

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**HİBRİT ARAÇLARDA DC/DC KİYİCİ İLE AKÜ ŞARJ DEVRESİNİN
TASARIMI VE UYGULANMASI**

Üzeyir KUZU

**Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Mustafa NİL**



MANİSA-2019

Üzeyir KUZU

**HİBRİT ARAÇLARDA DC/DC KİYİCİ İLE AKÜ ŞARJ DEVRESİNİN
TASARIMI VE UYGULANMASI**

2019

TEZ ONAYI

Üzeyir KUZU tarafından hazırlanan "HİBRİT ARAÇLARDA DC/DC KİYİCİ İLE AKÜ ŞARJ DEVRESİNİN TASARIMI VE UYGULANMASI" adlı tez çalışması 24/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Dr. Öğretim Üyesi Mustafa NİL**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Hayati MAMUR**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğretim Üyesi Cihan ŞAHİN**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Üzeyir KUZU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLolar DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Hibrit Araçlar	6
2.1.1. Hibrit Araçlar ve Çeşitleri.....	7
2.2. Darbe Genişlik Modülasyonu.....	8
2.3. DC/DC Dönüştürücüler ve Kontrol Teknikleri	9
2.4. Anahtarlama DC/DC Dönüştürücüler	10
2.5. Anahtarlama DC/DC Dönüştürücülerin Sınıflandırılması	11
2.6. Düşüren DC/DC Dönüştürücü.....	11
2.7. Anahtarlama Elamanı MOSFET	19
2.8. PID Kontrol Sistemi	21
2.8.1. Açık Çevrim Kontrol Sistemleri	22
2.8.2. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi.....	22
2.8.3. Kontrol Sistemini Oluşturan Elemanlar	23
2.8.4. Kontrol Sistemi Türleri	23
2.8.5. Başarım Parametreleri.....	24
2.8.6. PID Kontrol.....	25
2.8.7. PID Kontrol Parametreleri	25
2.8.7.1. Oransal kontrolör	25
2.8.7.2. İntegral Kontrolör	26
2.8.7.3. Türev Kontrolör	27
2.8.8. PID Kontrolör	28
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	31
3.1. DC/DC Kıyıcı ve Kontrolcü Tasarımı.....	32

3.2. Mikrodenetleyici	36
3.3. STM32F Mikrodenetleyici Kart	36
3.4. Lityum İyon Batarya	37
3.5. BMS Şarj Kontrol Devresi	39
3.6. Veri Okuma	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternative Current (Alternatif Akım)
C	Filtre kapasitansı
D	Duty cycle (Görev çevrimi)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
F	Frekans
F_r	Rezonans frekansı
F_s	Anahtarlama frekansı
I_L	Bobin Akımı
R_L	Bobin iç direnci
S	Anahtar
T	Periyot süresi
T_s	Örnekleme süresi
T_{off}	Anahtarın açık kalma zamanı
T_{on}	Anahtarın kapalı kalma zamanı
V_{in}	Giriş gerilimi
V_L	Bobin gerilimi
V_{out}	Çıkış gerilimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Tümü-EA'ya örnek bir iç yapı (UKIP, 2014).....	6
Şekil 2.2. PWM sinyali	8
Şekil 2.3. Anahtarlama regülatör	11
Şekil 2.4. Düşüren tip DC/DC dönüştürücü devresi	12
Şekil 2.5. Düşüren tip regülatör devresinin iki bölümde incelenmesi	12
Şekil 2.6. Güç elemanının iletimde olması	13
Şekil 2.7. Güç elemanını kesimde olması	13
Şekil 2.8. DC/DC kıyıcı kontrol birimleri	14
Şekil 2.9. Tel bölge DC/DC kıyıcı dalga şekli	17
Şekil 2.10. Mosfet yapısı.	19
Şekil 2.11. Mosfet'in çalışması	20
Şekil 2.12. Açık çevrim kontrol sistemi.....	22
Şekil 2.13. Kapalı çevrim kontrol sistemi.....	22
Şekil 2.14. Kapalı çevrim kontrol sistemi bileşenleri	23
Şekil 2.15. Başarım parametreleri.....	24
Şekil 2.16. P oransal kazanç kontrolcüsü.....	26
Şekil 2.17. İntegral kontrolcüsünün çalışması	27
Şekil 2.18. Türev kontrolcüsü	28
Şekil 2.19. PID kontrolcü	29
Şekil 2.20. PID kontrolcüsü kapalı çevrim şeması	30
Şekil 3.1. Deney düzeneği genel kontrol şeması	31
Şekil 3.2. Deney düzeneği	31
Şekil 3.3. Devre Şeması	32
Şekil 3.4. DC/DC kıyıcı basamak cevabı	34
Şekil 3.5. DC/DC kıyıcı PID kontrolcü basamak cevabı.....	35
Şekil 3.6. DC/DC kıyıcı PID parametreleri ile birlikte basamak cevabı	35
Şekil 3.7. STM32F411 ve geliştirme kartı.....	37
Şekil 3.8. LION pil	38
Şekil 3.9. 3s LION pil bağlantı şeması	38
Şekil 3.10. 3s LION pil BMS şarj kiti	39
Şekil 3.11. USB TTL dönüştürücü	40
Şekil 4.1. PID kontrol şeması	42
Şekil 4.2. Ayrık zaman PID kontrolcüsü	43
Şekil 4.3. DC/DC kıyıcının PID kontrolü.....	44
Şekil 4.4. Sistemin değişen basamak giriş cevabı.....	44
Şekil 4.5. DC/DC kıyıcı PID kontrol $K_i = 55$	45
Şekil 4.6. DC/DC kıyıcı PID kontrol $K_i = 105$	46
Şekil 4.7. DC/DC kıyıcı PID kontrol $K_i = 205$	46
Şekil 4.8. Yük akımı	48

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Başarım değerleri	33
Tablo 4.1. Başarım parametrelerinin karşılaştırılması.....	47



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL'e, çalışmam'da desteğini hiç eksik etmeyen bölüm hocamız Sayın Doç. Dr. Hayati MAMUR'a, her zaman gösterdiği sabırdan ve manevi desteklerinden dolayı eşime, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan anneme, babama ve kardeşime yürekten teşekkür ederim.

Üzeyir KUZU
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİBRİT ARAÇLARDA DC/DC KİYİCİ İLE AKÜ ŞARJ DEVRESİNİN TASARIMI VE UYGULANMASI

Üzeyir KUZU

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL

Hayatımızın büyük bölümünde kullandığımız fosil yakıtlar; kullanım kolaylığı, ucuz olması, kolay temin edilmesi gibi sebepler ile popüler olmasına rağmen karbondioksit salınımı ve çevreye verdiği zararlar nedeni ile kullanıcılar yeni ve temiz enerji kaynaklarına yönelmeye sebep olmuştur. Bu enerji arayışı fosil yakıtların kullanımında en büyük paya sahip ulaşım sektöründe kendini daha fazla göstermiştir. Ulaşım araçlarında içten yanmalı motorlar yerine temiz enerji kaynağı yani elektrik enerjisi ile çalışan Hibrit Araçların (HA) önemi her geçen gün artmaktadır. HA'lara artan bu ilgi, bu araçların olumsuz ya da geliştirilmesi gereken yönlerini gündeme getirmiştir. Şu an HA'larda eksikliği duyulan en önemli konu şarj edilen süre ile gidilen mesafedir. Bu sorunda batarya teknolojisindeki gelişme ve şarj istasyonlarının yaygınlaşması ile sağlanabilecektir. HA'ların şarjı için kullanılan şarj istasyonlarında gerilim düşürücü olarak tercih edilen kontrolsüz doğrultucular ve transformatörler yerine daha verimli, az yer kaplayan ve modüler olan DC/DC (Doğru Akım) kıyıcıların kullanılması tercih edilmektedir. Tez çalışmasında düşüren tip DC/DC kıyıcıların genel yapısı kullanılarak bir mikrodenetleyici yardımı ile oransal-integral-türev (PID) kontrollü şarj devresi tasarlanmıştır. Sistem modellenmesi MATLAB® de yapılmış SISOTOOL aracı ile PID parametreleri belirlenmiş ve benzetim sonuçları elde etmiştir. Belirlenen Parametre ve PID katsayıları ile devre gerçekleştirilerek uygun referans değerlerinde belirlenen başarımlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: DC/DC Kıyıcı, PID, ARM, MATLAB/Simulink.

2019, 54 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESIGN AND APPLICATION OF BATTERY CHARGING CIRCUIT WITH DC / DC CHAPTER IN HYBRID VEHICLES

Üzeyir KUZU

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Dr. Instructor Mustafa NIL

Fossil fuels using in most of our lives; although it is popular with reasons such as ease of use, cheapness and easy supply, it has led to new and clean energy sources due to carbon dioxide emission and environmental damage. This quest for energy has shown itself more in the transportation sector, which has the largest share in the use of fossil fuels. The importance of Hybrid Vehicles (HA), which works with clean energy sources, ie electric energy, rather than internal combustion engines in transportation vehicles, is increasing day by day. This increased interest in HAs has brought about the negative or need to develop these vehicles. The most important issue currently lacking in HAs is the distance traveled and the time charged. This problem can be achieved by the development of battery technology and the expansion of charging stations. Instead of uncontrolled rectifiers and transformers which are preferred as voltage reducers in the charging stations used for the charging of HAs, it is preferred to use DC/DC (Direct Current) choppers which are more efficient, compact and modular. In this thesis, proportional-integral-derivative (PID) controlled charge circuit is designed with the help of a microcontroller by using the general structure of the DC/DC chopper. PID parameters were determined by SISOTOOL tool, which was modeled in MATLAB®, and obtained simulation results. By performing the circuit with the determined parameters and PID coefficients, the performance parameters determined in the appropriate reference values were reached.

Keywords: DC/DC Buck Converter, PID, ARM, MATLAB/Simulink.

2019, 54 pages

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızda kullandığımız ısıtma, üretim ve taşımacılık gibi faaliyetlerde temel enerji kaynağı olarak fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Bu yakıtların sınırlı olması ve artan maliyetleri gelecekte bu yakıtların kullanımını sınırlandıracaktır. Ayrıca fosil yakıtların daha çok tüketilmesi beraberinde sera gazları ve emisyonların doğal çevre üzerinde etkilerini arttıracaktır.

Teknolojideki gelişmeler ve yapılan araştırmalarla birlikte orta ve uzun vade de hibrit araçların (HA) fosil yakıtların yerini alacağı öngörülmektedir. Türkiye fosil yakıtların tüketiminde tamamen dışa bağımlı bir ülkedir. Taşımacılık ve diğer sektörlerde HA'ların kullanımı çok büyük katkı sağlayacaktır. HA'larda en ufak verimlilik artışının ekonomik olarak getirisi çok büyük olacaktır.

Günümüzde kullanılan HA'larda yaşanan en büyük problem depo edilen enerji ile kat edilen mesafedir. Bu sorunun çözümünde batarya performansı büyük bir paya sahiptir. Bu bataryaların şarj istasyonlarında şarj süreleri ve uygulanan gerilimin kalitesi de performans sürecine etkide bulunmaktadır.

Günümüzde kullanılan şarj istasyonlarında ana şebeken gelen alternatif akım (AC) gerilim pasif doğrultucular ile doğrultulup daha sonra doğru akım / doğru akım (DC/DC) dönüştürücüler ile uygun şarj gerilim seviyesine düşürülmektedir.

Yapılan bu çalışmada klasik DC/DC kısıyıcılar yerine oransal-integral-türev (PID) kontrollü DC/DC kısıyıcı kullanarak çıkış gerilimin değişen referans ya da yük durumuna bağlı olarak daha düzgün bir DC gerilim olmasının sağlanması hedeflenmiştir.

Otomatik kontrol sistemlerinin endüstride birçok alanda kullanım alanı bulması bu sistemlerin daha kullanışlı ve en az maliyetle uygulanmasına duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. Kontrol yöntemlerinde genellikle tercih edilen oransal-integral-türev (PID) kontrol algoritmasıdır. PID denetleyici modellenmesi ve kurulumu kolay olmasına rağmen ilgili parametrelerin istenilen kontrol

parametrelerine göre ayarlanması zaman almaktadır. Parametre değerlerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi sistemin ne derecede doğru tanımlandığına bağlıdır [1].

PID sistemlerin parametre seçim ve değişen sistem modellerine uyum zorluğu gibi sebeplerin sonucunda duruma uyum sağlayan kendini güncelleyen sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. Yapay sinir ağları (YSA) makinelerin insan gibi düşünebilmeleri fikriyle ortaya çıkmış ve 1990'lı yıllarda büyük gelişim göstermiştir. YSA'ların değişen durumlara uyum gösterme ve kendini güncelleme gibi özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kendine yer bulmuştur [2]. DC/DC kıyıcının PID kontrolünde yaşanan parametre seçimi gibi sorunlar YSA'lar ile modellenerek daha hızlı bir çözüme ulaştırılabilir.

Literatürde DC/DC kıyıcının kontrolü ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve endüstride bu çalışmaları kullanım alanı bulmuştur. Adnan ve ark. [3] tarafından DC/DC dönüştürücünün tasarımı ve simülasyonu önerilmiştir. PID denetleyicisi kullanan DC/DC dönüştürücü, sistemin genel performansının değişmesine rağmen sabit bir çıkış voltajı sağlamıştır. Performansı etkileyen etmenler olarak giriş kaynak gerilimi, bileşenler ve yük akımındaki değişiklikler kabul edilmiştir. PID kontrolcü ve yükselten çevirici Simulink® ortamında uygulanarak çıkış veriminin arttığı gözlemlenmiştir.

Walker ve Sernia [4] DC/DC dönüştürücülerin maliyetlerini göz önüne alarak bu dönüştürücülerin seri ve paralel bağlantı yaparak verimlilik konusunda artış sağlarken maliyet ve boyut konusunda gerekli değerlendirmelerin yapılmasından bahsetmiştir.

Mehta ve Haque [5] HA'larda kullanılan DC gerilimin aküden sağlandığını bu sebeple yeterince kararlı olmadığını ve dalgalanma yaşandığını belirterek, bu kararsızlığın azaltılmasında DC/DC dönüştürücülerin kullanıldığından bahsetmemiştir. Yük voltajındaki değişiklikten bağımsız olarak, elektrikli araç (EA) için klasik çevirici uygulamaları içeren kontrol yöntemlerinin yük gereksinimini karşılamıyor olması ve çıkış gerilimi ile parazit etkiler konusunda daha fazla dalgalanma içerdiğini belirtmişlerdir.

Ling ve ark. [6] ikinci dereceden kayan kip (SOSM) kontrol yöntemi ile DC/DC dönüştürücülerin kontrol edildiği bahsedilmiştir. Önerilen SOSM kontrol cihazı, senkron yükselten dönüştürücüyü akım algılamaya veya kontrolde integral bir terime gerek duymadan basit bir dijital durum-makine yapısı kullanarak DC dönüştürücülerin kontrolü sağlanmıştır. SOSM kontrol ünitesi hızlı giriş ve başlatma ile sistem etkin hale getirilerek geçici tepkiler ve parametre belirsizliklerine karşı dayanıklı olmuştur.

Banaei ve Bonab [7] transformatörsüz yeni bir dönüştürücü önererek, sundukları dönüştürücünün voltaj kazancının geleneksel olandan daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bahsedilen bu dönüştürücüde yalnızca tek güç anahtarı kullanılmıştır. Güç anahtarındaki gerilim kaybı düşük olmuştur. Dolayısıyla, güç anahtarının durum direnci düşük seçilebilir sonucuna ulaşmışlardır. Anahtarın iletim kaybını azaltmak ve verimliliği artırmak için Sunulan dönüştürücü basit bir yapıya sahip olmuştur. Bu nedenle önerilen dönüştürücünün kontrolünün basit şekilde sağlanabileceği belirtilmiştir.

Kilana ve ark. [8] verimli bir şekilde yeniden yapılandırılabilir giyilebilir teknolojiler için anahtarlama kapasiteli DC/DC dönüştürücü yapısı önermişlerdir. Bir enerji kaynağından üretilen 0,6 V ila 1,2 V. arasındaki gerilim darbe genlik modülasyonu ile anahtarlama dönüştürücüde uygun gerilim seviyesine getirilmiştir. Anahtarlama kapasiteli dönüştürücü 65 nm düşük güçlü CMOS'ta tasarlanmış ve üretilmiştir. Tasarım ve 0,493 mm²'lik bir alanı kaplamıştır. Ölçülen en yüksek verim yük altında %80 olmuştur. 800 μ A akım ve 1 V regüle yük gerilimi ölçülmüştür.

Eyal ve ark. [9] 40 MHz Hibrit CMOS/GaN çok fazlı DC/DC anahtarlama dönüştürücüden bahsetmişlerdir. Kontrolcü ile maksimum 20 V giriş gerilimine sahip yarım köprü anahtarları yanal AlGaIn/GaN yüksek elektron hareketliliğine sahip transistörler kullanılmıştır. Kayıt cihazları için tasarlanan bu dönüştürücüler %70 verimlerde çalıştığı belirtilmiştir.

Lai ve ark. [10] farklı gerilim seviyelerine sahip DC/DC dönüştürücü ile birlikte yardımcı enerji depolama birimine sahip güç modül tasarımını önermişlerdir. Önerilen dönüştürücü yükseltici ve alçaltıcı olarak iki farklı modda çalıştırılmıştır. İki

yönlü çalışma özelliği ile birlikte yardımcı güç modül arasında enerji transferi yapılacağı belirtilmiştir.

Zhang ve ark. [11] anahtarlamalı bir kapasitör yardımı ile çift yönlü DC/DC dönüştürücü kullanarak yüksek bir gerilim kazancı olan hibrit enerji kaynağı tasarlanmıştır. Dönüştürücü olarak tasarlanan devre basit bir devre olma avantajına sahip olmuştur. Bu avantaj bileşenlerin sayısının az olması, geniş bir voltaj-kazanım aralığı sağlamıştır. Ayrıca sıfır voltaj geçişlerinin ek bir donanıma gerek duymadan yapılması verimliliği arttırmıştır. Sonuçta, 300 W'lık bir prototip geliştirilmiştir.

Skaikh ve ark. [12] yükseltici tip DC/DC dönüştürücülerle voltaj regülasyonu için PID kontrolörler ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanarak hibrit bir kontrol cihazı tasarlanmıştır. Ürünün hibrit denetleyicisi, bir PID denetleyicisi ve ANFIS kontrol kısmından meydana gelmiş olup DC/DC çeviriciyi kontrol için kullanılmıştır. PID kontrolcü iyi tepki ve sağlamlıklarına rağmen doğrusal olmayan sistemler için optimal olmayan ayarlama nedeniyle hatalı sonuçlar verebilirler. Öte yandan ANFIS, değişken ve anormal koşullarda mevcut yüke karşı tepkilerini geliştirebilir ve uyarlayabilirler. Uygulama sonucunda kararlı durum hatasını iyileştiren hibrit denetleyici ile klasik PID kontrol cihazlarına kıyasla daha verimli ve yük kontrolü yapıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada, HA'ların şarj istasyonlarında kullanılan elektromekanik gerilim düşürücüler yerine ARM (Acorn RISC Machine) tabanlı mikrodenetleyiciye gömülü PID kontrollü yazılım ile üzerinde DC/DC kısıyıcı kullanarak akü şarj devresi uygulaması yapılmıştır. HA'ların akü şarj devrelerinde kullanılan giriş gerilimi genellikle şebeke geriliminin bir transformatör yardımıyla düşürülmesi filtrelenmesi ile kullanılmaktadır. Tasarlanan bu devrede DC/DC kısıyıcı ile akü şarj devresinin giriş gerilimi olan 12 V'un üretilmesi sağlanıp değişen yük ve akım durumuna bağlı olarak PID kontrolcü ile çıkış geriliminin sabit kalması sağlanmıştır. Kontrolcünün sonuçları gerçek zamanlı olarak MATLAB® programında Simulink® ara yüzünde gözlemlenmiştir.

Çalışmanın sunumunda genel bir giriş yapıldıktan sonra, Bölüm 2'de DC/DC kısıyıcılar hakkında genel tanıtım yapılmış, çalışma ilkeleri anlatılmış ve sürme

yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3'de DC/DC kuyucunun durum değışkenleri cinsinden durum denklemleri ifade edilmiş, elde edilen bu denklem MATLAB® programı ile PID kontrolcü eklenmiş ve PID parametreleri belirlenmiştir. Bölüm 4'de deneysel ve benzetim çalışmalarından elde edilen veriler ve değerlendirmeler sunulmuştur. Son olarak da Bölüm 5'de sonuç ve öneriler verilmiştir.

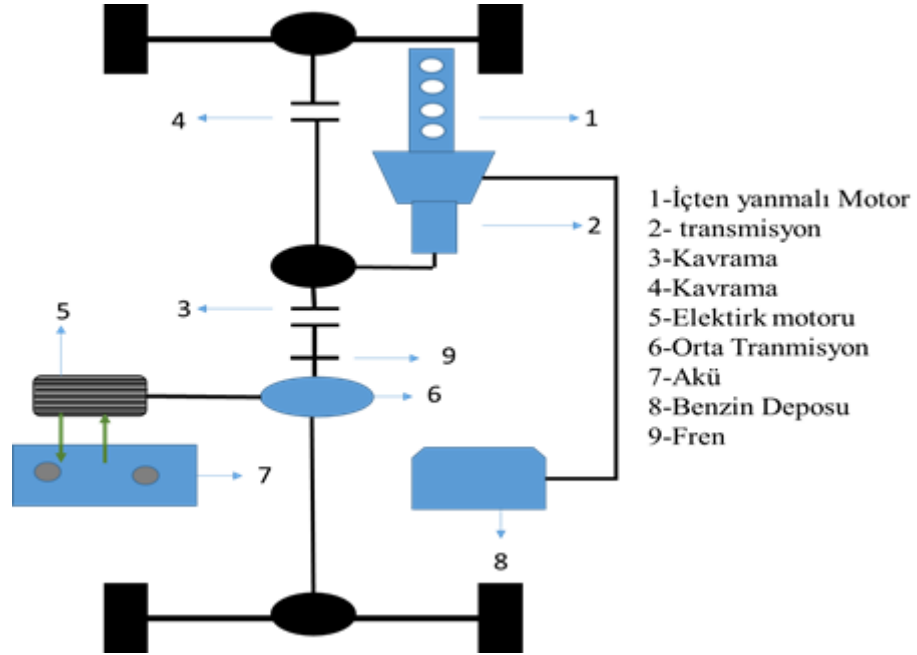


2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde HA'lar, DC/DC düşürücü çevirici, matematiksel eşitlikleri, PID kontrol yöntemi ve başarma parametreleri ifade edilmiştir.

2.1.Hibrit Araçlar

Hibrit elektrikli araçlar (HEA) farklı yapılarda enerji kaynağının birlikte kullanılması ile meydana gelmektedir [2]. Buna göre akü-yakıt pili, akümülatör-kapasitör veya akümülatör-akümülatör gibi HEA'nın çeşitli yapıları bulunmaktadır. Birçok HEA'larda ana güç kaynağı olarak içten yanmalı motor (İYM), stirling motoru, gaz türbini ya da elektrokimyasal batarya kullanılmaktadır [13]. Enerji kaynağı olarak İYM kullanılan HEA'lara bir örnek Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tümü-EA'ya örnek bir iç yapı (UKIP, 2014)

Hibrit araçların amacı sıvı yakıt sarfiyatını en aza indirmektir. Bunu amacı gerçekleştirmek için yoğun trafikte, düşük hızlarda İYM yerine elektrik motorunu kullanmakta ve bu şekilde kısmen sıfır emisyon salınımı sağlamaktadırlar. Elektrik motorunun çalışması için gereken enerji, benzin motoru çalıştırıldığı zamanlarda ya da frenleme sırasında elde edilen enerji akülere şarj edilmektedir. Dolayısıyla bu araçların güç kaynağına bağlanarak şarj edilmesi gibi bir ihtiyacı yoktur [13].

Ayrıca EA'ların bazı olumsuzluklarını gidermek amacıyla HEA geliştirilmiştir. Bütünleşik HA'lara İYM eklenerek aracın menzili ve gücünün artırılması için HEA'lar geliştirilmiştir. H. A'lar, konvansiyonel araca nazaran kirletici emisyonları azaltmakta ve yakıt verimini arttırmaktadır. HEA'lar birden fazla güç kaynağına sahip araçlar olarak da adlandırılır. HEA'lar iki ya da daha fazla enerji dönüşüm teknolojilerini (İYM, yakıt pilleri, generatörler ya da elektrik motorları) bir veya daha fazla enerji depolama teknolojileri (batarya, süper kapasitörler ya da volan) ile birleştirmektedir.[13]

2.1.1. Hibrit Araçlar ve Çeşitleri

HA'lar sahip olduğu motor ve enerji depolama özelliklerine göre 3 başlık altında toplanabilir. Bunlar; hibrit, şarj edilebilir hibrit ve elektrikli otomobil olarak isimlendirilmektedir.

HEA tip araçlar İYM'lere en yakın araç türüdür. Bu araç yapı olarak İYM'lere ek olarak bir elektrik motoru batarya ve batarya şarjını kontrol eden elektronik ekipmandan meydana gelmektedir. Ana tahrik kaynağı olarak İYM kullanılmaktadır. Bu araçlarda kullanılan elektrik motorunun amacı ihtiyaç duyulduğunda güç takviyesi yaparak, içten yanmalı motorların geç tepki sürelerini, düşük devirde üretilen tork eksikliğini gidermek için kullanılmaktadır [14].

Prizli Melez Elektrikli Araçlar (Plug-in Hybrid Vehicle - PHEA) HEV tip araçlardan temel farkı bataryanın dışarıdan bir enerji kaynağı ile şarj edilebilmesidir. Bazı modellerde normal hibrit tasarımının tam tersi durum oluşabilir; yani elektrikli motora benzinli motor destek olur. Hibritlere göre 50-60 km gibi daha fazla mesafeleri sadece elektrikli motorla gidebilir, ancak uzun mesafelerde, yüksek hızlarda veya şarj etmeme durumunda yine içten yanmalı motor devreye girer [15].

Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEA) tip araçlar İYM olamayıp sadece elektrik motoru ve bataryanın bulunduğu araçlardır. Bir, tek güç kaynağı olduğu için şarj edilmeye de ihtiyaç duyar ve tek şarj ile gideceği menzil batarya büyüklüğüne göre değişir. Performans olarak da içten yanmalı motorlara göre daha verimlidir. Hareketli parça azlığından dolayı bakım maliyetleri de İYM lere göre daha düşüktür [15].

BEA tip araçlar İYM olamayıp sadece Elektrik Motoru ve bataryanın bulunduğu araçlardır. Bir tek güç kaynağı olduğu için şarj edilmeye de ihtiyaç duyar ve tek şarj ile gideceği menzil batarya büyüklüğüne göre değişir. Performans olarak da içten yanmalı motorlara göre daha verimlidir. Hareketli parça azlığından dolayı bakım maliyetleri de İYM lere göre daha düşüktür [15].

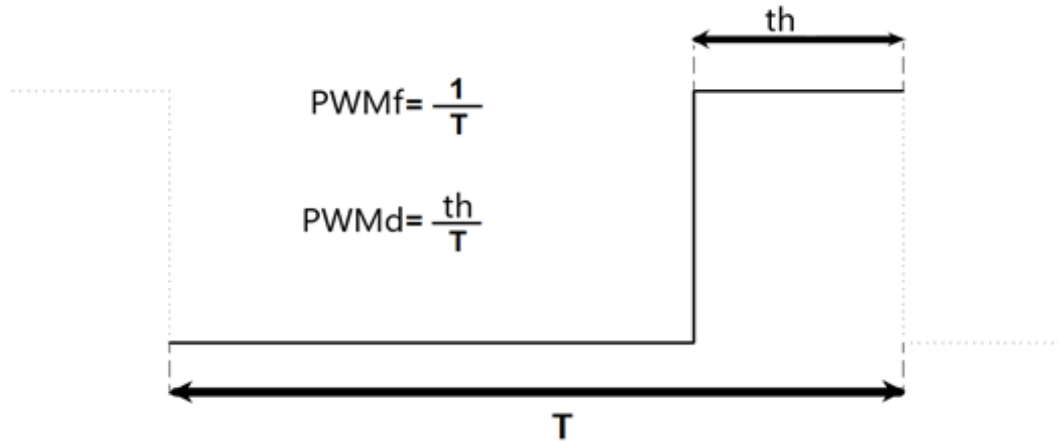
2.2.Darbe Genişlik Modülasyonu

Darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali DC motor kontrolünde çok sık kullanılan bir yöntemdir. Bir PWM sinyali, davranışını tanımlayan iki ana bileşenden oluşur: darbeleme oranı (duty cycle) ve frekans. Darbeleme oranı, Sinyalin '1' süresinin sabit periyoduna, T , oranıdır. Yüzde olarak belirtilebilir ve her zaman 0-1 arasında bir değer almaktadır. Bir PWM sinyalinin ortalama değeri, duty cycle ile doğru orantılıdır ve Eşitlik 2.1 deki gibi açıklanır:

$$V_{ort} = D * V_{max} + (1-D) * V_{min} \quad (2.1)$$

Burada V_{ort} , V_{max} ve D , sırasıyla, çıkış gerilimi, giriş geriliminin maksimum değeri, giriş geriliminin minimum değeri ve görev çevrimidir. $1-D$ değeri S1 anahtarının açıklik zamanıyla orantılıdır.

Frekans ise PWM sinyalinin bir periyodunun ne kadar sürede tamamladığını ve dolayısıyla '1' ve '2'durumları arasında geçiş süresinin belirler. Şekil 2.2'de PWM sinyali gösterilmiştir.



Şekil 2.2. PWM sinyali

Eşitlik 2.1’de değerler yerine konulduğunda sırası ile Eşitlik 2.2, 2.3, 2.4 ve son olarak Eşitlik 2.5 elde edilir. Görev çevrimi olan M değeri de Eşitlik 2.6’da sunulmuştur.

$$M = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.2)$$

$$M = \frac{1}{T} \left[\int_0^D f(t) dt + \int_D^T f(t) dt \right] \quad (2.3)$$

$$M = \frac{1}{T} \left[\int_0^D (0) dt + \int_D^T (1) dt \right] \quad (2.4)$$

$$M = \frac{1}{T} [T - D] \quad (2.5)$$

$$M = 1 - \frac{D}{T} = Duty \quad (2.6)$$

Burada, M çıkış gerilimi, T periyot süresi ve D anahtarın akım geçirdiği görev zamanıdır. Eşitlik 2.2’de ortalama değer olan DA ’nın genel ifadesi bulunmaktadır. Sinyalin toplam değerinin periyota bölünmesi ile edilir. Anahtarın açık kalma süresine göre sınır şartlarının belirlenmesi Eşitlik 2.3 ve 2.4’de verilmiştir. Eşitlik 2.5 ve 2.6’da ise ortalama gerilimin D anahtarının açık kalma süresi ile ilgili genel ifadesi verilmiştir.

Bu şekilde sinyalin gerilim değerini değiştirmeden yük üzerindeki harcanan ortalama güç değiştirilerek yük kontrol edilmiş olur.

2.3.DC/DC Dönüştürücüler ve Kontrol Teknikleri

Birçok endüstriyel uygulamada değeri değişmeyen sabit gerilimli bir DC kaynağının değiştirilebilir gerilimli bir DC kaynağına dönüştürülmesi gerekir. DC

dönüştürücü doğrudan DC den DC'ye dönüştüren bir çeviricidir. Bir DC dönüştürücü AC ile çalışan ve dönüştürme oranı sürekli değiştirilebilen bir trafonun DC eşdeğer devresidir denilebilir [6].

DC dönüştürücüler yapılarına göre iki gruba ayrılırlar;

- Anahtarlama DC–DC dönüştürücüler ve
- Rezonanslı DC–DC dönüştürücüler.

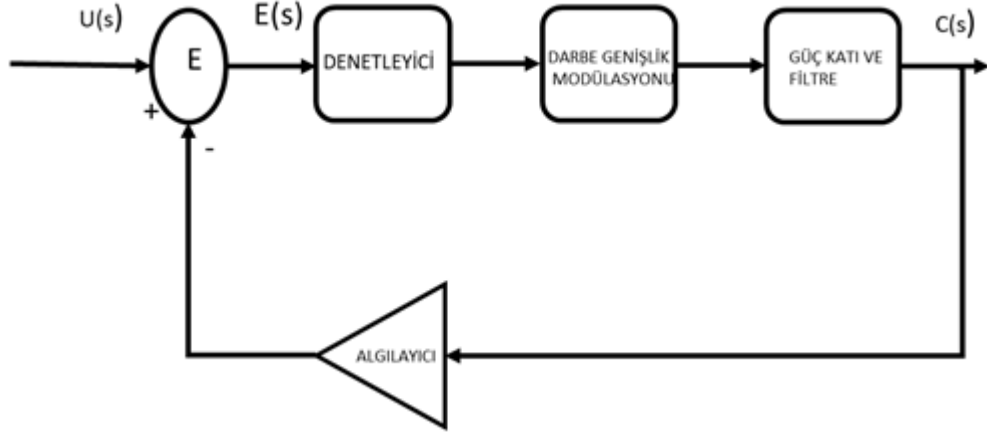
Fakat DC/DC dönüştürücüler denildiğinde, daha çok anahtarlama dönüştürücüler anlaşılmaktadır. Bu durumda, rezonanslı dönüştürücüler özel bir tür olarak da kabul edilebilir [6].

Akım ve gerilim akış yönlerine dönüştürücüler beş sınıfa ayrılırlar ve bunlar aşağıda ifade edildiği gibidir [16].

- Birinci bölge dönüştürücüsü,
- İkinci bölge dönüştürücüsü,
- Birinci ve ikinci bölge dönüştürücüsü,
- Üçüncü ve dördüncü bölge dönüştürücüsü ve
- Dört bölgeli dönüştürücü.

2.4. Anahtarlama DC/DC Dönüştürücüler

DC dönüştürücüler değişken bir DC geriliminden sabit bir regüleli bir DC gerilimi elde etmek için anahtarlama regülatör olarak kullanılabilirler. Regülasyon için normalde sabit frekansta PWM, anahtarlama elamanı olarak da normalde bipolar transistör (BJT), alan etkili transistör (MOSFET) veya izole edilmiş kapılı bipolar transistör (IGBT) kullanılabilir [16]. Şekil 2.3'de anahtarlama regülatörde kullanılan birimler gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Anahtarlama regülatör

2.5. Anahtarlama DC/DC Dönüştürücülerin Sınıflandırılması

DC/DC dönüştürücülerin genel olarak sınıflandırılması şu şekildedir:

İzolasyonsuz temel dönüştürücüler:

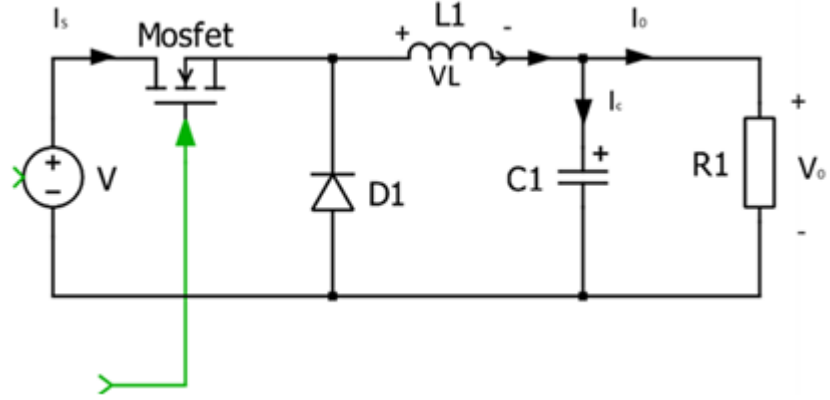
- Düşürücü dönüştürücü,
- Yükseltici dönüştürücü,
- Düşürücü–yükseltici dönüştürücü,
- Cuk dönüştürücü,
- Sepic dönüştürücü ve
- Zeta dönüştürücü.

İzolasyonlu DC/DC dönüştürücüler:

- İleri yönlü (forward) dönüştürücü,
- Geri dönüşlü (fly-back) dönüştürücü,
- Push–pull dönüştürücü,
- Yarım köprü dönüştürücü
- Tam köprü dönüştürücü olarak sıralanabilir.

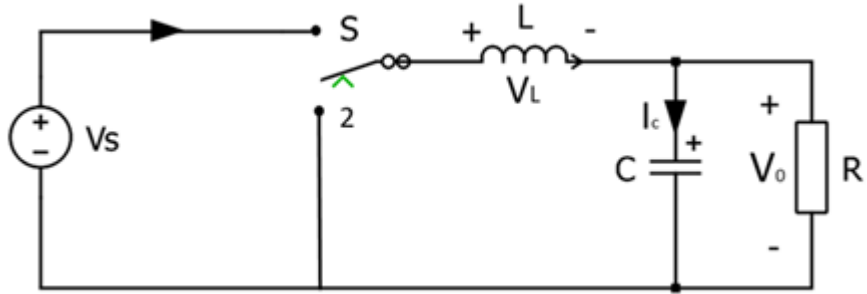
2.6. Düşüren DC/DC Dönüştürücü

Düşüren bir regülatörde ortalama çıkış gerilim değeri olan V_o girişteki V_s kaynak geriliminden küçüktür. Bu nedenle düşüren regülatör olarak adlandırılır ve çok popülerdir. Düşüren regülatör devresi Şekil 2.4’de verilmiştir.

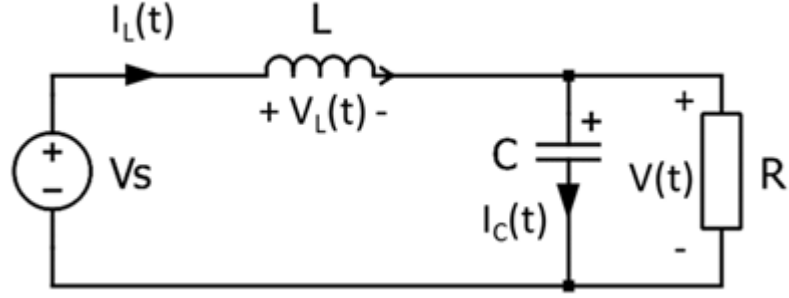


Şekil 2.4. Düşüren tip DC/DC dönüştürücü devresi

DC/DC düşüren dönüştürücünün genel yapısı Şekil 2.5’de verilmiştir. Burada S kontrollü bir güç elemanıdır. D diyotu kontrolsüz bir anahtardır. Bu devre tek kutuplu iki konumlu bir anahtar olarak çalışır [6]. Devrenin çalışması incelenirken güç elemanının açık ve kapalı olmasına göre iki şekilde değerlendirilir. Şekil 2.6’da S güç elemanın açık ve kapalı olması durumu gösterilmiştir.

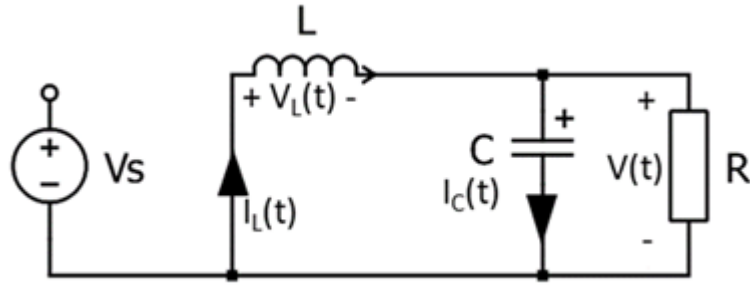


Şekil 2.5. Düşüren tip regülatör devresinin iki bölümde incelenmesi



Şekil 2.6. Güç elemanının iletimde olması

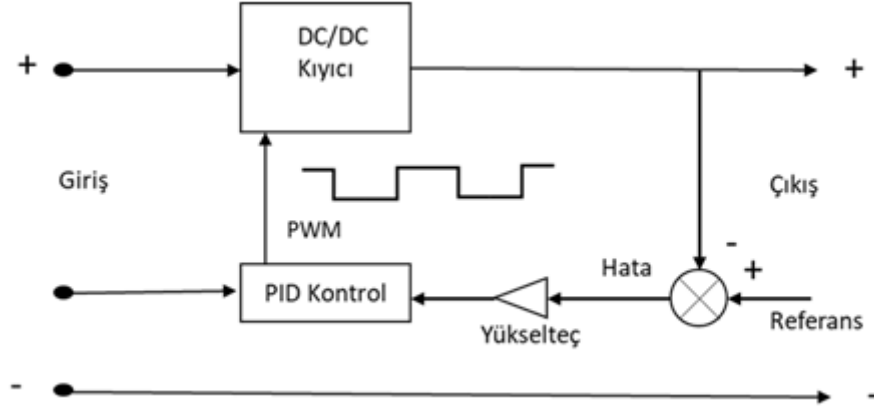
$t = 0$ anında S güç elemanının iletimde olduğu var sayılır. Giriş akımı L endüktörü, süzgeç kondansatörü ve R yükü üzerinden geçmektedir. Güç anahtarının kesimde olması Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Güç elemanını kesimde olması

t_1 anında ise Şekil 2.7.’de gösterildiği gibi güç elemanının kesimde olduğu görülmektedir. L bobini üzerinde biriken enerji dolayısıyla D diyotu ilettime geçirerek C kondansatörü ve R yükü üzerinden aynı yönde akım geçmesini sağlar. Güç elemanı tekrar ilettime geçinceye kadar R yükü üzerinden geçen akım azalarak devam eder.

Sonuç olarak yük üzerinde düşen gerilimin ortalama değeri alındığında giriş gerilimine göre anahtarlama periyoduna yani doluluk oranına bağlı olarak gerilimin azaldığı görülmektedir. Şekil 2.8’de genel bir DC/DC kıyıcının kontrol şeması verilmiştir.



Şekil 2.8. DC/DC kıyıcı kontrol birimleri

Çıkış geriliminin ifadesi için endüktör gerilimi ve akımı ifade edilmek istenirse, endüktör üzerindeki gerilim Eşitlik 2.1'deki gibidir:

$$e_L = L \frac{di}{dt} \quad (2.7)$$

Burada L bobin endüktansı e_L ise bobin üzerinde oluşan gerilimin ifadesidir. Bobin akımının güç elemanının kapalı olduğu sürede i_1 den i_2 'ye arttığı düşünüldüğünde, bu durum Eşitlik 2.8'deki gibi verilecektir:

$$V_G - V_C = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad (2.8)$$

Burada V_G , V_C , I_2 , I_1 , sırası ile giriş gerilimi, çıkış gerilimi, çıkış akımı ve giriş akımıdır. Güç elemanının kapalı olduğu t_1 durumunda endüktörü üzerindeki akımın i_2 den i_1 'e azaldığında ise Eşitlik 2.9 ile ifade edilebilir:

$$-V_C = -L \frac{\Delta I}{t_2} \quad (2.9)$$

Burada V_C çıkış gerilimi yani bobin üzerindeki gerilimdir. Akımdaki değişim aşağıdaki gibi olur:

$$\Delta I = I_2 - I_1 \quad (2.10)$$

Burada I_2 , I_1 , ΔI sırası ile çıkış akımı, giriş akımı, endüktör üzerindeki akımın tepeden tepeye değişimidir. Eşitlik 2.10'da L endüktörü üzerindeki tepeden tepeye akım değişimi ifade edilmiştir. ΔI değerleri eşitlenir ise Eşitlik 2.11'deki ifade elde edilir.

$$\Delta I = \frac{(V_G - V_C)t_1}{L} = \frac{V_C t_2}{L} \quad (2.11)$$

$$V_C = V_G \frac{t_1}{T} = \lambda V_G \quad (2.12)$$

Burada t_1 , t_2 , T sırası ile kontrol elemanının açık kaldığı süre, kontrol elemanının kapalı kaldığı süre ve periyottur. $t_1 = \lambda T$ olarak alınmıştır. Giriş akımının ortalama değeri ise Eşitlik 2.13'de gösterilmiştir.

$$I_s = \lambda I_s \quad (2.13)$$

Burada I_s , I_a , λ sırası ile ortalama giriş akımı, giriş akımı ve görev süresidir. Tepeden tepeye dalgalanma akımına bağlı olarak T değeri ise eşitlik 2.14 de gösterilmiştir.

$$T = t_1 + t_2 \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14'deki t_2 , kontrol elemanının kapalı kaldığı süredir. Dalgalanma akımı ise Eşitlik 2.15 'de ifade edilmiştir.

$$\Delta I = \frac{V_C \lambda (1 - \lambda)}{fL} \quad (2.15)$$

Burada f frekans değeridir. Ortalama endüktör gerilimi ve kondansatör gerilimlerinin kesintisiz olması için $\Delta L = 2I_L$ ve $\Delta V_C = 2V_C$ koşul şartlarına uyulması gerekmektedir.

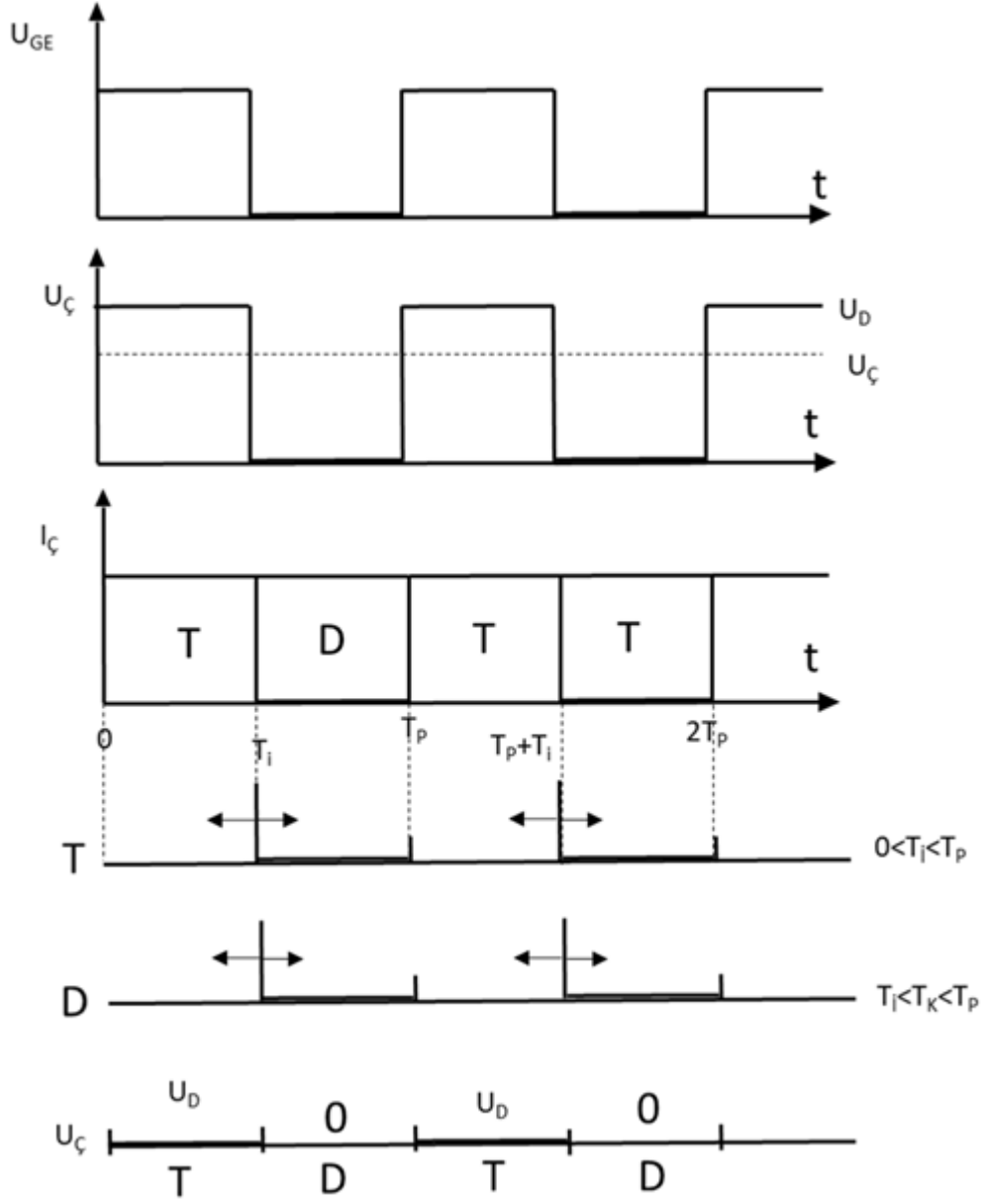
Yukarıdaki eşitlikler dikkate alındığında düşürücü için L ve C değerlerinin seçimi için Eşitlik 2.16 ve 2.17 kullanılmalıdır. Eşitlik 2.16 ve 2.17’de L ve C seçimi ifade edilmiştir.

$$L = \frac{(1 - \lambda)R}{2F} \quad (2.16)$$

$$C = \frac{1 - \lambda}{16Lf^2} \quad (2.17)$$

Burada C ve R sırası ile kapasite ve yük direncidir. Devre üzerindeki akım ve gerilimin dalga biçimleri Şekil 2.9’da verilmiştir.





Şekil 2.9. Tel bölge DC/DC kıyıcı dalga şekli

Yukarıdaki şekilde, T_i darbe genişliği, T_k yalıtım süresi, T_p anahtarlama periyodu ve F_p anahtarlama frekansıdır.

Eşitlik 2.14 ve 2.15 dikkate alınarak L ve C seçimi yapıldıktan sonra anahtarlama frekansına göre çıkış gerilimin değişimi için aşağıdaki hesaplamalar yapılabilir.

$$\lambda = T_i/T_P \quad (2.18)$$

Eşitlik 2.18’de görv çevrimi verilmiştir. Burada T_i ve T_P sırası ile iletim süresi ve anahtarlama periyotudur. Anahtarlama periyodu ise Eşitlik 2.19’da verilmiştir.

$$T_p = T_i + T_K \quad (2.19)$$

Burada T_k yalıtım süresidir. Anahtarlama periyotunun frekansı ise Eşitlik 2.20’da verilmiştir.

$$F_p = \frac{1}{T_p} \quad (2.20)$$

Burada F_P anahtarlama frekansdır. İletim süresi ise Eşitlik 2.21’de verilmiştir.

$$T_i = \lambda T_P \quad (2.21)$$

Anahtarın yalıtım süresi ise Eşitlik 2.22’de verilmiştir.

$$T_K = (1 - \lambda)T_P \quad (2.22)$$

λ değerine bağlı olarak frekans ve iletim süresinin hesaplanması Eşitlik 2.19 ile 2.22 arasında verilmiştir. Çıkış gerilimi ise yukarıdaki eşitlikler dikkate alınarak Eşitlik 2.25 te verilmiştir.

$$U_C = \frac{1}{T_P} \int_0^{T_i} U_D dt \quad (2.23)$$

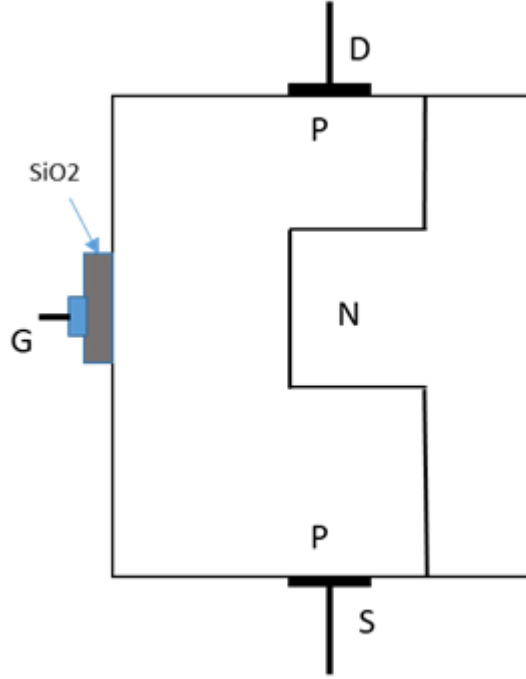
Burada U_C , T_P , T_i ve U_D sırası çıkış gerilimi, anahtarlama periyodu darbe genişliği ve giriş gerilimidir. Çıkış geriliminin genel ifadesi ise Eşitlik 2.24’te verilmiştir.

$$U_{\zeta} = \lambda U_d \quad (2.24)$$

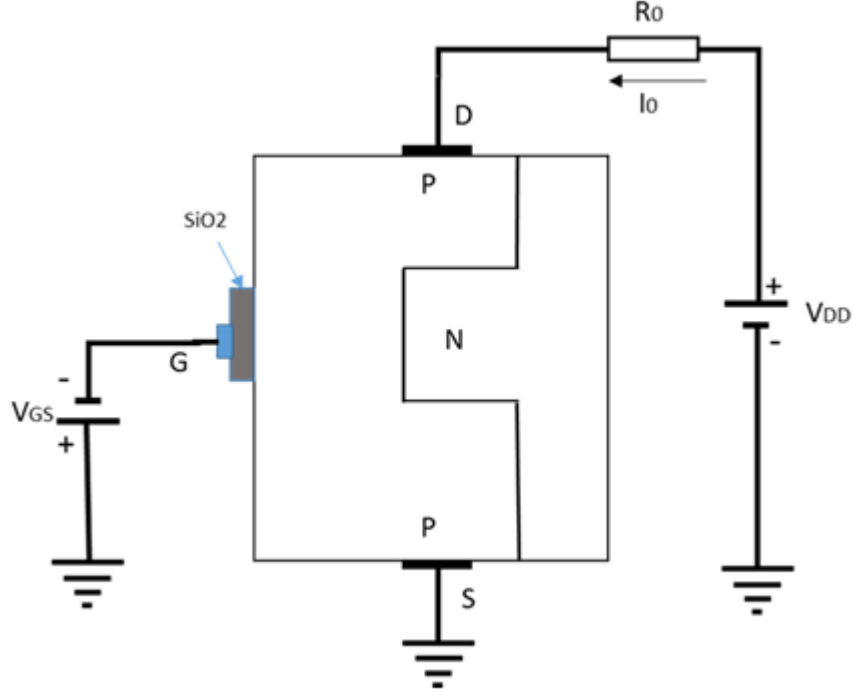
Burada U_{ζ} , U_D ve λ sırası ile çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve görev çevrimidir.

2.7.Anahtarlama Elamanı MOSFET

DC/DC dönüştürücüler de anahtarlama elemanı olarak MOSFET'in giriş direnci(empedansı), transistörlere göre daha yüksek olması, daha yüksek frekanslı sistemlerde çalışabilmesi, anahtarlama hızlarınının yüksek olamsı ve yüksek akımları iletebilmesi gibi avantajlarından dolayı mosfetler çoğunlukla tercih edilmektedir. MOSFET'lerin seçilmesinin yanında en büyük olumsuzluğu iletim ve kesim zamanında üzerinde harcanan iletim kayıplarıdır. Anahtarlama süresi kısa bile olsa, yüksek oranda güç harcanmaktadır. MOSFET'in genel yapısı Şekil 2.10'da ve çalışması Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Mosfet yapısı.



Şekil 2.11. Mosfet'in çalışması

Anahtarlama elemanları yük, akım kontrollüdür. MOSFET'lerde akımı gate ve kanalı belirler. Anahtarlama için, kontrol edilen akım, yükün yarı iletkene eklenip çıkarılmasıyla yapılmalıdır. Bu yükün miktarı da anahtarlama süresi ile birlikte anahtarlama kayıplarına etki etmektedir. Yük ve enerji çıkışta yer alan kapasitanslarda saklanır. Enerji ayrıca sızıntı ve devrenin kendisinde yer alan stray (rastgele) endüktansında da saklanır. Birçok dönüştürücü devresinde ise bu saklanan enerjiler kaybolmaktadır [18].

MOSFET'in çalışması incelenecek olursa; Şekil 2.11'de gösterildiği gibi MOSFET'te Gate ucuna uygulanan gerilim yani V_{gs} gerilimi, Drain-Source arasındaki ana akım kanalının daralıp genişlemesini sağlar. Bu kanalın açıklık oranına D-S arasındaki empedans (R_{ds}) denilmektedir. V_{gs} gerilimi ne kadar arttırılırsa aynı oranda kanalın genişliği de artacaktır dolayısıyla R_{ds} direnci de aynı oranda azalacaktır. R_{ds} değeri mosfetin katalog bilgilerinde yer verilmektedir. MOSFET'in iletim durumunda R_{ds} değerinin mümkün olduğunca küçük olması istenir. Bunun sebebi MOSFET'te harcanan ve ısı olarak açığa çıkan gücün en aza indirilmesidir. Bu konuda MOSFET'in katalog bilgisinde verilen minimum R_{ds} değerini yakalamak için MOSFET'e uygulanacak gerilim ve yük akımı değerlerine uyulmalıdır. Eşitlik 2.26'ya bakacak

olursak harcanan gücün yük akımının karesi ve R_{ds} direnci ile doğru orantılı olduğu görülmektedir

$$P_d = I_d^2 * V_{ds} \quad (2.25)$$

Burada P_D , I_D ve V_{DS} MOSFET'te harcanan güç, MOSFET'ten geçen akım ve MOSFET'e uygulanan gerilimdir. MOSFET sıklıkla anahtarlama elemanı olarak kullanılmaktadır. MOSFET iletimdeyken kanalın mümkün olduğu en geniş halini alması istenir sebebi ise yük akımının kayıpsız olarak aktarılmasıdır. MOSFET'in kesim zamanında ise kanalın en dar halini alması istenir, bunun da nedeni akım geçişini engellemek içindir. Kesim zamanında kanalın daraltılması $V_{gs} = 0$ V yapıldığında sağlanabilmektedir. MOSFET'in iletim durumuna geçmesi için V_{gs} gerilimin artırılması gerekmektedir. İlk başlarda yüksek olan V_{gs} gerilimi arttırılmaya devam edilirse R_{ds} düşmeye devam edecektir ancak artık düşmedeki değişim oranı çok daha az görünecektir. Genelde V_{gs} için 15 V sınır değeri belirtirler. İyi bir $R_{ds}(on)$ değeri 12 V V_{gs} ile yakalanabilir.

MOSFET'i PWM gibi uygulamalarda kullanıyorsa V_{gs} 'nin low-high-low geçişleri olabildiğince hızlı olması istenir. Sebebi 0 ila 1 değeri arasında yükselme ve düşme anında birçok değer R_{ds} direncinin birkaç ohm'dan kilo ohm değerlerine kadar değiştiği görülmektedir, bu direnç değerleri geçen akım ile çarpılınca ısı olarak açığa çıkmaktadır. Bu gibi bölgelere linear çalışma noktaları denilmektedir. Bu nedenle bu noktaları olabildiğince hızlı geçilmesi gerekmektedir.

2.8.PID Kontrol Sistemi

Sistem, hedeflenen ortak bir amacı gerçekleştirmek ya da başarmak amacıyla bir araya getirilen, ortak nitelikleri olan, birbiriyle etkileşimli parçaların bütününe verilen isimdir. Kontrol sistemi ise, çalışan sistemlerin insan gücüne gerek kalmadan denetlenmesini, kontrol edilmesini konu olarak alır. Kontrol edilmek istenen sistem bir motorun hız kontrolü, motorun pozisyon kontrolü olabilir, basınç kontrolü olabilir veya bir fırının sıcaklık kontrolü olabilir [19].

Sistemlerin çalışma ilkelerine göre iki tip kontrol yöntemi vardır.

- Açık çevrim kontrol sistemleri

- Kapalı çevrim kontrol sistemleri

2.8.1. Açık Çevrim Kontrol Sistemleri

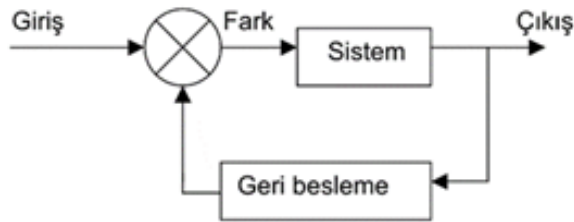
Açık çevrim kontrol sisteminde giriş olarak herhangi bir değişken alınabilir ve bu değişken çıkıştan bağımsızdır. Çıkış değerinin değişmesi girişi etkilemez. Sistemin özelliğine göre çıkış giriş değişkeninin bir sonucudur. Çıkış değeri ne olursa olsun giriş değerinde herhangi bir değişme olmaz [19]. Bir sistemin genel açık çevrim şeması Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Açık çevrim kontrol sistemi

2.8.2. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi

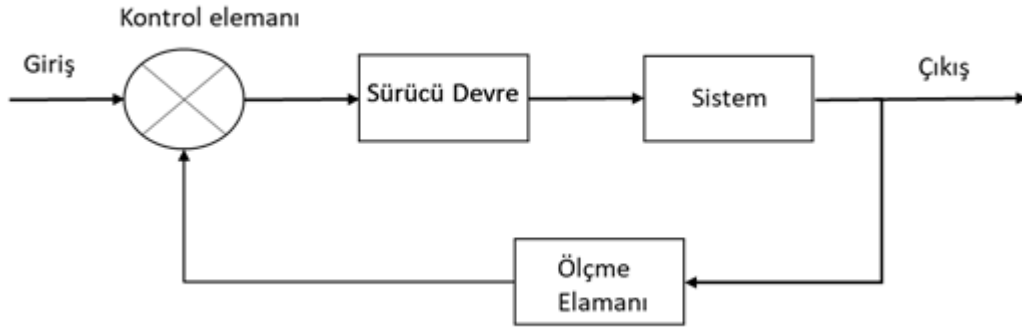
Kapalı çevrim denetim sistemi içinde kontrol eden organın (kontrolörün) görevi; çıkış değeri üzerinden geri beslenen çıkış büyüklüğünü (hız, devir sayısı, pozisyon vb.), referans olarak verilen giriş değeri ile karşılaştırmaktır. Bunun sonucunda aradaki farkın yani hata değerinin oranına göre kendi başarımlarına uygun bir şekilde kontrol denetim sinyalini çıkışa tekrar göndererek sistemi kontrol eder. Bu tip kontrol sisteminde çıkış, yalnızca girişin bir fonksiyonu değildir. Çıkıştan alınan bir geri besleme sinyali ile giriş sinyali her zaman kontrol altına alınır. Çıkış, giriş ile geri beslemenin farkının bir fonksiyonudur. Diğer bir deyişle bu tip sistemlerde çıkış girişi denetlenmektedir [19]. Şekil 2.13’de kapalı çevrim kontrol sistemin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.13. Kapalı çevrim kontrol sistemi

2.8.3. Kontrol Sistemini Oluşturan Elemanlar

Kapalı çevrim kontrol sistemleri temel olarak Şekil 2.14’de gösterilen temel elemanlardan meydana gelir.



Şekil 2.14. Kapalı çevrim kontrol sistemi bileşenleri

Kontrol elemanı çıkıştan aldığı bilgi ile referans değerinin karşılaştırılması sonucu sinyal üreten devre elemanıdır. Genelde fark alan devre olarak kullanılır. Kapalı çevrim kontrol sisteminde ölçme elemanı ise, kontrol edilmek istenen çıkış değişken sürekli olarak ölçülmelidir. Ölçülen bu çıkış sinyali kazanç sağlayan yükselteç ile kuvvetlendirilerek referans değeri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma işlemi sistem çalıştığı sürece sürekli olarak yapılmalıdır. Sistem yapısından dolayı bozucu etkenler ve referans değişmesi gibi sebeplerden dolayı bu geri kontrol işlemi süreklilik göstermelidir. Sürücü devre kontrol elemanından aldığı sinyale göre tahrik elemanını kontrol eden devre elemanıdır. Sistem kontrol edilmek istenen birimdir. Matematiksel olarak ifade edilen bu sistem bir motor, fırın ve vinç olabilir.

2.8.4. Kontrol Sistemi Türleri

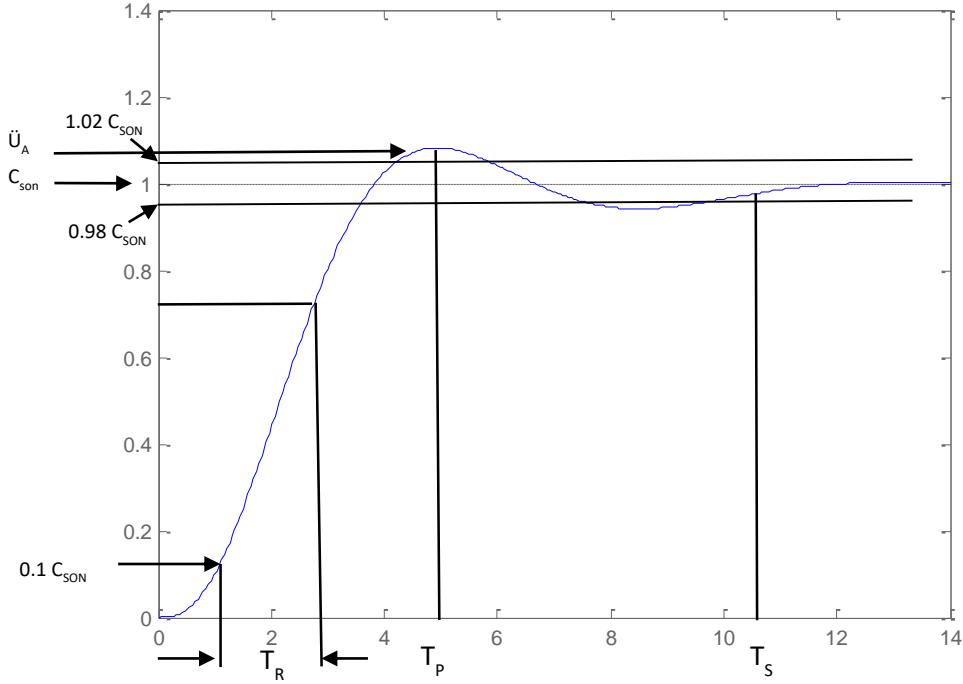
Kontrol sistemlerinde kontrol elemanı referans değeri ve çıkış arasındaki fark sinyaline göre başarımlar parametreleri dikkate alınarak, sürücü devreyi kontrol ederek çıkış değerini istenilen değere göre sabitler. Sistemin çıkış değerine, hassasiyetine ve pozisyonuna göre farklı kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar;

- Aç-Kapa (Off – On) kontrol
- Oransal Kontrol (Proportional P)
- Oransal + İntegral Kontrol (PI)
- Oransal + Türevsel Kontrol (PD)

- Oransal + İntegral + Türevsel (PID)
- Zaman Oransal (Time Proportional)
- Bulanık mantıkla kontrol
- Yapay Sinir Ağları
- Genetik algoritma olarak sıralanabilir.

2.8.5. Başarım Parametreleri

Kontrol edilmek istenen bir sistemin çıkış değerinin belirli bir sınır içerisinde belirli bir zamanda gerçekleşmesi istenir. Bu değer ve zaman aralığı başarım parametreleri olarak adlandırılır ve belirli değerlerden oluşur. Şekil 2.15 'te örnek bir sistemin çıkış sinyali üzerinde başarım kriteri parametrelerinden bazıları görülmektedir.



Şekil 2.15. Başarım parametreleri

Şekil 2.15'de verilen şekilde kullanılan kısaltmalar sunları ifade etmektedir. T_p tepe zamanı olarak adlandırılır ve cevabın maksimum değere ulaşması için geçen süre olarak ifade edilir. $\% \dot{U}_A$, yüzde üst aşım çıkış değerinin tepe değeriyle son değeri arasındaki % ilişkisine yüzde üst aşım denir. T_s , cevabın son değerinin %98'ine

ulaşıncaya kadar geçen sreye yerleşme zamanı denir. T_r , çıkış cevabının son değerinin %10 ‘undan %90’ına ulaşması için geçen sreye yükselme zamanı denir.

2.8.6. PID Kontrol

PID denetleyicisi basit bir yapıya sahip olmasıyla birlikte, tasarımı kolay, maliyeti düşük bir kontrolcüdür. Endüstride kullanılan birçok sisteme uyarlanabilir. Bu kriterler nedeniyle, PID hala bugün geçerli ve tercih edilen bir denetleyicidir. Sistemin daha karalı olması PID parametrelerini ayarlanması ile sağlanabilir [20].

PID denetleyiciler basit yapıları sebebiyle 1. ve 2. derece sistemler için uygundur. Ancak sistem derecesi ve kompleksliği arttıa PID parametrelerinin ayarlanması zorlaşmaktadır. Kritik bir konu olan parametre ayarlanmasıyla ilgili olarak literatürde birçok yöntemden bahsedilmiştir. ZIEGLER-NICHOLS yöntemi, Cohen ve Coon bunlardan bazılarıdır ve genelde iyi sonuçlar vermektedir.

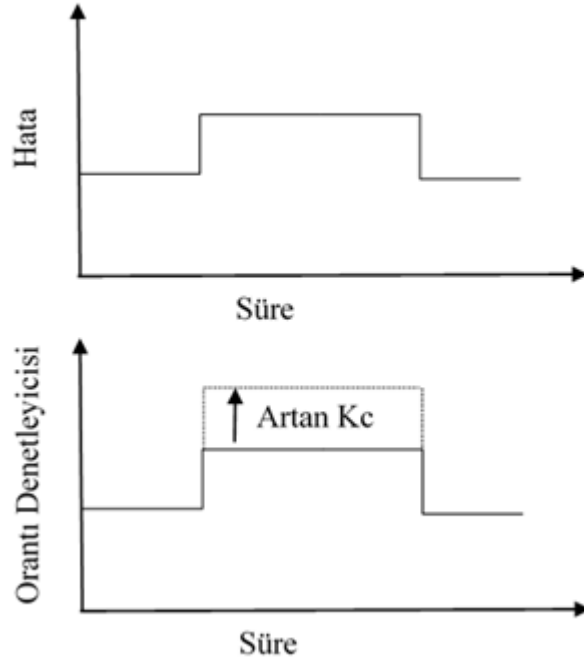
2.8.7. PID Kontrol Parametreleri

PID oranlı integral ve türev kontrol yöntemlerinin beraber kullanımı ile ortaya çıkan, sistemin referans sinyali ile gerçek çıkış değeri arasında ki farka, hata oranına bağlı olarak sistemin çıkışını değiştiren bir kontrol algoritmasıdır.

2.8.7.1. Oransal kontrolör

Kontrol işaretinin kontrolör çıkışına sabit bir oran ile aktarılmasına oransal kontrol denilmektedir.

Oransal kontrol, kontrolcü çıkışını hatanın değeri ile orantılı olarak değiştirir. Parametrik değer Kazanç (K_c) ‘tır. Bu bazen P ayarı veya oransal ayarı olarak da tanımlanabilir. Yüksek bir kazanç değeri çıkış eylemini de artmasına ve hatanın büyümesine sebep olabilmektedir.



Şekil 2.16. P oransal kazanç kontrolcüsü

Şekil 2.16’da de hata değeri ve hata değerine bağlı olarak artan K_c kazanç değeri gözükmemektedir. Eşitlik 2.26’de oransal kazanç ifadesi verilmiştir.

$$P=K_c \cdot E \quad (2.26)$$

Burada P , K_c ve E sırası ile oransal kazanç değer, kazanç değeri ve hatadır.

2.8.7.2. İntegral Kontrolör

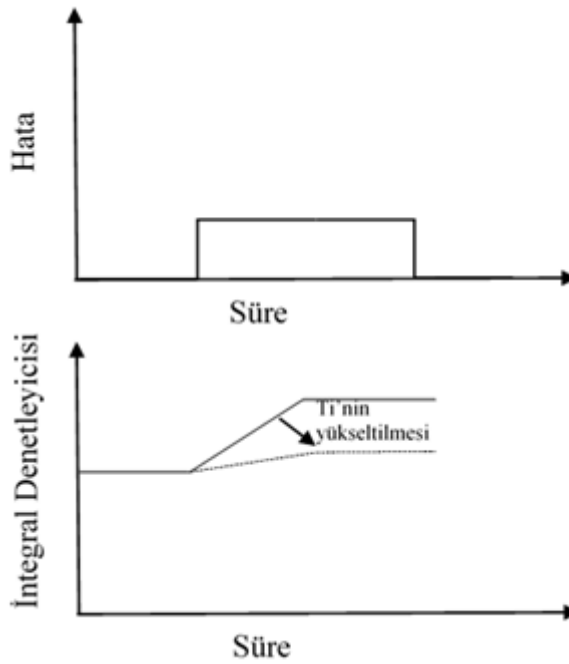
Sistemin sahip olduğu, kalıcı hatayı en aza indirecek şekilde kontrolcü çıkışını azaltıp artırarak düzeltme işlemini yapar. Belirli bir süre sonunda bu kalıcı hata en aza indirilmiş olur.

Sistemin ürettiği hata fazla ise, integral kontrolcü çıkışındaki azaltma ve artışı hızlı yapar, hata küçük ise değişimler daha yavaştır. Belirli bir hata için, integral modunun hızı, kontrolcüdeki zaman ayarı ile yapılıdır. T_I (integral zaman sabiti)’nin büyük olması (uzun integral süresi), integral eyleminin yavaş olmasını ve küçük olması ise hızlı olmasını sağlar. Integral süresi çok uzun tanımlandı ise, kontrolcü sağır olacak; kısa tanımlı ise kontrolcü osilasyona girecektir ve durağan olmayacaktır Şekil 2.17’de T_s kontrol algoritmasının uygulanma aralığını göstermektedir bazen

örnekleme zamanı veya tarama zamanı da denir. İntegral sabitinin matematiksel ifadesi eşitlik 2.27’de verilmiştir.

$$I = I_p + K_c * \frac{T_s}{T_i} \quad (2.27)$$

Burada I , I_p , K_c , T_s ve T_i integral sabiti, önceki integral değeri, kazanç değeri, kontrol algoritmasının süresi ve kontrolcü zaman sabitidir.

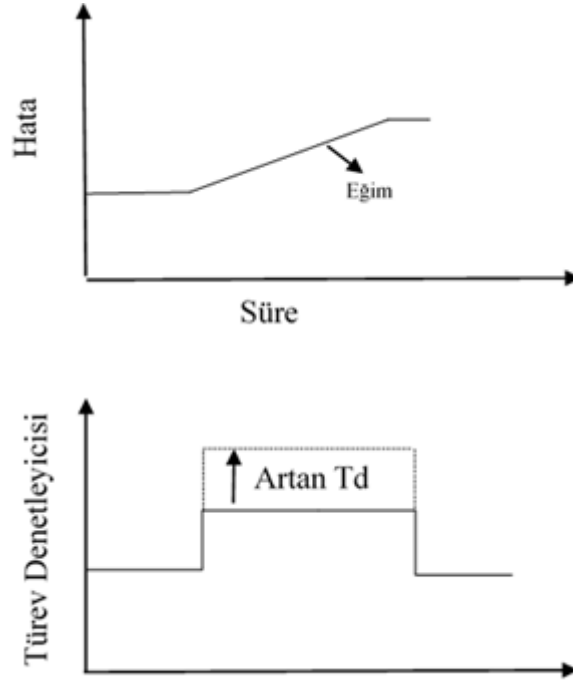


Şekil 2.17. İntegral kontrolcüsünün çalışması

2.8.7.3. Türev Kontrolör

Bir PID kontrolcüdeki üçüncü kontrol elemanı türev parametresidir. Türev kontrol iş kontrolünde az kullanılan bir yöntemdir, genellikle hareket kontrolünde kullanılır. Ayrıca ölçümde oluşan gürültüden çok etkilenir. Bunun yanısıra türev parametresinin kullanılması, kontrolcüye PI kontrolöre göre daha hassas yapar ve hızlandırır. Türev kontrol, hatanın artış hızına göre bir çıkış üretir Şekil 2.18’de Türev kontrolörde hata değişimi hızlı ise daha fazla etkiler, hatada değişim yoksa herhangi bir müdahalede bulunmaz. Türev zamanı (T_D) ile ayarlanır. Daha büyük türev zamanı,

daha fazla düzeltme getirir. Türev zamanı çok uzunsa osilasyon oluşur. T_S kontrolcünün gerçekleşme aralığıdır [21].



Şekil 2.18. Türev kontrolcüsü

Eşitlik 2.29’da türev sabitinin matematiksel ifadesi verilmiştir.

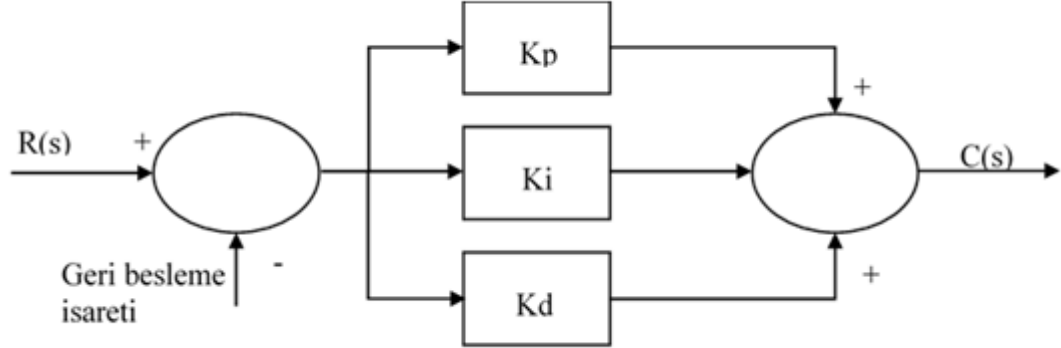
$$D = K_c * \frac{T_D}{T_S} * (E_p - E_n) \quad (2.29)$$

Burada D , K_C , T_D , T_S , E_P ve E_N sırası ile türev sabiti, kazanç değeri, kontrolcü aman sabiti, algoritma uygulama süresi, önceki hata değeri ve sonraki hata değeridir. Yukarıda temel 3 kontrolcü birleştirilerek PD, PI ve PID kontrolcüler geliştirilmiştir. Sistemin ihtiyacına uygun olarak istenilen kontrolcü sisteme dahil edilerek kullanılabilir [19].

2.8.8. PID Kontrolör

Referans durumunun değişmesi veya sistemin kararsızlığının çoğaldığı durumlarda P-I-D kontrolcünün birleşimiyle oluşan PID kontrolcüler çoğunlukla tercih edilmektedir. Oransal kontrol yönteminde oluşan kalıcı durum hatası P-I

kontrolör yöntemi ile azaltılırken, oluşan aşımalar bu yöntemle türevsel etkinin de eklenmesiyle en aza indirilir veya tamamen kaldırılır.

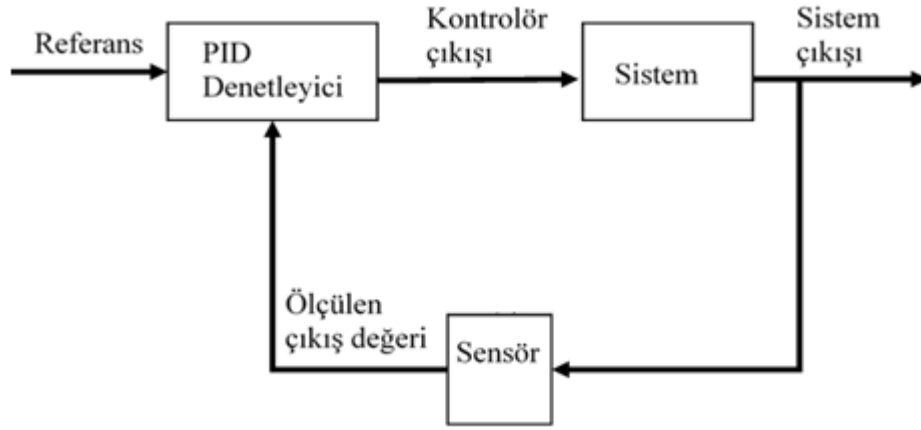


Şekil 2.19. PID kontrolcü

PID denetleyicinin işlevi incelenecek olursa; referans ile gerçek çıkış değeri arasındaki hata sinyali $e(t)$, PID denetleyicinin girişine uygulanır ve denetleyici bu sinyalin hem türevini hem de integralini alır. Denetim çıkışının zaman tanım bölgesindeki ifadesi Eşitlik 2.30'da gösterilmiştir.

$$u(t) = K_p * e(t) + K_I \int_0^t e(t)dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.30)$$

Burada; K_p oransal kazancı, K_i integral kazancı, K_d türev kazancı ifade etmektedir. Referans sinyali $u(t)$ sistemin girişine uygulanır ve sistemin çıkışından $c(t)$ sinyali elde edilir. Elde edilen çıkış sinyali $c(t)$ hata sinyalinin tekrar bulunması için toplama bloğuna geri gönderilir. Elde edilen yeni hata sinyali denetleyici tarafından işleme alınır ve tekrar integral ve türevini alır. Diğer bir deyişle sistemin transfer fonksiyonuna ait karakteristik denklemin köklerinin yeri değiştirerek istenilen referans değerine yaklaşması sağlanmaktadır. Bu işlem sistem çıkışı referans değerine eşitleninceye kadar, yani hata sinyali $e(t)$ sıfır oluncaya kadar devam eder [22]. Şekil 2.20'de PID kontrolcüsüne ait kapalı çevrik kontrol sistemi görülmektedir.



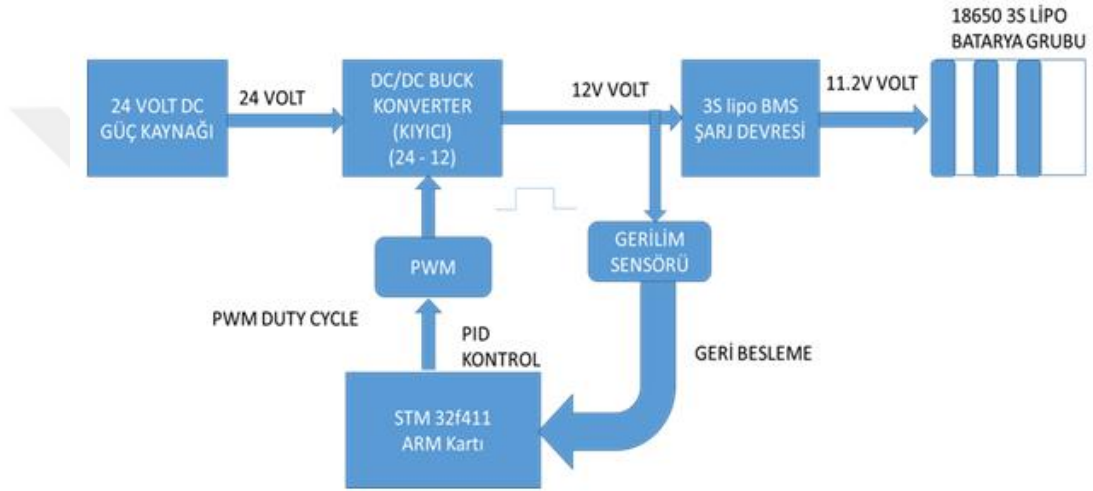
Şekil 2.20. PID kontrolcüsü kapalı çevrim şeması

Kontrol sistemlerinin birçoğunda kullanılan PID'nin zayıflıklarını ele aldığımızda;

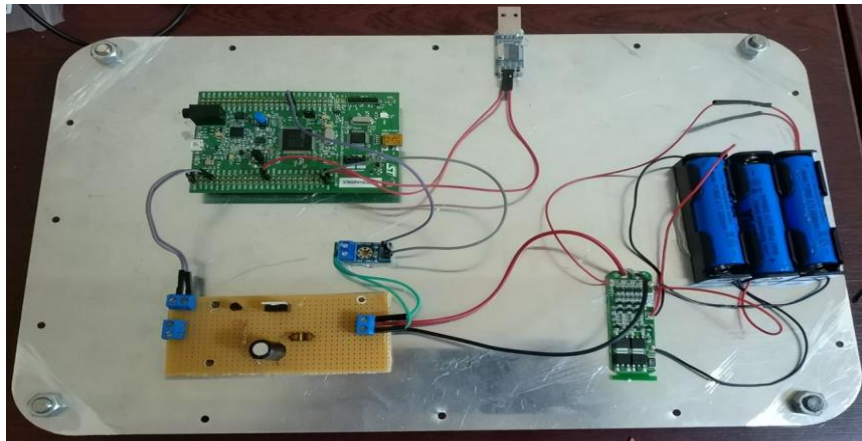
- Hata hesaplaması
- Türev kontrolünde gürültü oluşması
- Aşırı örnekleme ve kontrol sistemindeki performans kaybı gibi durumlar sayılabilir [22].

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

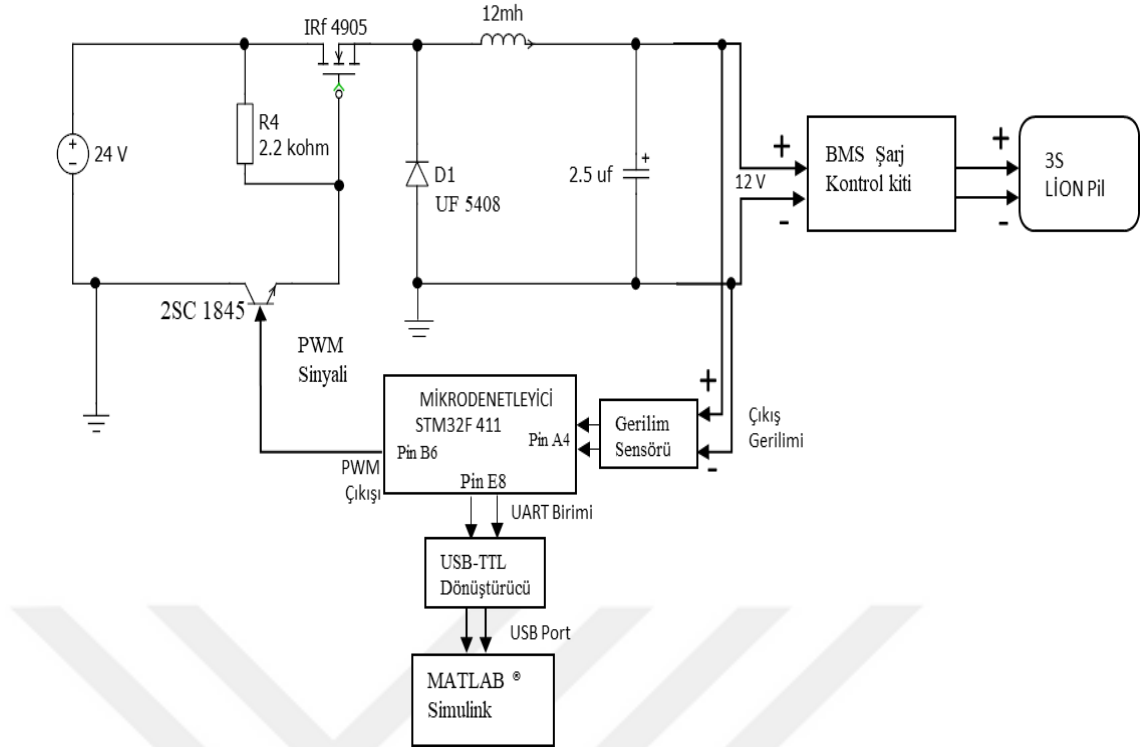
Bu bölümde; 3S LİPO pil grubunun şarj kontrolünün PID kontrolcü ile yapılmasının materyal ve yöntemleri ifade edilmiştir. Uygulama esnasında pil şarj devresinin uç gerilim bilgisi okunacak bu gerilim bilgisi referans ile karşılaştırılacaktır. Kontrolcü kart olarak ARM mikro denetleyiciye sahip discovery firmasının STM32F411VG kartı kullanılacak kodlamada ise Simulink ortamında WAIJUNG firmasının geliştirdiği bloklar kullanılacaktır. Şekil 3.1’de deney düzeneği genel şeması, Şekil 3.2’de deney düzeneği ve Şekil3.3’de devre şeması görülmektedir.



Şekil 3.1. Deney düzeneği genel kontrol şeması



Şekil 3.2. Deney düzeneği



Şekil 3.3. Devre Şeması

3.1. DC/DC Kıyıcı ve Kontrolcü Tasarımı

Günümüzde çok sık uygulama alanı bulan doğru akım dönüştürücülerin bir çeşidi olan DC/DC düşüren tip dönüştürücü devrenin özellikleri Bölüm 2’de verilmiştir. Tasarım devresinde kullanılacak olan DC/DC dönüştürücünün pasif devre elemanları pratik tasarım metoduyla değerleri belirlenmiştir. Düşüren tip DC/DC dönüştürücülerde giriş geriliminin belirli bir periyodu kıyıldığı için genellikle DC/DC kıyıcı olarak adlandırılırlar. DC/DC kıyıcılarda temel 4 adet devre elemanından meydana gelmektedir. Bunlar;

- Yarı iletken devre elemanı, (IRF 4905)
- Diyot,(Si UF 5408)
- Endüktans (12 mh)
- Kondansatör. (2.5 µf)

Tasarım devresinde kullanılacak DC/DC kıyıcının başaram parametreleri tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Başarım değerleri

Paarametre	Değer	Tepeden tepeye dalgalanma yüzdesi
Giriş Gerilimi(v)	24 volt	%1
Çıkış Gerilimi(v)	12 volt	%1
Çıkış Akımı	2 A	-
Anahtarlama frekansı	50 KHZ	-
R direnci	100 Ω	

Bölüm 2’de verilen eşitlikler ve Tablo 3.1’de istenen özellikler doğrultusunda parametre seçimi için aşağıdaki eşitlikler uygulanmıştır.

$$D = \frac{12}{24} = 0,5 \quad (3.1)$$

$$L = \frac{24 * 0.5 * (1 - 0.5)}{50000 * 0.01} = 12 \text{ mH} \quad (3.2)$$

$$C = \frac{24 * 0.5 * (1 - 0.5)}{8 *} = 2.5 \text{ mF} \quad (3.3)$$

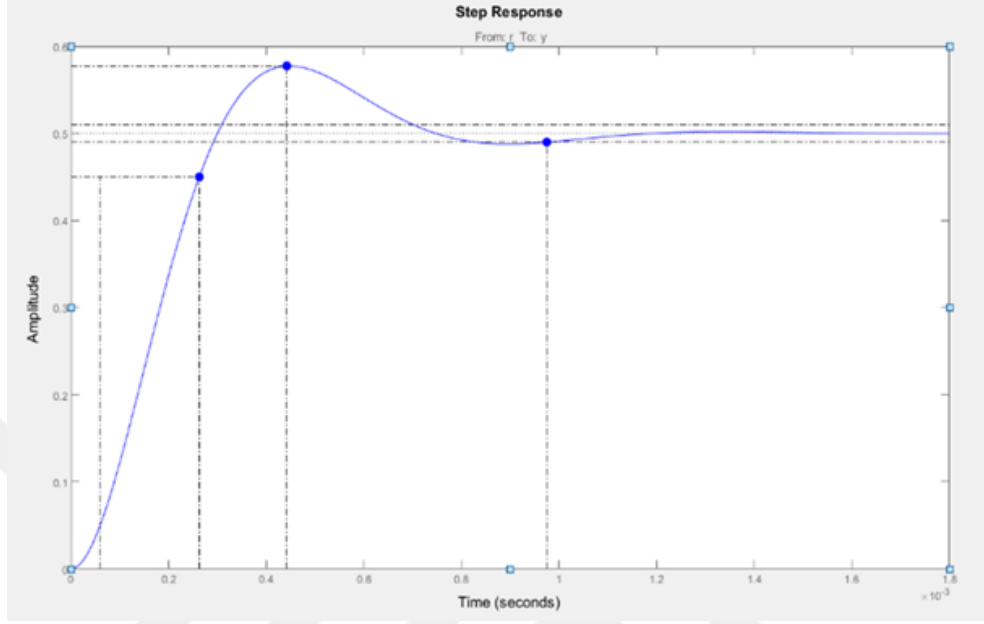
Eşitlik 3.2’de endüktans değeri ve Eşitlik 3.3’te kapasitans değeri hesaplanmıştır. DC/DC dönüştürücü için genek transfer fonksiyonu ifadesi Eşitlik 3.4’te verilmiştir.

$$G(s) = \frac{\frac{1}{LC}}{s^2 + \frac{r}{L}s + \frac{1}{LC}} \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4’de verilen transfer fonksiyonuna Eşitlik 3.3 ve 3.4’de bulunan değerler eklendiğinde Eşitlik 2.36’daki transfer fonksiyonu elde edilir.

$$G(s) = \frac{3.33 * 10^7}{s^2 + 8333s + 3.33 * 10^7} \quad (3.5)$$

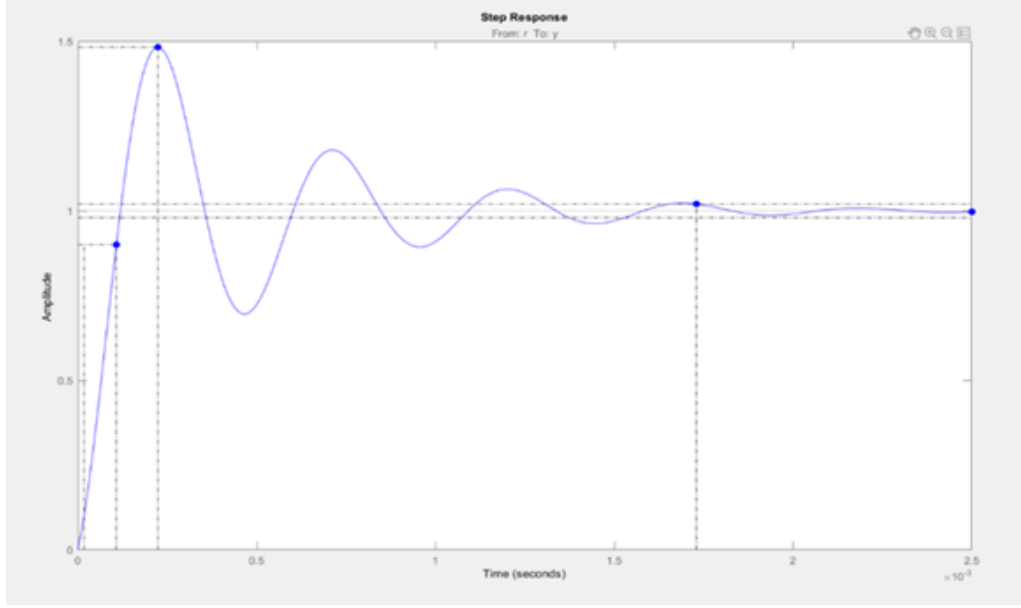
Elde edilen bu transfer fonksiyonun basamak cevabı MATLAB®-SISOTOOL aracı ile kontrol edilmiş istenen başarımlarını sağlamak için PID kontrolcü eklenmiştir. İlk olarak sistemin basamak cevabına Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. DC/DC kıyıcı basamak cevabı

Basamak cevabı incelendiğinde; üst aşım %15,5, yerleşme zamanı $0,97 \times 10^{-3}$ sn, yükselme zamanı $0,25 \times 10^{-3}$ sn ve kalıcı hatanın 0,5 olduğu görülmektedir.

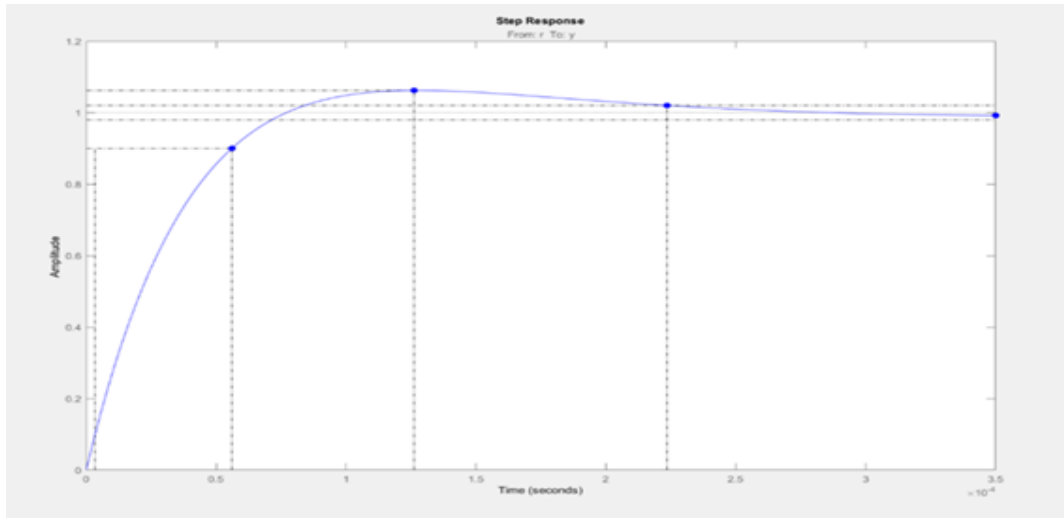
Sisteme SISOTOOL aracı ile PID kontrolcü eklendiğinde basamak cevap olarak Şekil 3.5’de elde edilir.



Şekil 3.5. DC/DC kıyıcı PID kontrolcü basamak cevabı

Tekrar Şekil 3.5'te verilen sistemin basamak cevabı incelendiğinde; üst aşım %48,5, yerleşme zamanı $1,7 \times 10^{-3}$ sn, yükselme zamanı $0,01 \times 10^{-3}$ sn ve kalıcı hatanın 0 olduğu görülmektedir.

PID kontrolcü kalıcı hatayı gidermiş ancak yükselme ve yerleşme zamanında olumsuz sonuç vermiştir. Bu hatanın önüne geçmek için PID parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. Tekrardan SISOTOOL aracı ile pid parametreleri ayarlanarak Şekil 3.5'te gösterilen yeni basamak cevabı elde edilmiştir.



Şekil 3.6. DC/DC kıyıcı PID parametreleri ile birlikte basamak cevabı

Parametre değerleri belirlenen PID kontrolcü ile birlikte sistemin cevabı Şekil 3.6'te gösterilmiştir. Şekil 3.6 incelendiğin de; üst aşım %6, yerleşme zamanı $0,2 \times 10^{-4}$ sn, yükselme zamanı $0,01 \times 10^{-4}$ sn ve kalıcı hatanın 0 olduğu görülmektedir.

PID kontrolcünün parametreleri ise $K_p = 13$, $K_i = 225$, $K_d = 0,000917$ olarak bulunmuştur. Sistemin gerçek zaman modellenmesinde bulunan bu parametrelerden faydalanılarak devre oluşturulmuştur.

3.2.Mikrodenetleyici

DC/DC kıyıcının çıkışındaki gerilim bilgisi, çıkışa bağlı olan gerilim sensöründen okunan bilgiye bağlı olarak üretilen PWM sinyalini kontrol etmek için Discovery firmasının ARM mikrodenetleyiciye sahip STM32F411VG geliştirme kartı kullanılmıştır. Mikrodenetleyici bir mikroişlemcinin, merkezi işlem birimi (CPU), hafıza, giriş-çıkışlar, kristal osilatör, zamanlayıcılar, seri ve analog giriş çıkışlar, programlanabilir hafıza gibi bileşenlerle tek bir tümleşik devre üzerinde üretilmiş halidir [22]. Mikrodenetleyici, dışarıdan gelen bir veriyi veya programı hafızasına alan, derleyen ve sonucunda da çıktı elde eden bir bilgisayardır. Mikrodenetleyicinin yapısında: CPU, RAM, ROM, Giriş/Çıkış portları, seri ve paralel portlar, sayıcılar, Analog/Dijital çeviriciler bulunur.

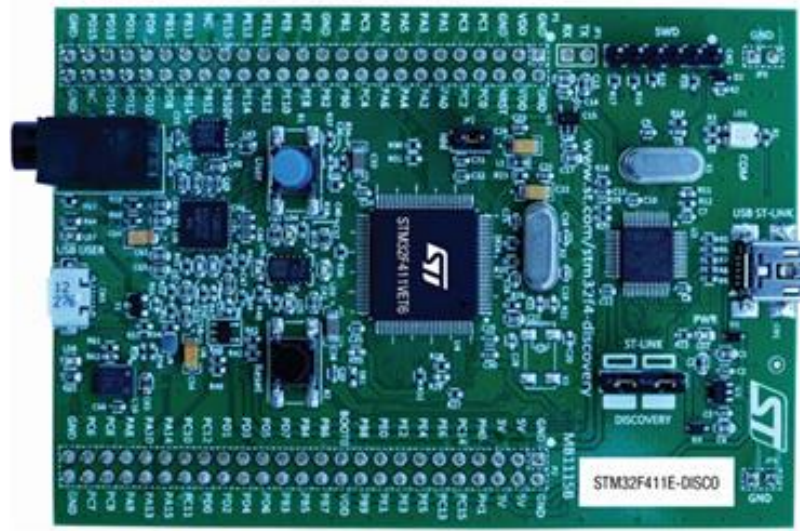
3.3.STM32F Mikrodenetleyici Kart

Arm Mikrodenetleyiciler 32 bitlik mimari yapı kullanması sebebiyle 8 bitlik işlemcilere kıyasla hızları daha yüksektir. Ayrıca enerji sarfiyatlarının düşük olması ve performanslarının yüksek olması sayesinde günümüzde yaklaşık %75'lik oranla elektronik sistemlerde en çok kullanılan işlemcilerdir. ARM yapısının lisansına sahip olan firmalar farklı isimlerde birçok işlemci üretmişlerdir.

ARM yapısı ihtiyaca göre klasik, gömülü sistemlere ve uygulamaya yönelik olmak üzere 3 ayrı gruba ayrılmaktadır. Klasik ARM işlemci grubunda ARM7, ARM9 ve ARM11 yer alır. Bu yapılar daha çok yük kontrolü gibi donanıma yakın işlemlerde kullanılır. İkinci grup olarak Cortex M ve R serileridir. Bunlar matematiksel denklemlere dayalı olarak kesin sonuca yönelik çalışması gereken, düşük güç tüketimi isteyen, dijital sinyal işleme gibi uygulamalarda kullanılır.

Son olarak da Cortex-A5, Cortex-A8, Cortex-A9, Cortex-A15 işlemcileri akıllı telefonlar, tablet bilgisayarlar gibi yüksek performans gerektiren, son kullanıcı uygulamalarda kullanılır. STM32 işlemci kiti STM32F411E-DISCO, STM32 F4 serisinin giriş seviyesi mikrodenetleyicisidir.

STM32F411VE üzerinde bir ST-LINK/V2 gömülü debugger aracı, bir jiroskop, bir e-pusula ve dijital mikrofon ST MEM, entegre D sınıfı hoparlör sürücüsüne sahip bir ses DAC'si, bir OTG mikro-AB konektörü, LED'ler ve butonları barındırır. Şekil 3.7'de STM32F411VE geliştirme kartı bulunmaktadır.



Şekil 3.7. STM32F411ve geliştirme kartı

Geliştirme kartının teknik özellikleri şu şekildedir: 512 KB Flash bellek, LQFP100 128 KB RAM, STM32F411VET6 mikrodenetleyici, 100MHz/125 DMIPS ARM Cortex-M4 çekirdek, L3GD20: ST MEMS hareket sensörü 3 eksenli dijital çıkış jiroskopu, LSM303DLHC: Bir 3D dijital doğrusal hızlanma sensörüdür.

3.4.Lityum İyon Batarya

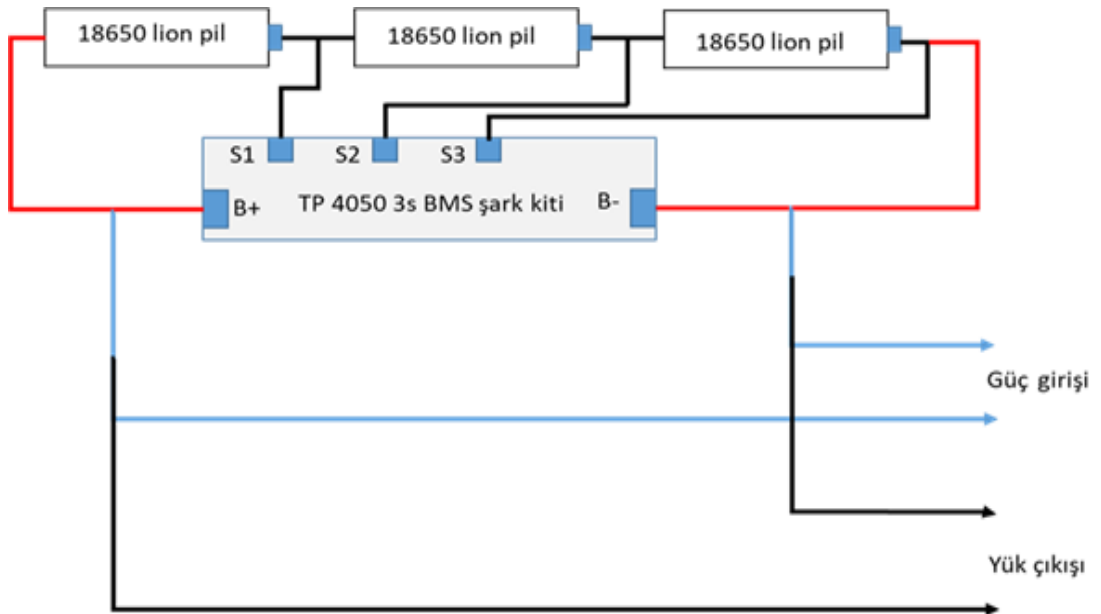
Lityum iyon piller, şarj edilebilir bir pil çeşididir. Lityum iyon bataryalar yapılarına göre yüksek enerji verimliliği sunmaları, uzun ömürleri, histerezis etkisine sahip olmamaları, tam boşalmadan şarj edilebilmesi ve yüksek deşarj kabiliyetleri

sayesinde diğer şarj edilebilir pillerden çok daha verimlidir. Uzaktan kumandalı araçlar ve robotik projelerde kullanılan lityum polimer (LiPo) bataryalar, lityum-iyon bataryalar ile çok büyük oranda benzerlik gösterirler. Şekil 3.8’de LION pil gösterilmiştir.



Şekil 3.8. LION pil

LION pil olarak sıkça kullanılan 18650 kod numaralı pil uygulama devresinde 3 adet birleştirilerek akü grubu oluşturulmuştur. 18 mm çapında ve 65 mm yüksekliğinde bir kalem pil şekline sahiptir. 3 adet lion pil Şekil 3.9’da gösterildiği üzere bağlantı yapılarak pil/akü grubu oluşturulmaktadır.



Şekil 3.9. 3s LION pil bağlantı şeması

3.5.BMS Şarj Kontrol Devresi

Batarya yönetim sistemi (BMS) bir veya daha çok pil hücresinden oluşan batarya paketlerinin şarj ve deşarj sırasında denetimini ve yönetimini yapan sistemlerdir. Batarya paketlerinde akım, gerilim, sıcaklık vb. önemli değerlerin ölçümünü yaparak, optimum değerlerin dışına çıktığında sisteme müdahale eden yapılardır. Birden fazla hücrenin bir araya gelerek oluşturduğu sisteme batarya veya batarya paketi denir. Pil hücreleri seri ya da paralel bağlanarak batarya paketlerini oluştururlar. Batarya paketlerinin seri bağlanması gerilimi, paralel bağlanması ise çekilebilecek akımı ve kapasiteyi belirler. Bu seri ve paralel bağlı sistemler arasındaki dengenin sağlanması için batarya yönetim sistemleri yani BMS'ler kullanılır. BMS'ler şarj edilebilir bataryaların kontrol ve denetimini yapan elektronik sistemlerdir. Batarya sistemlerinde bir koruyucu gibi davranarak bataryaların o andaki çalışma durumlarını inceleyip optimum çalışma değer aralıklarında kalmalarını sağlar. Batarya yönetim sistemleri 3 ana başlıktan oluşur; veri izleme, hesaplama ve koruma.

BMS'ler çoğunlukla elektrikli araçların akü/batarya gruplarının şarj kontrolünde kullanılmaktadır. Uygulama devresinde kullanılan devre Şekil 3.10'da verilmiştir. TP4056 liner şarj entegresinin kullanımı oluşturulmuş bu devre 3 adet lipo pil şarj edebilme özelliğine sahiptir.[23]



Şekil 3.10. 3s LION pil BMS şarj kiti

3.6. Veri Okuma

Bu çalışmada, DC/DC kıyıcının gerilim bilgisi, kontrol kartından üretilen PWM sinyali ve kullanıcının belirlediği referans gerilim bilgilerini Simulink® ortamına veri aktarımı yapabilmek için Prolific PL2303 USB to

Serial/UART/RS232 dönüştürücü kartı kullanılmıştır. Şekil 3.11’de dönüştürücünün görseli verilmiştir.



Şekil 3.11. USB TTL dönüştürücü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, bilgileri yukarıda verilen bir DC/DC kıyıcının çıkış gerilim bilgisi gerilim sensöründen alınarak PID ile çıkış gerilimi kontrol edilmiştir. PID kontrolü mikro denetleyici kart ile hesaplanmış, giriş değerleri ise mikrodenetleyicinin ADC girişlerinden elde edilmiştir. Sistemin çıkış eğrileri ise MATLAB®/Simulink®'den takip edilmiştir.

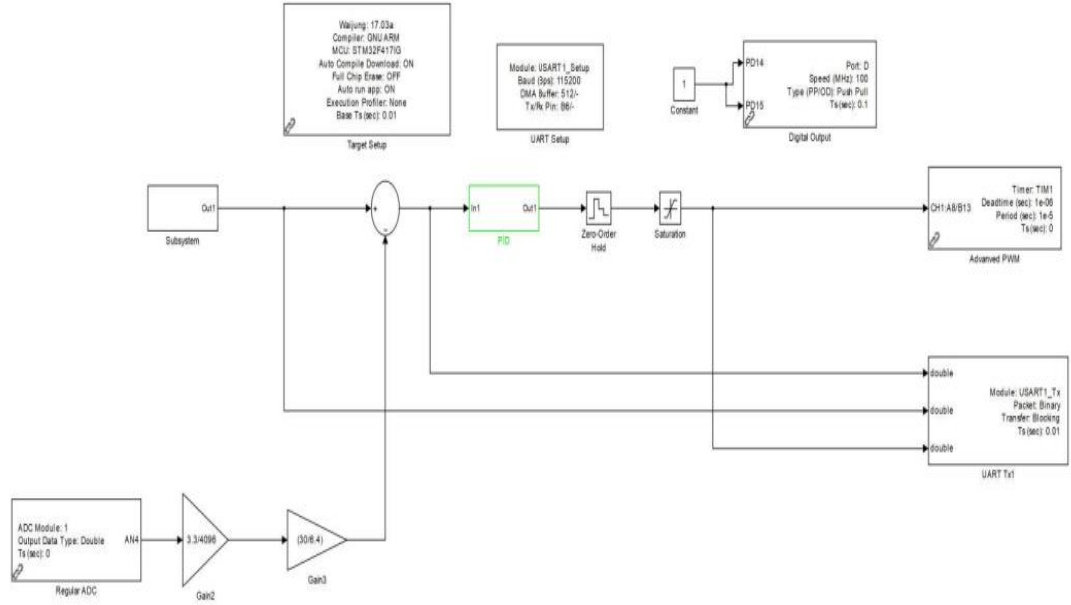
İlk olarak sistem PID kontrolcü ile kontrol edilmiştir. PID kontrol için DC/DC kıyıcının transfer fonksiyonu Eşitlik 4.1'de verilen transfer fonksiyonuna **Tablo 3.1**'deki veriler yerine konularak elde edilmiştir.

$$TF = \frac{3.33 * 10^7}{s^2 + 8333s + 3.33 * 10^7} \quad (4.1)$$

Sistem mikrodenetleyici kart tarafından gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi sebebi ile z domeninde ifade edilmesi gerekmektedir. Transfer fonksiyonu kapalı çevrim örnekleme zamanı 0,00081 sn seçildiğinde ayrık zaman olarak ifade edilmiş durumu Eşitlik 4.2'de elde edilir.

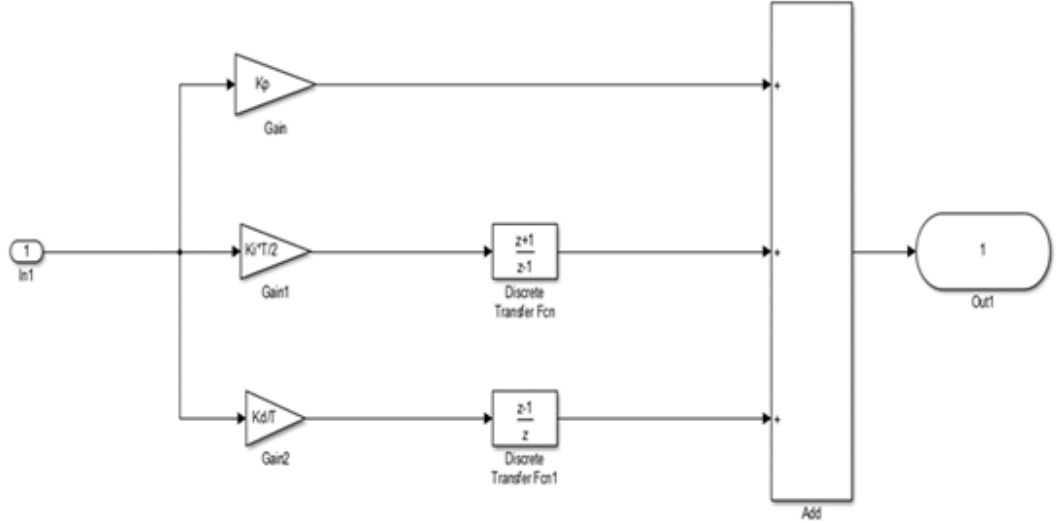
$$TF = \frac{0.03469z+0.004663}{z^2-0.9609z+0.0002404} \quad (4.2)$$

Yukarıda ifade edilen DC/DC kıyıcının ayrık zaman transfer fonksiyonunun kontrolü için ayrık zaman PID kontrolcü, referans değerleri WAIJUNG blok diyagramları ile modellenmiştir. Şekil 4.1'de PID kontrol şeması sunulmuştur.



Şekil 4.1. PID kontrol şeması

Şekil 4.1’de DC/DC kıyıcının MATLAB®/Simulink® ortamında WAIJUNG blok setleri ile oluşturulan PID kontrol şeması, referans giriş değeri ve gerilim sensöründen alınan bilgilerin kontrolcüye aktarılmasına ait bloklar bulunmaktadır. Bir potansiyometre ile DC/DC kıyıcının referans bilgisi oluşturulmuş ve bu bilgi ADC modülü ile gerekli oranlama işlemi ile fark alıcıya gönderilmiştir. T_s örnekleme zamanı 0,0008 sn seçilmiş DC/DC kıyıcının gerilim bilgisi, çıkışa bağlı olan gerilim sensöründen elde edilmiştir. Referans değeri ile gerilim bilgisi arasında oluşan fark hata ayrık zaman PID kontrolcüye gönderilmiştir. PID kontrolcünün yapısı Şekil 4.2’de gösterilmiştir. PID kontrolcünün K_p , K_d ve K_i katsayıları MATLAB® komut satırından girilmiştir.



Şekil 4.2. Ayrık zaman PID kontrolcüsü

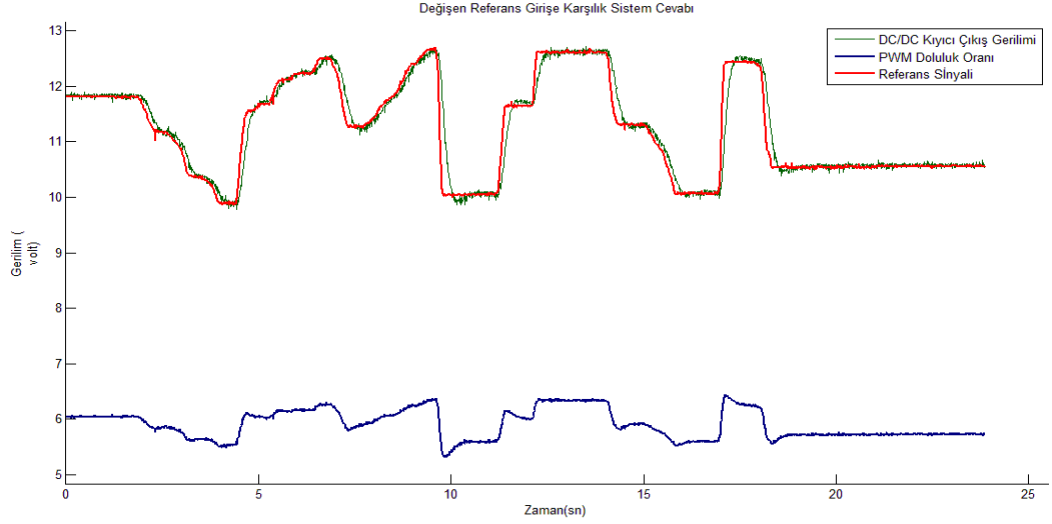
PID kontrolcüsü K_p , K_d ve K_i katsayılarına bağlı olarak üretilen veri STM32F411VE kartın PWM sürücüsüne gönderilmiştir. Mikrodenetleyici kart tarafından üretilen yeni PWM sinyali DC/DC kıyıcının kapı ucuna girdi olarak verilmiş bu şekilde DC/DC kıyıcının gerilim kontrolü sağlanmıştır.

Deney düzeneği çalıştırılmadan önce PID katsayıları aşağıda verilen başarımlar parametreleri bağlı olarak hesaplanmıştır. Yüzde aşım %5 ve Yerleşme Zamanı 2 olmuştur.

Bu değerlere bağlı olarak SISOTOOL arayüzü ile belirlenen K_i , K_p ve K_d değerleri MATLAB®/Simulink® yardımı ile STM32F411VE kartına yüklenmiştir. Deney düzeneği çalıştırılmış ve MATLAB osilaskoptan sistem parametreleri gözlemlenmiştir. Sistemin zamana bağlı olarak ürettiği değerler Şekil 4.3'de verilmiştir. Burada kırmızı çizgi ile gösterilen referans gerilim bilgisi, yeşil çizgi ile gösterilen DC/DC kıyıcıdan alınan anlık gerilim bilgisi mavi çizgi ile gösterilen değer ise ARM mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyalidir.

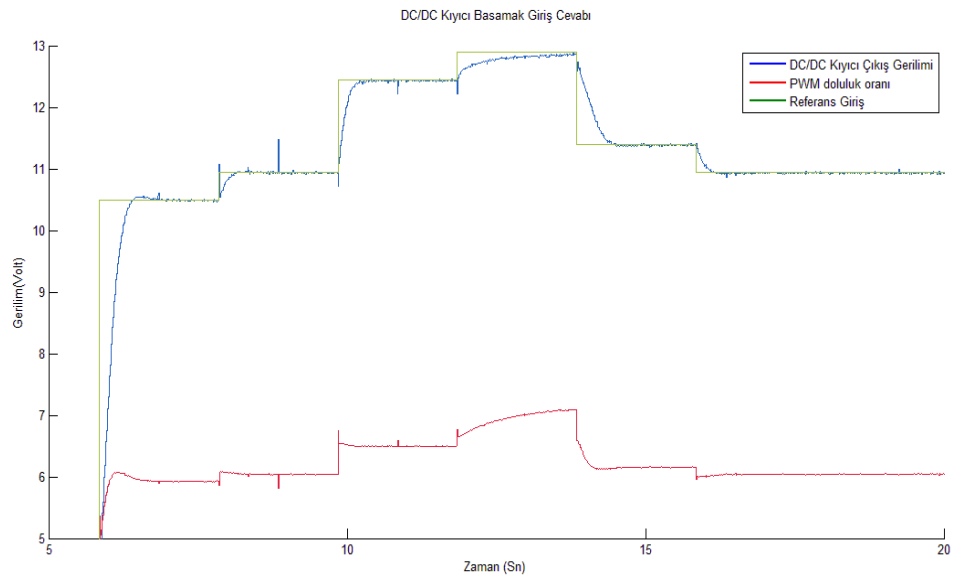
Deney düzeneğine enerji verilmesiyle birlikte referans değeri 12 V olarak belirlenmiştir. DC/DC kıyıcının referans sinyalini takip ederek 12 V gerilime düşürdüğü hızında çalıştığı görülmektedir. Sistemin referans gerilimi 4. sn. de

azaltılmış, 5. sn.'de düşürülmüştür. Buna bağlı olarak DC/DC kıyıcının gerilim değeri, hatasız bir şekilde referans sinyalini yakalamıştır.



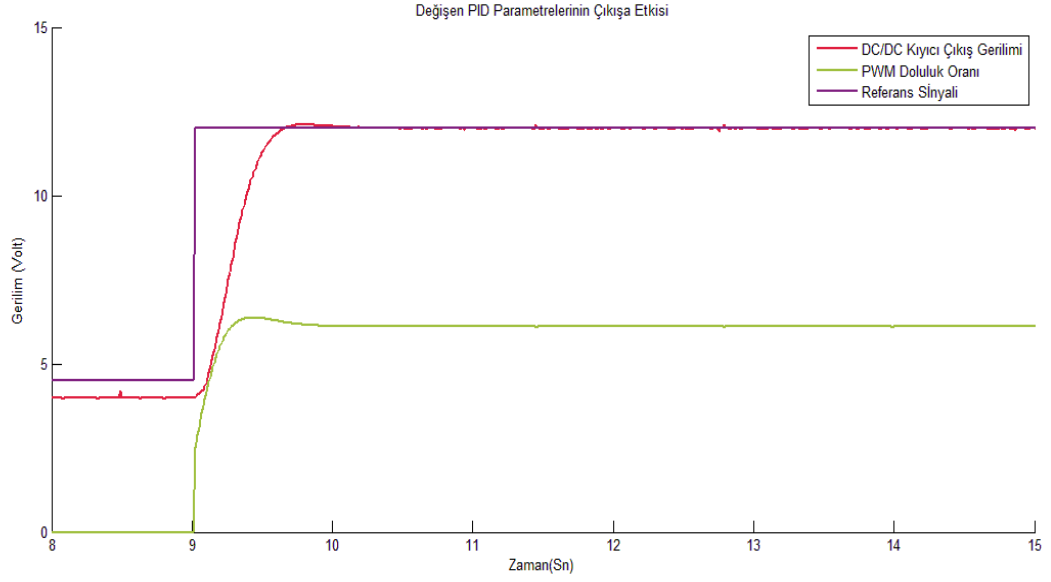
Şekil 4.3. DC/DC kıyıcının PID kontrolü

Sistemin değişen basamak giriş cevabı ise referans olarak Şekil 4.4'de verilen giriş uyulanmıştır. Belirlenen basamak giriş değişimine rağmen tasarlanan sistem istenen kriterlere uygun olarak referans sinyalini takip etmiştir.

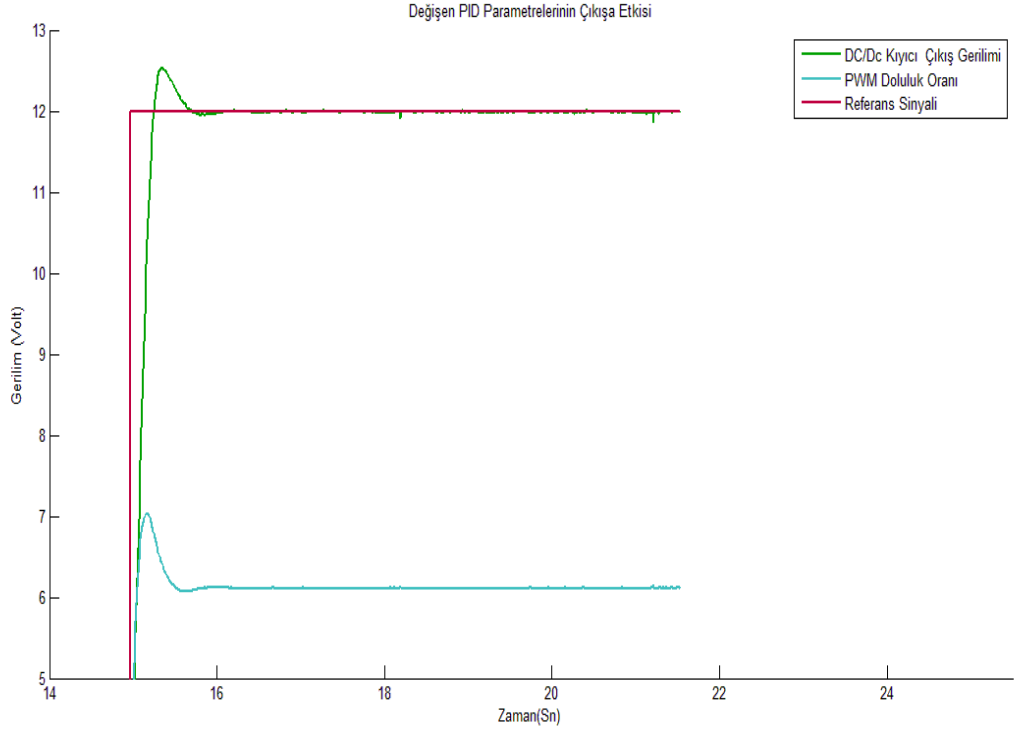


Şekil 4.4. Sistemin değişen basamak giriş cevabı

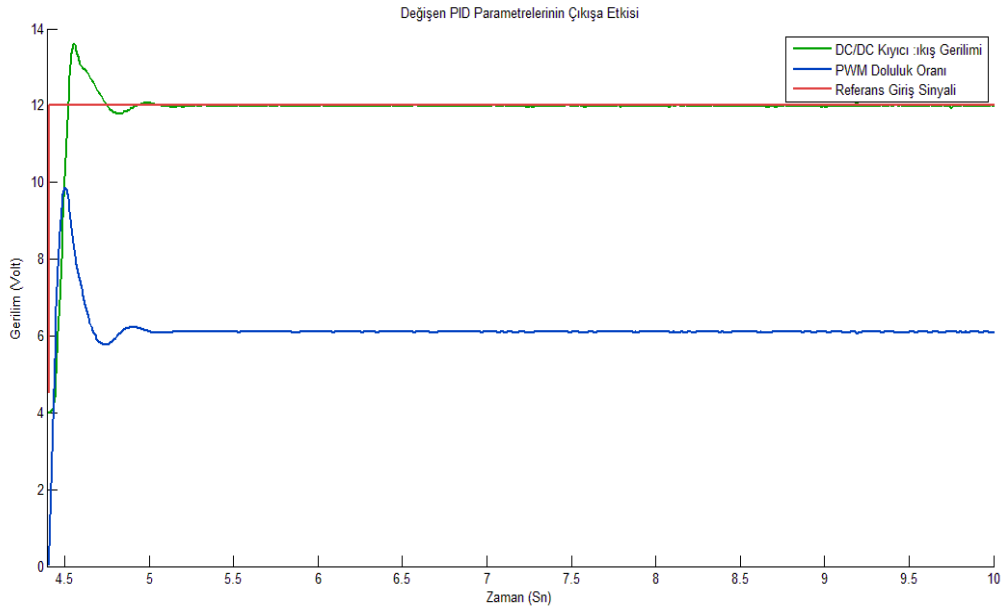
PID kontrolcünün değişen parametrelere karşı tepkisi ise 3 değişik parametre çıkışı olarak gözlemlenmiştir. Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’de değişen K_i katsayılarına bağlı olarak sistemin gerçek zaman çıkış eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.5. DC/DC kıyııcı PID kontrol $K_i = 55$



Şekil 4.6. DC/DC kıyıcı PID kontrol $K_i = 105$



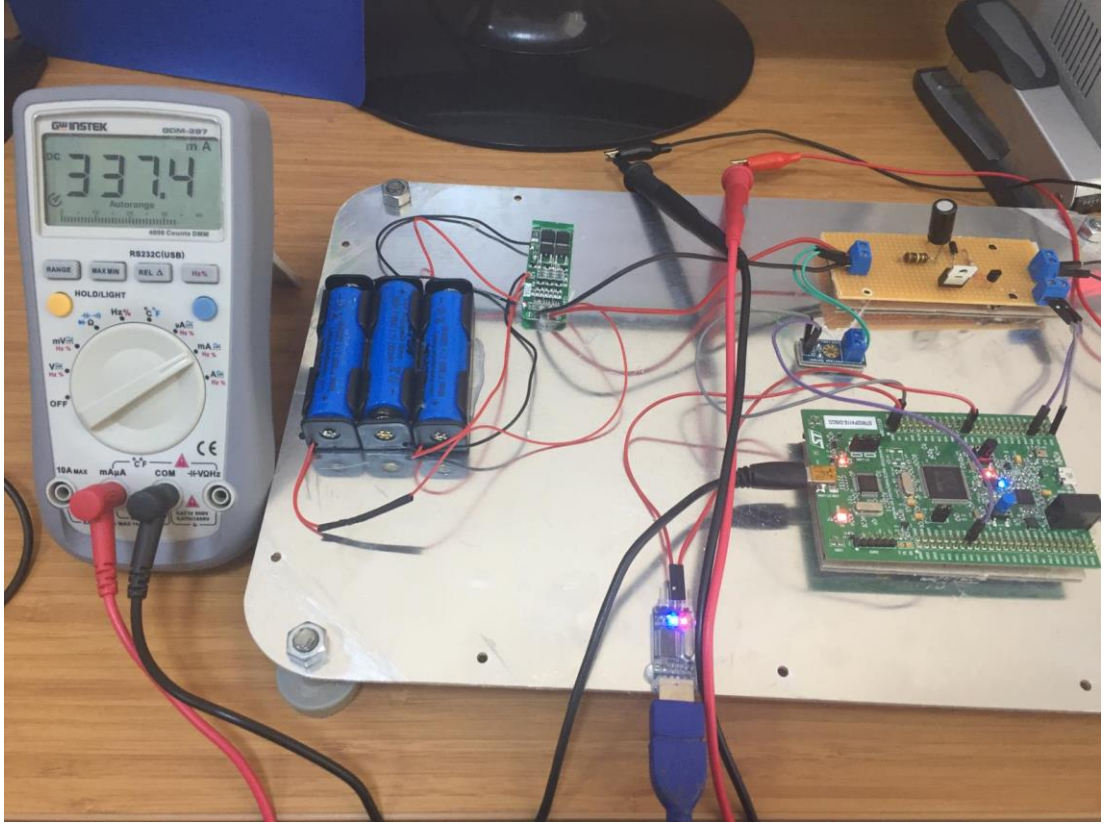
Şekil 4.7. DC/DC kıyıcı PID kontrol $K_i = 205$

Bu eğrilere bağlı olarak sistemin başarımları parametreleri ise Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablo 4.1 incelendiğinde K_i ’nin değişimi yerleşme zamanını azaltırken üst aşım değerlerini yükselttiği ve sistemin kalıcı hatasının sıfırlandığı görülmüştür.

Tablo 4.1. Başarımları parametrelerinin karşılaştırılması

Katsayılar	Tepe Zamanı(sn)	Yüzde Üst Aşım	Yerleşme Zamanı (sn)
$K_i = 55$ $K_p = 0,8$ $K_d = 0,00025$	0,8	%6	1,8
$K_i = 105$ $K_p = 0,8$ $K_d = 0,00025$	0,7	%9	1,6
$K_i = 205$ $K_p = 0,8$ $K_d = 0,00025$	0,5	%12	1,1

12 volt Çıkış gerilimi ile yükün çektiği akım ölçümü ise Şekil 4.8 de gösterilmiştir. 3 adet LI-ON pilin BMS şarj kiti üzerinden geçen akım 350 ma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Yük akımı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

DC/DC kıyıcılar endüstrinin birçok alanında özellikle DC gerilimin azaltılması ya da artırılması istenen birçok uygulamada kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi elektronik cihazlara ve araçlara duyulan ihtiyacı arttırırken bu cihazların düzgün ve kontrollü bir şekilde güç beslemesine ya da şarj ünitesine duyulan ihtiyacı da beraberinde getirmiştir. İhtiyaç duyulan bu geniş aralıklı gerilim ve sabit yük akımı DC/DC kıyıcıların tercih sebebidir. Kontrol yöntemlerinin gelişmesi ile birlikte sadece DC/DC dönüştürücü tasarlamak yerine uygun bir kontrol yöntemi ya da kontrolcü ile birlikte tasarım yapmak en doğru seçenektir. Tez çalışması kapsamında DC/DC kıyıcının kontrolü istenilen başarımlar parametrelerine göre tasarlanmıştır. Tasarlanan DC/DC kıyıcının PID kontrol yöntemi ile kontrol edilmesi ve kontrol yönteminin Mikro denetleyiciler arasında hız, yapı, donanım mimarisi ile önemli bir yere sahip olan ARM denetleyici ile birlikte kullanarak gerçekleştirilmiştir. ARM mikro denetleyicinin programlamasında MATLAB®/Simulink® arayüzü ve WAIJUNG eklentisinden faydalanılmıştır. MATLAB'ın kontrol alanında kullanıcılara sağlamış olduğu kolaylık ARM mikrodenetleyici ile birleştirilerek DC/DC kıyıcının kontrolü sağlanmıştır. DC/DC kıyıcının tasarımında pratik hesaplama metodu kullanılmıştır. Tablo 3.1'de verilen başarımlar parametreleri dikkate alınarak bölüm 3'te DC/DC kıyıcının pasif devre elemanlarının seçimi yapılmıştır. Tasarımı yapılan DC/DC kıyıcının transfer fonksiyonu çıkarılarak basamak cevabı, yerleşme yükselme süreleri ve kalıcı hatası gözlemlenerek istenen değerler ulaşması sağlanmıştır. Şekil 3.2'de sistemin cevabının kalıcı hatasının %50 civarında olduğu görülmüştür. Sisteme kontrolcü eklenerek alınan cevap ise Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Kalıcı hata giderilmiş ancak yerleşme süresi, üst aşım değerlerinin istenen değerlerden fazla olduğu görülerek kontrolcü parametreleri güncellenmiştir. Şekil 3.4'de gösterilen basamak cevap istene değerleri karşılamış ve devrenin uygulama aşamısına geçilmiştir. Şekil 3.1'de verilen uygulama devresi çalıştırılmış ve yük altında basamak cevabı Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Tasarım esnasında belirlenen başarımlar kriterlerinin gerçekleştiği görülmüştür. Değişen parametrelere karşılık sistemin cevabı ise Tablo 4.1'de verilmiştir.

Sonraki çalışma olarak gelişen teknoloji ile birlikte kendine daha çok kullanım alanı bulan, yüksek frekans hızlarında çalışabilen FPGA ile kontrol sağlanabilir. Bu

sayede değişen yük durumları ve bozucu etkilere karşı daha hızlı cevap verilmesi gerçekleştirilebilir. Ayrıca PID kontrol yönteminde kontrolcünün katsayıları kendinden uyarlamalı olarak ayarlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1]. Gidemen F., Gökçen M. PSO ile PID parametrelerinin optimizasyonunda uygunluk fonksiyonu seçiminin tekrarlama sayısına etkisi. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2016, 29 Eylül - 1 Ekim 2016, Eskişehir.80 s.
- [2]. Demetri, P. Athanasios, S. Alan A. Multilayered neural network controller. IEEE Control Systems Magazine, 1988, 8.2: 17-21.
- [3]. Adnan, M. F., Oninda, M. A. M., Nishat, M. M. Design and simulation of a DC-DC boost converter with PID controller for enhanced performance. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2017, 6(9), 27-32.
- [4]. Walker, G. R., Sernia, P. C. Cascaded DC-DC Converter Connection Of Photovoltaic Modules. IEEE Transactions On Power Electronics, (2004). 19(4), 1130-1139.
- [5]. Mehta, N. D., Haque, A. M. Design and Simulation of Luo Converter for DC Motor Control for an Electric Vehicle Applications. International Journal Of Applied Research In Science And Engineering ISSN. (ETEBMS – July 2017).
- [6]. Ling, R., Maksimovic, D., Leyva, R. Second-Order Sliding-Mode Controlled Synchronous Buck DC–DC converter. IEEE Transactions on Power Electronics, (2015). 31(3), 2539-2549.
- [7]. Banaei, M. R., Bonab, H. A. F. A novel structure for single-switch nonisolated transformerless buck–boost DC–DC converter. IEEE Transactions on Industrial Electronics, (2016). 64(1), 198-205.
- [8]. Kilani, D., Alhawari, M., Mohammad, B., Saleh, H., & Ismail, M. An Efficient Switched-Capacitor DC-DC Buck Converter For Self-Powered Wearable electronics. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, (2016). 63(10), 1557-1566.
- [9]. Aklimi, E., Piedra, D., Tien, K., Palacios, T., Shepard, K. L. Hybrid CMOS/GaN 40-MHz maximum 20-V input DC–DC multiphase buck converter. IEEE Journal of Solid-State Circuits, (2017). 52(6), 1618-1627.
- [10]. Lai, C. M., Cheng, Y. H., Hsieh, M. H., & Lin, Y. C. Development of a Bidirectional DC/DC Converter With Dual-Battery Energy Storage For Hybrid Electric Vehicle System. IEEE Transactions on Vehicular Technology, (2017) 67(2), 1036-1052.
- [11]. Zhang, Y., Gao, Y., Zhou, L., Sumner, M. A Switched-Capacitor Bidirectional DC–DC Converter With Wide Voltage Gain Range for Electric Vehicles With Hybrid Energy Sources. IEEE Transactions on Power Electronics, (2018) 33(11), 9459-9469.
- [12]. Shaikh, U. A., AlGhamdi, M. K., AlZaher, H. A. Novel product ANFIS-PID hybrid controller for buck converters. The Journal of Engineering, 2018 (8), 730-734.
- [13]. Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E. Elektrikli Araçlar. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze. (2003) 75-82.
- [14]. Kerem A. Review Paper Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5 (1): 1-13 (2014).
- [15]. “Teslatürk” erişim tarihi (17.05.2017) (<http://teslaturk.com/karistirilan-konseptler-hibrit-plug-hibrit-elektrikli-otomobil-hidrojen/>)
- [16]. Rashid, M. H. (Ed.). Power Electronics Handbook. Butterworth-Heinemann. 2017,426 s.

- [17]. Bodur, H. Güç elektroniği. Birsen Yayınevi. 2010 302 s.
- [18]. Foty, D. MOSFET modeling with SPICE: principles, and practice Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR. 1997. 154-212
- [19]. Kuo, Benjamin C. Automatic control systems. Prentice Hall PTR, 1987. 425 s.
- [20]. Muhammad, Zuraida, et al. Online tuning PID using fuzzy logic controller with self-tuning method. In: 2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology. IEEE, 2013. 94-98.
- [21]. Han, Jingqing. From PID to active disturbance rejection control. IEEE transactions on Industrial Electronics, 2009, 56.3: 900-906.
- [22]. "PID Kontrolcü" erişim tarihi (05.04.2018) . " <https://otomasyonadair.com>"
- [23]. "BMS kontrol devresi" erişim tarihi (07.05.2019)." <https://birikimpilleri.net>"



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Üzeyir KUZU
Doğum Yeri ve Yılı : Şuhut,1984
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : uzeyir.kuzu@cbu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Menemen Endüstri Meslek Lisesi, 2000
Lisans : Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 2005

Mesleki Deneyim

Celal Bayar Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Öğretim Görevlisi 2016-...

Yayınları

Uluslararası Makaleler

1. Aydın, İ., Gönenli, C., Diril, Z., Kuzu, Ü., Evaluation of success states of machine program students working in industry, Journal of Educational and Instructional Studies in the World, May 2017, Volume: 7 Issue: 2 ISSN: 2146-7463
2. Aydın, İ., Kuzu, Ü., Diril, Z., Gönenli, C., "Investigation of preferences from technology faculty mechatronics engineering students", Journal of Educational and Instructional Studies in the World, May 2017, Volume: 7 Issue: 2 ISSN: 2146-7463

Uluslararası Bildiriler

1. Aydın, İ., Gönenli, C., Diril, Z., Kuzu, Ü., Evaluation of success states of machine program students working in industry. 8th International Conference on New Trends in Education, 18-20 April 2017, Antalya, Turkey.
2. Aydın, İ., Kuzu, Ü., Gönenli, C., Diril, Z., The importance and evaluation of intern education in university, 8th International Conference on New Trends in Education, 18-20 April 2017, Antalya, Turkey.

3. Aydın, İ., Kuzu, Ü., Diril, Z., Gönenli, C., Teknoloji fakültesi mekatronik mühendisliği öğrencilerinin tercih nedenlerinin incelenmesi, 8th International Conference on New Trends in Education, 18-20 April 2017, Antalya, Turkey.
4. Çipiloğlu, A., Aydın, İ., Kuzu, Ü., Diril, Z., Meslek yüksekokulu makine bölümü öğrencilerinin başarılarında sosyal medyanın etkisi, 8th International Conference on New Trends in Educati, 18-20 April 2017., Antalya, Turkey.
5. Aydın, İ., Diril, Z., Kuzu, Ü., Mühendislik fakültesi öğrencilerinin girişimcilik etkinliklerinin değerlendirilmesi, 8th International Conference on New Trends in Educati, 18-20 April 2017., Antalya, Turkey.
6. Aydın, İ., Gönenli, C., Kuzu, Ü., Investigation of mechanical properties by finite elements method of hydroxyapatite coating of Ti6Al4V material surface using citric acid - sodium citrate buffer system, International Conference on Researches in Science & Technology, 9-10 June 2017, Rome-Italy.
7. Aydın, İ., Gönenli, C., Kuzu, Ü., The investigation of mechanical properties of hydroxyapatite coatingmaterials by using lactic acid-sodium lactate buffer system and Ti6Al4V material surface, International Science and Technology Conference, 17-19 July 2017, Berlin-Germany.
8. Kuzu, Ü., Aydın, İ., Gönenli, C., elektrik motorlarında dalgacık dönüşümü ve bulanık mantık kullanarak arıza analizi yapılması, International Science and Technology Conference, 17-19 July 2017, Berlin, Germany.
9. Çipiloğlu, A., Kuzu, Ü., Aydın, İ., Diril, Z., Metal malzemelerin doğal frekansının sıcaklığa bağlı olarak değişiminin incelenmesi, International Science and Technology Conference, 17-19 July.2017, Berlin, Germany.
10. Aydın, İ., Diril, Z., Kuzu, Ü., Üniversitelerde sektör uygulamaları eğitiminin önemi ve değerlendirilmesi, International Science and Technology Conference, 17-19 July.2017, Berlin, Germany.