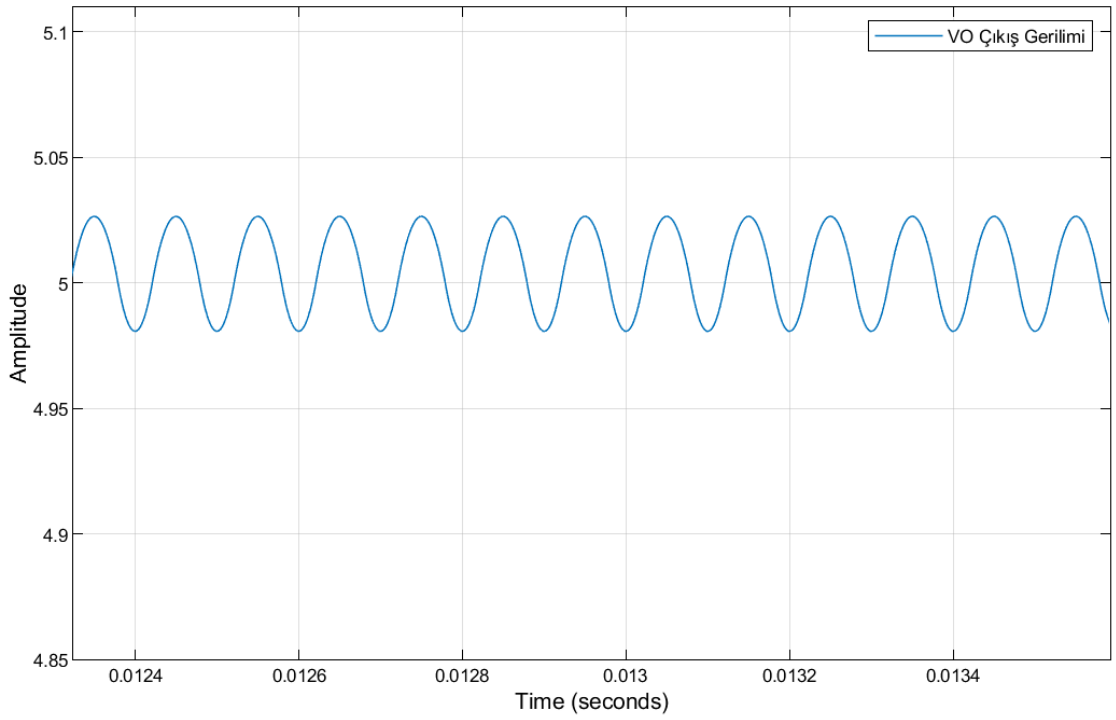
Değer	Açıklama	Matematiksel Analiz	Kontrolsüz Simülasyon Devresi Sonuçları
$V_0(V)$	Çıkış gerilimi	5	4.981
$I_R(A)$	Yük (çıkış) akımı	0.735	0.732
$V_L(V)$	Bobin gerilimi	7	7.019
$I_L(A)$	Bobin akımı	0.735	0.736
$P_0(W)$	Çıkış gücü	3.675	3.65

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün matematiksel analizi ve kontrolsüz olarak tasarlanan simülasyon devresinin sonuçlarının yakınlığı devrenin doğru bir şekilde oluşturulduğunu ve çalıştığını göstermektedir.

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresinin çıkış gerilimine ait grafikler Şekil 4.1’de verilmiştir.



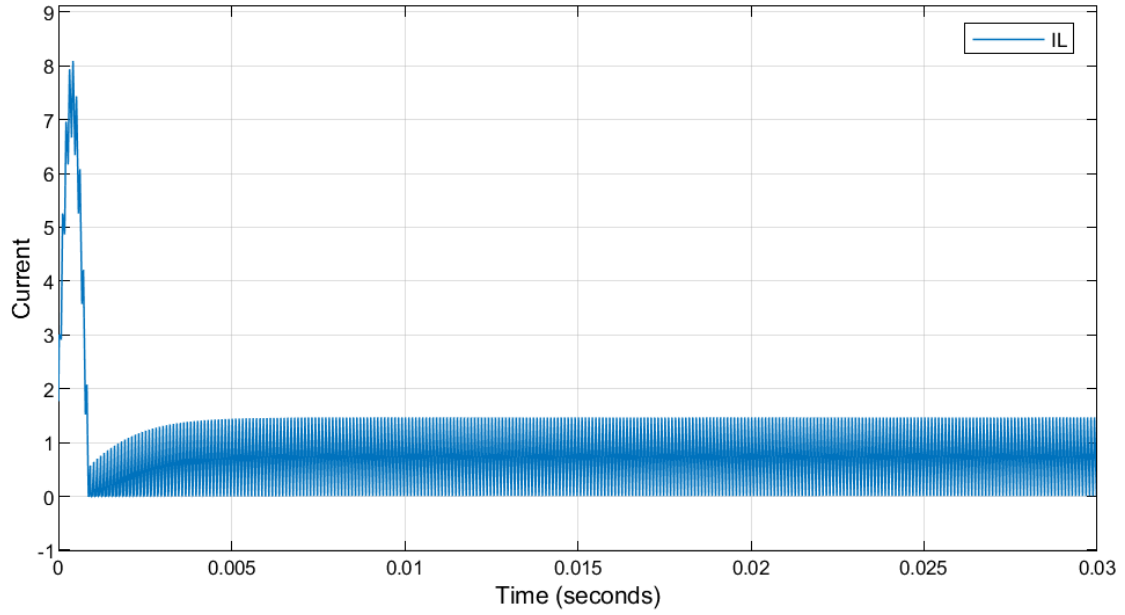
a)



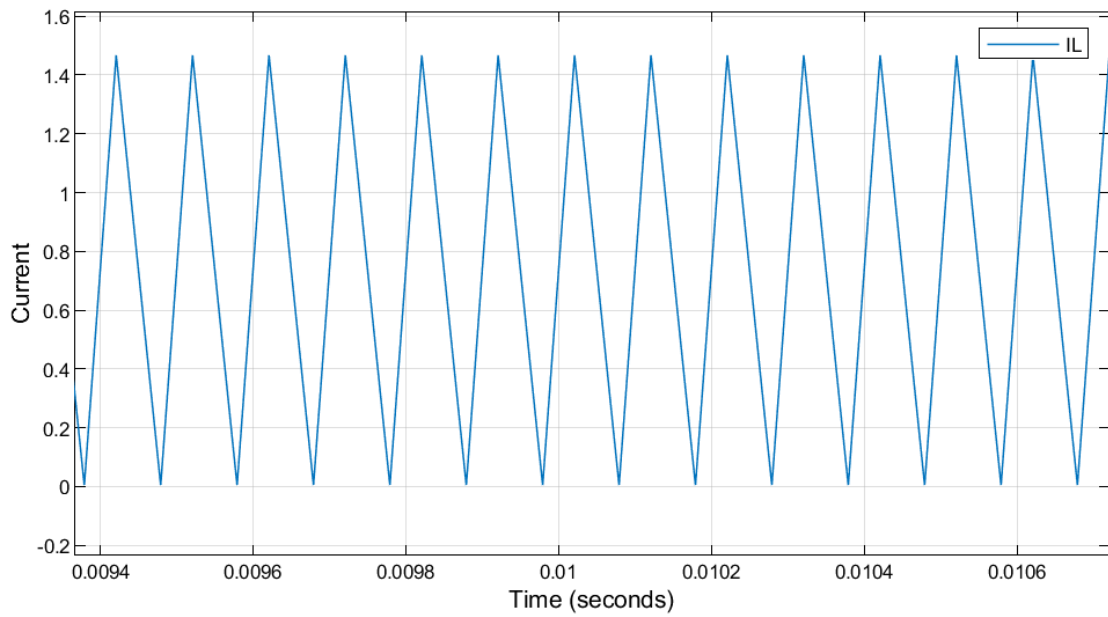
b)

Şekil 4.1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simulink devresi çıkış gerilim grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresinin bobin akımına ait grafikler Şekil 4.2’de verilmiştir.



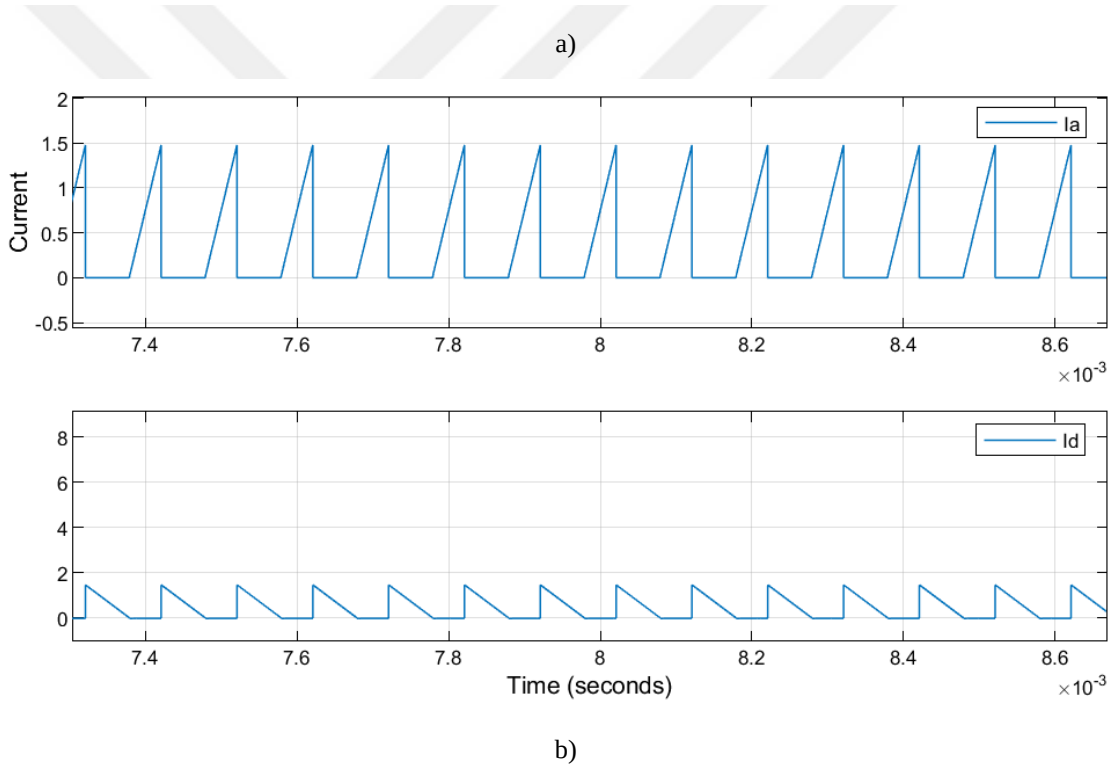
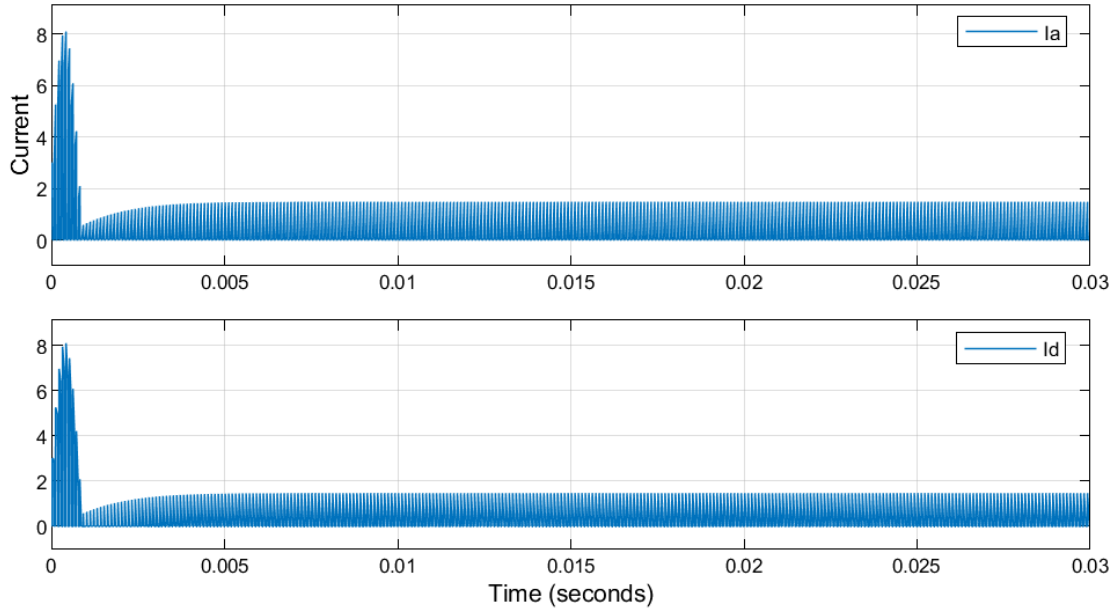
a)



b)

Şekil 4.2. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simulink devresi bobin akım grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresinin mosfet ve diyot elemanlarına ait akım grafikleri Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simulink devresi mosfet (I_a) ve diyot (I_d) akım grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü

Çizelge 4.1, Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'deki grafiklerden görüldüğü üzere kontrolsüz olarak tasarlanan sistem kararlı haldedir. Ancak aşım miktarı %90 seviyelerinde olduğu için istenmeyen durum meydana gelmiştir ve sistemin kontrole ihtiyacı bulunmaktadır.

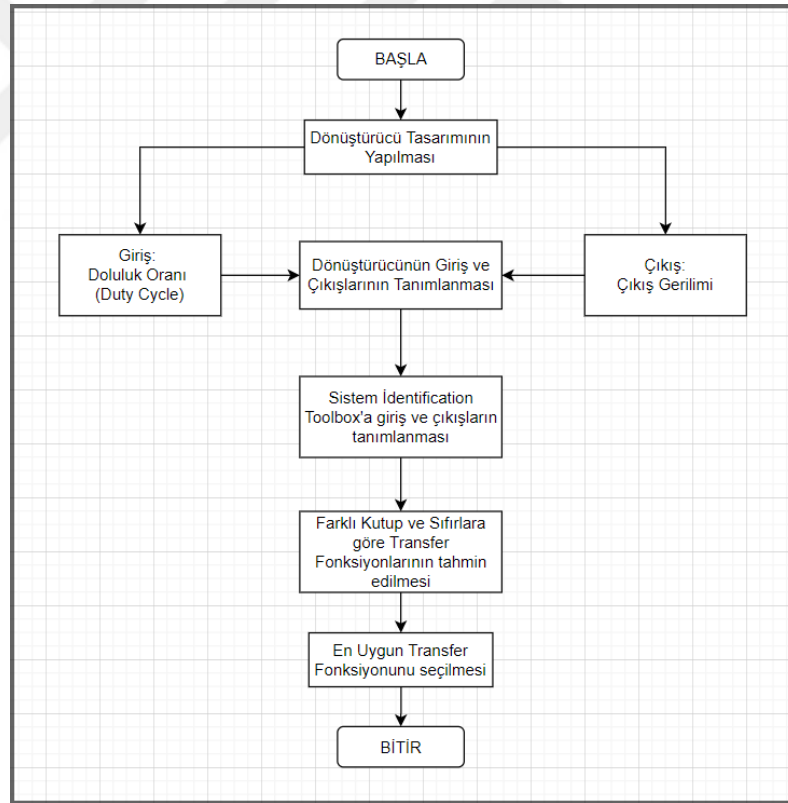
Sistemi iyileştirmek için sisteme gerilim modlu kapalı çevrim geri besleme ile PID kontrolör uygulanacaktır. Ancak PID kontrolör eklenmeden önce sistemin transfer

fonksiyonunun çıkarılması gerekmektedir. Transfer fonksiyonu hesaplanırken MATLAB 2019a programında Sistem Tanımlama Araç Kutusu uygulamasından faydalanılacak ve tahmin metodu üzerinden sistemimizin transfer fonksiyonuna en çok benzeyen transfer fonksiyonu bulunmaya çalışılacaktır.

4.2. MATLAB / Sistem Tanımlama Araç Kutusu ile Transfer Fonksiyonu Tahmini

Önceki bölümde tasarlanan düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simülasyon devresinden alınan giriş ve çıkış değerleri MATLAB/Workspace ortamına aktararak, MATLAB/Sistem Tanımlama Araç Kutusu yardımı ile sistemin transfer fonksiyonuna en çok benzeyen transfer fonksiyonu çıkarımı yapılacaktır.

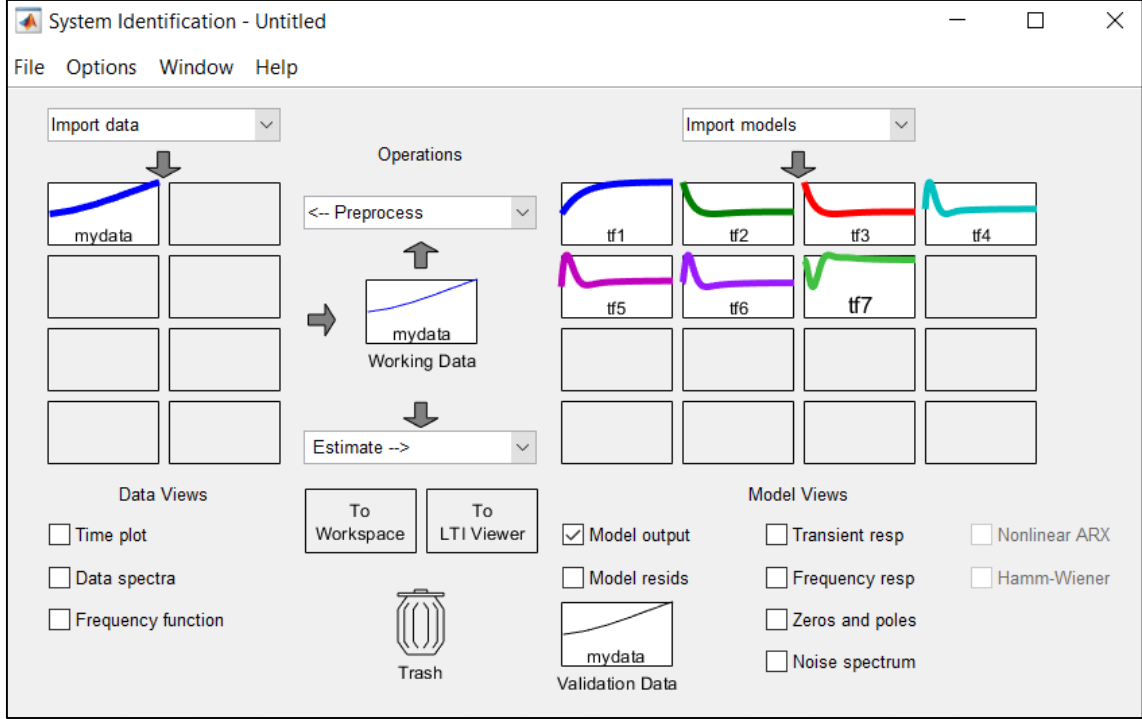
Şekil 4.4'te düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devre tasarımı aşamasından başlayıp sistemin en uygun transfer fonksiyonunu tahmin eden iş akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.4. Transfer fonksiyonu çıkarımını açıklayan iş akış şeması

Giriş için inputV, çıkış için outputV değerleri MATLAB/Simulink ortamından MATLAB/Workspace ortamına aktarılmıştır. Daha sonra MATLAB/Sistem Tanımlama

Araç Kutusu kullanılarak giriş ve çıkış değerleri uygulamaya tanıtılmıştır. Şekil 4.5'te MATLAB/Sistem Tanımlama Araç Kutusu ara yüzü ve giriş ve çıkış değişkenlerinin ara yüze aktarımı gösterilmiştir.



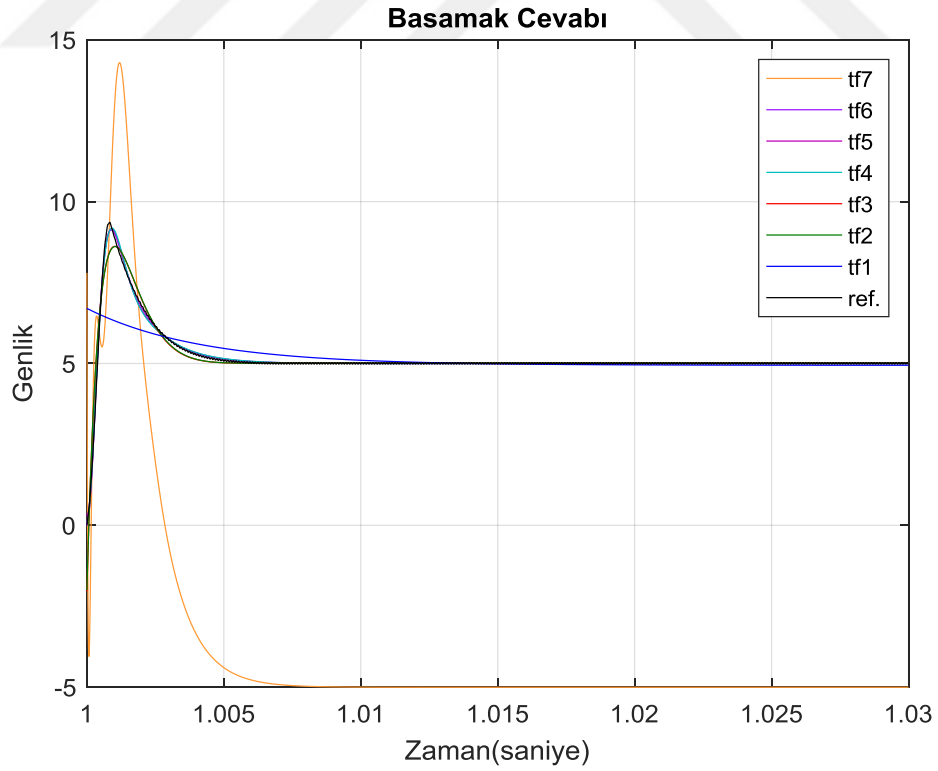
Şekil 4.5. Sistem tanımlama araç kutusuna değişkenlerin tanımlanması

MATLAB/Sistem Tanımlama Araç Kutusunda giriş ve çıkış değerleri veri girişleri olarak sisteme eklendikten sonra tahmin bölümünde transfer fonksiyonu tahminleri farklı kutup ve sıfırlar ile yapılmıştır. Programda kullanılan algoritma: otomatik olarak seçilen çizgi arama yöntemiyle doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemidir. Çizelge 4.2 üzerinde tahminleri yapılan transfer fonksiyonları ve doğruluk yüzde oranları gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Farklı kutup ve sıfır değerli transfer fonksiyonları ve doğruluk yüzdeleri

Transfer Fonk.	Kutup	Sıfır	Model	Doğruluk (%)
tf7	5	1	$\frac{-3.874e16 s + 1.49e19}{s^5 + 2.396e04 s^4 + 1.89e08 s^3 + 9.523e11 s^2 + 2.034e15 s + 1.242e18}$	-1051
tf6	4	1	$\frac{8.02e12 s + 2.973e15}{s^4 + 2.143e04 s^3 + 1.396e08 s^2 + 3.951e11 s + 2.48e14}$	94.95
tf5	3	2	$\frac{-1.043e04 s^2 + 4.3e08 s - 1.582e11}{s^3 + 6692 s^2 + 2.11e07 s + 1.32e10}$	93.72
tf4	3	1	$\frac{3.759e08 s + 1.356e11}{s^3 + 6036 s^2 + 1.855e07 s + 1.132e10}$	92.99
tf3	2	2	$\frac{-4.896 s^2 + 5.998e04 s + 2.693e07}{s^2 + 2704 s + 2.239e06}$	80.46
tf2	2	1	$\frac{5.138e04 s + 2.654e07}{s^2 + 2694 s + 2.208e06}$	80.45
tf1	1	1	$\frac{16.03 s + 2880}{s + 242.9}$	12.22

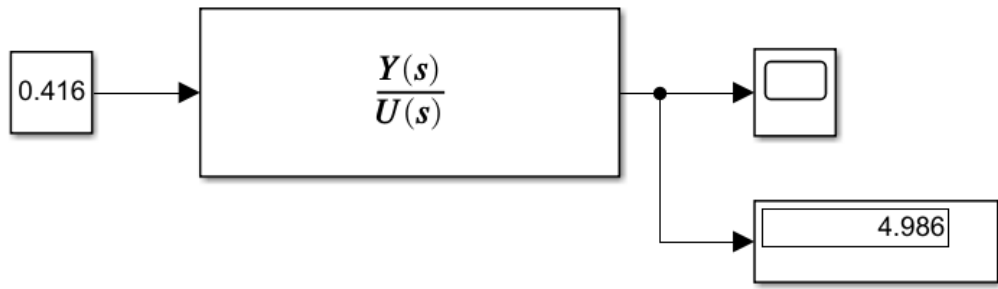
Çizelge 4.2'ye ait grafiksel gösterim Şekil 4.6 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı transfer fonksiyonlarının basamak cevapları

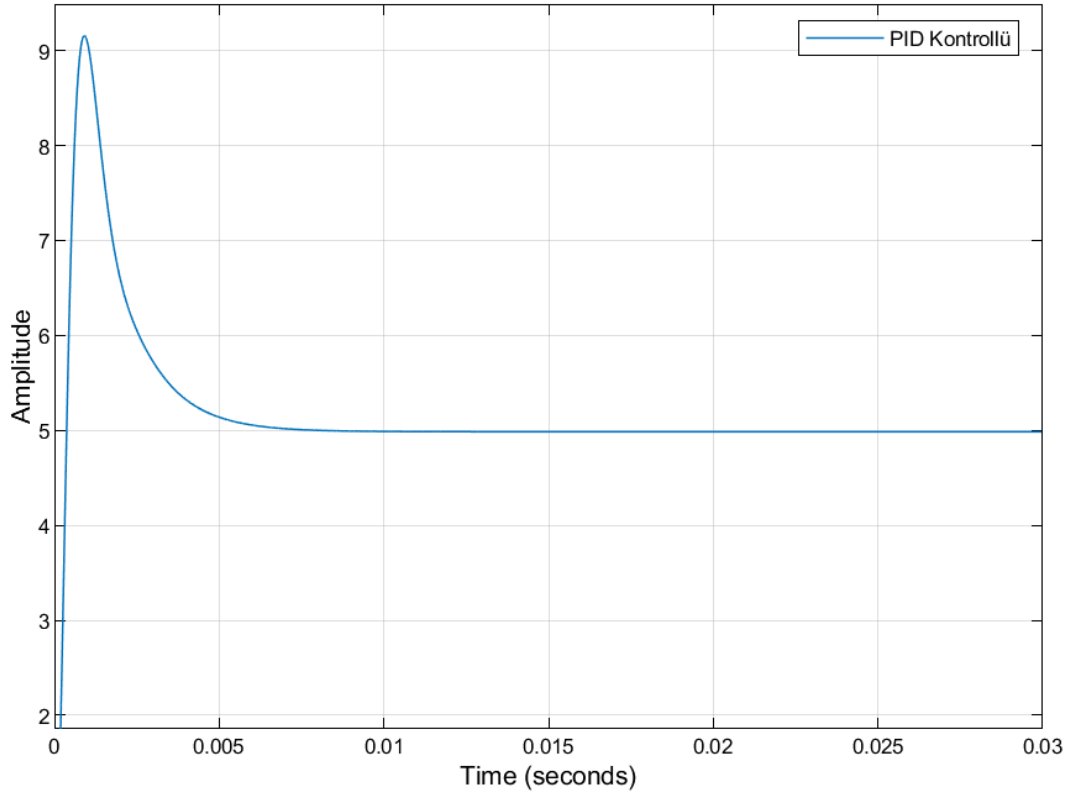
Yukarıdaki tablo ve şekilde görüldüğü üzere tf6 olarak adlandırılan 4 kutuplu 1 sıfırlı sistemin transfer fonksiyonu doğruluk yüzdesi %94.95 olarak belirlenmiştir. Ancak tf4 olarak adlandırılan 3 kutuplu 1 sıfırlı sistemin transfer fonksiyonu da %92.99 olarak bulunmuştur. 4 kutuplu sistemlere göre daha işlem kolaylığı bulunan ve yüksek oranda doğruluk yüzdesine sahip olan tf4 fonksiyonu aynı zamanda bundan sonraki süreçte referans alınacak transfer fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simülasyon devresinin açık çevrim cevabı MATLAB / Simulink üzerinde modellenmiş ve Şekil 4.7 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Transfer fonksiyonu açık çevrim cevabı

tf4 olarak adlandırılan transfer fonksiyonunun pay ve payda değerleri Şekil 4.7 içerisindeki transfer fonksiyonu bloğuna aktarılmıştır ve D (Doluluk oranı) ile transfer fonksiyonu çarpılarak sistemin açık çevrim cevabı bulunmuştur.



Şekil 4.8. Transfer fonksiyonu açık çevrim basamak cevabı

Şekil 4.8’de düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün açık çevrimdeki geçici hal cevabının grafiği verilmiştir. Çizelge 4.3’te ise geçici hal cevabının performans değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün açık çevrim geçici hal cevabı performans değerleri

Parametre	Açık Çevrim Geçici Hal Cevabı Performans Değerleri
Aşım Yüzdesi (%)	84.259
Yerleşme Zamanı (s)	5.376×10^{-3}
Yükselme Zamanı (s)	0.227×10^{-3}
Tepe Değeri (V)	9.11
Tepe Zamanı (s)	0.88×10^{-3}

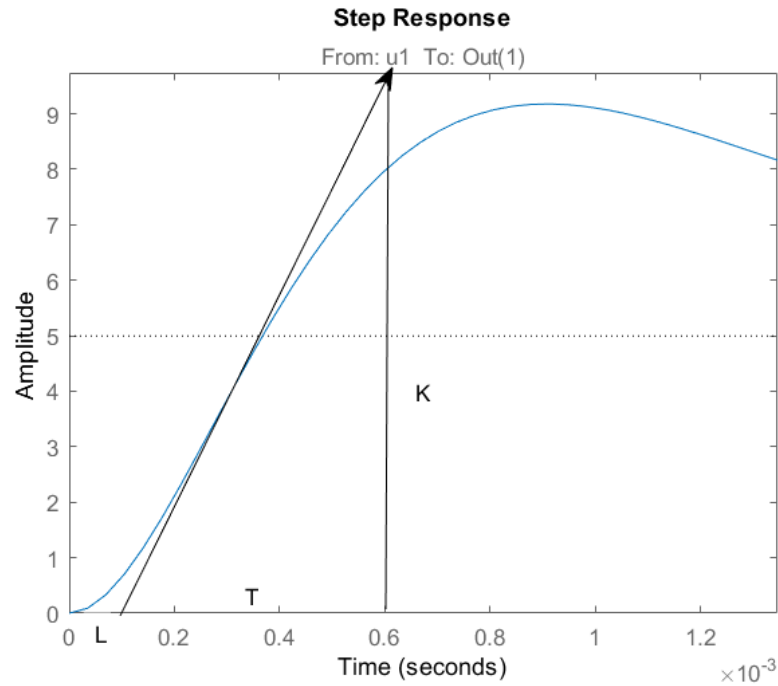
Çizelge 4.3’te bulunan performans değerleri sistemin aşım yüzdesinin yüksek olduğunu ve sistem cevabının iyileştirmesi adına kontrole ihtiyaç duyduğunu

4.4. PID Kontrolör Parametrelerinin Optimizasyonu

Düşürücü dönüştürücü referans simülasyon devresine PID kontrolör eklendikten sonra PID kontrolörün kontrol parametreleri en uygun değerlerde ayarlanarak sisteme tanımlanması gerekmektedir. PID kontrol parametrelerinin bulunabilmesi için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Ziegler-Nichols Ayarlama Yöntemi, Cohen-Coon Ayarlama Yöntemi, Chien-Hrones-Reswick Ayarlama Yöntemi, Wang-Juang-Chan Ayarlama Yöntemi vb. ayarlama yöntemleri kullanıldığı gibi günümüzde metasezgisel algoritmalar yardımı ile PID kontrol parametrelerine ulaşmak mümkündür.

4.4.1 Ziegler-Nichols metodu ile PID kontrol parametre optimizasyonu

Ziegler-Nichols metodu P, PI, PID kontrolör parametrelerini ayarlamak için literatürde kullanılan etkili yöntemlerden biridir. Ziegler-Nichols tarafından PID kontrolörlerinin parametrelerinin belirlenebilmesi için iki klasik yöntem sunulmuştur. Bunlardan biri Basamak cevap (step response) yöntemi, diğeri ise Kendi kendine salınım (self-oscillation) yöntemidir. Öncelikli olarak PID kontrolörüne ait parametreler Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi ile çözümlenecektir.



Şekil 4.10. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi

Şekil 4.10 üzerinde gösterilen K sistem kazancını, L görünen ölü zamanı ve T görünen zaman sabiti olarak adlandırılır. PID parametreleri değerleri aşağıdaki tabloya göre seçilir (Olalekan, 2018).

Çizelge 4.4. Ziegler-Nichols parametre seçim tablosu

Kontrolör Tipi	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{KL}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{KL}$	$3L$	0
PID	$1.2 \frac{T}{KL}$	$2L$	$0.5L$

Yukarıda verilen şekil ve tablo üzerinde gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi ile değerleri bulunan PID kontrolör parametreleri aşağıda verilmiştir.

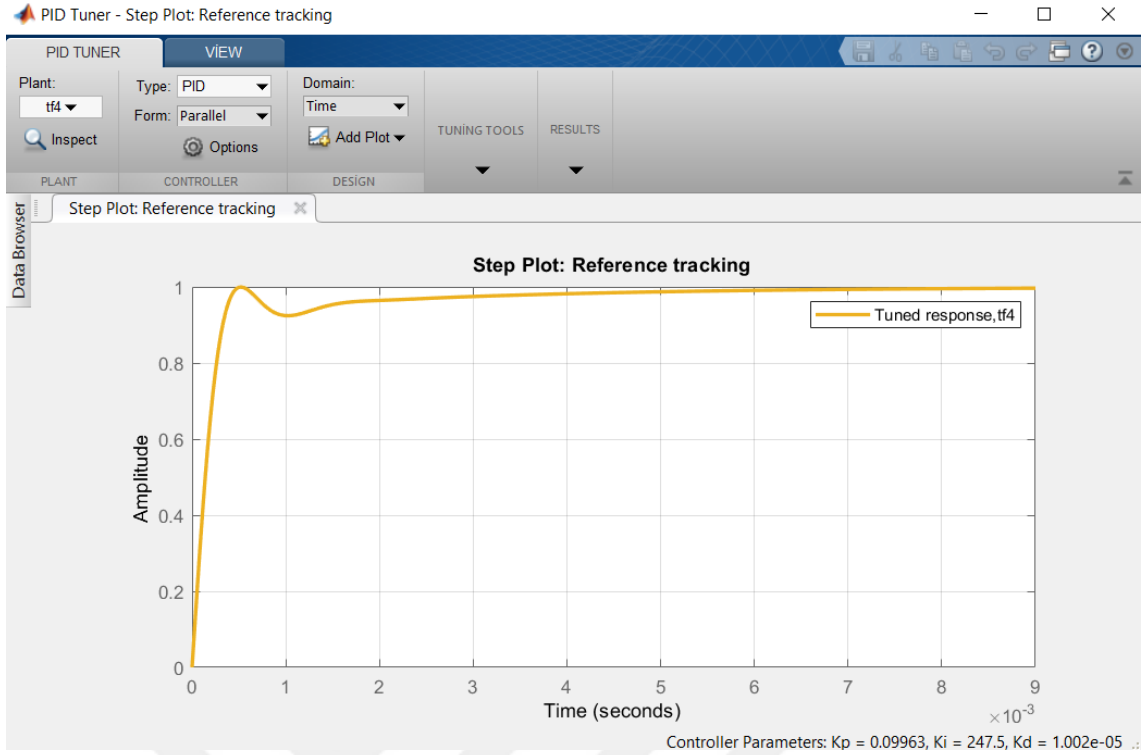
Çizelge 4.5. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi bulunan PID kontrolör parametre değerleri

Parametre	Ziegler-Nichols
Kp	0.6
Ki	3000
Kd	0.00003

4.4.2 MATLAB yazılımı PID Tuner uygulaması ile PID kontrol parametre optimizasyonu

PID kontrol parametrelerine MATLAB / Control System Toolbox yazılımının sunduğu araçlar veya komutlar üzerinden erişim sağlanabileceği gibi MATLAB / Simulink Control Design yazılımı üzerinden PID bloğu seçildikten sonra blok içerisindeki ‘tune’ kutucuğu açılarak PID Tuner ekranı üzerinden otomatik olarak ayarlanabilir.

Şekil 4.11’de PID Tuner bloğu gösterilmektedir. Tuning tools kullanılarak daha hassas ayarlama yapma imkânı mevcuttur.



Şekil 4.11. PID Tuner üzerinden otomatik parametre seçimi

MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması kullanılarak ile değerleri bulunan PID kontrolör parametreleri Çizelge 4.6 üzerinde verilmiştir.

Çizelge 4.6. MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ile bulunan PID kontrolör parametre değerleri

Parametre	MATLAB ‘PID Tuner’
K_p	0.124133020560457
K_i	192.672260181507
K_d	0.0000199289029638845

4.4.3 MATLAB yazılımı ‘pidtune’ fonksiyonu ile PID kontrol parametre optimizasyonu

PID Kontrolörün kontrol parametreleri, MATLAB / Control System Toolbox yazılımının sunduğu bir başka yöntem kod ortamında ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunabilir. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans simülasyon devresinden alınan

giriş ve çıkış değişkenleri MATLAB / Workspace ortamına aktarıp ardından MATLAB / Sistem Tanımlama Araç Kutusu üzerinden transfer fonksiyonu çıkarımı yapıldıktan sonra tekrar kod ortamında yazılan komutlar ile “Kp, Ki, Kd” PID kontrol parametrelerine otomatik olarak erişim sağlanmıştır.

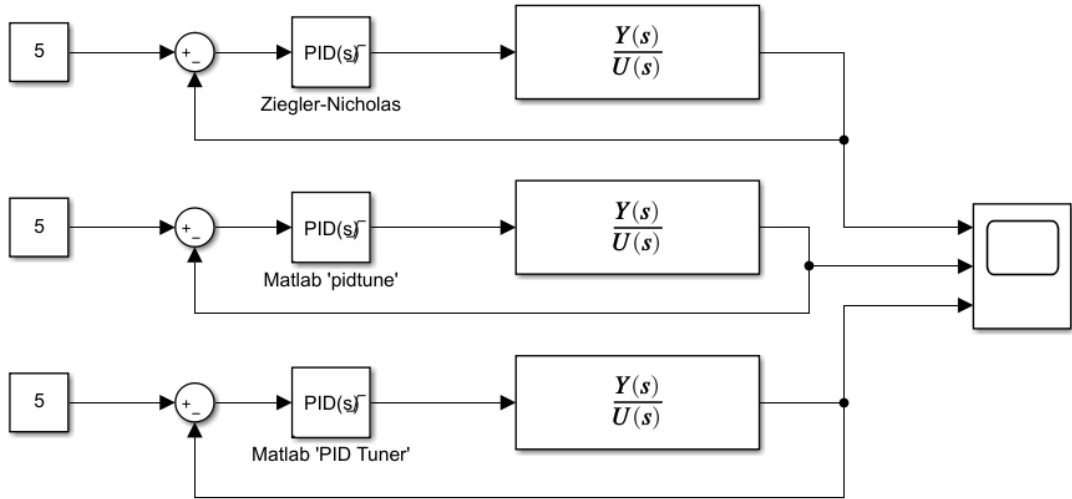
Bazı uygulamalarda, uygun bir sistem kontrolü sağlamak için sadece bir veya iki işlem kullanmak gerekebilir. Bu, diğer parametrelere sıfır değeri vererek elde edilebilir (wikipedia). Bu durumda PID, ilgili denetim eylemlerinin yokluğuna göre PI, PD, P veya I olarak tanımlanır. Çizelge 4.7 üzerinde görüleceği üzere PID kontrolörü I kontrolör olarak çalışmıştır. MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrol parametre değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ziegler-Nichols basamak cevap yönetmi ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolör parametre değerlerinin karşılaştırılması

Parametre	MATLAB ‘pidtune’
Kp	0
Ki	33.9673
Kd	0

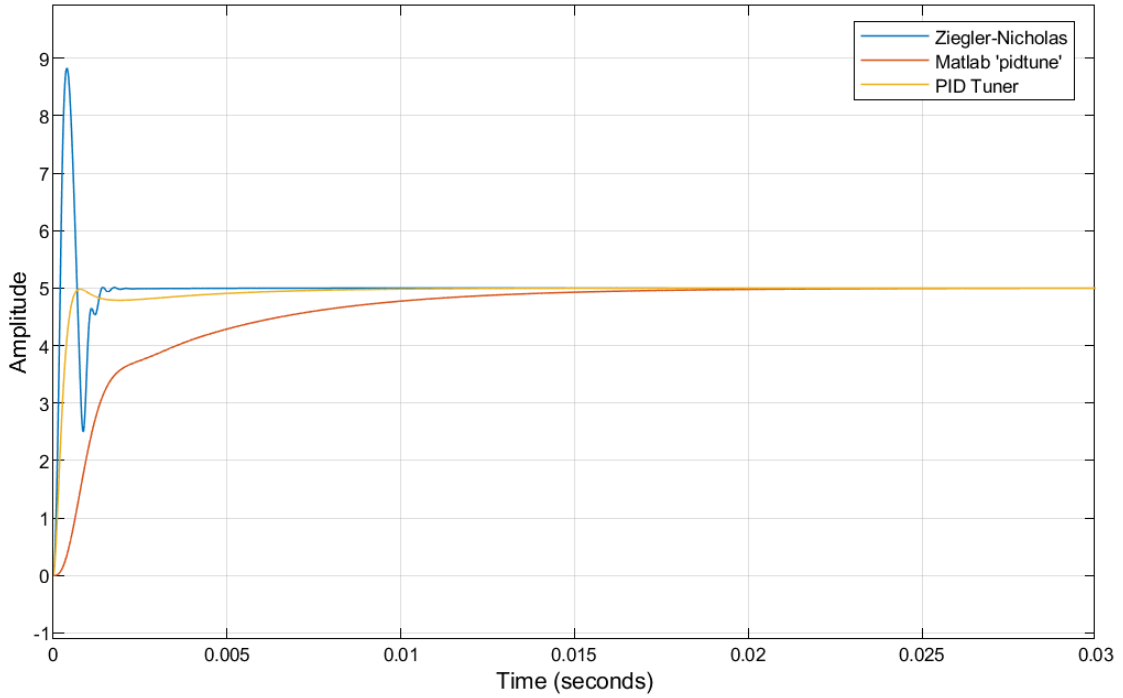
4.4.4 PID kontrol parametre optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile MATLAB / Simulink üzerinden düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün kapalı çevrim blok diyagramları gösterimleri yapılmış Şekil 4.12 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Ziegler-Nichols, MATLAB ‘PID Tuner’ ve MATLAB ‘pidtune’ kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramları

Şekil 4.13’te Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramlarına ait sonuç grafiği verilmiştir.



Şekil 4.13. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramlarına ait sonuç grafiği

Çizelge 4.8’de Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramlarına ait performans değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramları performans değerleri

Parametre	Ziegler-Nichols	MATLAB ‘PID Tuner’	MATLAB ‘pidtune’
Aşım Yüzdesi (%)	76.3	0.11	0.463
Yerleşme Zamanı (s)	0.38×10^{-3}	3.88×10^{-3}	11.45×10^{-3}
Yükselme Zamanı (s)	0.22×10^{-3}	0.38×10^{-3}	5.92×10^{-3}
Tepe Değeri (V)	8.82	5	5
Tepe Zamanı (s)	0.39×10^{-3}	1×10^{-3}	0.1

Performans değerleri karşılaştırıldığında MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ve MATLAB ‘pidtune’ fonksiyonu kullanılarak bulunan PID kontrolörleri ile tasarlanan kapalı çevrim blok diyagramının çıkış gerilimine ait aşım oranı Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemine göre oldukça başarılı sonuç vermiştir. Ancak Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi kullanılarak bulunan PID kontrolörü ile tasarlanan kapalı çevrim blok

diyagramı çıkış gerilimine ait yerleşme zamanı ve yükselme zamanı değerleri MATLAB 'PID Tuner' uygulamasına ve MATLAB 'pidtune' fonksiyonuna göre daha hızlı tepki vermiştir. MATLAB 'PID Tuner' uygulaması genel olarak başarılı sonuçlar vermiş olup uygulama üzerinden daha hassas ayarlama yapılarak performans değerlerinde iyileştirme yapılma imkanı mevcuttur.

PID kontrolörlü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresinde MATLAB 'PID Tuner' uygulaması sonucu bulunan kontrol parametreleri tercih edilmiş ve Şekil 4.14'te görüldüğü gibi Simulink devresi üzerindeki PID bloğuna MATLAB 'PID Tuner' uygulaması üzerinden bulunan Kp, Ki ve Kd kontrolör parametreleri tanımlanmış ve sistem çalışır bir vaziyete getirilmiştir.

Block Parameters: Matlab 'PID Tuner'

☒ Continuous-time
☐ Discrete-time

Sample time (-1 for inherited): -1

▼ Compensator formula

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Main Initialization Output Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): 0.124133020560457

Integral (I): 192.672260181507

Derivative (D): 1.99289029638845e-05

☒ Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 963652.366244559

Automated tuning

Select tuning method: Transfer Function Based (PID Tuner App) Tune...

☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

Şekil 4.14. PID kontrol parametre değerleri

4.5. PID Kontrolörlü Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Devre Sonuçları

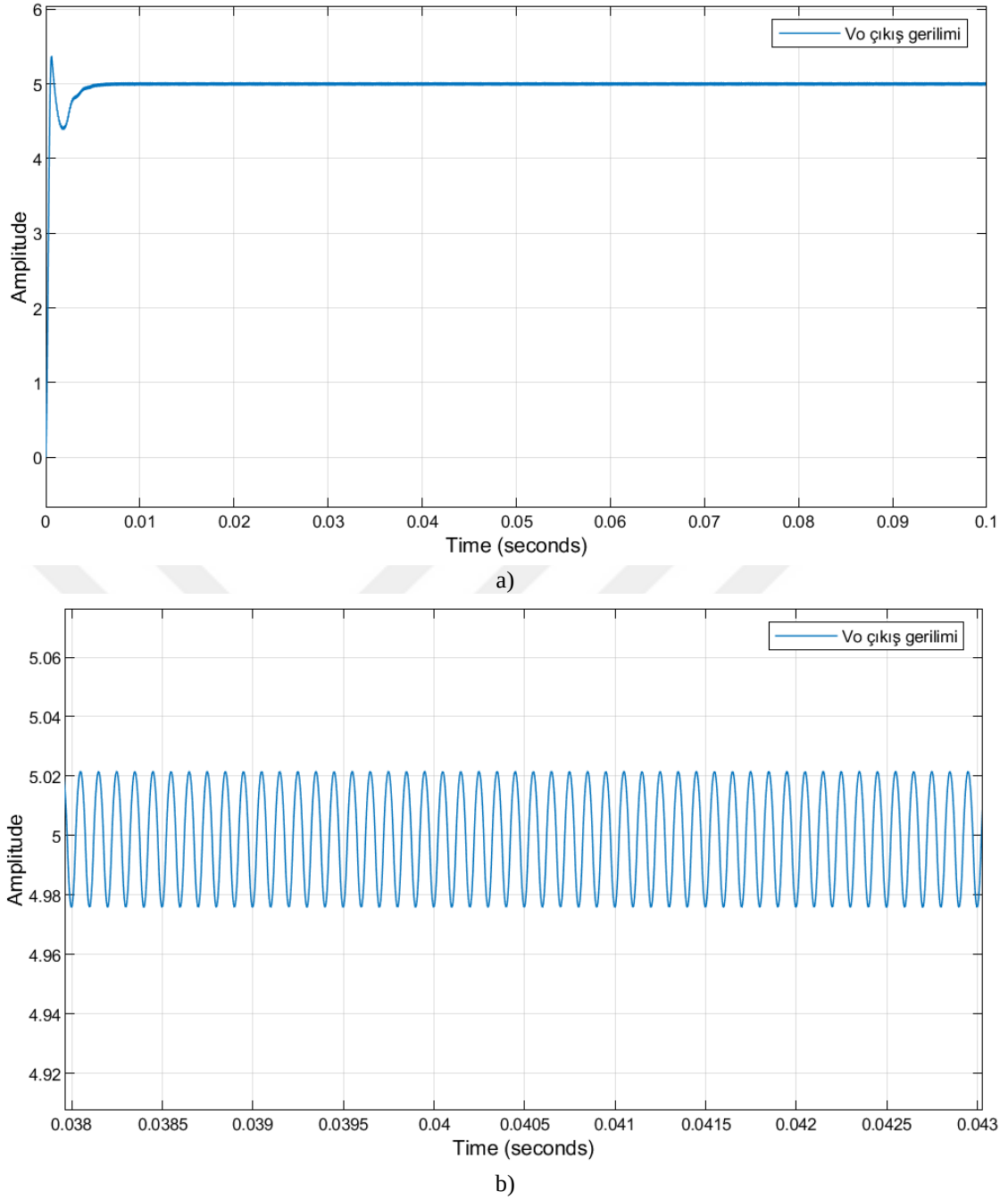
Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüsüne ait Matematiksel Analiz, Kontrolsüz simülasyon devresi ve PID kontrolör eklenmiş olan simülasyon devresine ait sonuçların karşılaştırılması Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücüsüne ait matematiksel analiz, kontrolsüz ve PID kontrollü simülasyon devre sonuçları

Değer	Açıklama	Matematiksel Analiz	Kontrolsüz Simülasyon Devresi Sonuçları	PID kontrollü Simülasyon Devre Sonuçları
$V_0(V)$	Çıkış gerilimi	5	4.981	4.976
$I_R(A)$	Yük (çıkış) akımı	0.735	0.732	0.732
$V_L(V)$	Bobin gerilimi	7	7.019	7.023
$I_L(A)$	Bobin akımı	0.735	0.736	0.736
$P_0(W)$	Çıkış gücü	3.675	3.65	3.64

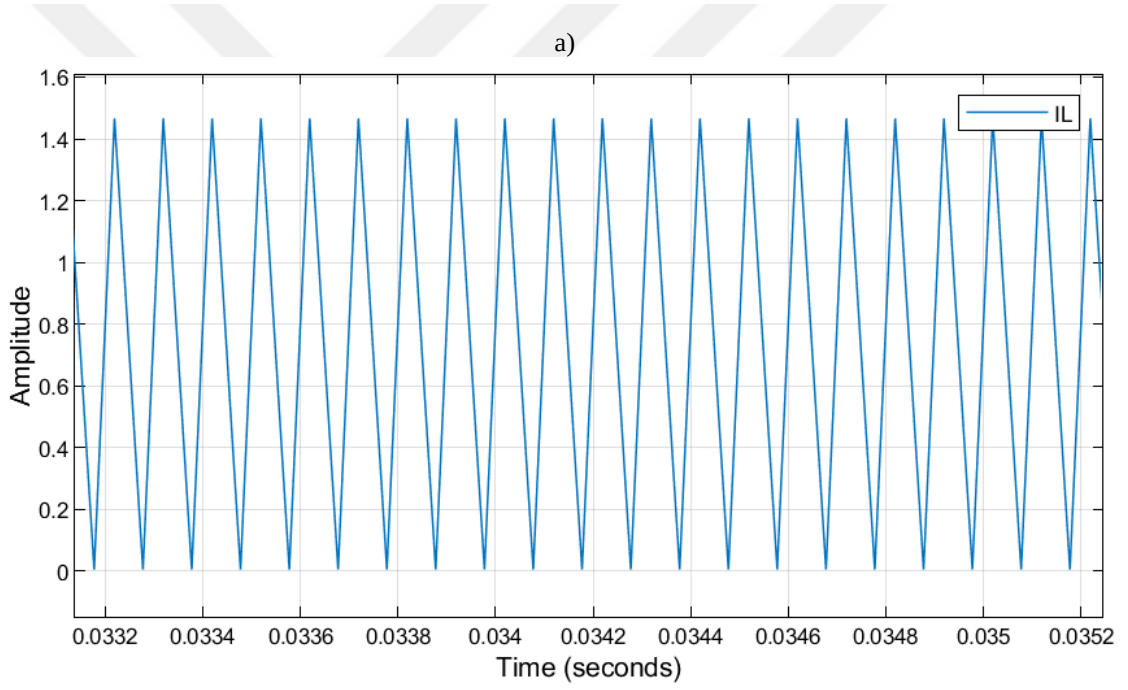
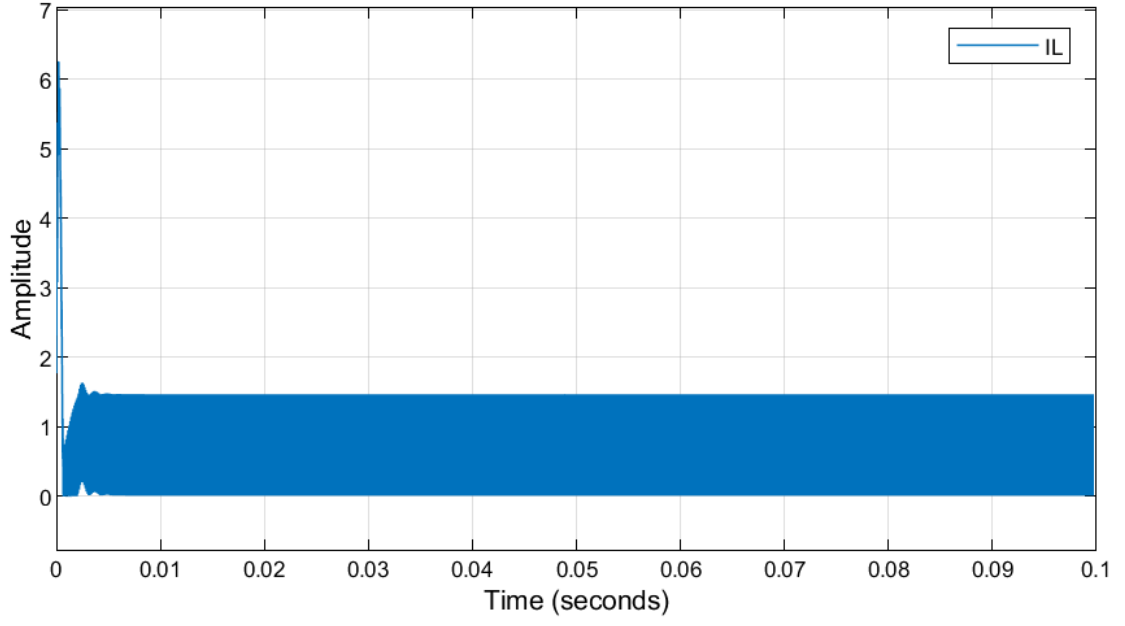
Çizelge 4.8’de görüleceği üzere sisteme uygulanan PID kontrolör devre sonuçları açısından önemli bir değişiklik oluşturmamıştır. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün kontrolsüz ve PID kontrollü simülasyon devrelerine ait performans değerleri karşılaştırılacaktır.

Şekil 4.15’te kontrolör parametre değerleri MATLAB ‘PID Tuner’ uygulaması ile belirlenmiş olan PID kontrolörlü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü simülasyon devresi çıkış gerilimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.15. PID kontrollü düşürücü dönüştürücü çıkış gerilim grafikleri a)normal görüntü,
b)yakınlaştırılmış görüntü

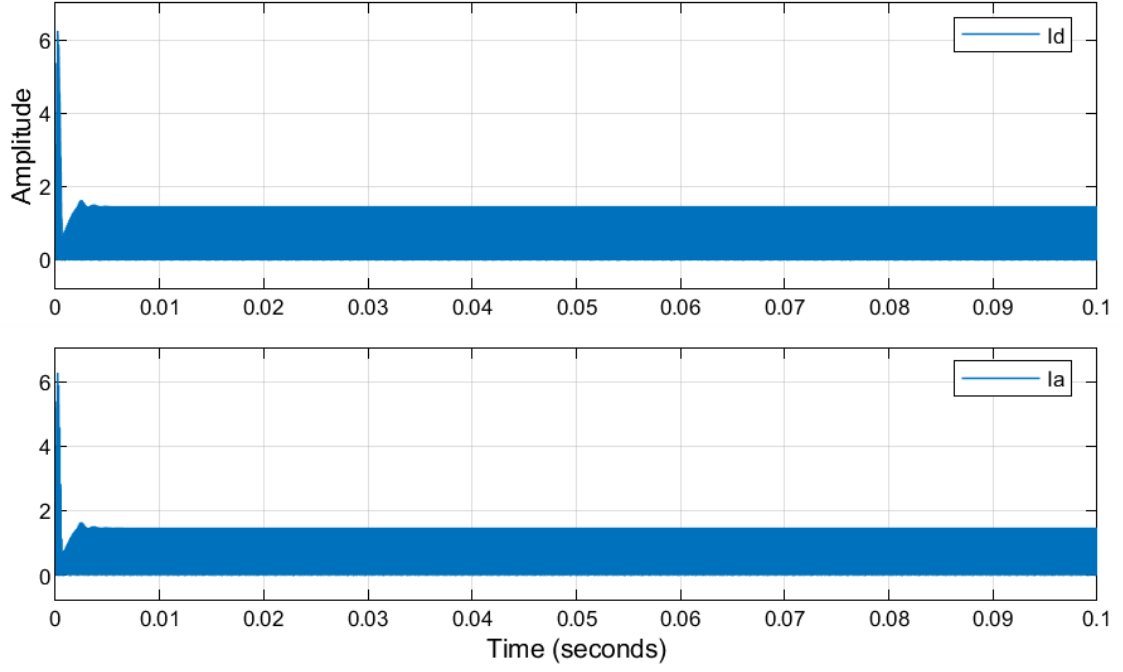
Şekil 4.16’de PID kontrolör eklendikten sonra bobin akım grafiği gösterilmiştir. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devresi sürekli zamanda çalıştığı için bobin akımı stabil durumda sıfır değerine düşmemektedir.



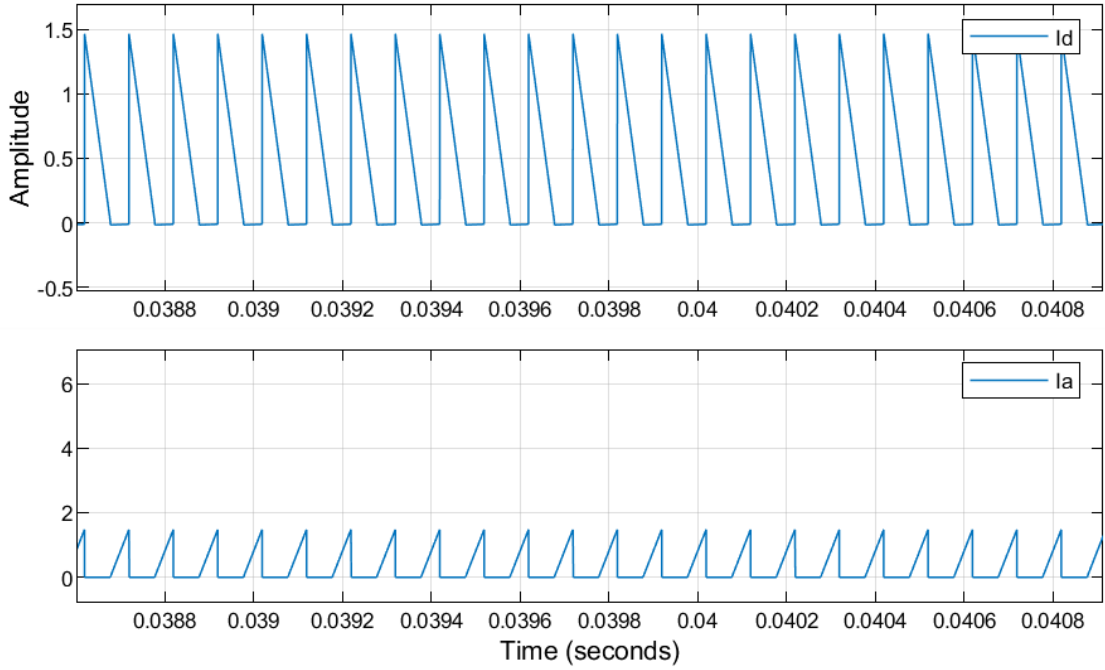
b)

Şekil 4.16. PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü bobin akım grafikleri a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü

Şekil 4.17’te PID kontrolör eklendikten sonra mosfet ve diyot devre elemanlarının akım grafikleri gösterilmiştir.



a)

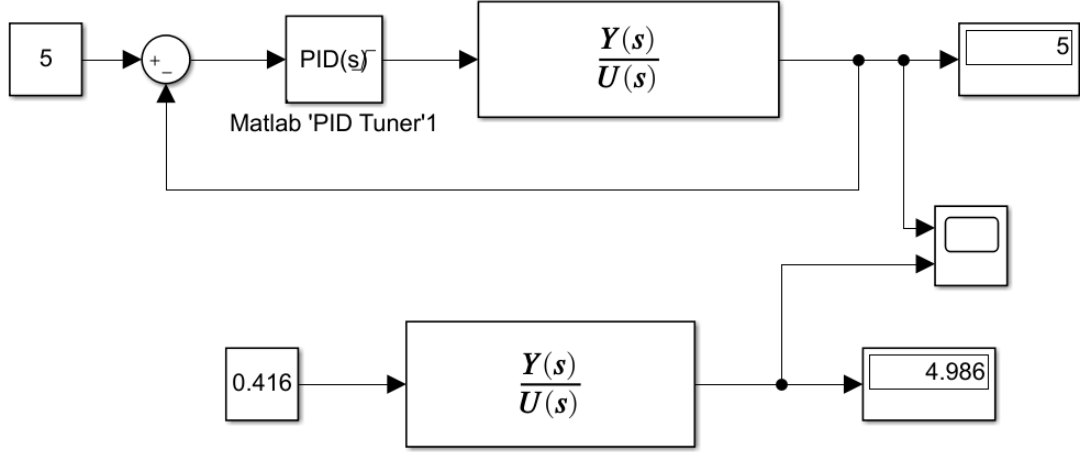


b)

Şekil 4.17. PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü mosfet (I_a) ve diyot (I_d) akım grafikleri
a)normal görüntü, b)yakınlaştırılmış görüntü

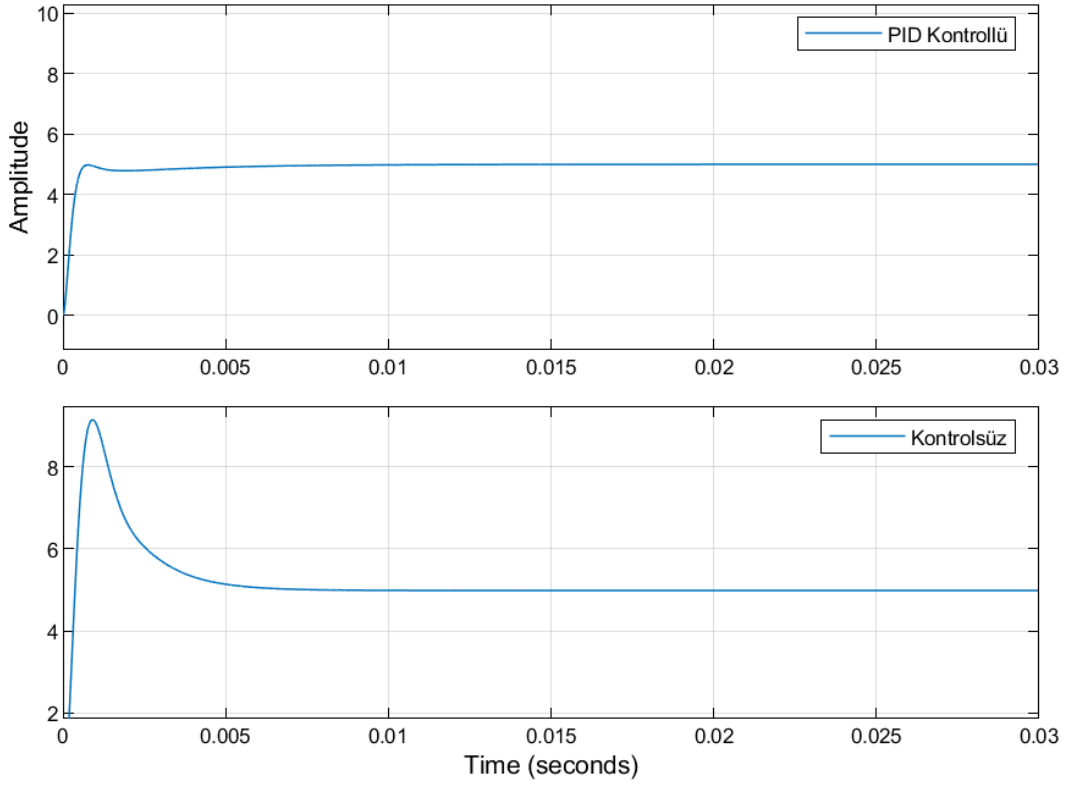
Şekil (4.15), (4.16) ve (4.17)'deki grafikler incelendiğinde sistemdeki kontrolsüz devreye göre aşım seviyesi önemli ölçüde azaltılmış ve sistem daha kararlı bir hale

getirilmiştir. Şekil 4.18’de kontrolsüz ve PID kontrolörlü düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.18. Kontrolsüz ve PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü blok diyagramı

Kontrolsüz ve PID kontrolörlü düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün blok diyagramının cevap grafiği Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. KontROLSÜZ ve PID kontrollü düşürücü tip DA-DA dönüştürücü blok diyagram cevap grafiği

Çizelge 4.10’da kontROLSÜZ sistem ile PID kontrollü sistemin performans değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.10. KontROLSÜZ ve PID kontrollü sistem cevaplarının performans değerleri karşılaştırılması

Parametre	KontROLSÜZ Cevap	PID Kontrollü Cevap
Aşım Yüzdesi (%)	84.26	0.11
Yerleşme Zamanı (s)	5.06×10^{-3}	3.88×10^{-3}
Yükselme Zamanı (s)	0.24×10^{-3}	0.38×10^{-3}
Tepe Değeri (V)	9.13	5
Tepe Zamanı (s)	0.86×10^{-3}	1×10^{-3}

Çizelge 4.10’da görüleceği üzere kontROLSÜZ olan düşürücü tip DA-DA dönüştürücü referans devresine PID kontrolör eklendikten sonra sistem cevabındaki aşım miktarının neredeyse sıfıra düştüğü görülmektedir. Sinyalin yerleşme ve yükselme zamanlarında artış olmasına rağmen kontrolörün sistem performansını başarılı bir şekilde iyileştirdiği açıkça görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Sistemlerin matematiksel olarak modellenmesi uzun ve dikkatli hesaplamalar gerektiren işlemler sonucu ortaya çıkarılmaktadır. Sistem tanımlama metotları bu noktada matematiksel modelleme gerektiren işlemleri çok hızlı ve doğru bir şekilde çözmemize olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak düşürücü tip DA-DA dönüştürücü için matematiksel olarak işlem sonucu bulunan transfer fonksiyonu modeli yerine sistem tanımlama metodu kullanılarak transfer fonksiyonu tahminine dayalı yeni bir modelleme tasarımı amaçlanmıştır. Tasarım için MATLAB / Simulink uygulaması kullanılmıştır. Uygulama üzerinde belirlenen giriş ve çıkış değerleri tasarımı yapılan sistemin transfer fonksiyonunun katsayılarının belirlenebilmesi için veri girişleri olarak kullanılmıştır. Katsayılar belirlenirken, önerilen modellerin performans değerleri ve sisteme hangi oranda benzediği ortaya konmuştur. Tasarımı yapılan sistemin transfer fonksiyonunun tahmini yapılmış ve orijinal değerlere benzeme oranı çıkarılmıştır. Sistem için en uygun olan transfer fonksiyonu bulunmuştur.

Önerilen transfer fonksiyonunun performansı değerlendirildiğinde %92.99 oranında benzerlik elde edilmiştir. Tasarıma ait simülasyon devresinin aşım miktarını azaltmak ve sistemi daha kararlı bir hale getirmek için devreye PID kontrolör eklenmiştir. Kontrolör parametrelerinin en uygun değerlerinin bulunabilmesi için parametre optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. PID parametre optimizasyonu için Ziegler-Nichols basamak cevap yöntemi, MATLAB 'PID Tuner' uygulaması ve MATLAB 'pidtune' fonksiyonu kullanılarak 3 farklı şekilde çalışma yapılmış ve performans değerleri karşılaştırılmıştır. PID kontrolör parametreleri belirlendikten sonra elde edilen transfer fonksiyonu modeli ile düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün kontrollü ve kontrolsüz durumlarındaki performansları kıyaslanmıştır.

Devre sonuçları incelendiğinde, sistem tanımlama yöntemi kullanılarak tasarımı yapılan sistemin transfer fonksiyonunun devreyi hızlı ve doğru bir şekilde modelleyebildiği görülmüştür. Bu çalışmanın içeriği ve sonuçlarının güç elektroniğinde ve çeşitli alanlarda önemli bir katkı sağlama potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abbas, N., & Abbas, G. (2018). Estimating Dynamics of Switching Converters Using System Identification Technique. *Pakistan Journal of Engineering and Technology, PakJET*, 21-28.
- Algreer, M., Armstrong, M., & Giaouris, D. (2009). System identification of PWM dc-dc converters during abrupt load changes. *2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics* (s. 1788-1793). Porto: IEEE.
- Andries, V. D., Goras, L., David, E., Buzo, A., & Pelz, G. (2019). On the Accuracy of a Time-Domain Identification Method for a DC-DC Buck Converter. *2019 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)* (s. 1-6). Romania: IEEE.
- Basso, C. P. (2014). *Introduction to Power Conversion 2nd ed.* (s. 5-199). içinde New York: McGraw-Hill Education.
- Bodur, A. (2011). *Kontrol Sistemi Notları Giriş 1. Kitap.* içinde Ankara: EMO .
- Bodur, H. (2014). *Güç Elektroniği 3. Baskı* (s. 179-248). içinde İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi.
- Buiatti, G. M., Amaral, A. R., & Marques Cardoso, A. J. (2007). "Parameter Estimation of a DC/DC Buck converter using a continuous time model" in *Power Electronics and Applications, 2007 European Conference*, s. 1-8.
- Cen, Z., & Stewart, P. (2017). Condition Parameter Estimation for Photovoltaic Buck Converters Based on Adaptive Model Observers. *IEEE Transactions on Reliability* , s. 148-160.
- Christiansen, D., Alexander, C. K., & Jurgen, R. K. (2005). *Power Electronics 5th ed.* (s. 45-298). içinde New York: McGraw-Hill Education.
- Ekinci, S., Hekimoğlu, B., Eker, E., & Sevim, D. (2019). Düşürücü Dönüştürücünün PID Kontrolör Tasarımı için Hibrit Ateşböceği ve Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması. *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*. Ankara: IEEE.
- Emadi, A. (2005). *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives 1st ed.* Florida, USA: Taylor&Francis.
- Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2004). *Fundamentals of Power Electronics 2nd ed.* New York: Kluwer Academic Publishers.
- Ghazy, M. A., & Amin, M. A. (2001). Self-tuned dither control of buck converter. *IECON'01. 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No.37243)* (s. 882-887). Denver, CO, USA: IEEE.

- Gider, V. (2020, Temmuz). CUK DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN TASARIMI VE KONTROLÜ. *Yüksek Lisans Tezi*. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Griffin, I. (2003). Online PID Controller Tuning Using Genetic Algorithms. *M.Sc.Thesis*,. Ireland: Dublin City University, School of Electronic Engineering.
- Hart, D. W. (2011). *Power Electronics*. New York: McGraw Hill.
- Hekimoğlu, B., Ekinci, S., & Kaya, S. (2018). Balina Optimizasyon Algoritması Kullanılarak DA-DA Düşürücü Dönüştürücünün Optimum PID Denetleyici Tasarımı. *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*. Malatya: IEEE.
- Kocaoğlu, E. (1988, Nisan). Lecture notes on Linear Control Systems, senior-level control. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi.
- Kökçam, E. (2018, Haziran). MATLAB SİMULİNK ORTAMINDA BUCK TİPİ BİR DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN ÇIKIŞ GERİLİMİNİN OPTİMAL KONTROLÜ. *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Li, B. X., & Low, K. S. (2016). Low Sampling Rate Online Parameters Monitoring of DC-DC Converters for Predictive-Maintenance Using Biogeography-Based Optimization. *in IEEE Transactions on Power Electronics* (s. 2870-2879). IEEE.
- Lorentz, V. (2009). Bidirectional DC Voltage Conversion for Low Power Applications. *Ph.D. Thesis*. France: University Louis Pasteur of Strasbourg.
- Mathworks. (2021). <https://www.mathworks.com/help/ident/gs/identify-linear-models-using-the-gui.html> [Ziyaret Tarihi: 29 Eylül 2021] adresinden alındı
- Mohan, N., Undeland, T., & Robbins, W. (2003). Güç Elektroniği 2010 bsk. Literatür Yayınları.
- Narsardin, M. (2012). Voltage tracking of a DC-DC buck converter using neural network control. *Master of Science thesis*. Faculty of Electrical and Electronics Engineering Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Olalekan, O. I. (2018). Automatic Tuning of PID Controllers. *Faculty of Technology, Natural sciences and Maritime Sciences*, 22-23.
- Osman, S., & Osman, S. (2011). Load Identification of DC-DC converter. *This thesis is presented as part of Degree of Master of Science in Electrical Engineering*. Blekinge Institute of Technology.
- Özdemir, Ö., & Yazıcı, İ. (2018). Ayırık Zaman KKK, LQR ve PID Kontrolör Performanslarının Alçaltıcı Tip Da-Da Dönüştürücü Üzerinde Kıyaslanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8-15.

- Padhee , S., Pati, U. C., & Mahapatra, K. (2018). Closed-loop parametric identification of DC-DC converter. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 1429-1438.
- Pembegüllü, İ. (2019). Düşürücü Tip DC-DC Dönüştürücünün Optimize Edilmiş PID Kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*. Düzce: Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Rasheed, L. T. (2020). Bat Algorithm Based an Adaptive PID Controller Design for Buck Converter Model. *Journal of Engineering*, 62-82.
- Rashid, M. H. (2007). *Power Electronics Handbook 3rd ed.* Florida, USA.
- Surya Santoso, P. D., & Beaty, H. W. (2018). *DC to DC Converters 27th ed.* (s. 45-298). içinde New York: McGraw-Hill Education.
- Taborda, J. A., Angulo, F., & Olivar, G. (2011). Estimation of parameters in Buck converter with Digital-PWM control based on ZAD strategy. *2011 IEEE Second Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS)* (s. 1-4). Bogota, Colombia: IEEE.
- Wikipedia. (2021). https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation [Ziyaret Tarihi: 16 Temmuz 2021] adresinden alındı
- Wikipedia. (2022). <https://tr.wikipedia.org/wiki/PID> [Ziyaret Tarihi: 17 Ocak 2022] adresinden alındı
- Yalduz, H. (2015). DA-DA DÜŞÜREN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI VE PI KONTROLÜ. *Yüksek Lisans Tezi*. Van: YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.
- Yıkan, F. (2005). Dayanıklı PID Kontrolör Tasarım Metotlarının Araştırılması ve Geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Malatya: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yüksek G. (2017, Ekim 09). <https://www.muhendisbeyinler.net/.https://www.muhendisbeyinler.net/matlab-system-identification-toolbox-ile-farkli-metodlar-icin-black-box-sistemin-modellenmesi/> adresinden alındı
- Zhao, Z. (2008). Design and Practical Implementation of Digital Auto-Tuning and Fast-Response Controllers for Low-Power Switch-Mode Power Supplies. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Canada: Graduate Department of Electrical and Computer Engineering University of Toronto.

6. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nurullah BOZKURT
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Sakarya Üniversitesi	2011
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	Devam Ediyor
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Aras EDAŞ	Mühendis
2012-Devam Ediyor	Batman Üniversitesi	Mühendis

UZMANLIK ALANI: Elektrik-Elektronik

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR

BOZKURT N., SEVİM D., 2021, DA-DA Düşürücü Dönüştürücünün Sistem Tanımlaması ve Kontrolü, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Türkiye