

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



**LİTYUM – İYON BATARYANIN BULANIK PID KONTROLÖR
TABANLI ŞARJ KONTROLÜ**

Gülsüm KURT

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Bilim Dalı

MAYIS 2023

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

LİTYUM – İYON BATARYANIN BULANIK PID KONTROLÖR TABANLI ŞARJ KONTROLÜ

Tez Yazarı
Gülsüm KURT

Danışman
Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ

MAYIS 2023
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Lityum – İyon Bataryanın Bulanık PID Kontrolör Tabanlı Şarj Kontrolü
Yazarı:	Gülsüm KURT
İlk Teslim Tarihi:	23.01.2023
Savunma Tarihi:	08.05.2023

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
-----------	---	--------------------------

Başkan:	Prof. Dr. Sami EKİCİ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
---------	---	-----------

Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
------	---	-----------

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Lityum – İyon Bataryanın Bulanık PID Kontrolör Tabanlı Şarj Kontrolü ” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

08.05.2023

Gölsüm KURT



ÖNSÖZ

Akademik ve mesleki katkılarıyla uzmanlık sürecimde her zaman elinden geldiğince yanımda olan değerli vaktini bana ayıran, yaşadığım zorluklarda mesafeleri önemsiz kılarak desteğini her zaman hissettiğim, insanı ve kendimi anlama yolumda bana rehberlik eden hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ 'ye, lisans ve yüksek lisans sürecimde pozitif bakış açısını örnek aldığım, zorlandığım zamanlarda yoğun çalışma temposunda bana vakit ayırarak engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Sayın Prof. Dr. Hikmet ESEN 'e, tez çalışmamda değerli katkılarını esirgemeyen Arş Gör. Dr. Fatih Ünal'a ve üzerimde sonsuz emeği ve fedakarlıkları bulunan, her zaman her zorlukta bir kolaylık olduğunu kulağıma fısıldayan Aile'me,

Sonsuz TEŞEKKÜRLER...

Gülsüm KURT
ELAZIĞ, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. BATARYALAR.....	7
3.1. Bataryaların Çalışma Prensibi	8
3.1.1. Kurşun Asit Bataryalar	9
3.1.2. Nikel Kadmiyum Bataryalar	10
3.1.3. Nikel Metal Hidrat Bataryalar	11
3.1.4. Lityum Polimer Bataryalar	11
3.1.5. Lityum İyon Bataryalar	12
3.2. Lityum İyon Bataryaların Çalışma Prensibi	13
4. BATARYA ŞARJ CİHAZLARI.....	15
2.1 Ferrozonas Şarj Cihazı	15
2.2 Silikon Kontrollü Doğrultucu Şarj Cihazları	15
2.3 Anahtarlama Şarj Cihazları	16
5. BATARYA ŞARJ KONTROL YÖNTEMLERİ	17
5.1. Sabit Akım Şarj Yöntemi	17
5.2. Sabit Gerilim Şarj Yöntemi	17
5.3. Sabit Akım Sabit Gerilim Şarj Yöntemi	18
6. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	19
6.1. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü	20
6.1.1. Sürekli Akım Modu.....	24
6.2. Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü	25
6.2.1. İdeal Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü	25
6.2.2. Sürekli Akım Modu.....	26
6.2.3. Süreksiz Akım Modu	27
6.3. Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü	28
6.3.1. Sürekli Akım Modu.....	29
6.4. Çok Bölgeli DC-DC Dönüştürücüler.....	31
6.5. İki Bölgede Çalışan Dönüştürücüler.....	34
6.6. Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücü	34
7. BULANIK MANTIK SİSTEMLER.....	41
7.1. Bulanık Denetleyici Yapısı.....	44
7.1.1. Ön İşleme	44
7.2. Bulanıklaştırma.....	44
7.3. Bulanık Kural Tabanı	44

7.4. Çıkarım Mekanizması.....	45
8. BENZETİM SONUÇLARI.....	46
9. SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Lityum – İyon Bataryanın Bulanık PID Kontrolör Tabanlı Şarj Kontrolü

Gülsüm KURT

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2023, Sayfa: xiii + 65

Bu çalışmada, bir DC gerilim kaynağı ve lityum iyon bataryadan oluşan melez güç sisteminin DC bara gerilimi bulanık mantık oransal + integral denetleyici (FL-PI) tabanlı kaskat kontrol şeması kullanılarak kontrol edilmiştir. Melez güç sisteminin benzetim modeli Matlab/Simulink'te oluşturulmuştur. Oluşturulan model bir DC gerilim kaynağı, lityum-iyon batarya, çift yönlü DC-DC dönüştürücü, DC gerilim kontrolü, batarya şarj/deşarj akım kontrolü ve anahtarlama darbelerinin üretiminden oluşmaktadır. Lityum-iyon batarya, çift yönlü DC-DC dönüştürücü aracılığıyla ortak DC hatta bağlanmıştır. Ayrıca çift yönlü DC-DC dönüştürücü FL-PI tabanlı kaskat kontrol şeması ile kontrol edilmekte ve bu dönüştürücü DC bara geriliminin istenilen değerde kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu kontrol döngüsü, akım referansı üretimi yoluyla DC hat gerilim kontrolü için bir dış kontrol döngüsüne ve batarya akımının kontrolü için bir iç akım döngüsüne sahiptir. Bu şema, geçici yanıt, kontrol döngüsünün kararlılığı açısından üstün performansa sahiptir. Önerilen kontrol yönteminin dinamik performansı, iki çalışma durumu için benzetim çalışmaları yardımı ile değerlendirilmiştir. İlk çalışma durumunda, DC gerilim kaynağı benzetim çalışmasının başlangıcında devrededir ve 3. sn'de DC gerilim kaynak devreden çıkarılmıştır. İkinci durumda ise DC gerilim kaynağı benzetim çalışmasının başlangıcında devreye alınmamış ve 3. sn'de DC gerilim kaynağı devreye alınmıştır. DC gerilim kaynağının devrede olduğu durumda kaynak hem yükün talep ettiği gücü sağlayıp hem de bataryayı şarj ederken tersi durumda ise yükün talep ettiği güç bataryadan sağlanmış ve bataryadeşarj olmuştur. Her iki çalışma durumu için yük gerilimi, batarya gerilimi, batarya akımı ve batarya şarj durumunu (SOC) gösteren benzetim sonuçları verilmiştir. Önerilen yöntemin üstünlüğünü göstermek için geleneksel PI kontrolörden elde edilen benzetim sonuçları da verilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarından, her iki çalışma durumunun geçici durumlarında FL-PI kontrolör geleneksel PI kontrolöre göre daha üstün olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lityum-İyon Batarya, DC Gerilim Kaynağı, FL-PI Kontrolör, PI Kontrolör, Çift Yönlü DC-DC Dönüştürücü.

ABSTRACT

Fuzzy PID Controller Based Charge Control of Lithium-Ion Battery

Gülsüm KURT

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering

May 2023, Pages: xiii + 65

In this study, the DC bus voltage of the hybrid power system consisting of a DC voltage source and a lithium-ion battery is controlled using a fuzzy logic proportional + integral controller (FL-PI) based cascade control scheme. The simulation model of the hybrid power system was built in Matlab/Simulink. The model created consists of a DC voltage source, lithium ion battery, bidirectional DC-DC converter, DC voltage control, battery charge/discharge current control and generation of switching pulses. The lithium-ion battery is connected to the common DC line via a bidirectional DC-DC converter. In addition, bidirectional DC-DC converter is controlled with FL-PI based cascade control scheme and this converter enables DC bus voltage to be controlled at the desired value. This control loop has an external control loop for DC line voltage control via current reference generation and an internal current loop for controlling battery current. This scheme has superior performance in terms of transient response, stability of control loop. The dynamic performance of the proposed control method was evaluated by means of simulation studies for two cases. In the first case, DC voltage source is activated at the start of the simulation operation and DC voltage source is deactivated in the 3rd second. In the second case, the DC voltage source was not activated at the beginning of the simulation study and the DC voltage source was activated in the 3rd second. In the case of DC voltage source, the source provides the power demanded by the load and charges the battery, while in the opposite case, the power demanded by the load is supplied from the battery and the battery is discharged. Simulation results showing the load voltage, battery voltage, battery current and battery state of charge (SOC) are given for each case. The simulation results obtained from the conventional PI controller are also given to show the superiority of the proposed method. From the obtained simulation results, it is seen that the FL-PI controller is superior to the conventional PI controller in the transients of both operating conditions.

Keywords: Lithium-Ion Battery, DC Voltage Source, FL-PI Controller, PI Controller, Bidirectional DC-DC Converter.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Batarya Enerji Depolamalı Şebekeden Bağımsız Melez Bir Güç Sistemi	2
Şekil 3.1. Bataryanın Hücre Yapısı	8
Şekil 3.2. Kurşun Asit Batarya İç Yapısı.....	9
Şekil 3.3. Nikel Kadmiyum Batarya İç Yapısı	10
Şekil 3.4. Lityum Polimer Bataryanın İç Yapısı	12
Şekil 3.5. Lityum İyon Bataryanın İç Yapısının Görüntüsü	13
Şekil 3.6. Bir Lityum İyon Bataryanın Bileşenleri ve Şarj Deşarj Döngüsü	14
Şekil 4.1. Ferreazonanlı Şarj Cihazının Yapısı.....	15
Şekil 4.2. Silikon Kontrollü Doğrultuculu Şarj Cihazı.....	16
Şekil 4.3. Anahtarlama Şarj Cihazının Şematik Gösterimi	16
Şekil 6.1. Temel DC-DC Dönüştürücü Devresi	19
Şekil 6.2. DC-DC Dönüştürücünün Çıkış Geriliminin Dalga Şekli	20
Şekil 6.3. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi.....	21
Şekil 6.4. Düşüren Dönüştürücü Çıkış Geriliminin Dalga Şekli	21
Şekil 6.5. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devre Yapısı	22
Şekil 6.6. Yük Akımının Artması ve Azalması	22
Şekil 6.7. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi.....	23
Şekil 6.8. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücünün Sürekli Akım Durumu İçin Endüktans Gerilimi ve Akımının Değişimi	23
Şekil 6.9. Sürekli ve Süreksiz Akım Modu Arasındaki Sınır Durumu	25
Şekil 6.10. İdeal Yükselten tip DC-DC Dönüştürücü Devresi	26
Şekil 6.11. a) Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresinde Kontrollü Anahtarın Kapalı Durumu İçin Eşdeğer Devre b) Anahtarın Açık Durumu İçin Eşdeğer Devre	26
Şekil 6.12. Sürekli Akım Modunda Endüktans Gerilimi ve Akımı	27
Şekil 6.13. Sürekli ve Süreksiz Akım Modu Arasındaki Sınır Durumu	28
Şekil 6.14. Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi	29
Şekil 6.15. Düşüren-Yükselten Dönüştürücü Devresindeki Dalga Şekilleri	29
Şekil 6.16. Düşüren-Yükselten Dönüştürücüde Anahtarın Kapalı Olduğu Durum İçin Eşdeğer Devre	30
Şekil 6.17. Düşüren-Yükselten Dönüştürücüde Anahtarın Açık Olduğu Durum İçin Eşdeğer Devre	30
Şekil 6.18. Dört Bölgede Çalışan Dönüştürücünün Çalışma Bölgeleri	32
Şekil 6.19. İkinci Bölgede Çalışan DC-DC Dönüştürücü Devresi	32
Şekil 6.20. İkinci Bölgede Çalışan DC-DC Dönüştürücünün Akım ve Gerilim Dalga Şekli	33

Şekil 6.21. Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücü Yapısı.....	35
Şekil 6.22. S1 Anahtarının İletim Durumu için Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi.....	35
Şekil 6.23. D Diyotunun İletim Durumu için Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi.....	36
Şekil 6.24. S1 Anahtarının ve D1 Diyotunun İletim Durumlarında S1 Anahtarının Kapı Sinyali ve Yük...	36
Şekil 6.25. S1 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Negatif Olması Durumunda Eşdeğer Devre.....	37
Şekil 6.26. S1 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Pozitif Olması Durumunda Eşdeğer Devre	37
Şekil 6.27. S2 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Pozitif Olması Durumunda Eşdeğer Devre	37
Şekil 6.28. S2 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Negatif Olması Durumunda Eşdeğer Devre.....	38
Şekil 6.29. İkinci Çalışma Durumunda S1 ve S2 Anahtarlarına Ait Kapı Sinyalleri ve Yük Akımına Ait Dalga Şekilleri	38
Şekil 6.30. Üçüncü Çalışma Durumunda Ait S1 ve S2 Anahtarlarına ait Kapı Sinyallerinin ve Yük Akımının Dalga Şekilleri	39
Şekil 6.31. Dördüncü Çalışma Durumunda Ait S2 Anahtarına Ait Kapı Sinyali ve Yük Akımının Dalga Şekli	39
Şekil 7.1. Bulanık Kontrolör ile Yapılan Doğrudan Kontrol Şeması	42
Şekil 7.2. İleri Besleme Kontrol	42
Şekil 7.3. Bulanık Parametre Uyarlamalı Kontrol.....	43
Şekil 7.4. Bulanık Bir Kontrolörün Yapısı	44
Şekil 7.5. Bulanık Bir PD Denetleyicide Kontrol Sinyalinin Grafik Yapısı.....	45
Şekil 8.1. Matlab/Simulink'te Oluşturulan Benzetim Modeli	46
Şekil 8.2. Gerilim Kontrolörünün Alt Bloğu	47
Şekil 8.3. Akım Kontrolörünün Alt Bloğu	47
Şekil 8.4. Matlab/Simulink'te oluşturulan FL-PI kontrolör	47
Şekil 8.5. FL-PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu	49
Şekil 8.6. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu	50
Şekil 8.7. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu	51
Şekil 8.8. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu	51
Şekil 8.9. Geleneksel PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu	52
Şekil 8.10. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu	53
Şekil 8.11. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu...	54
Şekil 8.12. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu	54
Şekil 8.13. FL-PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu	55

Şekil 8.14. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu.....	56
Şekil 8.15. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu	57
Şekil 8.16. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu.....	58
Şekil 8.17. Geleneksel PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu ..	59
Şekil 8.18. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu	60
Şekil 8.19. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu...	61
Şekil 8.20. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu	61



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 8.1. Benzetim Çalışmasında Kullanılan Parametreler.	48
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

T_s	: Anahtarlama periyodu
V_L	: Endüktans gerilimi
V_i	:Giriş gerilimi
V_o	: Çıkış gerilimi
V_{o-ort}	: Çıkış geriliminin ortalama değeri
i_L	: Endüktans akımı
t_{off}	: Anahtarın kesimde kaldığı süre
t_{on}	: Anahtarın iletimde kaldığı süresi
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrad derece
C	: Kondansatör
D	: Diyot
D	: Diyot
d:	: Görev oranı
E	: Hata
L	: Endüktans
R	: Direnç
S	: Kontrollü anahtar
Δe	: Hatanın Değişimi,
NiCd	: Nikel Kadmiyum

Kısaltmalar

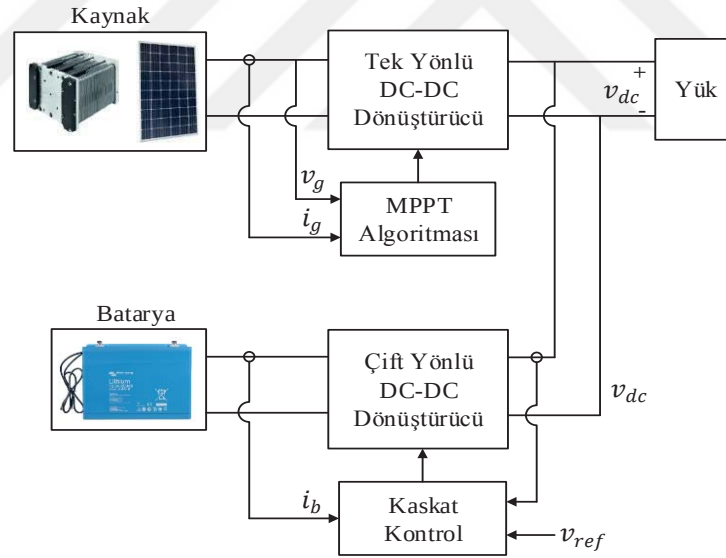
AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternatif Akım
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi
DC	: Doğrusal Akım
EDC	: Enerji Depolama Cihazı
FL-PI	: Bulanık mantıksal+Oransal Kontrolör
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
PID	: Oransal + İntegral + Türev
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe Genişlik Modülsayonu
SCR	: Silikon Kontrollü Doğrultucu
SOC	: Şarj Durumu
SOH	: Sağlık Durumu

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların çevreye verdiği büyük zararlar ve fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalması, neredeyse kullanıldıkları her alanda bu yakıtlardan uzaklaşma eğilimini ortaya çıkarmış aynı zamanda kullanımı ucuz, temiz ve daha kolay olan alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmıştır. Günümüzde, birçok alanda yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilip elde edilen enerji kullanılmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilip kullanılan enerji sayesinde her geçen gün artış gösteren enerji ihtiyacına alternatif çözüm bulunmuş ve bu kaynakların kullanımının yaygınlaşmasıyla yeşil çevreye katkı sağlamak temel amaç haline gelmiştir [1]. Enerji ihtiyacındaki artışa karşılık fosil yakıt rezervleri azalış göstermektedir. Yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji sistemlerinin geliştirilmesine yönelik talepleri dönüştürmek için fosil yakıtlara alternatif bir enerji kaynağı bulmak önemlidir [2]. Gelişen teknolojiyle birlikte taşınabilir elektronik cihazların kullanımı da yaygınlaşmıştır. Bu teknolojik cihazların kullanımının yaygınlaşmasıyla bataryalara olan ihtiyaç artmış, batarya teknolojileri büyük önem kazanmış ve bataryalardan yüksek verim ve performans almak gün geçtikçe daha da önemli bir konu gelmiştir. Bataryalar sadece taşınabilir elektronik cihazlar için değil, elektrikli araçlar içinde temel enerji kaynağıdır ve büyük bir önem arz etmektedir. Elektrikli araçlarda ve taşınabilir elektrikli cihazlarda kullanılan bataryalarda, güç yoğunluğunun ve enerji yoğunluğunun yüksek olması istenmesinin temel sebebi bu tür uygulamalarda kullanılan bataryalar doğrudan aracın performansını etkilemektedir. Bataryanın güç yoğunluğunun yüksek olması aracın ani hızlanması bakımından, enerji yoğunluğunun yüksek olması ise aracın birim zamanda aldığı yolun artması bakımından önemlidir [3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının veya sınırlı herhangi bir geri çevrilemez kaynağın kullanımı, generatör ve yük profillerine bağlı olarak enerjiyi depolamak ve serbest bırakmak için ek bir Enerji Depolama Cihazının (EDC) kullanılmasını gerektirir: örneğin, yavaş kaynaklar (yakıt hücreleri) hızlı yük geçişlerini desteklemek için veya öngörülemeyen kaynaklar (fotovoltaik), düşük ışınım koşullarında veya geceleyin bağımsız yükleri desteklemek için EDC kullanılmasını gerektirir. Günümüz batarya teknolojisinde, yüksek enerji yoğunluğuna, düşük hacme, kolay şarj edilebilirliğe, yüksek çalışma sıcaklığına ve yüksek şarj/deşarj döngüsüne sahip olması açısından lityum iyon bataryalar uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedirler. Bu bataryalar tekrar şarj edilebilen pil hücreler topluluğu olarak bilinir. Lityum iyon bataryalar yüksek hızda şarj edilebilirler. Ayrıca bu bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna ve yüksek çevrim kapasitesine sahip ve bakım maliyetleri düşüktür. Lityum iyon bataryalar -20°C ile 60°C arasında çalışma sıcaklığına sahiptirler ve kapalı bir yapıya sahip olması nedeniyle bakım gerektirmez. Bu bataryaların diğer bataryalara göre en önemli avantajı yüksek çevrim ömrü- enerji yoğunluğuna sahip olmaları ve yüksek hızda şarj/deşarj olabilmeleridir. Su ile ani tepkimeye girmeleri ve hiç kullanılmasa bile

yaşlanma etkileri göstermesi ise bu bataryaların dezavantajlarıdır. Lityum tabanlı bataryaların bu tür olumsuzlukları olsa da üstün özelliklerinden ötürü uygulamalarda en çok tercih edilen bataryalardır. Bataryalarda şarj işlemi deşarj olayının tam tersidir. Fotovoltaik ile bataryaya akım akışı sağlanarak bataryanın kimyasal tepkimeye girmesi sağlanır ve batarya şarj edilir. Batarya şarj cihazı bir kaynaktan elektrik enerjisini alarak batarya için gerekli olan enerjiyi sağlar. Bataryaların şarj ve deşarj durumlarında farklı karakteristikler sergilemesi gibi problemler yaşanabilir. Bu problemler, uygun şekilde tasarlanan bir şarj cihazı (güç elektroniği devresi) kullanılarak çözülebilir. Güç elektroniği devrelerinin kontrolünde kullanılan yöntem bataryanın şarj/deşarj döngüsünü etkilemektedir. Bataryaların şarj veya deşarj olması bataryanın tasarımı, bataryanın şarj durumu, bataryanın sıcaklığı, bataryanın çevrim geçmişi ve bataryanın kullanımı gibi birçok etkene bağlıdır. Bu çoklu etkenler bataryanın şarj durumunun belirlenmesinde kullanılmakla beraber şarj yöntemlerinin karmaşıklaşmasına sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ve EDC'ye dayalı hibrit bir güç sistemi Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Bu sistem, elektrikli araçlar, sulama sistemleri, ısıtma sistemler, enerji besleme sistemleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4].



Şekil 1.1. Batarya Enerji Depolamalı Şebekeden Bağımsız Melez Bir Güç Sistemi [4]

Melez bir güç sistemi, bir şarj/deşarj güç dönüştürücüsü ile EDC'yi DC hatta bağlar. Böyle bir şarj/deşarj cihazı, EDC ile DC bara arasındaki güç alışverişini kontrol eder ve aynı zamanda DC bara gerilimini düzenler. Bu topolojinin başlıca avantajları;

- a) PV (fotovoltaik) tarafından üretilen fazla enerjiyi depolayabilme,
- b) İhtiyaç duyulduğunda depolanan enerjiyi geri verebilme,

c) Kaynağın çalışmasının optimize edilmesini sağlayan yenilenebilir kaynak ile diğer unsurlar arasındaki empedansı ayarlayabilmesi şeklinde sıralanabilir [4].

Bu tür sistemlerde, ana zorluklardan biri, EDC ile ilişkili çift yönlü güç dönüştürücüsünü (şarj/deşarj cihazı) uygun şekilde denetlemektir: denetleyici, sıfır güçte bile minimum bozucularla hem pozitif hem de negatif güç akışlarıyla çalışmalıdır; doğrusal sistem modeli hem pozitif hem de negatif akım için değişir, diğer sorunların yanı sıra DC hat gerilimi her iki durumda da uygun şekilde kontrol edilmelidir. Doğrusal denetleyiciler (oransal + integral + türev denetleyici (PID), ileri-geri) bu tür bozulmaları azaltmak için tasarlanabilir. Bununla birlikte, bu tür denetleyicilerle ilgili temel sorunlar, kapalı döngü bant genişliğinin azaltılması ve tüm çalışma koşullarında aynı performansı ve hatta kararlılığı sağlamayı imkânsız kılan doğrusallaştırılmış bir sistem modeli kullanma gereksinimidir [4].



2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde melez güç sistemi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. [4] nolu çalışmada, güvenli çalışma için dayanıklı bara gerilim regülasyonu sağlamak üzere şarj /deşarj DC-DC dönüştürücü için kayan modlu bir kontrolör önerilmiştir. Bu çalışmada, kontrolör tepkisini hızlandırmak için bara akımı kayan yüzeye dahil edilmiştir. Önerilen yöntem benzetim ve deneysel çalışma ile doğrulanmıştır. [5] nolu çalışmada, güvenli çalışma için dayanıklı bara gerilim regülasyonu sağlamak için iyileştirilmiş bozulma reddine sahip bir şarj cihazı/deşarj cihazının kayan modlu denetleyici önerilmiştir. Önerilen yöntemde, kontrolör tepkisini hızlandıran bara akımının kayan yüzeye dahil edilmiştir. Ayrıca, sistemin genel kararlılığı sağlanmış ve denetleyici ve uygulama parametrelerinin hesabı ayrıntılı olarak verilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliği simülasyon ve deneysel çalışma ile doğrulanmıştır. [6] nolu çalışmada, kurşun-asit bataryalar için PV tabanlı şarj cihazının tasarımı ve uygulaması sunulmuştur. Bataryayı şarj etmek için, bir PV panelinden beslenen senkron bir düşürücü DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır. Maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritması, PV panelinden maksimum gücü elde etmek için kullanılmış ve DC-DC dönüştürücü aracılığıyla batarya şarj edilmiştir. Batarya hem tampon şarj modunda hem de toplu şarj modunda şarj edilmiştir. [7] nolu çalışmada, MPPT ve batarya şarj kontrolü entegre edilerek Lityum iyon bataryalar için bir PV şarj sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. PV panelden maksimum güç elde etmek için Değişken Adım Boyutu Artımlı İletkenlik MPPT algoritması kullanılmış ve bu yöntem ile DC-DC yükselten dönüştürücü kontrol edilmiştir. Lityum iyon bataryayı şarj etmek için sabit gerilim yöntemi kullanılmıştır. Oransal + integral (PI) kontrolörün parametrelerinin en uygun değerleri genetik algoritma ile elde edilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliği benzetim çalışması ile gösterilmiştir. [8] nolu çalışmada, yeni bir MPPT algoritması, kurşun asit bataryanın sabit akım, sabit gerilim ve değişken şarj gibi farklı şarj aşamalarıyla şarj etmek için batarya şarj döngüsüyle MPPT yöntemleri beraber kullanılmıştır. Bu amaçla panel gerilimi, panel akımı, batarya gerilimi ve batarya akımı ölçülmüştür. Artan iletkenlik MPPT algoritması ve batarya şarj döngüsü performansının benzetim ve deneysel sonuçları, MPPT algoritması kullanılarak şarj işleminin daha hızlı olacağını göstermiştir. Önerilen batarya şarj yöntemi, diğer yöntemle karşılaştırıldığında güç aktarımının verimliliğini artırdığını ve tam şarj durumunda hızlı ve güvenli şarj süreci sağlamıştır. [9] nolu çalışmada, MATLAB/Simulink ortamında bağımsız sistem için PV kullanılan bir sistemde kurşun-asit batarya şarj kontrolörünün modellenmesi yapılmıştır. Şarj kontrolörü uygulaması için düşürücü DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır. PV panelden maksimum gücü elde etmek için değiştir-gözle MPPT algoritması kullanılmıştır. Bataryanın şarjı, üç aşamalı olacak şekilde tasarlanmıştır. Üç aşamalı şarj, MPPT toplu şarj, sabit gerilimde şarj ve değişken şarj aşamalarından oluşmaktadır. Önerilen yöntemin dinamik performansı, MPPT izleme performansı, batarya şarj performansı ve genel şarj kontrol

cihazının verimliliği açısından incelenmiştir. [10] nolu çalışmada, izoleli PV sistemlerde kurşun asit bataryaların şarjında kullanılan bir DC-DC düşüren bir dönüştürücü için bir sayısal kontrol stratejisinin tasarımı sunulmuştur. Önerilen kontrol stratejisi, bir sayısal işaret işlemcisinde (DSP) uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Kontrol algoritması, artan iletkenlik MPPT algoritması ve üç aşamalı şarj yönteminin kombinasyonuna göre batarya akımını hassas şekilde kontrol edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada, dönüştürücünün modellemesi, denetleyicinin tasarımı ve kullanılan MPPT yöntemi ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları önerilen kontrol sisteminin tatmin edici dinamik performansa sahip olduğunu göstermiştir. [11] nolu çalışmada, bir DC-DC yükselten dönüştürücü iki farklı kontrol stratejisiyle kontrol edilmiştir. İlk olarak, artan iletkenlik MPPT yöntemi ile PV panelden maksimum güç elde edilmiş ve PI kontrolör ile batarya aşırı yüklenmeden korunmuştur. Önerilen kontrol yaklaşımının performansı oluşturulan benzetim modeli ile test edilmiş ve elde edilen benzetim sonuçları sunulmuştur. [12] nolu çalışmada, PV tabanlı bir batarya enerji depolama sistemi için yeni bir enerji yönetim algoritması önerilmiştir. PV enerji yönetim sistemi ayrıca akıllı kontrol algoritması tabanlı bir MPPT algoritması ile birleştirilmiştir. Bu çalışmada sunulan kontrol yönteminde, yükselten-düşüren DC-DC dönüştürücünün görev oranını ayarlayarak sistemin dönüştürme verimliliğini maksimum yapmayı amaçlamıştır. Maksimum çıkış gücünü elde etmek için kullanılan uyarlanabilir bir sinirsel bulanık çıkarım sistemi en küçük kareler yöntemi ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) teknikleri ile eğitilmiştir. Batarya yönetim şeması, bataryanın şarj/deşarj akımını kontrol edecek şekilde tasarlanmıştır. Yüke doğru güç akışını düzenlemek için üç farklı şarj modu kullanılmıştır. Önerilen sistemin performansı, MATLAB/Simulink'te oluşturulan benzetim modelinin farklı çalışma koşullarında çalıştırılması ile değerlendirilmiştir. [13] nolu çalışmada, bir PV batarya sisteminde etkili bir enerji yönetimi için kesirli dereceli bir PI denetleyici tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem, farklı çalışma şartları altında yükün talep ettiği güç gereksinimini karşılamayı amaçlamaktadır. Kontrolörün ayarlanabilir parametrelerini ayarlamak için parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi kullanılmıştır. Ek olarak, bataryanın şarj vedeşarj işlemi, sırasıyla düşüren DC-DC dönüştürücü ve yükselten DC-DC dönüştürücü ile kontrol edilmiştir. Bu şekilde tasarlanan çift döngü kontrol şemasının kullanılması ile şarj vedeşarj akımının tam olarak kontrolü sağlanmıştır. Önerilen kontrol yönteminin performansı, MATLAB'ta oluşturulan benzetim modeli kullanılarak kapsamlı bir şekilde test edilmiştir.[14] nolu çalışmada, PV bir sistemde bataryaların şarj/deşarjı için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem, bir güneş paneli için MPPT algoritmaları bir şarj/deşarj yöntemi tabanlıdır. Bu yaklaşımda, bataryaların kendi uygun şartlarına göre şarj/deşarj edilmesini sağlar ve böylece bataryanın ömrünün uzatılması amaçlanır. Ek olarak, MPPT algoritmasının kullanılması bir güneş panelinden gelen enerjinin tam olarak kullanılmasını sağlar. Önerilen yöntemin geçerliliği oluşturulan deneysel kurulum ile doğrulanmıştır. Melez güç sisteminin doğrusal olmayan yapısından dolayı bulanık mantık

kontrolörler güvenli bir yük çalışması için zorunlu olan herhangi bir çalışma koşulunda kararlılığı sağlamak için bir alternatif olarak kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında, batarya enerji depolama sistemli hibrit bir güç sisteminin DC hat geriliminin denetimi Bulanık Mantık oransal + integral (FL-PI) kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kontrol algoritması kaskat yapıdadır. Bu kontrol yapısında, akım referansı dış gerilim kontrol döngüsünden ve batarya akımının kontrolünü sağlayan bir iç denetim döngüsünden oluşur. Gerilim ve akım kontrol döngüsünde Mamdani tip FL-PI kontrolör kullanılmıştır. Akım ve gerilim kontrol döngüsündeki BM kontrolörde beş adet Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. FL-PI kontrolör iki girişli ve tek çıkışlıdır. Kontrolörün girişleri hata (e) ve hatanın değişimi (Δe) seçilmiştir. Sürekli durum hatasını gidermek için kontrolör çıkışları integre edilmiştir. Ayrıca, kontrolörün giriş ve çıkış kazançlarının en uygun değerleri Matlab/Simulink Response Optimizer araç kutusu kullanılarak elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan melez güç sistemi, bir DC gerilim kaynağı ve bir lityum iyon batarya olmak üzere iki kaynaktan oluşmaktadır. Lityum iyon batarya, tepe güç kapasitesini artırmak için DC hatta ve kaynağa paralel olarak bağlanmıştır. Batarya çift yönlü DC-DC dönüştürücü aracılığıyla aynı DC hatta bağlanmıştır. Ayrıca çift yönlü DC-DC dönüştürücü kaskat kontrol şeması ile kontrol edilmiş ve bu dönüştürücü DC hat gerilimini istenilen değerde tutması amaçlanmıştır. Önerilen kontrol yönteminin dinamik performansı, iki farklı çalışma koşulu için Matlab/Simulink'te oluşturulan benzetim modeli yardımı ile değerlendirilmiştir. Birinci çalışma koşulunda, DC gerilim kaynağı devrede ve 3. s'de devreden çıkarılmıştır. Bu durumda 3. s'ye kadar DC kaynak hem yükün talep ettiği gücü karşılayacak hem de bataryayı şarj etmiştir. İkinci çalışma koşulunda, DC gerilim kaynağı benzetim çalışmasının başlangıcında devreye alınmamış ve 3. s'de DC gerilim kaynağı devreye alınmıştır. Bu durumda 3. s'ye kadar batarya yükün talep ettiği gücü karşılayacak ve bu nedenle batarya deşarj olacaktır. Her iki çalışma durumu için batarya akımı, batarya gerilimi, yük gerilimi ve şarj durumunu (SOC) gösteren benzetim sonuçları sunulmuştur. Ayrıca, önerilen kontrol yönteminin üstünlüğünü göstermek için aynı çalışma şartları altında geleneksel PI kontrolöre ait benzetim sonuçları da verilmiştir.

3. BATARYALAR

Son yıllarda taşınabilir teknoloji aletleri her zamankinden daha fazla gelişim göstermiştir. Bu gelişim, yakın gelecekte piyasada üretilmiş ve üretilecek olan tüm elektronik cihazları besleyebilecek taşınabilir güç kaynaklarına ihtiyacı da beraberinde getirmiştir. Bu talebi karşılamak ve teknolojik dünyada devrim yaratma umuduyla farklı seçeneklerle yenilik yapmak, teknoloji şirketleri için bir öncelik haline gelmiştir. Bu yönden bataryalar bu alanda popüler olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Bataryalar, elektrokimyasal enerjiyi depolayabilen ve kutup uçlarına bir yük bağlandığı zaman bu enerjiyi yüke aktaran depolama teknolojileridir. Var olan büyük çeşitlilikleri nedeniyle, istenen gereksinimlere uyarlanabilmeleri ve 100 yılı aşkın bir süredir enerji kaynağı olarak uygulamalarda kullanılmalarıyla sektörde güvenilirliklerini kanıtlamışlardır. Yıllardır batarya üreten teknoloji firmaları, bataryaları daha hafif, daha küçük, daha ucuz ve daha fazla enerji kapasitesine sağlayan bir hale getirmek için büyük araştırma geliştirme (ARGE) yatırımları yapmıştır. Kameralardan elektrikli araçlara, cep telefonlarına ve robotlara ve daha birçok uygulamalarda bataryalar kullanılmaktadır. Bataryaların en çok kullanıldığı alanlardan birisi de elektrikli araçlardır. Fosil yakıtlı araçların sayısının artması çevresel birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle daha farklı ve alternatif kaynaklar aranmaya başlanmıştır. Giderek kullanımı artan fosil yakıtların kullanım oranını azaltmak için geliştirilen elektrikli araç teknolojilerinin üretimi ve kullanımı dünya üzerinde hız kesmeden devam etmektedir. Ancak bu araçların menzil ömürleri, şarj süreleri ve kullanıldıkça kapasitelerinde azalma görülmesi gibi problemleri hala tam olarak çözülememiştir [15].

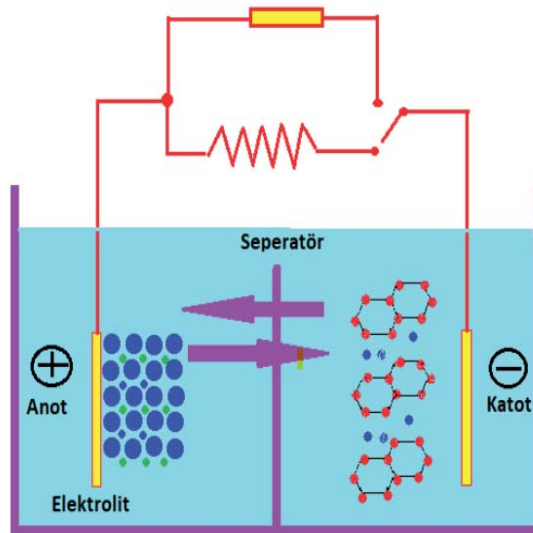
Elektrikli ve elektronik cihazlar, modern toplumun giderek daha önemli parçaları haline geldikçe, elektrik gücü kaynaklarına her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bataryalar, elektrik enerjisini depolamanın birkaç pratik yönteminden biridir. Bataryalar, taşınabilir elektrikli tıraş makinelerinden uzaydaki uydulara kadar elektrikli ve elektronik cihazlarda hayati bileşenlerdir. Hem yeni batarya türlerinde hem de mevcut bataryalardaki yapılan iyileştirme ve geliştirme çalışmaları batarya uygulamalarında büyük bir dalgalanmayı tetikledi. Batarya uygulamaları daha çeşitli ve sistem çalışması için daha kritik hale geldikçe, sistem tasarımcılarının ve kullanıcıların batarya işlevinin temellerini anlamaları daha da önemli olmaya başlamıştır [2].

Batarya teknolojileri üzerine artış gösteren çalışmalar büyük oranda enerji depolama ihtiyacı oluşturmuştur ve enerji depolama konusu gün geçtikçe daha da önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Özellikle elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar kritik bir önem taşımaktadır. Çünkü bu araçlarda kullanılan bataryalar direkt olarak aracın performansını etkilemektedir. Günümüzde elektrikli araçlara olan gereksinimlerin artmasıyla yüksek performanslı bataryalara olan ihtiyaçta artmıştır [16].

Bataryaların yapılarında barındırdığı karakteristik özellikleri üretildiklerinde yapılarında kullanılan bileşenler ile belirlenir. Son birkaç senedir teknoloji şirketleri farklı batarya teknolojileri geliştirme çalışmalarını arttırmıştır. Lityum iyon bataryaların kendini kanıtlamış üstün özellikleri nedeniyle uygulamalarda neredeyse en fazla kullanılan bataryalardan olmuştur. Bataryalar, aşırı şarj ve aşırı deşarj edilmekten korunmalıdırlar. Bataryalar, kullanıldıkları zaman katalog bilgilerinde verilen şarj deşarj akımları, hücre gerilimleri ve hücre sıcaklıkları gibi değerleri optimum şartlar altında tutulmalıdır. Kullanım sırasında optimum şartlar yerine getirilmediği zaman bataryaların kapasitesinde düşme meydana gelebilirken bazı bataryalarda ise patlama gibi çok ciddi durumlar meydana gelebilir [17].

3.1. Bataryaların Çalışma Prensibi

Bir batarya hücresi elektrotlar, separatör, terminaller, elektrolit ve bir koruyucu tabaka olmak üzere beş ana bileşenden oluşur. Batarya hücreleri, batarya modülü adı verilen tek bir mekanik ve elektrik ünitesinde birlikte gruplandırılır. Bu modüller, elektronik tahrik sistemlerine güç veren bir batarya takımı oluşturmak için elektriksel olarak bağlanır. En temel ifadeyle, bir batarya, pozitif ve negatif elektrotlar arasında bir elektrik potansiyelinin bulunduğu elektrokimyasal bir hücre olarak tanımlanabilir [2]. Şekil 3.1.'de Batarya hücre yapısının görüntüsü verilmiştir. Belirli uygulama ve alanlarda kullanılan bu teknolojilerin bir sonraki bölümde, her biri ayrı başlıklar altında incelenip, birbirlerine göre artıları, eksileri ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Batarya türleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

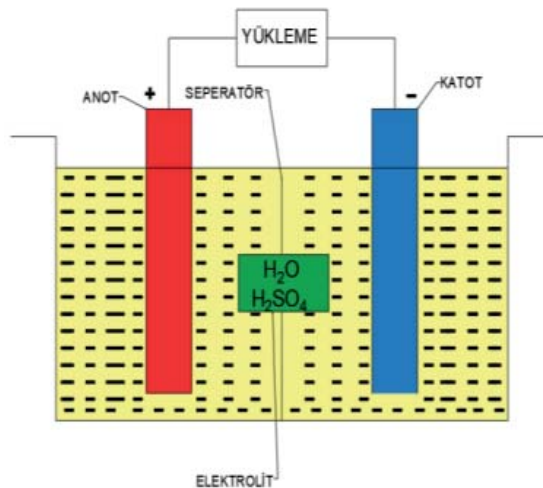


Şekil 3.1. Bataryanın Hücre Yapısı [18]

3.1.1. Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun asit bataryalar en eski depolama teknolojilerinden biridir. Kurşun asit bataryaların açık devre gerilimi 2V'dir ve bu değeri sulu elektrolit sistemler için en yüksek açık devre gerilimidir. Kurşun asitli bir bataryalarda bataryanın şarj durumu ile elektrolit ayırıcıların özgül yoğunluğu arasında doğrusal bir ilişki olduğu için bu bataryaların SOC'un hesaplanması çok kolaydır. Bu bataryalar çevreye zarar vermemeleri, geri dönüşümlerinin kolay olması, çok yüksek güç sağlayabilmeleri, güvenilir olmaları, üretiminin basit olması, enerjilerini çok uzun süre depolayabilmeleri, aralıklı şarj uygulamaları için iyi bir şarj tutma sağlamaları ve diğer batarya türlerine göre maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlara sahiptirler [18,19]. Kurşun asit bataryaların geri dönüştürülebilirlik özellikleri çok yüksektir. Bu bataryaları geri dönüştürülmesi için kullanılan altyapı, bataryadaki kurşunun % 99 gibi bir oranla geri dönüşümünü sağlayabilmektedir [20, 21]. Düşük çevrim ömrüne sahip olmaları, sık sık bakım gerektirmeleri ve ağırlıklarının fazla olması kurşun asit bataryaların dezavantajlarıdır [18]. Ağırlıklarının fazla olması nedeni ile taşınabilirlik gerektiren uygulamalarda bu bataryaların kullanılmaları pratik değildir [22].

Kurşun asit bataryaların gerilim seviyelerinin ve enerji yoğunluklarının düşük olması, kullanılmadıkları zaman kapasitelerinde azalma görülmesi dezavantajlarındandır. Aynı zamanda Kurşun, Avrupa Birliği (AB) yasaları gereğince kullanımı sınırlandırılmış bir maddedir [23,24]. Kurşun Asit bataryaların geri dönüştürülebilirlik özellikleri çok yüksektir. Bu bataryaları geri dönüştürülmesi için kullanılan altyapı, bataryadaki kurşunun %99 gibi bir oranla geri dönüşümünü sağlayabilmektedir [25, 26]. Şekil 3.2'de kurşun asit bataryanın iç yapısı verilmiştir.

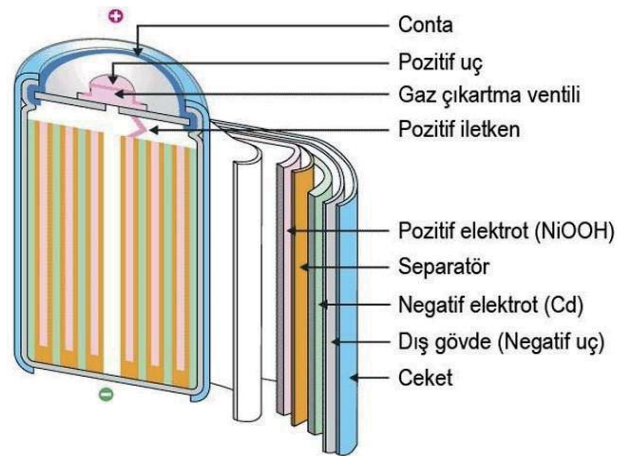


Şekil 3.2. Kurşun Asit Batarya İç Yapısı [27]

3.1.2. Nikel Kadmiyum Bataryalar

Bir metal elementi olan nikel, paslanmaz çelik ve demir dışı alaşımların imalatında, kimyasal veya petrokimyasal katalizörlerde, askeri endüstrilerde ve batarya üretiminde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Son zamanlarda, Nikel kadmiyum bataryalar, dizüstü bilgisayarlar, kameralar veya müzik çalarlar gibi birçok taşınabilir cihaz için şarj edilebilir bir güç kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Nikel kadmiyum bataryalar yüksek boşalma akımı sağlarlar. Aynı zamanda güvenilir ve ucuzdur. Ancak bu bataryaların hafıza etkili olmaları, yüksek öz şarj ve deşarj verimi gibi olumsuz yönleri vardır [28].

Nikel kadmiyum bataryaların çalışma sıcaklık aralığı kurşun asit bataryalara göre daha yüksektir, bu nedenle çalışma sıcaklık aralığı bakımından bazı cihazlar için kullanımı daha uygundur. Ömürleri kurşun asit bataryalara göre daha uzundur ve sürekli bakım gerektirmezler. Nikel-kadmiyum bataryalar güvenilir, sağlam, uzun ömürlü batarya teknolojilerindendir. Bu bataryaların, amaçlanan uygulamaya bağlı olarak iki çeşidi vardır. İnce sinterlenmiş plakalı hücreler düşük iç dirence ve yüksek güç/hacim oranına sahipken, kalın elektrot plakalı hücreler yüksek enerji depolama kapasitesine sahiptir. Nikel-kadmiyum bataryaların hafıza etkileri yüksektir. Hafıza etkisi, bataryanın yalnızca daha önce tekrarlanan şarj/deşarj döngüleri sırasında kullanılan kapasiteyi sağlamasına neden olur. Bu nedenle, maksimum kapasitenin düşmesini önlemek için Nikel kadmiyum bataryaların kapasitesinin tamamı her deşarj döngüsünde kullanılmalıdır. "Hafıza etkisi", bataryanın tamamen boşalmasına izin vermeyen uygulamalar için daha az uygun olmasını sağlar [19]. Kadmiyum maddesi zehirlidir bu yüzden nikel kadmiyum bataryaların tıbbi alanlar, alarmlar ve taşınabilir cihazlar dışında satışı AB’de yasaktır [30]. Şekil 3.3’te nikel kadmiyum bataryanın iç yapısı verilmiştir.



Şekil 3.3. Nikel Kadmiyum Batarya İç Yapısı [29]

3.1.3. Nikel Metal Hidrat Bataryalar

Nikel metal hidrat bataryalar, Nikel Kadmiyum bataryalara benzer. Kadmiyum elektrolitinin bataryadan çıkarılmasıyla elde edilir. Nikel Metal Hidrat bataryaların enerji yoğunluğu yüksektir ve yaklaşık 1000 çevrim ömrü vardır. Bu bataryalar, yüksek hacimsel enerji ve deşarj kabiliyetleri nedeniyle endüstride çoğunlukla elektrikli araçlarda ve çeşitli güç kaynaklarında kullanılmaktadır [30].

Nikel metal hidrat bataryalar, nikel kadmiyum bataryalar gibi çevresel tehlike oluşturmaz ve daha yüksek özgül enerji yoğunluğuna sahiptir. Bipolar batarya paketi tasarımları nedeniyle, özellikle hibrit araçlarda enerji depolama teknolojisi olarak kullanılan popüler bataryadır. Aşırı şarja maruz kalması bataryanın ısınmasına yol açar, bataryanın fazla ısınması hidrojen gazı açığa çıkabilir ve bu da yangın tehlikesini artırır. Yüksek yük akımında şarj edilmesi ile bataryanın çevrim ömrü azalır. Kendiliğinden deşarj özelliği vardır. Bu nedenle bu bataryaların raf ömrü kısadır. Enerji yoğunluğunu azaltan kimyasal katılar eklenerek raf ömrü uzatılabilir. Hafıza etkileri nikel kadmiyum bataryalara göre daha yüksektir [19].

Bu bataryalar ağır metal içermezler bu yüzden otomotiv sektöründe uzun zaman kullanılmışlardır. Ekonomik olmalarına rağmen lityum iyon bataryaların gelişimi bu bataryaların kullanımını azaltmıştır [31].

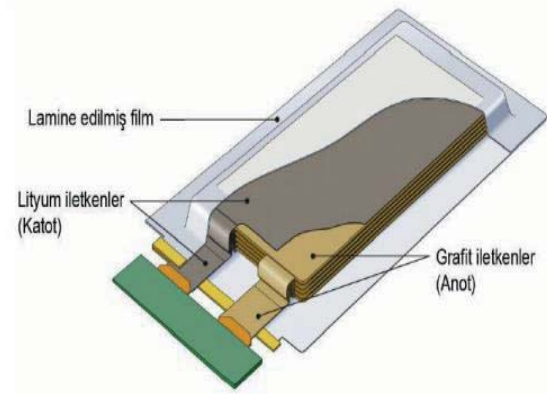
3.1.4. Lityum Polimer Bataryalar

Lityum polimer bataryalar, lityum iyon bataryalardaki sıvı elektrolitin sızıntı yapması sonucu geliştirilmiş batarya teknolojilerindendir. Bu bataryalarda sıvı elektrolit yerine katı polimerler kullanılmasıyla bataryaya akmalara karşı direnç kazandırılmıştır. Ayrıca bu bataryalar düşük iletkenliğe sahip olmaları nedeni ile yüksek sıcaklıklarda iyi bir performansa sahiptirler. Ek olarak lityum polimer bataryaların enerji yoğunlukları düşük ve çevrim ömürleri azdır. Yanıcı ve patlayıcı olmaları nedeniyle bu bataryalar kullanılırken dikkat edilmesi gerekmektedir [32].

Lityum iyon bataryalardan daha hafif ve daha yüksek kapasiteye sahip olan bu bataryaların özgül enerjisi 155 Wh/kg, özgül gücü ise 315 W/kg'dır [5]. Lityum polimer bataryaların hücre nominal gerilimleri 3.7 V, tam dolu durumda kesim gerilimleri 4.2 V, deşarj gerilimleri ise 2.7 V'dir. Bu bataryaların kendiliğinden deşarj özellikleri çok düşüktür [3].

Yapılarında kullanılan katı polimerle lityum iyonunun hareketi kısıtlanmış ve batarya iç direnci arttırılmıştır. Böylece bataryanın daha uzun bir sürede şarj ve deşarj olması sağlanmıştır. Bu bataryalar lityum iyon bataryalara göre daha yüksek maliyetlidirler [16, 17]. Güvenlikleri lityum iyon bataryalarla aynı düzeydedir. Çalışma sıcaklıkları 80°C ile 90°C arasındadır. Bununla birlikte şarj çalışma sıcaklığı, 0°C ile -45°C'dir. Deşarj çalışma sıcaklığı -20°C ile -60°C'dir. Lityum

polimer bataryaların lityum iyon bataryalardan daha hafif olmalarına rağmen çevrim sayısı lityum iyon bataryalardan daha fazladır. Şekil 3.4'te lityum polimer bataryanın iç yapısı gösterilmiştir [32].



Şekil 3.4. Lityum Polimer Bataryanın İç Yapısı [33]

3.1.5. Lityum İyon Bataryalar

Lityum iyon bataryalar ilk üretildiği günden itibaren enerji depolamada büyük önem kazanan batarya teknolojisi olup, gelecek için umut vadeden ve geçmişten bugüne üzerinde yoğun çalışmalar yapıp sürekli olarak geliştirilen batarya teknolojilerindendir. Enerji depolama kapasiteleri çok yüksek olan bu bataryalar, ilk olarak 1912'de G. N. Lewis tarafından bulunmuştur. Ancak ilk ticari şarj edilebilir lityum iyon batarya 1991 yılında Sony tarafından üretilmiştir. Lityum iyon batarya hücreleri, sıvı elektrolitlerle doldurulmuş anot katot plakalarından yapılmıştır ve plakalar bir ayırıcı ile ayrılmıştır. Genellikle katot bir metal oksittir ve anot malzemesi grafitir [34].

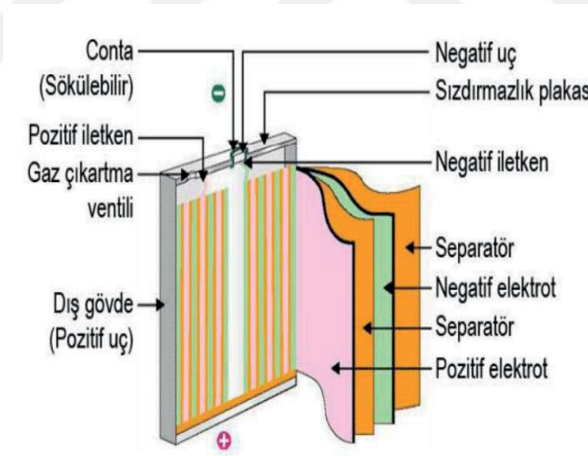
Lityum iyon bataryalar, enerji depolaması gerektiren birçok taşınabilir uygulamalarda en çok tercih edilen güç kaynağı çeşididir. Lityum iyon bataryalar özellikle melez ve elektrikli araçlarda kullanılır. Çünkü bu bataryalar yüksek enerji yoğunluğu, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek nominal hücre gerilimine sahiptirler [35,36].

Lityum iyon bataryaların birçok avantajı olmasına rağmen, aşırı şarj ve derin deşarj gibi şarj ve deşarj koşullarına karşı çok hassastırlar. Böyle bir durum kontrolsüz devam ederse, bataryaya zarar görebilir, batarya ömrü kısalabilir ve bazı durumlarda olası patlama ve yangın gibi tehlikeli durumlara neden olabilir. Bu nedenle, akıllı telefonlar, tabletler, akıllı saatler, dizüstü bilgisayarlar gibi taşınabilir uygulamalar, lityum iyon bataryaların güvenlik durumunu izlemek ve her bir hücrenin şarj veya deşarj akış hızını düzenlemek zorundadır. Uygun bir Batarya Yönetim Sistemi (BYS), bir lityum iyon batarya grubunun SOC durumunu, sıcaklığını, gerilimini ve enerji kapasitesini tamamen kontrol edebilir. Her lityum iyon batarya grubunun ömrünü uzatması ve güvenlik koşullarını yönetmesi için iyi tasarlanmış bir batarya şarj cihazına sahip pratik bir BYS gereklidir [37].

Lityum elementinin iyonu çok çabuk tepkimeye girer bu yüzden kullanımları esnasında yanma ve patlama riskleri yüksektir. Kullanımları sırasında tehlikeli durumlara sebebiyet vermemek için doğrudan güneş işığına ve yüksek ısılara maruz bırakılmamalıdır. Lityum iyon bataryalar hücreleri seri ya da paralel olarak bağlandıkları takdirde batarya hücrelerini aşırı şarj ve deşarj olayından koruma için koruma devreleri kullanılmalıdır [38].

Lityum iyon bataryaların pil ömürleri retilmeleriyle başlar. Kullanıcıların kullanma şekli pil ömrünü etkiler. %100 şarj edilip 25°C’de kullanılmayıp saklanırsa dahi senelik olarak kapasitelerinde %20 oranında bir azalış görülmektedir. Bu bataryaları uzun ömürlü kullanmak için pil asla tam boş bir şekilde tutmamaya dikkat edilmelidir. Tam boş olarak bırakıldıkları zaman bu bataryalar birkaç yıl içinde mrlarını doldurulabilirler [39,40].

Lityum iyon bataryalar, elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ancak, bu bataryaların daha yüksek verimlilik ve daha uzun ömür için, termal kaçakları, eskimeyi ve fiziksel hasarı önlemek için çalışma koşullarına özel önem verilmelidir. SOC ve SOH, BYS’nin batarya grubunun kullanım ömrünü en st düzeye çıkaracak şekilde en uygun çalışma stratejisini belirlemesine izin verir [41]. şekil 3.5’te bir lityum iyon bataryanın iç yapısının görüntüsü verilmiştir.

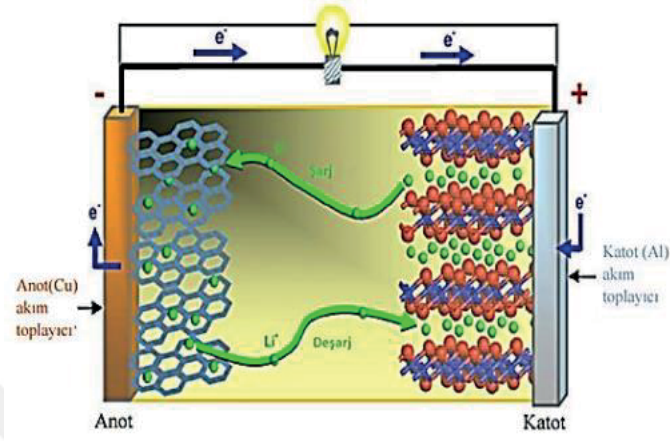


şekil 3.5. Lityum İyon Bataryanın İç Yapısının Görüntüsü [42]

3.2. Lityum İyon Bataryaların alışma Prensibi

Bir lityum iyon batarya hücresi, katoda ve anoda karşılık gelen iki elektrottan, akımı toplamak için her iki taraftaki terminallerden, iletken elektrolitten, bir ayırıcıdan ve dış mahfazadan oluşur. Bir hücre bir yüke bağlandığında, iyonik lityum parçacıkları katottan ayrılır, elektrolit içinde hareket eder, ayırıcıyı geçer ve anoda birikirler. Lityum iyonlarının hareketi anotlarda serbest elektronlar oluşturur, bu elektronlar daha sonra anot tarafındaki akım toplayıcıya doğru hareket

eder, yük boyunca katot tarafındaki toplayıcıya akar. Batarya şarj modunda iken süreç tersine döner; lityum iyonları anottan katoda geri geç eder [43]. Şekil 3.6’da bir lityum iyon bataryanın bileşenleri ve şarj/deşarj döngüsü gösterilmiştir.



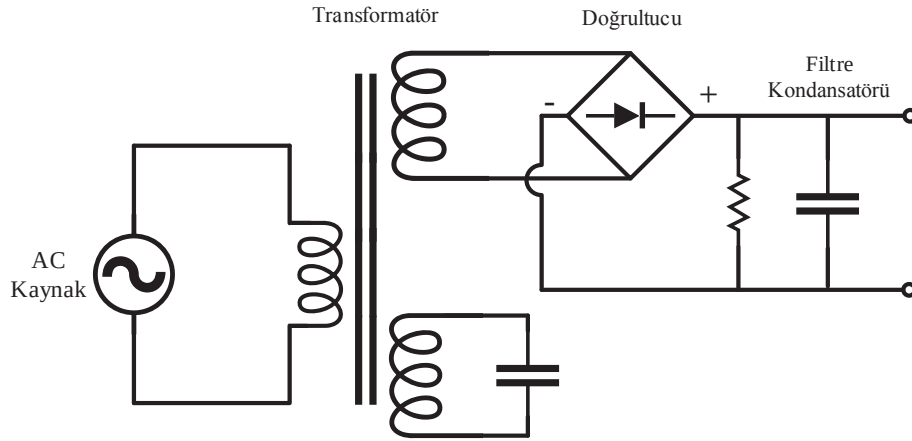
Şekil 3.6. Bir Lityum İyon Bataryanın Bileşenleri ve Şarj Deşarj Döngüsü [44]

4. BATARYA ŞARJ CİHAZLARI

Batarya teknolojisi geliştikçe, sistemde yer alan yüksek gerilimli ve akımlı gelişmiş şarj algoritmaları nedeniyle bu bataryaların şarj edilmesi çok karmaşık hale gelmektedir. Bu durum mevcut AC güç sisteminde daha fazla bozulmaya neden olmakta ve verimli, düşük bozulmalı şarj cihazlarına olan ihtiyacı artırmaktadır [45]. Bu bölümde, batarya şarj cihaz teknolojilerinin karşılaştırmalı bir incelemesine değinilecektir.

2.1 Ferrerezonans Şarj Cihazı

Şekil 4.1’de gösterilen ferrerezonanslı şarj cihazları, içerisinde ferrerezonans bulunan transformatörün şarj çıkışını düzenlemesi mantığına dayalı bir batarya şarj cihazıdır. Bu şarj cihazlarında gerilim ayarı endüktans gerilimi kontrol edilerek gerçekleştirilir. Ferrerezonans şarj cihazlarının primerinde sadece primer sargı bulunurken, sekonderinde çıkış ve rezonans sargısı bulunmaktadır. Sekonderdeki filtre kondansatörü, sistemin rezonans karakteristiğini belirlemektedir. Ferrerezonans şarj cihazları, bataryanın hemen aşırı şarja maruz kalmasına neden olabilirler. Frekansları düşük olduğu için gürültülü çalışırlar. Verimleri düşük, boyutları büyük ve yapıları ağırdır [46].

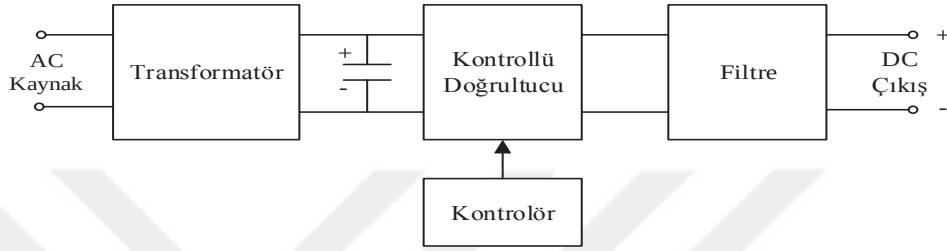


Şekil 4.1. Ferrerezonanslı Şarj Cihazının Yapısı

2.2 Silikon Kontrollü Doğrultuculu Şarj Cihazları

Silikon Kontrollü Doğrultucu (SCR) tabanlı batarya şarj cihazlarının yüksek güç faktörlü olmaları, çalışma frekans aralıklarının geniş, verimliliklerinin yüksek ve maliyetlerinin uygun olması gibi avantajlara sahiptirler.

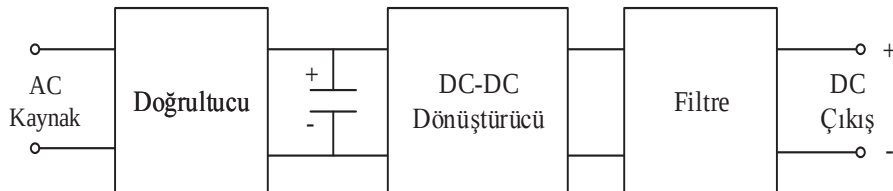
Bunun yanında bu şarj cihazlarının kullanım ömürlerinin kısa olması ise en büyük dezavantajlarıdır. SCR şarj cihazları, çıkış gerilimini transformatör yardımı ile ayarlar. SCR şarj cihazlarının yapısında bulunan yarı iletken anahtarların uygun kontrolü ile çıkış gerilimi daha hassas şekilde kontrol edilebilir. SCR şarj cihazlarında, AC giriş bir transformatör yardımı ile doğrultucu girişine uygulanır. Doğrultucu AC girişi DC işarete dönüştürür. Doğrultucu çıkışında filtre kullanılarak DC işarettaki harmonikler giderilir ve böylece daha düzgün bir DC işaret elde edilir [46]. Şekil 4.2’de bir SCR şarj cihazının devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Silikon Kontrollü Doğrultuculu Şarj Cihazı

2.3 Anahtarlama Şarj Cihazları

Anahtarlama şarj cihazlarının cevap hızları oldukça kısadır. Ayrıca bu şarj cihazları kompakt bir yapıya sahip olmaları, sessiz çalışmaları, hafif olmaları ve verimlerinin yüksek olması gibi olma gibi üstün özelliklere sahiptirler. AC-DC veya DC-DC dönüştürücü olarak kullanılan bu dönüştürücüler yapılarında tam kontrollü yarı iletken güç anahtarları bulundurulur. Bu cihazların girişlerinde AC filtreler vardır. AC filtre çıkışı köprü doğrultucu devresi ile doğrultulur ve doğrultucu çıkışında DC bir gerilim elde edilir. Elde edilen DC gerilimin istenilen değere getirebilmek için izoleli bir DC-DC dönüştürücü kullanılır. İstenilen değere getirilen DC gerilim filtrelenerek bataryanın şarj işlemi gerçekleştirilir. Bu şarj cihazlarının cevap verme sürelerinin çok kısa olmasının sebebi kullanılan yarı iletken anahtarların yüksek anahtarlama frekansında çalışabilmeleridir [46]. Şekil 4.3’te anahtarlama şarj cihazının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.3. Anahtarlama Şarj Cihazının Şematik Gösterimi

5. BATARYA ŞARJ KONTROL YÖNTEMLERİ

Bataryalar, batarya şarj cihazının limitleri uygun sıcaklık değerleri içerisinde maksimum şarj akımı ile kısa sürede şarj edilmelidir. Batarya şarj cihazları herhangi kaynaktan aldığı enerjiyle bataryayı besleyen teknolojik cihazlardır. Batarya hücrelerine zarar verebilecek verimi düşük ya da bataryanın ömrünü kısaltacak şarj cihazları tercih edilmemelidir. Bataryalar, bataryanın türüne göre gerekli güvenlik önlemleri alınarak şarj edilmelidir. Şarj işlemi yapılırken bataryanın limitlerinin aşılması durumunda gaz çıkışı ve elektrolit azalması, batarya ömrünün azalması ve batarya performansının azalmasına sebep olur. Oluşabilecek bu olası durumların önüne geçebilmek için batarya çeşitli batarya şarj kontrol yöntemleri bulunmaktadır. Bataryayı şarj etmek için birbirinden farklı birçok yöntem bulunsa da uygulamalarda en çok kullanılan şarj yöntemleri, sabit akım şarj yöntemi, sabit gerilim şarj yöntemi ve sabit akım sabit gerilim şarj yöntemi olarak sıralanabilir [47]. Aşağıdaki bölümde bu yöntemlere kısaca değinilmiştir.

5.1. Sabit Akım Şarj Yöntemi

Sabit akımda şarj yöntemi, bataryayı şarj edebilmek için kullanılan en basit şarj yöntemidir. Sabit akım şarj da bataryanın hem zarar görmesini engellemek amacıyla hem de şarj seviyesini en verimli seviyeye getirmek amacıyla çeşitli önlemler alınması önemli bir konudur. Batarya şarj olurken hücre gerilimi yüksek değerlere çıkmadan şarj işlemi sabit gerilimle devam ettirilir. Sabit gerilimle devam ettirilen şarj metodunda şarj akım giderek azaldığı gözlemlenir. Batarya önceden tespit edilmiş akım değerine ulaştığı anda şarj işlemi sonlandırılır [2].

5.2. Sabit Gerilim Şarj Yöntemi

Sabit gerilim şarj yöntemi bataryaya sabit bir gerilim uygulanarak bataryayı şarj etme temeline dayanır. Şarj işlemi başladığında, batarya iç direnci düşük olduğu için kaynaktan fazla akım çekilebilir ve batarya zarar görebilir. Bu durumun önüne geçebilmek için, şarj başlangıcında akım sınırlandırılmalıdır. Sabit gerilim şarj yönteminde bataryayı olumsuz etkileyip zarar vermeyecek bir gerilim değeri uygulanarak şarj işlemine başlanır. Batarya gerilimi belli bir seviyeye ulaştığında gerilim değeri sabit bir değerde tutularak şarj işlemi sürdürülür. Şarj oranı arttıkça bataryanın iç direnci de artacaktır. Artan iç dirençle bataryaya aktarılan akım değeri azalır ve şarj sızıntı akımıyla devam eder. Bu yöntemle bataryanın aşırı şarja maruz kalmasının önüne geçilir ve bataryaya verilen zararın azalmasına yardımcı olur. Akım değerindeki azalma şarj süresinin uzamasına yol açar [15].

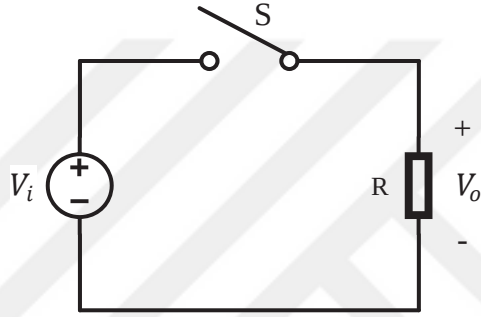
5.3. Sabit Akım Sabit Gerilim Şarj Yöntemi

Sabit akım-sabit gerilim şarj yönteminde batarya ilk olarak sabit akım sonrasında sabit gerilim olmak üzere iki aşamada şarj edilir. Şarj başlangıcında bataryaya sabit gerilim uygulandığında kaynaktan aşırı akımlar çekilir. Bu durum bataryanın daha hızlı şarj edilmesini sağlar. Daha sonra batarya önceden belirlenmiş bir gerilim değerine gelinceye kadar sabit akımla şarja başlar sonrasında bataryaya sabit bir gerilim uygulanır ve şarj işlemi sonlandırılır [15].



6. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Girişte uygulanan bir DC gerilim değerini çıkışta farklı bir gerilim değerine dönüştüren güç elektroniği devrelerine DC-DC dönüştürücüleri adı verilir. Bir DC-DC dönüştürücünün amacı, bir DC giriş voltajından değişken yük direncine düzenlenmiş bir DC çıkış gerilimi sağlamaktır. Çoğu durumda, DC giriş gerilimi, büyüklüğü değişen bir hat geriliminin doğrultulmasıyla elde edilir. DC-DC dönüştürücüler, bilgisayarlar, tıbbi aletler, iletişim cihazları, televizyon alıcıları ve batarya şarj cihazları gibi düzenlenmiş DC güç gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır [48,49]. DC-DC dönüştürücülerdeki çıkış gerilimi V_o , Şekil 6.1’de gösterildiği gibi genellikle bir anahtarlama elemanı kullanılarak kontrol edilir.



Şekil 6.1. Temel DC-DC Dönüştürücü Devresi

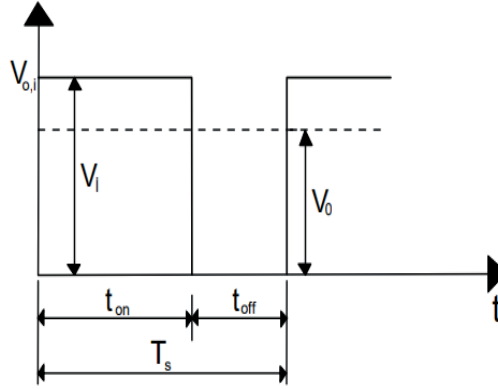
Şekil 6.1’de basit bir devre modeliyle gösterilen DC-DC dönüştürücü kaynak ve yük arasına anahtarlama elemanı eklenmesiyle oluşur. Eklenen anahtarlama elemanı belirli zamanlarda kapatılarak kaynak ve yük arasında bir enerji akışı sağlanmasına neden olur. Bu enerji akışı sabit bir periyot süresince yapıldığı zaman aktif gerilim kaynak geriliminden düşük olur [48-51]. DC dönüştürücünün çıkış gerilimi denklem 6.1 ile ifade edilir. Denklem 6.2’de ise yer alan t_{on} , S kontrollü anahtarının açık kaldığı süreyi, T_s ise anahtarlama periyodunu gösterir.

$$V_o = dV_i \quad (6.1)$$

Burada;

$$d = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (6.2)$$

Şekil 6.1’de verilen temel DC-DC dönüştürücüdeki S anahtarının iletimde ve kesimde olması durumuna göre bu dönüştürücünün çıkış geriliminin dalga şekli Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. DC-DC Dönüştürücünün Çıkış Geriliminin Dalga Şekli

DC-DC dönüştürücüde anahtar kesimde iken çıkış gerilimi sıfırdır. Çıkış geriliminin değeri sıfır olduğunda çıkış akımının değeri de sıfır olacaktır ve dönüştürücü süreksiz iletim modunda çalışacaktır. DC-DC dönüştürücünün çıkış gerilimin dalga modelinde kesikli çizgi ile belirtilen kısım ortalama çıkış gerilim değerini ifade eder. Ortalama çıkış gerilimi V_{o-ort} denklem 6.3 kullanılarak hesaplanır [48,49,50,51].

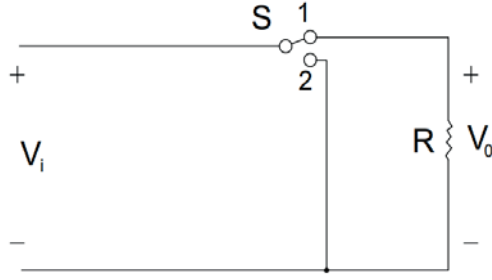
$$V_{o-ort} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o(t) dt = \left(\int_0^{t_{on}} V_{in} dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0.0 dt \right) = \frac{t_{on}}{T_s} V_{in} = d V_{in} \quad (6.3)$$

Denklem 6.3'te; t_{on} , yarı iletken anahtarın iletimde kaldığı süreyi; t_{off} , yarı iletken anahtarın kesimde kaldığı süreyi; T_s , anahtarlama periyodunu ifade eder. d ise t_{on}/T_s 'ye eşittir ve görev oranını gösterir. DC-DC dönüştürücüler yapı olarak basit olsa da anahtarlama karakteristikleri harmonik salınımlara neden olur. DC-DC dönüştürücülerin sebep olduğu harmonik salınımlar bazı uygulamalarda ciddi sorunlara neden olabilir. Kullanım amacına bağlı olarak farklı yapıda DC-DC dönüştürücüler bulunmaktadır. Bir sonraki bölümde bazı temel DC-DC dönüştürücü yapıları hakkında bilgi verilecektir.

6.1. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü

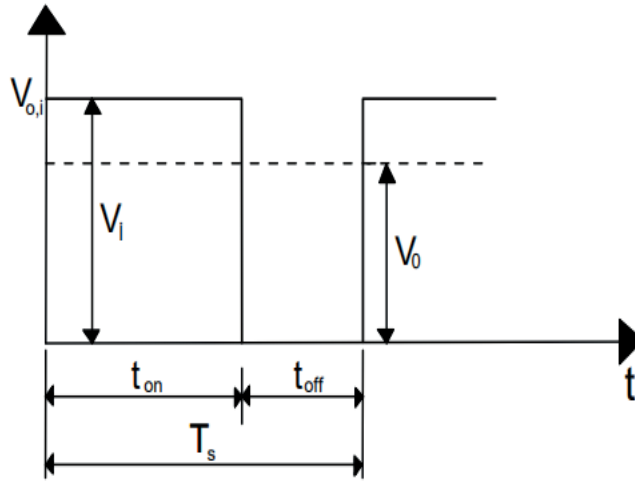
Düşüren tip DC-DC dönüştürücü, ortalama DC çıkış gerilimini giriş veya kaynak geriliminden daha düşük bir değere dönüştürür. DC gerilimin kontrolü, DC giriş geriliminin periyodik olarak açılıp kapatıldığı kontrollü anahtarlama yoluyla gerçekleştirilir. Devre yapısından dolayı bu dönüştürücü devresinde daha düşük bir ortalama çıkış gerilimi elde edilir [50].

Düşüren tip DC-DC dönüştürücüler ayarlı DC güç kaynaklarında yaygın olarak kullanılır [50,51]. Düşüren tip DC-DC dönüştürücünün devre yapısı Şekil 6.3'te gösterilmiştir [50].



Şekil 6.3. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi

Çıkış gerilimi, anahtar 1 konumundayken giriş gerilimine eşittir, anahtar 2 konumundayken çıkış geriliminin değeri sıfırdır. Anahtarın konumuna göre elde edilen çıkış geriliminin dalga şekli Şekil 6.4’te verilmiştir.



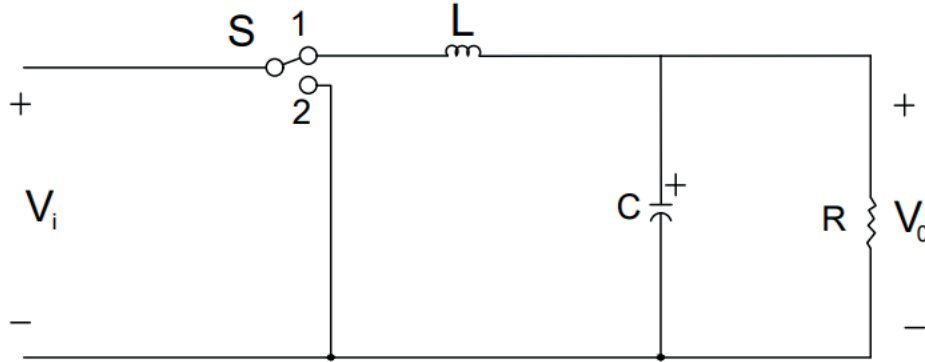
Şekil 6.4. Düşüren Dönüştürücü Çıkış Geriliminin Dalga Şekli

Ortalama çıkış gerilimi değeri, Anahtarın 1 ve 2’de olduğu zamanlarda veya görev periyodunun değeri değiştirilerek istenilen değere ayarlanabilir. Ortalama çıkış gerilimi V_o görev periyodu ve giriş gerilimi türünden denklem 6.4’teki gibi ifade edilir [49].

$$V_o = dV_i \quad (6.4)$$

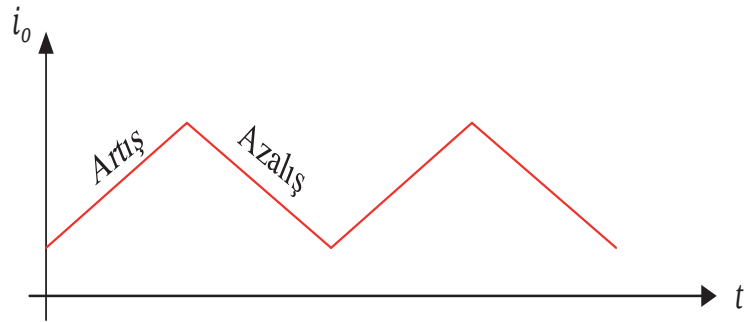
Düşüren tip DC-DC dönüştürücü devresinin çıkış geriliminde anahtarlardan dolayı istenmeyen gerilim dalgalanmaları oluşturur. Yüke paralel olarak bağlanan kondansatör yük geriliminde meydana gelen dalgalanmaları, DC giriş kaynağına seri bağlı endüktans ise yük akımındaki dalgalanmaları azaltır. Şekil 6.5’te düşüren tip DC-DC dönüştürücü devresi yapısı

verilmiştir. Bu devre bir DC gerilim kaynağı, kontrollü yarı iletken bir anahtar, bir diyot, endüktans ve kondansatörden oluşmaktadır [48,49,51].



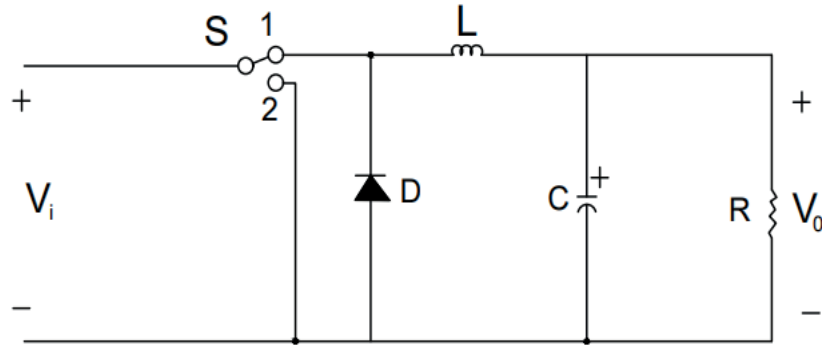
Şekil 6.5. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devre Yapısı

Anahtar 1 konumundayken endüktanstan geçen akım artar. Endüktanstan geçen akım arttıkça, endüktansta depolanan enerji artar. Anahtar 2 konumundayken, endüktansta depolanan enerji azalır ve buna bağlı olarak yük direncinden geçen akım da azalır. RL devresinin zaman sabiti, Şekil 6.6'da gösterildiği gibi anahtarın açık ve kapalı zamanına kıyasla nispeten büyükse, yük direnci boyunca akımın yükselmesi ve düşmesi doğrusaldır. Çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için yük direncine paralel olarak bir kondansatör eklenir



Şekil 6.6. Yük Akımının Artması ve Azalması

Şekil 6.5'te gösterilen devrede anahtarın ideal olduğu varsayılmıştır. Pratik bir anahtar modeli diyot ve kontrollü yarı iletken anahtar kullanılarak Şekil 6.7'deki gibi oluşturulabilir.



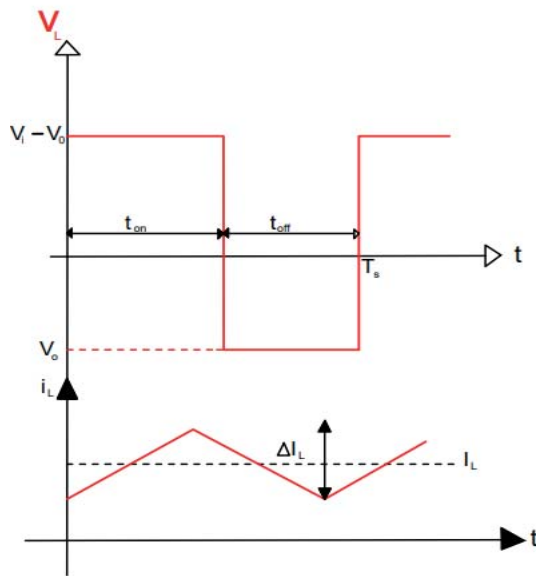
Şekil 6.7. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi

Kontrollü anahtarın iletim ve kesim durumlarında endüktans gerilimi sırası ile denklem 6.5 ve 6.6 ile bulunabilir

$$V_L = V_i - V_o \quad (6.5)$$

$$V_L = -V_o \quad (6.6)$$

Kontrollü anahtarın iletimde ve kesimde olduğu durumda endüktans gerilimi ve akımının değişimi Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kontrollü anahtar iletimde iken endüktans gerilimi $V_i - V_o$ kadardır ve endüktans akımı artmaktadır. Kontrollü anahtar kesimde iken ise endüktans gerilimi $-V_o$ kadardır ve endüktans akımı azalmaktadır. Şekil 6.8’de kesikli çizgi ile gösterilen I_L endüktans akımının ortalama değerini göstermektedir.



Şekil 6.8. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücünün Sürekli Akım Durumu İçin Endüktans Gerilimi ve Akımının Değişimi [50]

Sürekli duruma ulaşmış ve dengedeki bir sistemde, bir anahtarlama periyodu süresince endüktans akımındaki net değişim sıfırdır. Bu endüktans volt-saniye dengesi olarak bilinir. [50,51,53]. Buna göre denklem 6.7'deki ifade yazılabilir.

$$V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^{T_s} v_L(t) dt + i_L(0) \quad (6.7)$$

Bir anahtarlama periyodu boyunca endüktans gerilimindeki değişim miktarı da sıfırdır ve buna bağlı olarak denklem 6.8 yazılabilir.

$$\frac{1}{L} \int_0^{T_s} v_L(t) dt = 0 \quad (6.8)$$

Şekil 6.8'de verilen endüktans gerilimi dalga şeklinin alanların toplam değeri sıfıra eşitlenirse denklem 6.9 elde edilir.

$$\int_0^{T_s} V_L(t) dt = (V_i - V_o) t_{on} + (-V_o) t_{off} \quad (6.9)$$

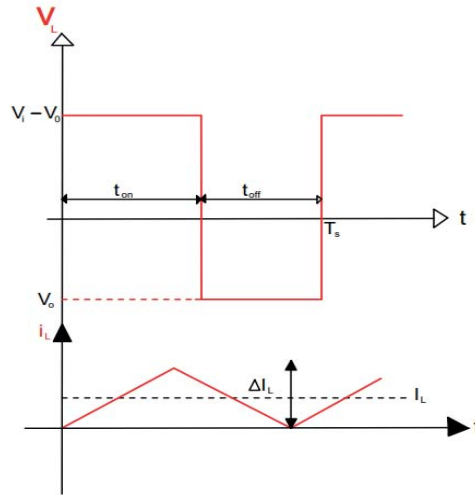
Denklem 6.9 düzenlenirse düşüren tip DC-DC dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki denklem 6.10'deki gibi elde edilir.

$$V_o = dV_i \quad (6.10)$$

Görev periyodu d ; 0 ile 1 arasında değişir. Yük akımının sürekliliğini sağlayan endüktans akımı bu denklemde önemli bir parametredir [48, 49, 51]. Endüktansın değerine göre dönüştürücü sürekli akım modunda ya da süreksiz akım modunda çalışır.

6.1.1. Sürekli Akım Modu

Süreksiz akım modu, belirli bir anahtarlama periyodunun sonunda yük akımının değeri sıfırdan küçük veya sıfıra eşit olduğunda meydana gelir. Endüktanstan akan akımının doğrusal yükselişinin ve düşüşünün doğrusal olduğu düşünülerek sürekli ve süreksiz akım modu arasındaki sınır noktası, Şekil 6.9'da gösterildiği gibi, bir anahtarlama periyodu boyunca ortalama endüktans akımı tepe değerinin yarısı olduğu yerdir.



Şekil 6.9. Sürekli ve Süreksiz Akım Modu Arasındaki Sınır Durumu

Sınır noktasındaki ortalama endüktans akımı Denklem 6.11 kullanılarak hesaplanabilir [49].

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L-tepe} = \frac{V_i - V_o}{2L} dT_s \quad (6.11)$$

Denklem 6.14 düzenlenirse denklem 6.12 elde edilir.

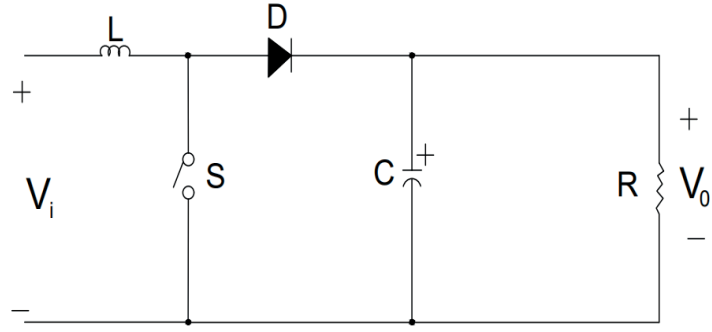
$$I_{LB} = \frac{dT_s}{2L} V_i (1 - d) \quad (6.12)$$

6.2. Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü

Yükselten tip DC-DC dönüştürücü, ortalama çıkış gerilimini giriş geriliminden daha yüksek bir seviyeye dönüştürür. DC giriş gerilimi, akım kaynağı endüktans ile seri bağlıdır. Akım kaynağına ve çıkışa paralel olarak bağlanan bir anahtar, periyodik olarak açılıp kapatılarak endüktanstan ve kaynaktan enerji sağlar ve ortalama çıkış gerilimi yükseltir. Yükselten tip DC-DC dönüştürücüler, genel olarak DC güç kaynaklarında ve DC motorların rejeneratif frenlemesinde kullanılır [48, 49].

6.2.1. İdeal Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü

İdeal dönüştürücünün temel çalışmasını modelleyen devre, Şekil 6.10'da gösterilmiştir. İdeal yükselten tip DC-DC dönüştürücü devresi, düşüren tip DC-DC dönüştürücüde olduğu gibi DC gerilim kaynağı, kontrollü yarı iletken anahtar, endüktans ve kondansatörden oluşur. Endüktans ile seri bağlı olan DC giriş gerilimi bir akım kaynağı olarak işlev görür ve anahtar kapatıldığında endüktansta bir enerji depolanır. Anahtar açıldığında, akım endüktanstan yüke akar. Endüktansta depolanan enerjiden dolayı yük gerilimi artar. Kondansatör, çıkış gerilimindeki harmonikleri gidermek ve daha az salınımlı bir çıkış gerilimi elde etmek için kullanılır [49, 51].

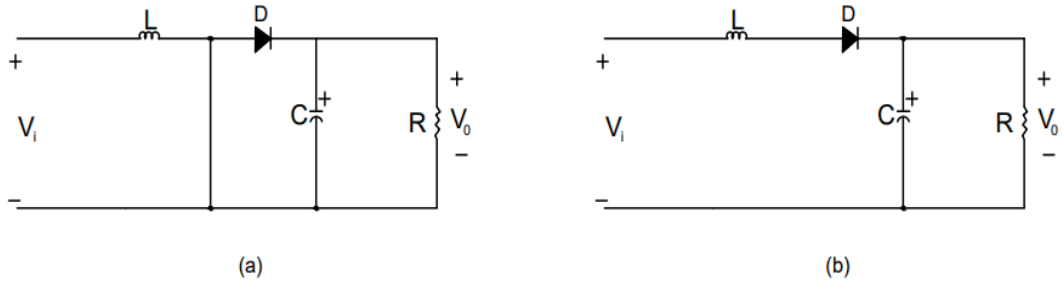


Şekil 6.10. İdeal Yükselten tip DC-DC Dönüştürücü Devresi

Yükselten tip DC-DC dönüştürücüde endüktans akımının sürekli olup olmadığına göre bu dönüştürücü sürekli ve süreksiz akım modu olmak üzere iki akım modunda çalışır.

6.2.2. Sürekli Akım Modu

Sürekli akım modu, Şekil 6.10'daki devredeki endüktanstan geçen akım sürekli olduğunda ve endüktans akımı her zaman sıfırdan büyük olduğunda meydana gelir. Devrenin kararlı durumda çalışması, Şekil 6.11’de gösterildiği gibi kontrollü anahtarın iletimde ve kesimde olma durumuna göre iki şekilde gerçekleşir [49, 51].



Şekil 6.11. a) Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresinde Kontrollü Anahtarın Kapalı Durumu İçin Eşdeğer Devre b) Anahtarın Açık Durumu İçin Eşdeğer Devre

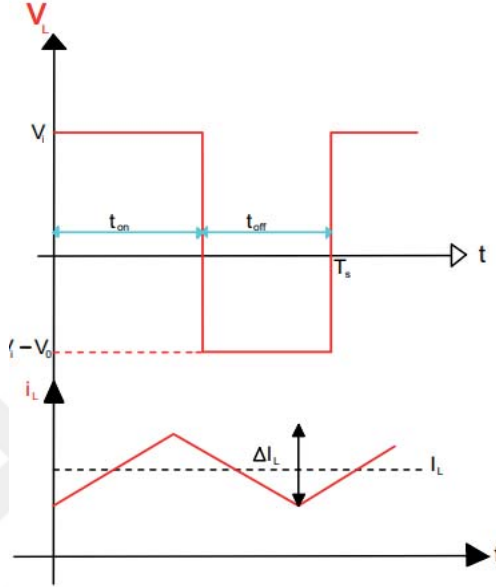
Kontrollü anahtar iletimdeyken diyot kesimdedir ve endüktans kontrollü anahtar yardımı ile DC gerilim kaynağına bağlanılır. Bu durumda giriş gerilimi ve endüktans gerilimi arasındaki ilişki denklem 6.13 ile ifade edilebilir.

$$V_L = V_i \quad (6.13)$$

Kontrollü anahtar kesime girdiği zaman diyot iletime girer ve devreden diyot vasıtasıyla yüke enerji aktarımı yapılır. Bu durum denklem 6.14 deki gibi ifade edilir.

$$V_L = V_i - V_0 \quad (6.14)$$

Anahtar kesimdeyken durumdayken yük kaynaktan ve endüktansta depolanan enerjiden beslenir ve bu durum çıkış geriliminin giriş geriliminden daha yüksek olmasına neden olur. RC zaman sabiti anahtarın kapalı olduğu zamandan büyük olduğunda çıkış geriliminin değeri sabit olur. Bu durumda endüktans üzerindeki gerilim ve akım dalga şekilleri Şekil 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.12. Sürekli Akım Modunda Endüktans Gerilimi ve Akımı

Endüktans gerilimine volt-saniye denge prensibini uygulanarak yükselten tip DC-DC dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki denklem 6.15 yardımı ile bulunabilir.

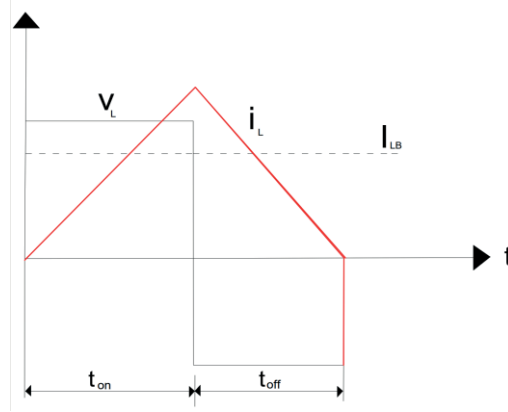
$$\int_0^{T_s} V_L(t) dt = V_i t_{on} + (V_i - V_o) t_{off} \quad (6.15)$$

Denklem 6.18 düzenlenirse denklem 6.16 elde edilir.

$$V_o = \frac{V_i}{1-d} \quad (6.16)$$

6.2.3. Süreksiz Akım Modu

Süreksiz akım modu, belirli bir anahtarlama periyodunun sonunda yük akımının değeri sıfırdan küçük veya sıfıra eşit olduğunda meydana gelir. Endüktanstan akan akımın doğrusal olarak artıp azaldığı varsayılarak sürekli ve süreksiz akım modu arasındaki sınır noktası, Şekil 6.13’te gösterilmiştir [49]. Şekilden görüldüğü gibi bu durum bir anahtarlama periyodu boyunca ortalama endüktans akımı tepe değerinin yarısına eşit olduğu zaman meydana gelir [49].



Şekil 6.13. Sürekli ve Süreksiz Akım Modu Arasındaki Sınır Durumu

Süreksiz çalışma modu, belirli bir anahtarlama periyodunun sonunda yük akımının değeri sıfırdan küçük veya sıfıra eşit olduğunda oluşur. Endüktanstan akan akımın doğrusal olarak artıp azaldığı varsayılırsa, sürekli ve süreksiz akım iletimi arasındaki sınır noktası, Şekil 6.13'te gösterildiği gibi, bir anahtarlama periyodu boyunca ortalama endüktans akımının tepe değerinin yarısı olduğunda ortaya çıkar. Sınır noktasındaki ortalama endüktans akımı denklem 6.17 kullanılarak hesaplanır [49].

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{l(peak)} = \frac{V_o T_s}{2L} d(1 - d) \quad (6.17)$$

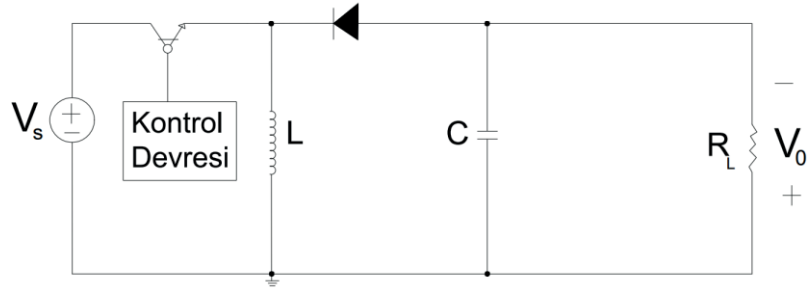
İdeal bir yükselten tip DC-DC dönüştürücüde giriş gücü çıkış gücüne eşittir. Bu ifade kullanılarak bu dönüştürücünün giriş ve çıkış akımları arasındaki ilişki denklem 6.18'de gösterildiği gibi elde edilebilir. Ayrıca bu dönüştürücüde endüktans akımı giriş akımı ile aynıdır. Denklem 6.18 denklem 6.17'de yerine yazılırsa denklem 6.19 elde edilir.

$$V_o I_o = V_i I_i \rightarrow I_o = I_s(1 - d) \quad (6.18)$$

$$I_o = \frac{V_o T_s}{2L} d(1 - d)^2 \quad (6.19)$$

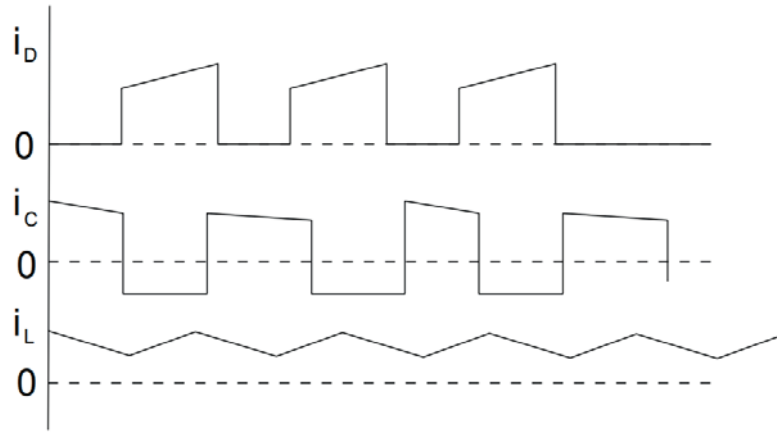
6.3. Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü

Düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücü giriş gerilimini çıkışta hem yükseltebilen hem de düşürebilen dönüştürücüdür. Bu dönüştürücü devre yapısı Şekil 6.14'te gösterilmiştir. Bu dönüştürücülerin temel anahtarlama elemanı çift kutuplu kontrollü bir anahtar olarak düşünülebilir.



Şekil 6.14. Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi

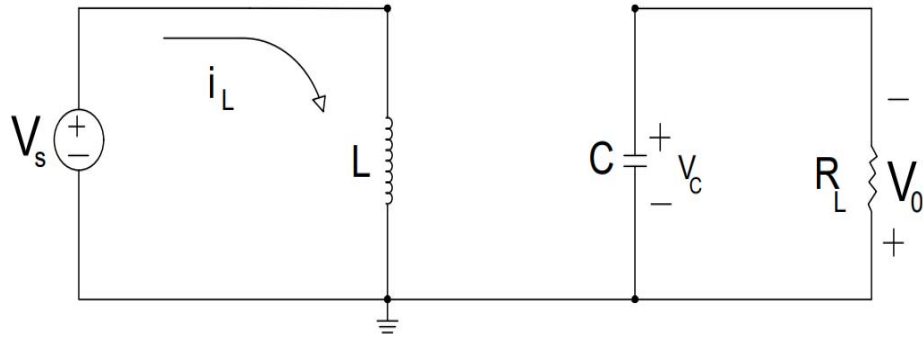
Düşüren-yükselten dönüştürücü gücün DC kaynaktan düşük dalgalanma içeren DC çıkışa doğru akmasını sağlar. DC çıkış gerilim değeri, DC giriş gerilim değerinden düşük ya da yüksek olabilir [48,49,51]. Bu devrede sürekli akım modu için diyot akımının (i_D), kondansatör akımının (i_C) ve endüktans akımının (i_L) değişimlerini gösteren dalga şekilleri Şekil 6.15'te gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Düşüren-Yükselten Dönüştürücü Devresindeki Dalga Şekilleri

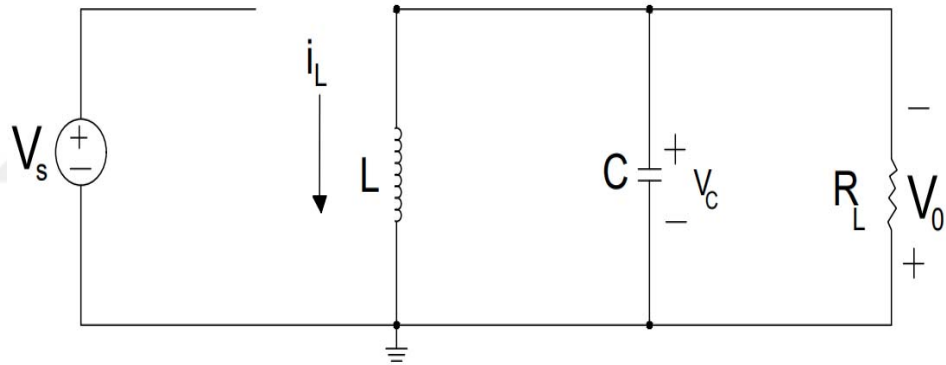
6.3.1. Sürekli Akım Modu

Şekil 6.16'da kontrollü anahtarın kapalı, diyotun ters kutuplandığı durum için eşdeğer devre şeması verilmiştir. Bu devrede endüktans akımı artar ve endüktans enerji depolamaya başlar. Kondansatör yükü besleyeceği için kondansatör gerilimi azalacaktır.



Şekil 6.16. Düşüren-Yükselten Dönüştürücüde Anahtarın Kapalı Olduğu Durum İçin Eşdeğer Devre

Düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücü devresinde kontrollü anahtarın açık olduğu durum için eşdeğer devre Şekil 6.17’de gösterilmiştir. Kontrollü anahtar açık iken endüktans üzerindeki gerilimin polarite değişir ve endüktans üzerinde depolanan enerji kondansatöre aktarılır. Endüktans deşarj olurken kondansatör şarj olur ve çıkış gerilimi artar. Çıkış geriliminin polaritesi giriş gerilimine göre ters olur.



Şekil 6.17. Düşüren-Yükselten Dönüştürücüde Anahtarın Açık Olduğu Durum İçin Eşdeğer Devre

Düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücü devresinde gerilim oranlarının görev periyodu cinsinden ifadesi denklem 6.20’de verilmiştir. Denklem 6.20 incelenirse, $d = 0.5$ değerinde bu dönüştürücünün çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit olur. Bu durumda $d = 0.5$ değeri düşüren ve yükselten durum arasındaki sınır noktasıdır. Ek olarak, çıkış geriliminin değeri d ’ye bağlı olarak değişecektir [48,49,51,52].

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{d}{1-d} \quad (6.20)$$

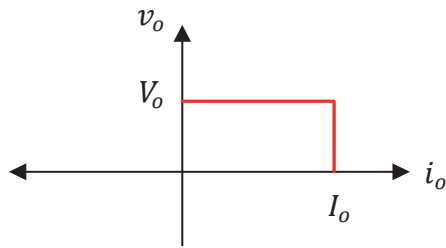
6.4. Çok Bölge DC-DC Dönüştürücüler

DC-DC dönüştürücüler tek yönlü ve çift yönlü güç akışı sağlamalarına göre ikiye ayrılırlar. Tek yönlü dönüştürücüler, sensör ve güvenlik ekipmanları gibi çeşitli yerleşik yüklere güç sağlamak için kullanılır. Çift yönlü DC-DC dönüştürücüler, rejeneratif frenlemenin gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Rejeneratif frenleme sırasında güç, bataryaları şarj etmek için gerilim kaynağına geri akar.

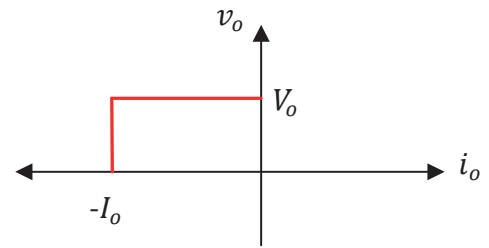
Önceden bahsedilen düşüren, yükselten ve düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücüler gücün kaynaktan yüke akmasına izin verir ve dolayısıyla tek yönlü dönüştürücülerdir. Akımın yönüne ve gerilimin polaritesine bağlı olarak, DC-DC dönüştürücüler aşağıda verildiği gibi beş tipte sınıflandırılabilir [53,54].

- Birinci bölgede çalışan dönüştürücü
- İkinci bölgede çalışan dönüştürücü
- Birinci ve ikinci bölgede çalışan dönüştürücü
- Üçüncü ve dördüncü bölgede çalışan dönüştürücü
- Dört bölgede çalışan dönüştürücü

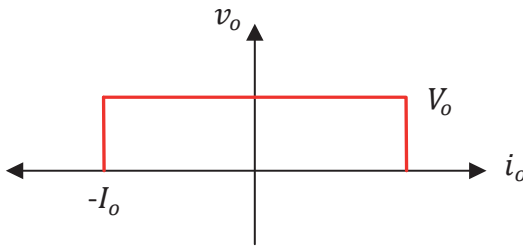
Yukarıdaki verilen beş dönüştürücü arasında, birinci ve ikinci seçenekte verilen dönüştürücüler tek yönlü, diğer seçenekte verilen dönüştürücüler ise çift yönlü dönüştürücülerdir. Şekil 6.18’de beş tip dönüştürücünün çıkış gerilimi (V_o) ve çıkış akımı (I_o) arasındaki ilişki gösterilmiştir [53,54].



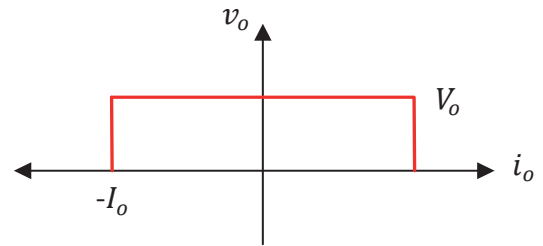
Birinci bölgede çalışan dönüştürücü



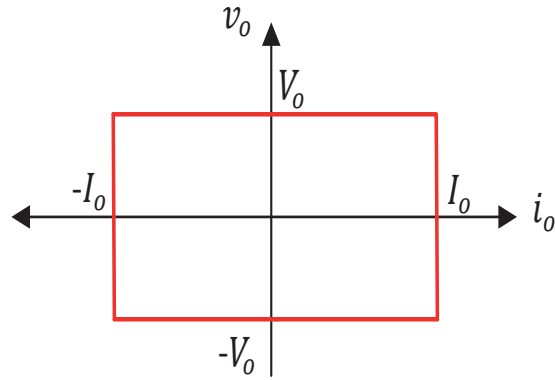
İkinci bölgede çalışan dönüştürücü



Birinci ve ikinci bölgede çalışan dönüştürücü



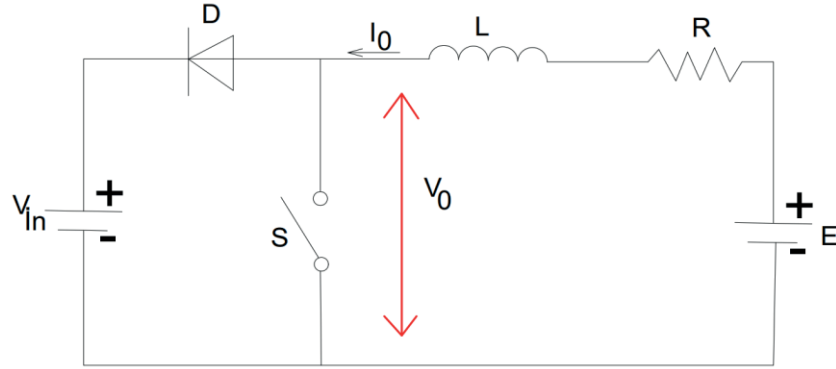
Üçüncü ve dördüncü bölgede çalışan dönüştürücü



Şekil 6.18. Dört Bölgede Çalışan Dönüştürücünün Çalışma Bölgeleri

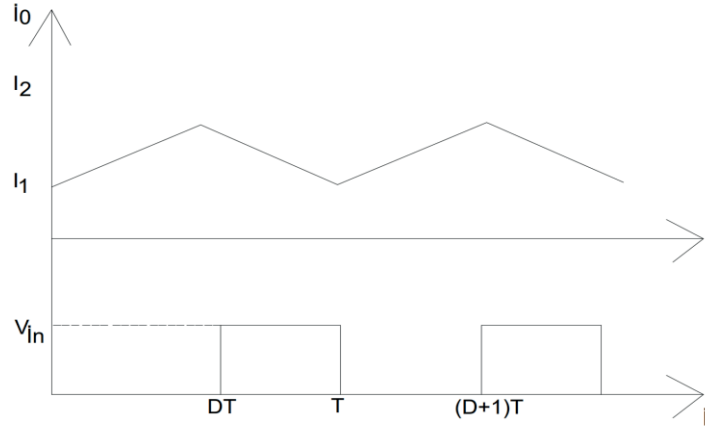
İkinci bölgede çalışan dönüştürücü, adını akım akışının yükten kaynağa doğru olması ve çalışma aralığı boyunca gerilimin pozitif olmasından alır. Gücün bu şekilde tersine çevrilmesi yalnızca yük aktifse, yani yük sürekli güç çıkışı sağlayabiliyorsa gerçekleşebilir [53,54].

Şekil 6.19’da, *RLE* (direnç-endüktans-zıt elektromotor kuvveti) yükünü besleyen ikinci bölgede çalışan dönüştürücünün devre yapısı gösterilmiştir. Yük akımı yükten kaynağa doğru akar. Şekil 6.19’da gösterildiği gibi yük gerilimi pozitif ancak yük akımı negatiftir. Bu dönüştürücü tek bölgeli bir dönüştürücüdür ancak ikinci bölgede çalışır.



Şekil 6.19. İkinci Bölgede Çalışan DC-DC Dönüştürücü Devresi

İkinci bölgede çalışan DC-DC dönüştürücünün anlık çıkış akımı ve çıkış geriliminin dalga şekli Şekil 6.20’de gösterilmiştir



Şekil 6.20. İkinci Bölgede Çalışan DC-DC Dönüştürücünün Akım ve Gerilim Dalga Şekli

Şekil 6.19’da verilen dönüştürücü devresi S anahtarının iletimde ve kesimde olma durumuna göre iki moda çalışır. S anahtarının iletime girdiği durum (mod-1) için eşdeğer devreye Kirchoff’un gerilim yasası uygulanırsa denklem 6.21 elde edilir.

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_0 + E = 0 \quad (6.21)$$

Denklem 6.21, $i_0 = I_L$ başlangıç koşulu için çözülürse denklem 6.22 elde edilir.

$$i_o(t) = I_1 e^{-\frac{R}{L}t} - \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (6.22)$$

Denklem 6.22 $0 \leq t \leq dT$ aralığı için geçerlidir. $t = dT$ süresi sonunda çıkış akımı I_2 değerine ulaşır. Şekil 6.19’daki devreye S anahtarı kesimde olduğu durum için (mod-2) Kirchoff’un gerilimler yasası uygulanırsa denklem 6.23 elde edilir.

$$V_{in} = L \frac{di_o}{dt} + Ri_o + E \quad (6.23)$$

Mod-2 çalışma durumunda akımın başlangıç değeri, mod-1 çalışma durumundaki akımın son değeri ile aynıdır. Dolayısıyla, mod-2’nin başlangıç koşulu I_2 değerine eşittir. Bu başlangıç koşuluna göre denklem 6.25 çözülürse denklem 6.24 elde edilir.

$$V_{in} = I_2 e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} - \frac{E}{R} (1 - e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t}) \quad (6.24)$$

Denklem 6.24 $dT \leq t \leq T$ aralığı için geçerlidir. Mod-2'nin sonunda yük akımı denklem 6.25'teki gibi elde edilir.

$$i_2 = (t = t_{off} = (1 - d)T = I_3 \quad (6.25)$$

Mod-2'nin sonunda, dönüştürücü tekrar mod-1'de çalışmaya başlar ve dönüştürücü periyodik olarak bu çalışmasını sürdürür. Bu nedenle, mod-1'deki akımın başlangıç değeri $I_3 = I_1$ olur. Denklem 6.24 ve denklem 6.25 kullanılarak denklem 6.26 ve denklem 6.27 elde edilir.

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R} \left[\frac{1 - e^{-(1-d)z}}{1 - e^{-z}} \right] - \frac{E}{R} \quad (6.26)$$

$$I_2 = \frac{V_{in}}{R} \left[\frac{e^{-dz} - e^{-z}}{1 - e^{-z}} \right] - \frac{E}{R} \quad (6.27)$$

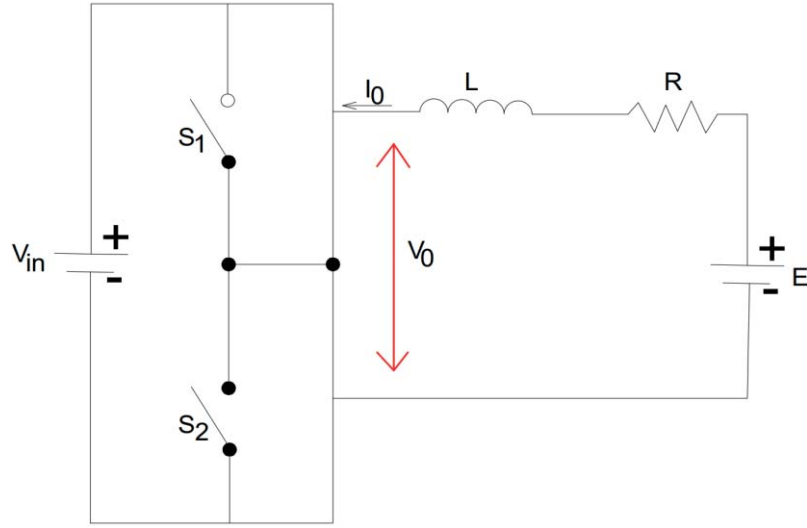
Burada $z = \frac{R}{L}T$ 'dir.

6.5. İki Bölgede Çalışan Dönüştürücüler

Bu dönüştürücü, birinci ve ikinci bölgede çalışan dönüştürücülerin bir kombinasyonudur. Bu bölümde birinci ve ikinci bölgede çalışan, birinci ve dördüncü bölgede çalışan iki bölgeli dönüştürücülerden bahsedilecektir. Dönüştürücülerin analizinde giriş geriliminin yük geriliminden büyük olduğu ve kaynak yüke doğru akan akım yönünün pozitif olduğu varsayılmıştır.

6.6. Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücü

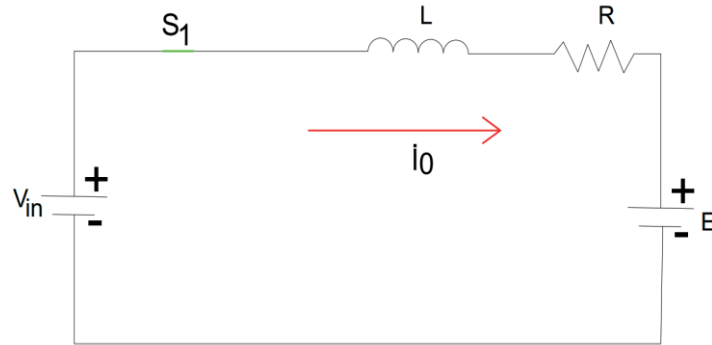
Şekil 6.21'de birinci ve ikinci bölgede çalışan iki bölgeli bir dönüştürücü yapısı gösterilmiştir.



Şekil 6.21. Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücü Yapısı

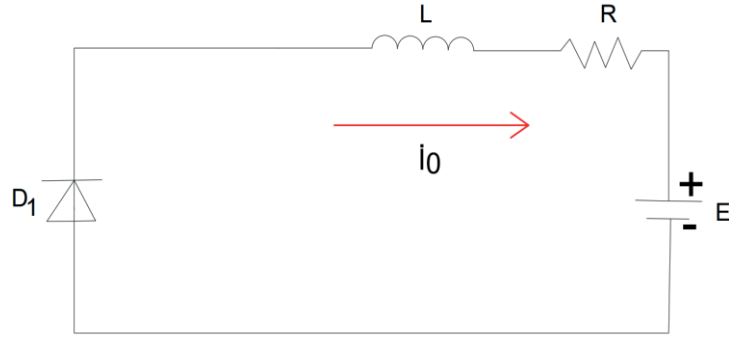
Şekil 6.21’de verilen dönüştürücü, S_1 anahtarı iletimde, S_2 anahtarı ve D_2 diyotu kesimde iken birinci bölgede çalışır. Eğer S_2 anahtarı iletimde, S_1 anahtarı ve D_1 diyotu kesimde ise bu dönüştürücü ikinci bölgede çalışır. Bu dönüştürücünün dört olası çalışma modu vardır. Bu dört durum bir sonraki bölümde detaylı anlatılacaktır [53,54].

1. Durum: Minimum akım $I_1 > 0$, minimum (I_1) ve maksimum (I_2) akımları pozitiftir. Bu modda yalnızca S_1 anahtarı ve D_1 diyotu çalışır. S_1 anahtarı $t = 0$ anında ilettime girerse akım kaynaktan yüke doğru akar ve L endüktansında depolanan enerji artar. Bu duruma ilişkin eşdeğer devre Şekil 6.22’de verilmiştir.



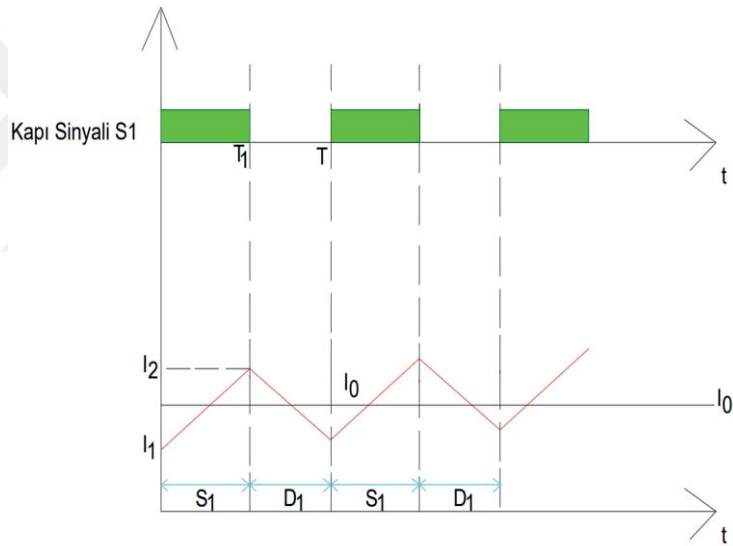
Şekil 6.22. S_1 Anahtarının İletim Durumu için Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi

$t = T_1$ anında S_1 anahtarı kesime girdiği zaman akım aynı yönde akmaya devam edecektir. Bu durumda yük akımı D_1 boşluk diyotu üzerinden akacaktır. Bu duruma ilişkin eşdeğer devre Şekil 6.23’te verilmiştir.



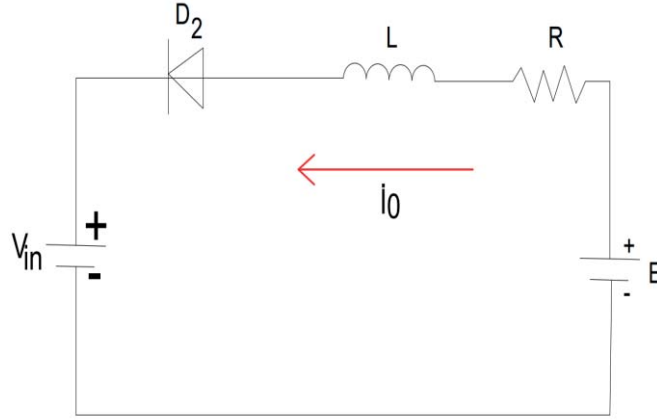
Şekil 6.23. D Diyotunun İletim Durumu için Birinci ve İkinci Bölgede Çalışan Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi

Bu devrede, anlık çıkış akımı I_0 , sürekli pozitif yönde akmaktadır ve ortalama çıkış akımı I_0 pozitifdir. Bu nedenle, dönüştürücü birinci bölgede çalışır. Bu çalışma durumunda S_1 anahtarının kapı sinyali ve yük akımına ilişkin dalga şekilleri Şekil 6.24’te gösterilmiştir.



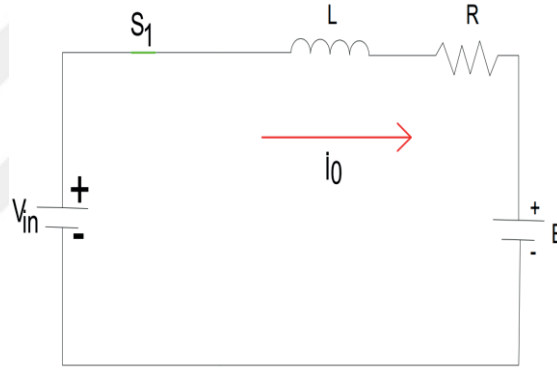
Şekil 6.24. S_1 Anahtarının ve D_1 Diyotunun İletim Durumlarında S_1 Anahtarının Kapı Sinyali ve Yük

2.Durum: Minimum Akım $I_1 < 0$, maksimum akım $I_2 > 0$ ve Ortalama Yük Akımı I_0 pozitifdir. Bu durumda anlık yük akımı I_0 pozitif veya negatif olabilir ancak ortalama yük akımı I_0 pozitifdir. Dönüştürücünün çalışmasının analizinde dönüştürücünün sürekli durumda olduğu varsayılır. $t = 0$ anında S_1 anahtarı ilettime girerse, anlık yük akımı negatiftir ($I_0 < 0$) ve bu akımı D_2 diyotu üzerinden akar. Bu duruma ilişkin eşdeğer devre Şekil 6.25’te verilmiştir.



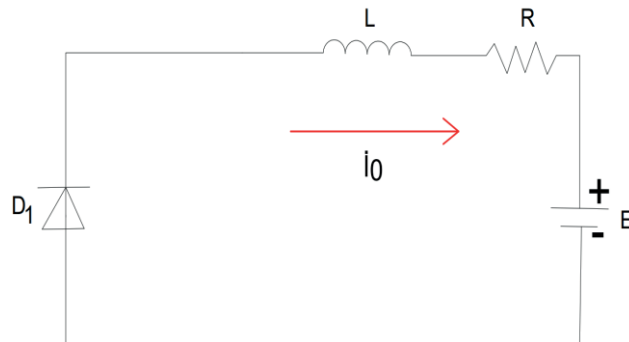
Şekil 6.25. S1 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Negatif Olması Durumunda Eşdeğer Devre

Giriş gerilimi V_{in} , yük geriliminden daha büyüktür, dolayısıyla d_{i_0}/d_t pozitifdir. $I_0 = 0$ olduğunda S1 anahtarı iletime girer ve T_1 süresine kadar devam eder. Bu duruma ilişkin eşdeğer devre Şekil 6.26'da gösterilmiştir.



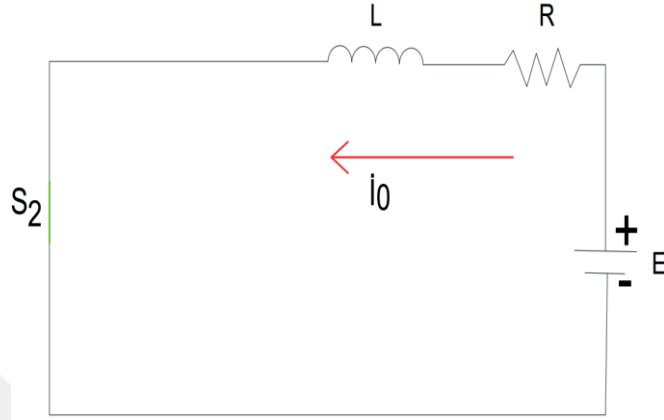
Şekil 6.26. S1 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Pozitif Olması Durumunda Eşdeğer Devre

T_1 anında S_1 anahtarı kesime gider ve S_2 anahtarı iletime girerse yük akımı pozitif yönde aktığından bu akım S_2 anahtarı üzerinden akamaz. Bu endüktif akım D_1 diyotu üzerinden akmaya başlar. Bu duruma ilişkin eşdeğer devre şekil 6.27'de verilmiştir.



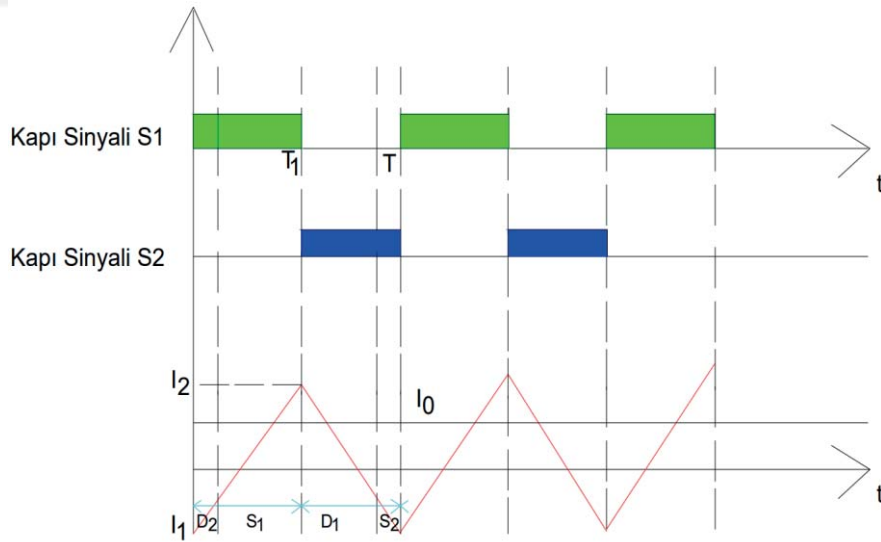
Şekil 6.27. S2 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Pozitif Olması Durumunda Eşdeğer Devre

Yük akımının eğimi d_{i_0}/d_t negatiftir, I_0 bir süre sonra sıfır olur ve D_1 diyotu kesime girer. I_0 negatif olacağından, yük akımı S_2 anahtarı üzerinden akmaya başlar. Bu duruma ait eşdeğer devre Şekil 6.28’de verilmiştir. Bu durum, S_1 anahtarının tekrar ilettime girdiği T anına kadar devam eder. T_1 ve T süreleri ortalama yük akımı (I_0) pozitif olacak şekildedir.



Şekil 6.28. S2 Anahtarının İletimde Olup Yük Akımının Negatif Olması Durumunda Eşdeğer Devre

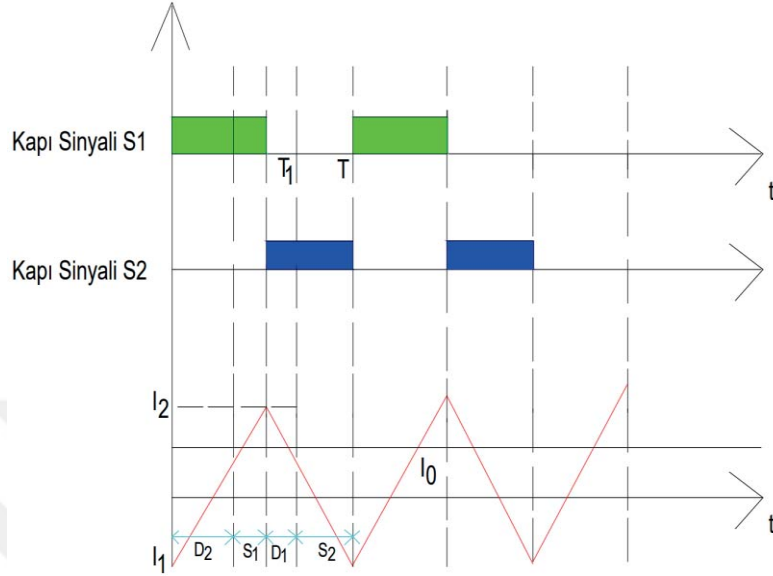
İkinci çalışma durumunda S_1 ve S_2 anahtarlarına ait kapı sinyalleri ve yük akımına ilişkin dalga şekilleri Şekil 6.29’da verilmiştir.



Şekil 6.29. İkinci Çalışma Durumunda S_1 ve S_2 Anahtarlarına Ait Kapı Sinyalleri ve Yük Akımına Ait Dalga Şekilleri

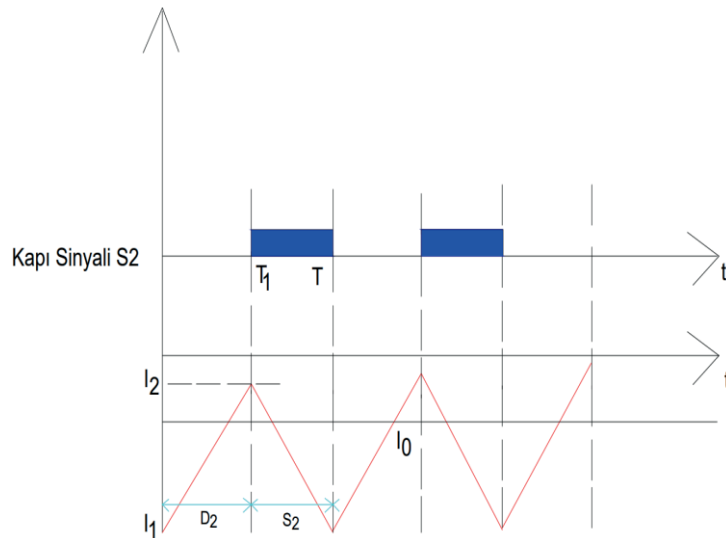
3. Durum: Minimum akım $I_1 < 0$, maksimum akım $I_2 > 0$ ve ortalama yük akımı I_0 negatiftir. Bu çalışma durumunda anahtarların ilettime girme sırası ikinci durum ile aynıdır. Ancak T_1 ve T süreleri ortalama yük akımı I_0 negatif olacak şekilde kontrol edilir. Bu nedenle, dönüştürücü ikinci bölgede

çalışır. Bu çalışma durumuna ait S_1 ve S_2 anahtarlarına ait kapı sinyalleri ve yük akımının dalga şekli Şekil 6.30’da gösterilmiştir.



Şekil 6.30. Üçüncü Çalışma Durumunda Ait S1 ve S2 Anahtarlarına ait Kapı Sinyallerinin ve Yük Akımının Dalga Şekilleri

4. Durum: Bu çalışma durumunda $I_2 < 0$ 'dır. Bu durumda anlık yük akımı her zaman negatiftir. Dolayısıyla, ortalama yük akımı da negatiftir ve dönüştürücü ikinci bölgede çalışır. D_2 diyodu T_1 süresine kadar iletimdedir ve yük akımının eğimi d_{i_0}/d_t pozitifdir. Bu çalışma durumunda yük akımı I_1 'den I_2 'ye yükselir. S_2 anahtarı T_1 süresi sonunda iletime girer ve T süresi sonuna kadar iletimde kalır. Bu çalışma durumuna ait S_2 anahtarına ait kapı sinyali ve yük akımının dalga şekli Şekil 6.31’de gösterilmiştir.



Şekil 6.31. Dördüncü Çalışma Durumunda Ait S2 Anahtarına Ait Kapı Sinyali ve Yük Akımının Dalga Şekli

Yukarıda tartışılan dört durumdan aşağıdakiler gözlemlenebilir:

- 1) Birinci ve dördüncü durumlar için, D_2 diyotunun iletimi sırasında $I_o < 0$ 'dır. Ancak yük gerilimi $E > 0$ 'dır ve dolayısıyla yükün gücü negatiftir. Bu durum, motorun kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü ve kaynağa geri beslendiği şeklinde yorumlanabilir ve dolayısıyla motorun rejeneratif frenleme modunda çalıştığı anlamına gelir.
- 2) S_1 ve S_2 anahtarlarına kapı sinyalleri uygulandığı zaman bu anahtarlar iletime girerler. Bu anahtarlardan akan anlık akım pozitifdir.
- 3) Yükten akan akımın ortalama değeri denklem 6.28 yardımı ile bulunabilir.

$$I_o = \frac{V_{in}\left(\frac{T_1}{T}\right) - E}{R} \quad (6.28)$$

- 4) Deklem 6.28'de bulunan akım, $V_{in}\left(\frac{T_1}{T}\right) > E$ veya $V_{in}\left(\frac{T_1}{T}\right) < E$ olmasına bağlı olarak ya negatif

7. BULANIK MANTIK SİSTEMLER

Bulanık mantık teorisi 1965 yılında Azerbaycanlı Lütü Aliasker Zade tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoride bulanık kümelerin geleneksel kümelerden farklı olduğu belirtilmiştir [55]. Teorinin uygulan 1970 yılının ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra Japonya'da bulanık mantığın kullanmasıyla hız kazanmıştır.

Günümüzde hemen hemen her alanda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür. Bulanık kontrolörler, çamaşır makineleri, kameralar, robotlar, yer altı trenleri gibi birçok teknoloji ürünlerini kontrol etmek için kullanılmıştır. Bulanık kontrol, bulanık mantığa dayalı bir kontrol yöntemidir. Bulanık mantık basitçe "sayılar yerine kelimelerle hesaplama" olarak tanımlanabildiği gibi, bulanık kontrol de basitçe "denklemler yerine cümlelerle kontrol" olarak tanımlanabilir. Örneğin tipik bir bulanık kontrolörün dilsel olarak ifadesi aşağıdaki gibi verilebilir [56].

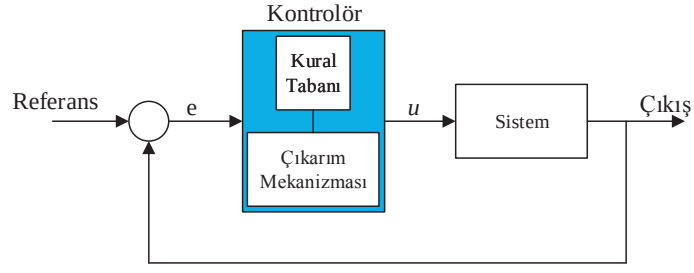
Kural 1: Eğer Hata (e) "N" ve hatadaki değişim (Δe) "N" ise O zaman Çıkış (u) NB.

Kural 2: Eğer Hata (e) "N" ve hatadaki değişim (Δe) "S" ise O zaman Çıkış (u) "NM"

Bir bulanık kontrolörde kuralların toplamına kural tabanı denir. Kurallar Eğer - O zaman biçimindedir ve kuralın Eğer tarafı koşul ve O zaman tarafı sonuç olarak adlandırılır. Giriş değeri "N", Negatif kelimesinin kısaltması olan bir dilsel terimdir, NB çıkış değeri negatif büyük ve NM değeri negatif orta anlamına gelir. Bilgisayarlar, e ve Δe girişlerine bağlı olarak kuralları uygulayabilir ve bir kontrol sinyali hesaplayabilir [56].

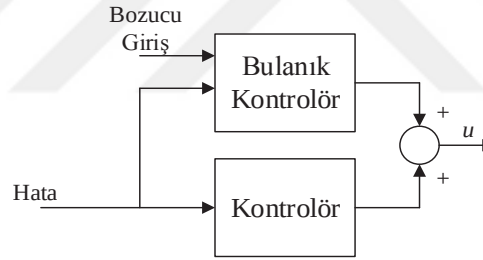
Kural tabanlı bir kontrolörde, kontrol stratejisi aşağı yukarı doğal bir dilde saklanır. Kontrol stratejisi, denklem tabanlı bir açıklamaya karşı bir kural tabanında izole edilmiştir. Bir kural tabanlı kontrolör, uzman olmayan bir son kullanıcı için anlaşılması ve bakımı kolaydır [56].

Bulanık kontrolörler çeşitli kontrol şemalarında kullanılmaktadır Şekil 7.1'de geri beslemeli bir kontrol sisteminin ileri besleme yoluna bağlanan bir bulanık kontrolör ile yapılan doğrudan kontrol şeması gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi sistem çıkışı referans değer ile karşılaştırılır ve elde edilen hata bulanık kontrolöre giriş olarak uygulanır. Bulanık kontrol hata değerine göre bir kontrol çıkışı (u) üretir ve bu kontrol çıkışı sisteme giriş olarak uygulanır. Kontrolör burada bulanık bir kontrolördür ve geleneksel bir kontrolörün yerine kullanılabilir [56].



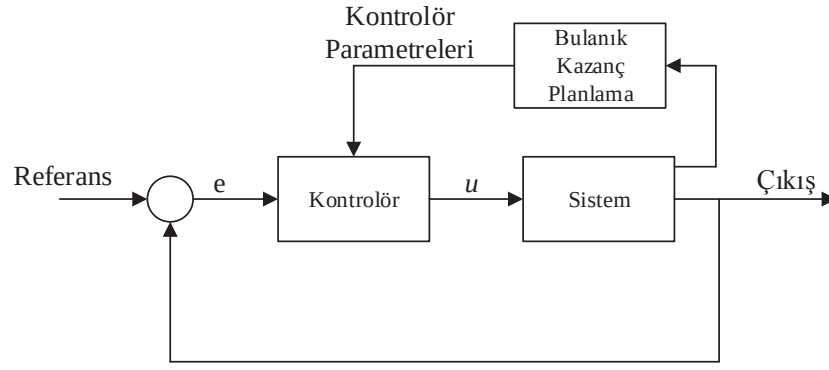
Şekil 7.1. Bulanık Kontrolör ile Yapılan Doğrudan Kontrol Şeması

Şekil 7.2’de ileri beslemeli bir kontrol yapısı verilmiştir. Bu kontrol yapısı kullanılarak ölçülebilir bir bozucu girişin etkisi giderilebilir. İyi bir model gerektirir, ancak matematiksel bir model elde edilmesi zor veya pahalıysa, bulanık bir model yararlı olabilir. Şekil 7.2 bir denetleyiciyi ve bulanık dengeleyiciyi göstermektedir, işlem ve geri besleme döngüsü açıklık için çıkarılmıştır. Bozulma girdisini göz ardı eden şema, doğrusal ve doğrusal olmayan kontrol eylemlerinin bir iş birliği olarak görülebilir; kontrolör C doğrusal bir PID kontrolör olabilirken, bulanık kontrolör F doğrusal olmayan tamamlayıcı bir kontrolördür [56].



Şekil 7.2. İleri Besleme Kontrol

Bulanık kurallar, parametre uyarlamalı kontrol şemasındaki ayar parametrelerini düzeltmek için de kullanılır. Şekil 7.3’te bulanık parametre uyarlamalı kontrol yapısı gösterilmiştir. Doğrusal olmayan bir sistemin çalışma noktasını değiştirirse, kontrolörün parametrelerini her çalışma noktasına göre değiştirmek mümkün olabilir. Başlangıçta sistem kazançlarını değiştirmek için kullanıldığından buna kazanç planlama denir. Bir kazanç planlama kontrolörü, parametreleri önceden programlanmış bir şekilde çalışma noktasının bir fonksiyonu olarak değiştirilen bir doğrusal kontrolör içerir [56].



Şekil 7.3. Bulanık Parametre Uyarlamalı Kontrol

Bulanık bir kontrol sisteminin kararlılığı oldukça önemlidir. Kararlılık sistemin bir denge noktasına yakınsama veya yakın kalma yeteneği ile ilgilidir. Kararlı bir doğrusal sistem, sistem durumu değişkenleri nerede başlarsa başlasın, asimptotik olarak dengeye yaklaşır.

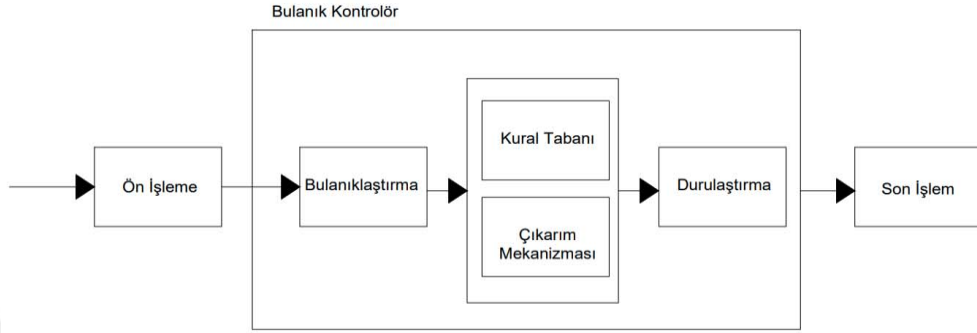
Doğrusal sistemlerde kararlılık analizi nispeten basittir. Örneğin kapalı çevrim bir sistemin tüm öz değerleri karmaşık düzlemin sol yarısında olup olmadığına bakılarak sistemin kararlılığı belirlenebilir. Bulanık sistemler genellikle doğrusal olmayan bir yapıya sahiptirler ve bu tür sistemlerde kararlılık kavramı daha fazla karmaşıktır. Doğrusal olmayan bir sistemin, bir dengeye yakın başladığında ona yakınsaması durumunda asimptotik kararlı olduğu söylenir. Hatta denge noktasına yaklaşmadan sadece yakın kalsa bile kararlı olduğu söylenir (Lyapunov kararlılık analizi). Kararlılık koşullarını kontrol etmek, kısmen sistem davranışının da sinyalden etkilenmesi nedeniyle doğrusal olmayan sistemlerde çok daha zordur [56].

Diğer bir olasılık, bulanık denetleyiciyi bir doğrusal denetleyiciyle yaklaşık olarak tahmin etmek ve ardından yaklaşım üzerinde geleneksel doğrusal analiz ve tasarım prosedürlerini uygulamaktır. Doğrusal olmayan sistemin kararlılık marjlarının, yaklaşımın ne kadar yakın olduğuna bağlı olarak bir anlamda doğrusal yaklaşımın kararlılık sınırlarına yakın olması muhtemeldir [56,57].

Girişler ve dilsel değişkenler tanımlandıktan sonra terimlerin mümkün tüm terimleri elde edilebilir. Terimlerin tüm olası kombinasyonlarını üretmek mümkündür. İşlemlerde kullanılan terimlerin tüm kombinasyonlarında her girdi için bir terim ailesi tanımlandıktan sonra dilsel bir çapraz ürün kullanılarak birleştirilebilirler. Kural tabanı hatayla ilişkili üç terimle ve hatadaki değişikliklerle ilişkili üç terimle birlikte kullanıldıktan sonra dokuz kuraldan oluşan eksiksiz bir kümeyle sonuçlanır. Birçok girdi ve her biriyle ilişkili birkaç terim bazı kombinasyonlarla alakasız olursa bu durum yönetilemez hale gelir. Bulanık kontrolde herhangi bir tasarım prosedürü yoktur, çünkü bulanık kurallar genellikle doğrusal değildir. Bu nedenle, bulanık denetleyici tasarımı için ticari yazılım paketlerindeki çeşitli seçenekleri tanımak ve anlamak için bulanık denetleyicilerin temel bileşenlerini ve işlevlerini tanımlamak gereklidir [56,57].

7.1. Bulanık Kontrolör Yapısı

Bulanık bir kontrolörün karakteristik özelliği olan belirli bileşenleri vardır. Şekil 7.4'te bulanık bir kontrolörün yapısı verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bulanık kontrolör bir ön işleme bloğu ile bir son işleme bloğu arasındadır. Şekil 7.4'te gösterilen bulanık kontrolör yapısında gerçekleştirilen işlemler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 7.4. Bulanık Bir Kontrolörün Yapısı

7.1.1. Ön İşleme

Bulanık kontrolöre girişler genellikle dilsel ifadelerden ziyade bazı ölçüm ekipmanlarından alınan kesin ölçümlerdir. Şekil 7.4'te verilen bulanık kontrolör yapısında ilk blok olan bir ön işlemci, kontrolöre girişler uygulanmadan önce ölçümleri koşullandırır. Ön işlemede yapılan işlemlere örnekleme veya tam sayıya yuvarlama, normalizasyon veya ölçeklendirme, gürültüyü gidermek için filtreleme, uzun vadeli veya kısa vadeli eğilimleri elde etmek için ortalama alma, temel göstergeleri elde etmek için çeşitli ölçümlerin bir kombinasyonu ve fark ve integral alma örnek olarak verilebilir [57].

7.2. Bulanıklaştırma

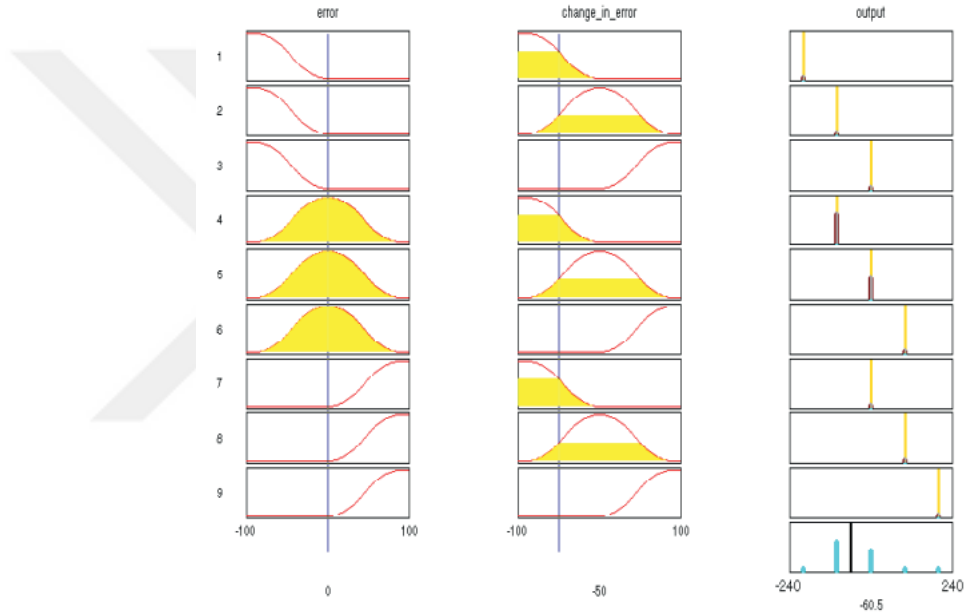
Kontrolör içindeki ilk blokta üyelik fonksiyonları kullanılarak her giriş için dönüştüren bulanıklaştırmadır. Bir veya daha fazla üyelik fonksiyonunda arama yaparak üyelik derecelerine göre veri bu bulanıklaştırma bloğunu giriş verilerini belirlemek için kuralların koşullarıyla eşleştirir. Her kuralın koşulunun söz konusu giriş örneğiyle ne kadar iyi eşleştiği önemlidir [57].

7.3. Bulanık Kural Tabanı

Kurallar, kuralların hem koşulunda hem de sonuçlarında birkaç değişken kullanabilir. Bu nedenle kontrolörler tek giriş tek çıkış problemleri ve her iki çoklu giriş çoklu çıkış problemine uygulanabilir. Basitleştirmek gerekirse bu bölüm, kontrol amacının bir öngörülen ayar noktası veya referans tek döngülü kontrol ile sınırlıdır [57].

7.4. Çıkarım Mekanizması

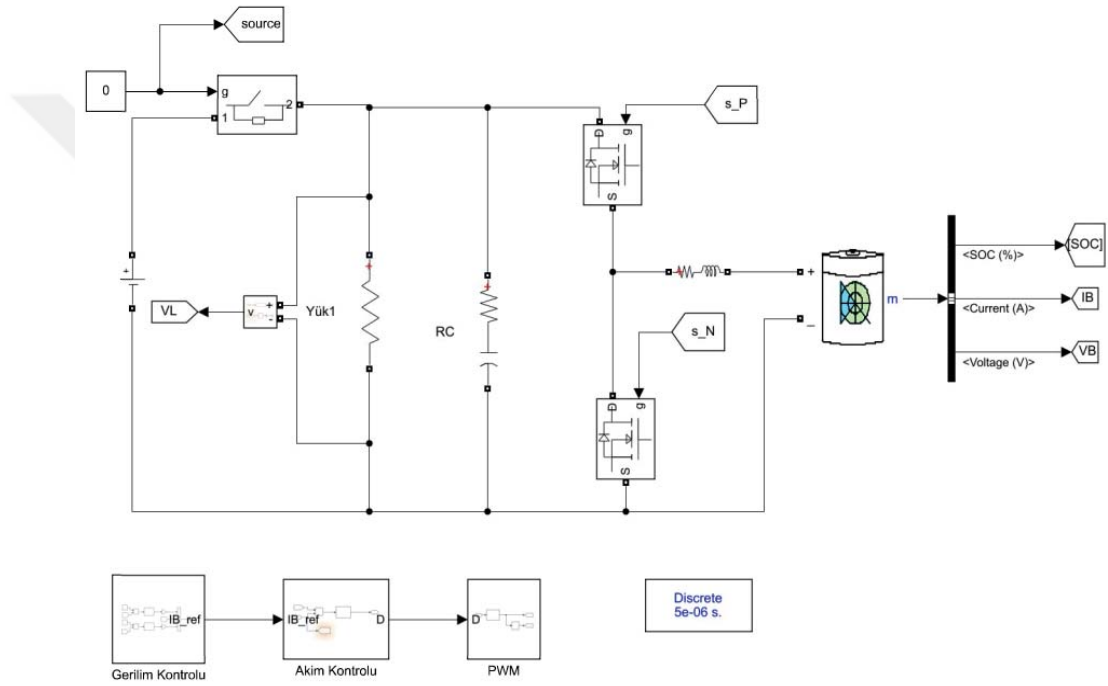
Şekil 7.5'te bulanık bir kontrolörün kontrol sinyalinin grafiksel gösterimi verilmiştir. Şekilde verilen dokuz satırdan her biri bir kurala karşılık gelir. Kurallar, kontrol sinyalinin referans hatası ve hatadaki değişikliğin bir kombinasyonu olan bulanık bir orantılı-türev denetleyicisi olması gerektiği stratejisini yansıtır. Hatanın örnekleri ve hatadaki değişiklik, grafiğin birinci ve ikinci sütunlarındaki dikey çizgilerle gösterilir. Her kural için, çıkarım altyapısı üyelik değerlerini kuralın koşulunda arar [57].



Şekil 7.5. Bulanık Bir PD Denetleyicide Kontrol Sinyalinin Grafik Yapısı

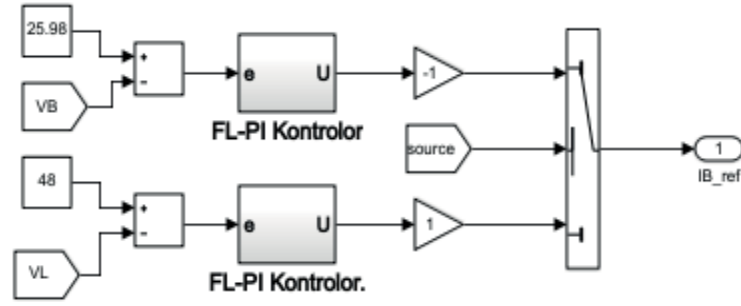
8. BENZETİM SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında, batarya enerji depolama sistemli hibrit bir güç sisteminin DC hat geriliminin denetimi Bulanık Mantık oransal + integral (FL-PI) kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sistemin Matlab/Simulink'te oluşturulmuştur. Oluşturulan model bir DC gerilim kaynağı, lityum iyon batarya, gerilim FL-PI kontrolörü, akım FL-PI kontrolörü, çift yönlü DC-DC dönüştürücü ve dönüştürücünün anahtarları için kapı darbelerinin üretilmesi kısımlarından oluşmaktadır. Oluşturulan Matlab/Simulink modeli Şekil 8.1'de verilmiştir.



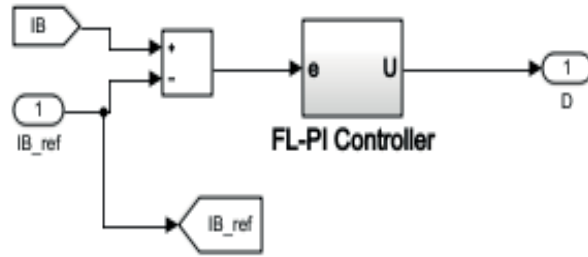
Şekil 8.1. Matlab/Simulink'te Oluşturulan Benzetim Modeli

Şekil 8.1'de verilen Matlab/Simulink modelindeki gerilim kontrolü bloğunun alt bloğu Şekil 8.2'de verilmiştir. Gerilim kontrolü FL-PI kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Gerilim kontrolörünün çıkışında referans batarya akımı elde edilmiştir.



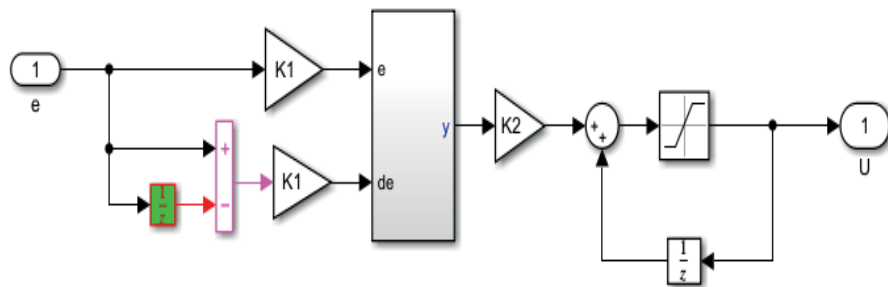
Şekil 8.2. Gerilim Kontrolörünün Alt Bloğu

Şekil 8.1’de verilen Matlab/Simulink modelindeki akım kontrolü bloğunun alt bloğu Şekil 8.3’te verilmiştir. Akım kontrolü de FL-PI kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Akım kontrolörünün çıkışında görev oranı elde edilmiştir.



Şekil 8.3. Akım Kontrolörünün Alt Bloğu

Gerilim ve akım kontrolünde kullanılan FL-PI kontrolör yapısı Şekil 8.4’te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kontrolöre girişler hata (e) ve hatanın değişimi (Δe) seçilmiştir. Akım ve gerilim kontrol döngüsündeki FL-PI kontrolörde beş adet Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. FL-PI kontrolör iki girişli ve tek çıkışlıdır. Ayrıca sürekli durum hatasını yok etmek için kontrolör çıkışına integral yerleştirilmiştir. Kontrolörün giriş ve çıkış kazançlarının en uygun değerleri Matlab/Simulink Response Optimizer araç kutusu kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 8.4. Matlab/Simulink’te oluşturulan FL-PI kontrolör

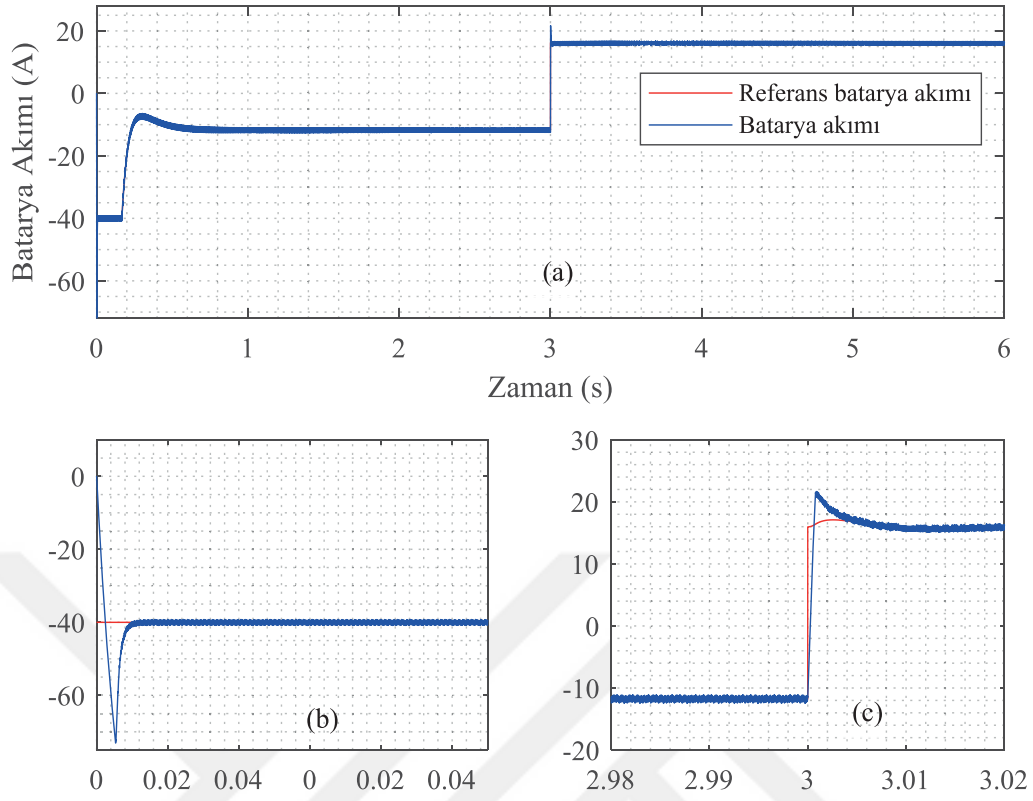
Benzetim çalışmasında kullanılan parametreler Tablo 8.1’ de verilmiştir.

Tablo 8.1. Benzetim Çalışmasında Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
DC Kaynak	48 V
Yük	6 Ω
Bataryanın Nominal Gerilimi	24 V
Bataryanın Nominal Kapasitesi	50 Ah
Bataryanın Başlangıç Şarj Durumu	%60
Bataryanın Cevap Zamanı	1 s
Anahtarlama Frekansı	10 kHz
Örnekleme Süresi	5 μ s

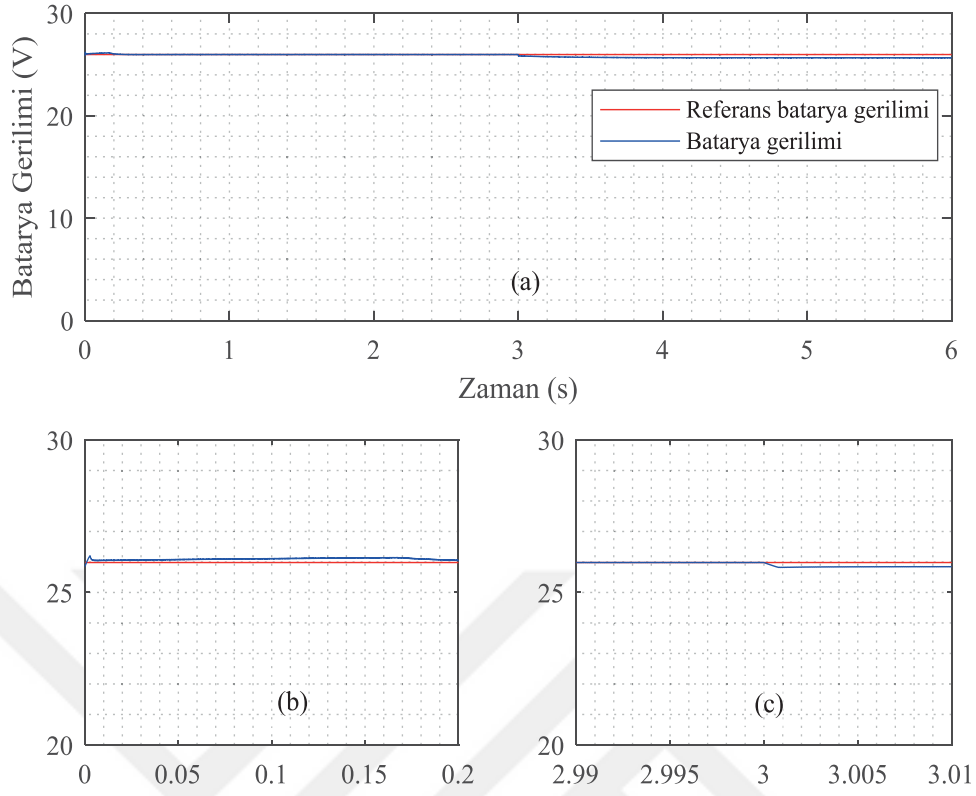
Oluşturulan benzetim modelinin dinamik performansı, iki farklı çalışma koşulu için değerlendirilmiştir. Birinci çalışma koşulunda, DC gerilim kaynağı devrede ve 3. s’de devreden çıkarılmıştır. Bu durumda 3. s’ye kadar DC kaynak hem yükün talep ettiği gücü karşılayacak hem de bataryayı şarj etmiştir. İkinci çalışma koşulunda, DC gerilim kaynağı benzetim çalışmasının başlangıcında devreye alınmamış ve 3. s’de DC gerilim kaynağı devreye alınmıştır. Bu durumda 3. s’ye kadar batarya yükün talep ettiği gücü karşılayacak ve bu nedenle batarya deşarj olacaktır.

Birinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde FL-PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya akımının değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.5(a)’da verilmiştir. Şekil 8.5(a)’nın 0-0.04 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.5(b)’de, 2.98-3.02 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.5(c)’de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede iken batarya ilk anda 40 A bir şarj akımı çekmektedir ve daha sonra şarj akımı yaklaşık 11.5 A düşmektedir. 3 s’de DC gerilim kaynağı devreden çıkarıldığı anda batarya yükün talep ettiği gücü karşılamak için gerekli olan akımı çok kısa sürede (0.01 s’den daha kısa) ve çok az bir aşma (< %5) ile sağlamayı başarmıştır. Ek olarak, 3 s’den önce ve sonra herhangi bir sürekli durum hatası olmadan batarya akımı referans değerini izlemeyi başarmıştır.



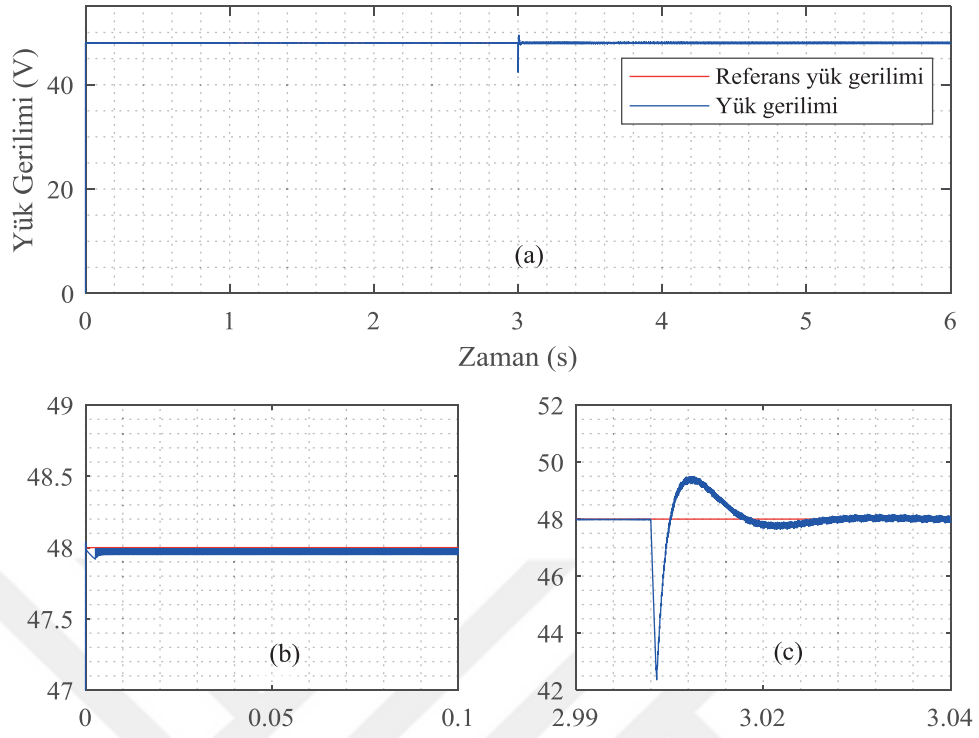
Şekil 8.5. FL-PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Birinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde FL-PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.6(a)'da verilmiştir. Şekil 8.6(a)'nın 0-0.02 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.6(b)'de, 2.99-3.01 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.6(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede iken batarya geriliminde bir artış meydana gelmektedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreden çıkarıldığı anda batarya gerilimi azalmaya başlamıştır.



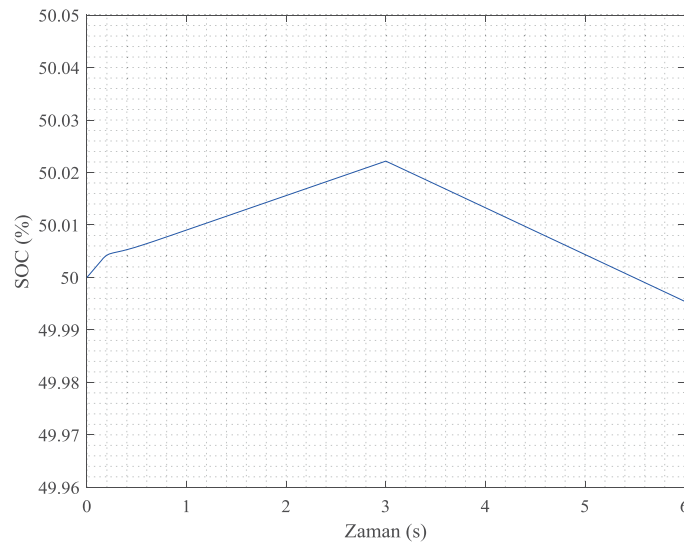
Şekil 8.6. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Birinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde FL-PI kontrolör kullanılması durumunda yük geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.7(a)'da verilmiştir. Şekil 8.7(a)'nın 0-0.01 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.7(b)'de, 2.99-3.04 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.7(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede yük gerilimi referans değeri olan 48 V'dedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreden çıkarıldığı anda yük geriliminde geçici durum meydana gelmiştir. Yük gerilimi yaklaşık 42 V'ye düşmüş ve çok kısa bir sürede yük gerilimi tekrar referans değerini yakalamayı başarmıştır. % 5'lik banda göre yerleşme süresi hesaplandığında bu sürenin 0.01 s'den küçük olduğu görülmektedir. Kısaca yükün talep ettiği gücü karşılamak için gerekli olan akımı çok kısa sürede (0.01 s'den daha kısa) ve çok az bir aşma ($< \%5$) ile sağlamayı başarmıştır. Ek olarak, 3 s'den önce ve sonraki çalışma durumlarında herhangi bir sürekli durum hatası olmadan batarya akımı referans değerini izlemeyi başarmıştır.



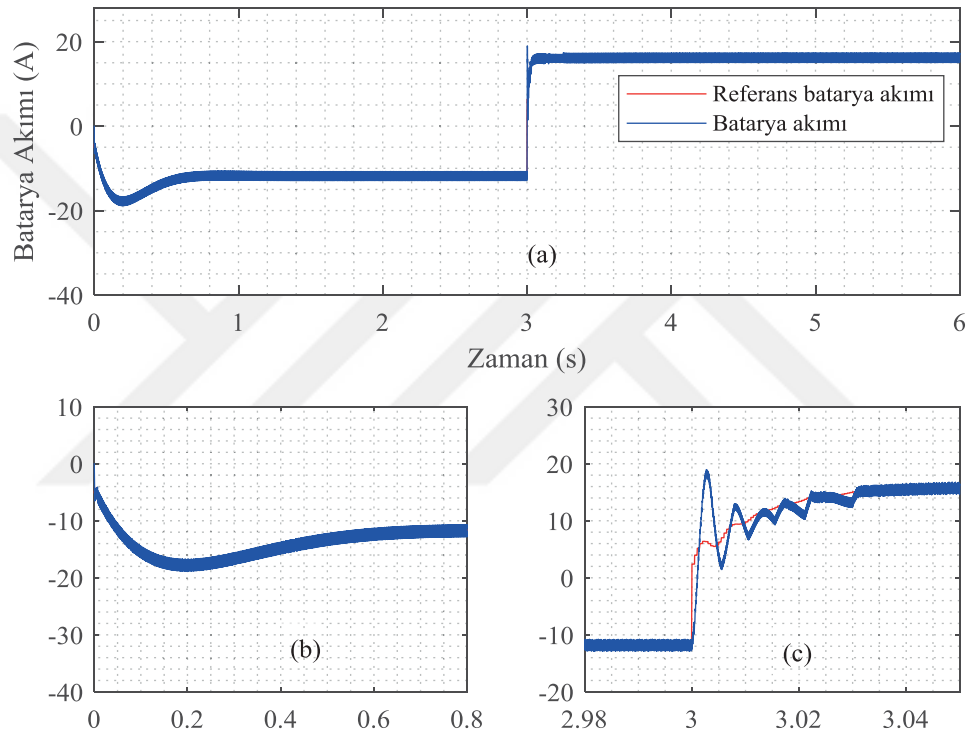
Şekil 8.7. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Şekil 8.8’de FL-PI kontrolörlü durumu için bataryanın SOC durumuna ait benzetim sonucu verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağının devrede olduğu 3 s’ye kadar batarya şarj olup bataryanın SOC’u artarken, 3 s’den sonra batarya deşarj olmaya başlamış ve bataryanın SOC’u azalmıştır.



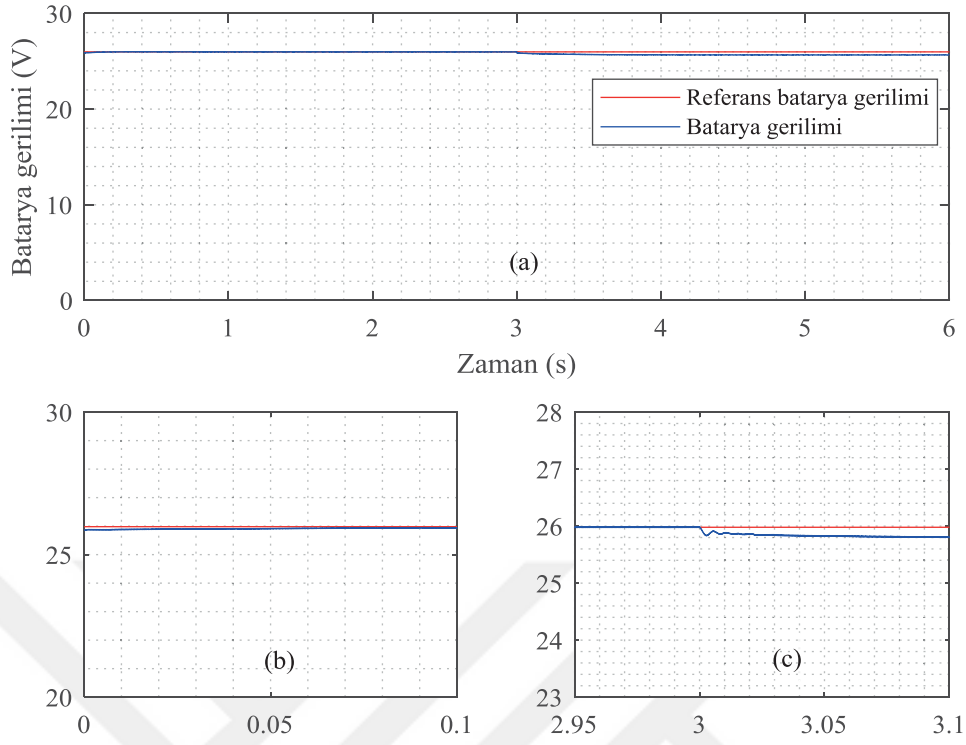
Şekil 8.8. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu

Birinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde geleneksel PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya akımının değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.9(a)'da verilmiştir. Şekil 8.9(a)'nın 0-0.08 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.9(b)'de, 2.98-3.05 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.9(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede iken batarya şarj akımı çekmektedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreden çıkarıldığı anda batarya yükün talep ettiği gücü karşılamak için gerekli olan akımı sönümlü sinüzoidal bir cevap ile yaklaşık 0.03 s'de sağlamayı başarmıştır. Ek olarak, 3 s'den önce ve sonraki çalışma durumlarında akımda herhangi bir sürekli durum hatası olmadığı şekilden görülmektedir.



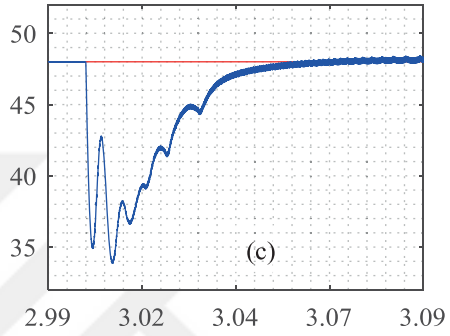
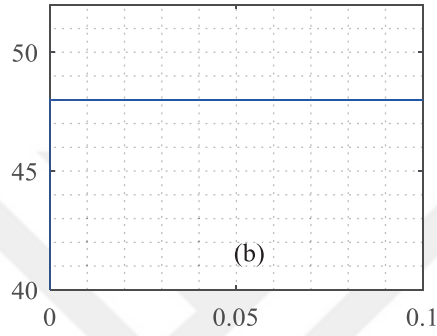
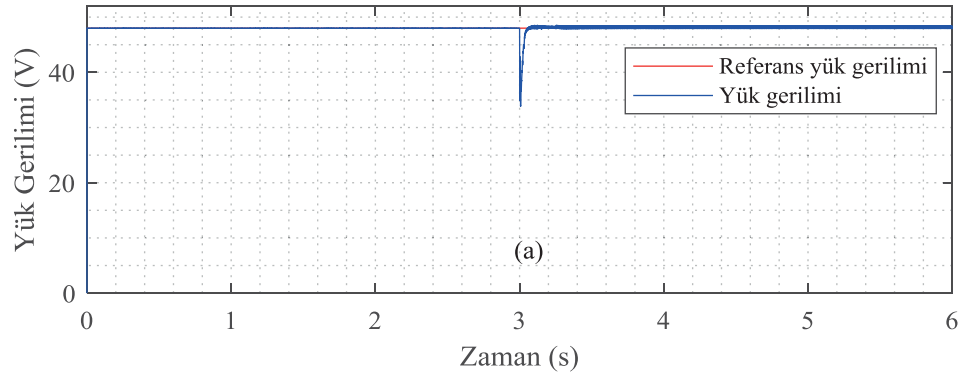
Şekil 8.9. Geleneksel PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Birinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde geleneksel PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.10(a)'da verilmiştir. Şekil 8.10(a)'nın 0-0.01 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.10(b)'de, 2.95-3.01 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.10(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede iken batarya geriliminde bir artış meydana gelmektedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreden çıkarıldığı anda batarya gerilimi azalmaya başlamıştır.



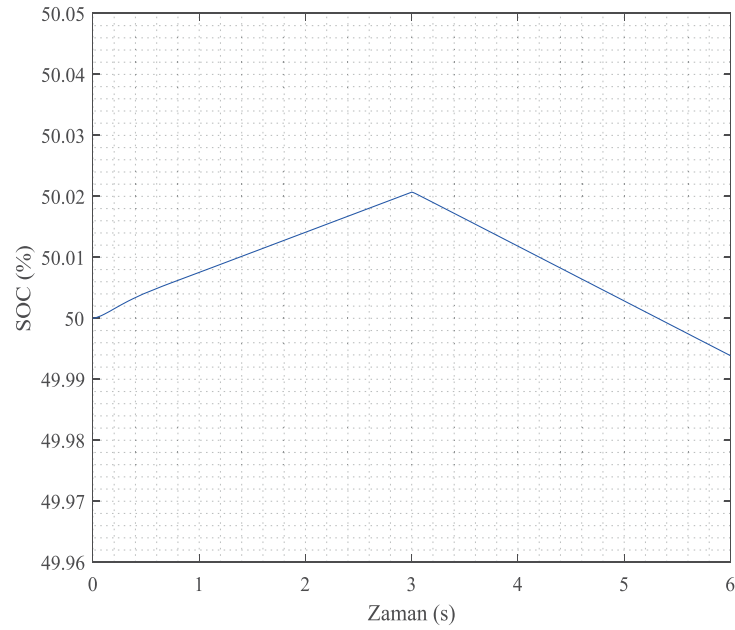
Şekil 8.10. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Birinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde geleneksel PI kontrolör kullanılması durumunda yük geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.11(a)'da verilmiştir. Şekil 8.11(a)'nın 0-0.01 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.11(b)'de, 2.99-3.06 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.11(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede yük gerilimi referans değeri olan 48 V'dedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreden çıkarıldığı anda yük gerilimi yaklaşık 35 V'ye düşmüştür (FL-PI kontrolör kullanılması durumunda yük gerilimi 42 V'ye düşmüştü). Yük gerilimi referans değerini yaklaşık 0.04 s sonra yakalamayı başarmıştır. Yük geriliminin değişimine ait FL-PI ve geleneksel PI kontrolör sonuçları gerilimdeki düşme, aşma ve yerleşme süreleri açısından FL-PI kontrolörün geleneksel PI kontrolöre göre daha üstün olduğu görülmektedir.



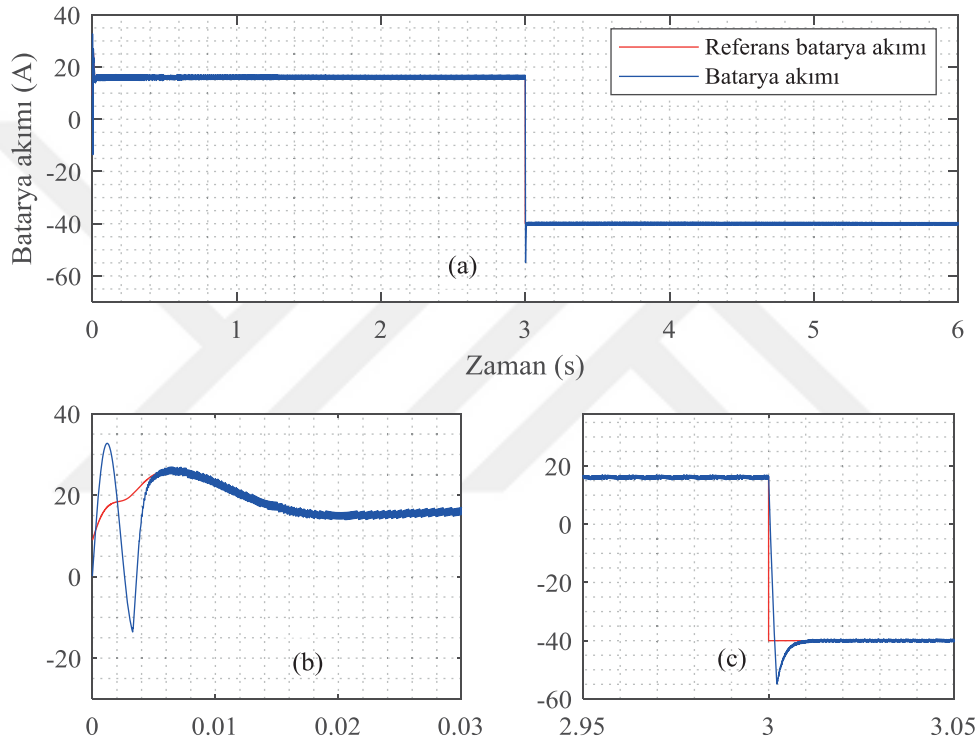
Şekil 8.11. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Şekil 8.12’de geleneksel PI kontrolörlü durumu için bataryanın SOC durumuna ait benzetim sonucu verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağının devrede olduğu 3 s’ye kadar batarya şarj olup bataryanın SOC’u artarken, 3 s’den sonra batarya deşarj olmaya başlamış ve bataryanın SOC’u azalmıştır.



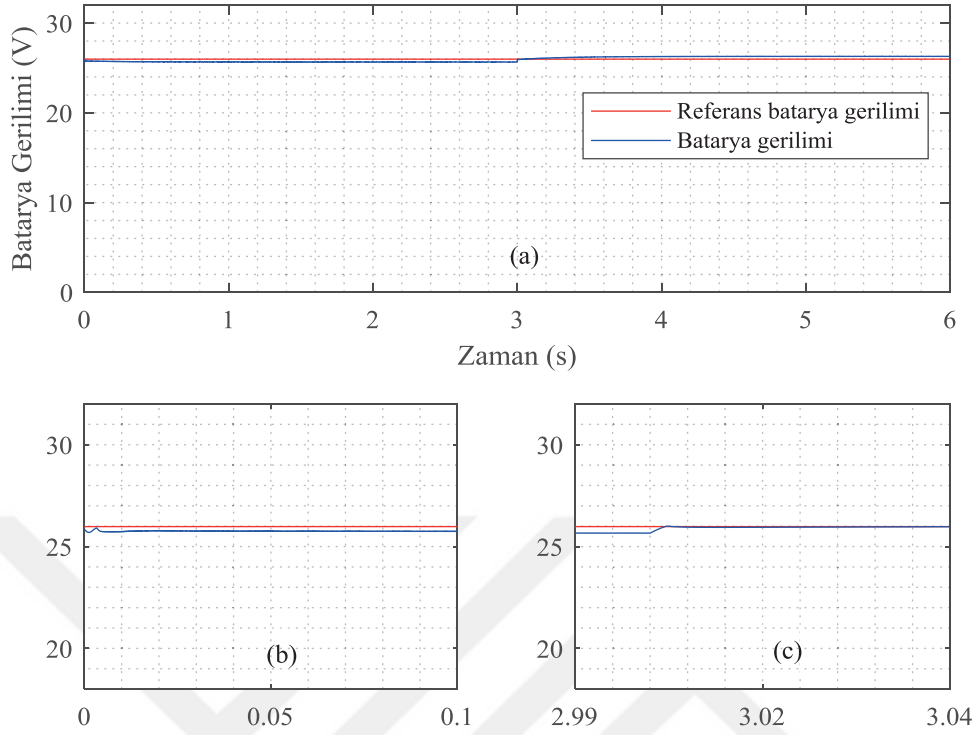
Şekil 8.12. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu

İkinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde FL-PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya akımının değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.13(a)'da verilmiştir. Şekil 8.13(a)'nın 0-0.03 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.13(b)'de, 2.95-3.05 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.13(c)'de gösterilmiştir. Bu çalışma durumunda benzetim çalışmasının 3 s'ye kadar olan sürede DC gerilim kaynağı devrede değildir ve bu durumda batarya deşarj olup yüke güç sağlamaktadır. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreye alınmış ve bu anda kaynak hem yükün talep ettiği gücü hem de bataryanın şarj olmasını sağlamıştır. Şekilden görüldüğü gibi batarya akımı referans değerini herhangi bir sürekli durum hatası olmadan hızlı bir şekilde izlemeyi başarmıştır.



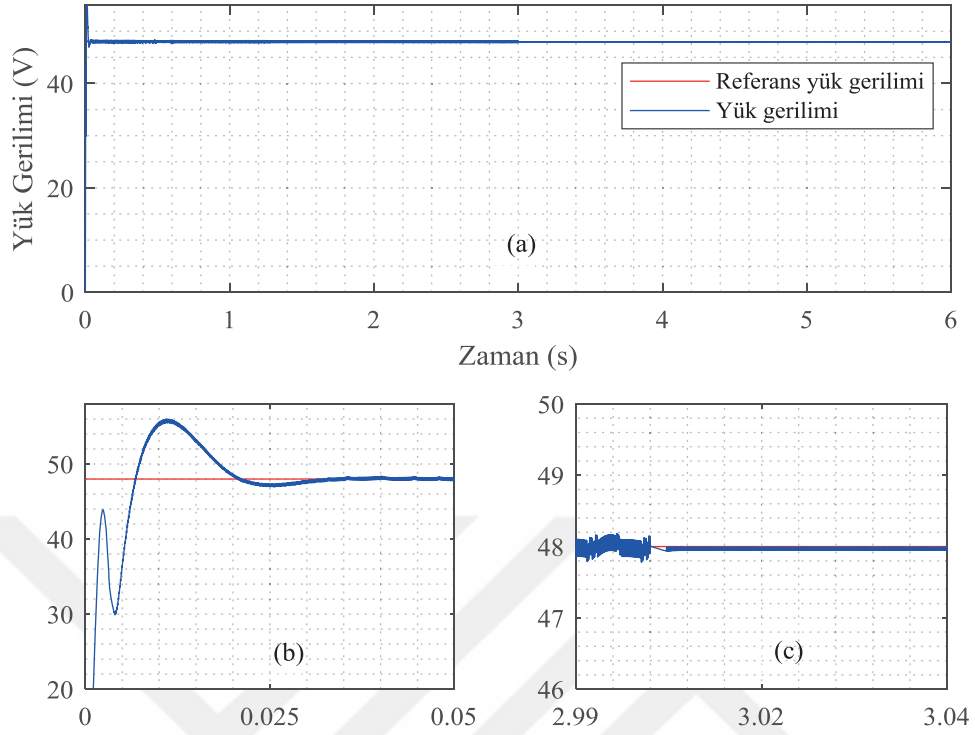
Şekil 8.13. FL-PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu

İkinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde FL-PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.14(a)'da verilmiştir. Şekil 8.14(a)'nın 0-0.1 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.14(b)'de, 2.99-3.04 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.6(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede yokken batarya geriliminde bir azalış meydana gelmektedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreye alındığı andan itibaren batarya gerilimi artmaya başlamıştır.



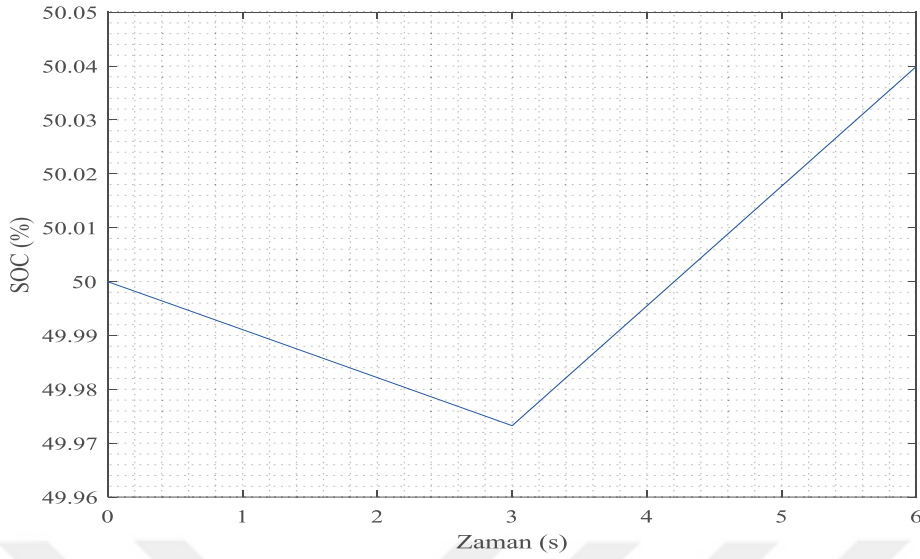
Şekil 8.14. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

İkinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde FL-PI kontrolör kullanılması durumunda yük geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.15(a)'da verilmiştir. Şekil 8.15(a)'nın 0-0.05 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.15(b)'de, 2.99-3.04 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.15(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi benzetimin başlangıcında % 5'lik banda göre yük gerilimi için yerleşme süresi hesaplandığında bu sürenin 0.025 s'den küçüktür. 3 s'den sonra kaynak devreye alındığı anda yük geriliminde herhangi bir geçici durum olmadan referans değerinde tutulmuştur. Ayrıca yük geriliminde sürekli durum hatasının olmadığı da şekilden görülmektedir.



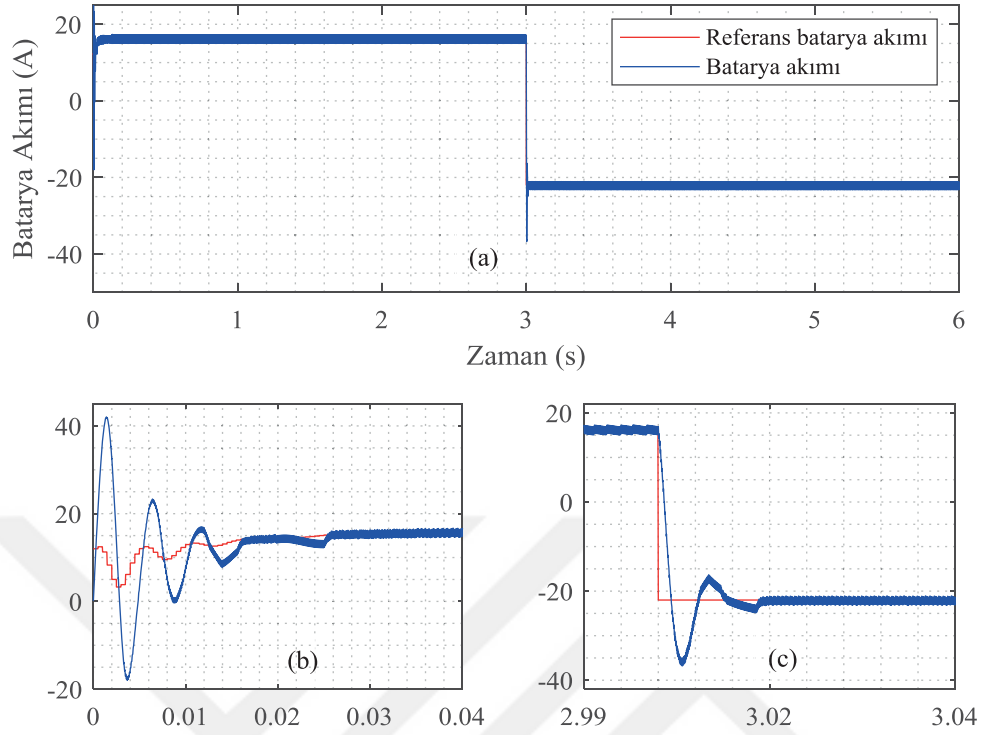
Şekil 8.15. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Şekil 8.16’de FL-PI kontrolörlü durumu için bataryanın SOC durumuna ait benzetim sonucu verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağının devrede olmadığı 3 s’ye kadar batarya deşarj olup bataryanın SOC’u azalırken, 3 s’den sonra batarya şarj olmaya başlamış ve bataryanın SOC’u artmıştır.



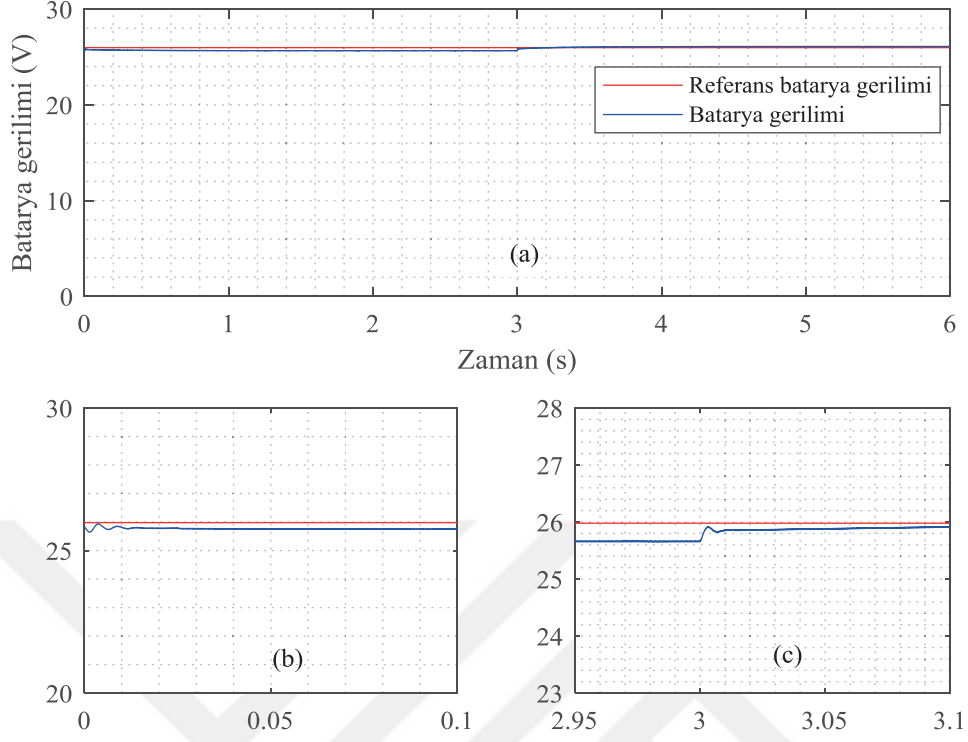
Şekil 8.16. FL-PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu

İkinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde geleneksel PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya akımının değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.17(a)'da verilmiştir. Şekil 8.17(a)'nın 0-0.04 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.17(b)'de, 2.99-3.04 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.17(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede değilken batarya deşarj olmaktadır. Bu durumda yükün gücü batarya tarafından sağlanmaktadır. Benzetimin başlangıcında batarya yaklaşık olarak 40 A'lık bir deşarj akımı sağlamaktadır. Bu çalışma koşuluna ait FL-PI kontrolör (Şekil 8.13) ile geleneksel PI kontrolör sonuçları karşılaştırıldığı zaman, FL-PI kontrolörlü durumda batarya geçici durumda yaklaşık 33 A bir deşarj akımı sağlamıştır. Bu sonuca göre FL-PI kontrolör kullanılması durumunda geçici durumdaki deşarj akımının % 17.5 azalması sağlanmıştır. Böylece hem batarya daha az ısınır hem de batarya daha uzun ömürlü olur. Ayrıca 3 s'de DC gerilim kaynağı devreye alındığı anda batarya yükün talep ettiği gücü karşılamak için gerekli olan akımı sönümlü sinüzoidal bir cevap ile sağlamayı başarmıştır. Batarya akımına ait geleneksel PI kontrolörden elde edilen sonuç ile FL-PI kontrolörden elde edilen sonuç yerleşme süresi açısından kıyaslandığında FL-PI kontrolörün geleneksel PI kontrolöre göre üstün olduğu şekilden görülmektedir. Ek olarak, 3 s'den önce ve sonraki çalışma durumlarında geleneksel PI kontrolöre kullanılması durumunda batarya akımda herhangi bir sürekli durum hatası olmadığı şekilden görülmektedir.



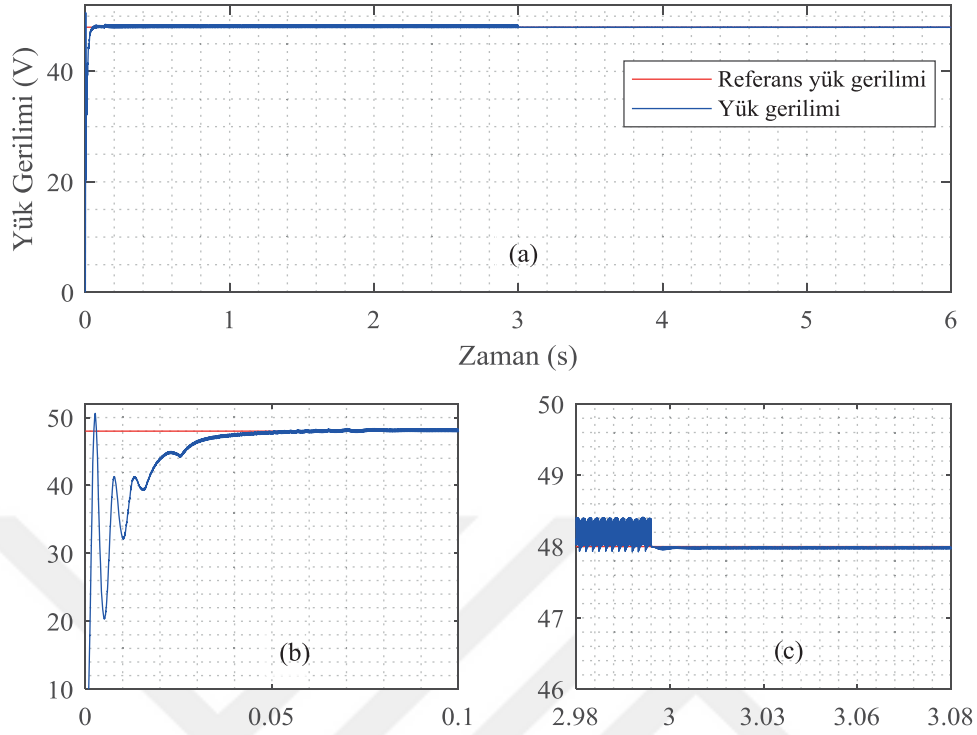
Şekil 8.17. Geleneksel PI Kontrolörlü Durum İçin Batarya Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu

İkinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde geleneksel PI kontrolör kullanılarak elde edilen batarya geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.18(a)'da verilmiştir. Şekil 8.18(a)'nın 0-0.1 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.10(b)'de, 2.95-3.01 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.18(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede değilken batarya geriliminde bir azalış meydana gelmektedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreye alındığı anda batarya gerilimi artmaya başlamıştır.



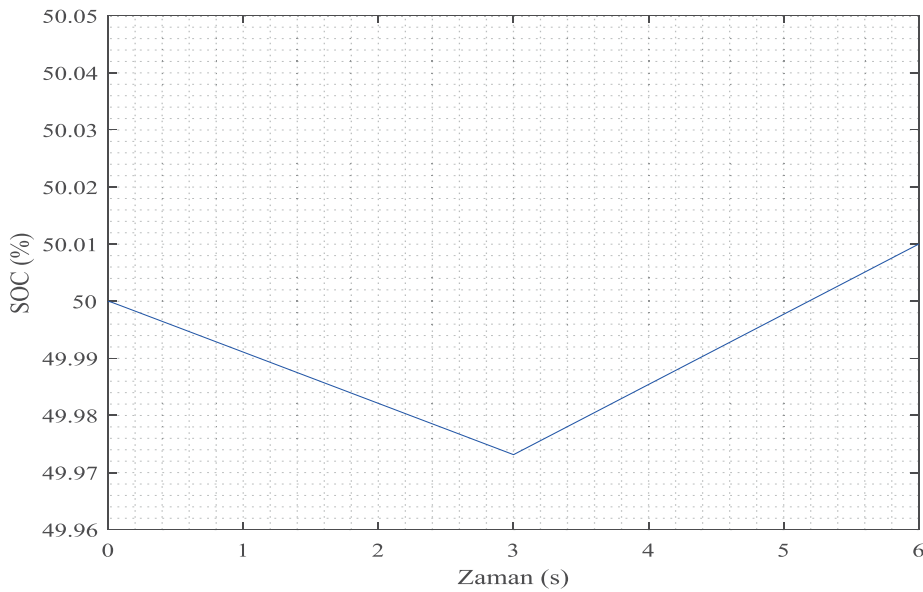
Şekil 8.18. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Batarya Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

İkinci çalışma koşulunda gerilim ve akım kontrolünde geleneksel PI kontrolör kullanılması durumunda yük geriliminin değişimine ait benzetim sonucu Şekil 8.19(a)'da verilmiştir. Şekil 8.19(a)'nın 0-0.1 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.11(b)'de, 2.98-3.08 s arasının büyütülmüş hali Şekil 8.19(c)'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağı devrede olmayıp yük gerilimi referans değeri olan 48 V'dedir. 3 s'de DC gerilim kaynağı devreye alındığı anda yük gerilimi yaklaşık 20V'ye düşmüştür. Yük gerilimi referans değerini yaklaşık 0.02 s sonra yakalamayı başarmıştır. Yük geriliminin değişimine ait FL-PI ve geleneksel PI kontrolör sonuçları gerilimdeki düşme, aşma ve yerleşme süreleri açısından FL-PI kontrolörün geleneksel PI kontrolöre göre daha üstün olduğu görülmektedir.



Şekil 8.19. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Yük Geriliminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Şekil 8.20’de geleneksel PI kontrolörlü durumu için bataryanın SOC durumuna ait benzetim sonucu verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi DC gerilim kaynağının devrede olmadığı 3 s’ye kadar batarya deşarj olup bataryanın SOC’u azalırken, 3 s’den sonra batarya şarj olmaya başlamış ve bataryanın SOC’u artmıştır.



Şekil 8.20. Geleneksel PI Kontrolörlü Durumu İçin Bataryanın SOC Durumuna Ait Benzetim Sonucu

9. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, batarya enerji depolama sistemli hibrit bir güç sisteminin DC hat geriliminin denetimi Bulanık Mantık oransal + integral (FL-PI) kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kontrol algoritması kaskat yapıdadır. Bu kontrol yapısında, akım referansı dış gerilim kontrol döngüsünden ve batarya akımının kontrolünü sağlayan bir iç denetim döngüsünden oluşur. Gerilim ve akım kontrol döngüsünde Mamdani tip FL-PI kontrolör kullanılmıştır. Akım ve gerilim kontrol döngüsündeki BM kontrolörde beş üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. FL-PI kontrolör iki girişli ve tek çıkışlıdır. Kontrolörün girişleri hata (e) ve hatanın değişimi (Δe) seçilmiştir. Sürekli durum hatasını gidermek için kontrolör çıkışları integre edilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan melez güç sistemi, bir DC gerilim kaynağı ve bir lityum iyon batarya olmak üzere iki kaynaktan oluşmaktadır. Lityum iyon batarya, tepe güç kapasitesini artırmak için DC hatta ve kaynağa paralel olarak bağlanmıştır. Batarya çift yönlü DC-DC dönüştürücü aracılığıyla aynı DC hatta bağlanmıştır. Ayrıca çift yönlü DC-DC dönüştürücü kaskat kontrol şeması ile kontrol edilmiş ve bu dönüştürücü DC hat gerilimini istenilen değerde tutması amaçlanmıştır. Önerilen kontrol yönteminin dinamik performansı, iki farklı çalışma koşulu için Matlab/Simulink'te oluşturulan benzetim modeli yardımı ile değerlendirilmiştir. Birinci çalışma koşulunda, DC gerilim kaynağı devrede ve 3. s'de devreden çıkarılmıştır. Bu durumda 3. s'ye kadar DC kaynak hem yükün talep ettiği gücü karşılayacak hem de bataryayı şarj etmiştir. İkinci çalışma koşulunda, DC gerilim kaynağı benzetim çalışmasının başlangıcında devreye alınmamış ve 3. s'de DC gerilim kaynağı devreye alınmıştır. Bu durumda 3. s'ye kadar batarya yükün talep ettiği gücü karşılayacak ve bu nedenle batarya deşarj olacaktır. Her iki çalışma durumu için batarya akımı, batarya gerilimi, yük gerilimi ve şarj durumunu (SOC) gösteren benzetim sonuçları sunulmuştur. Ayrıca, önerilen kontrol yönteminin üstünlüğünü göstermek için aynı çalışma şartları altında geleneksel PI kontrolöre ait benzetim sonuçları da verilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarından her iki çalışma durumunda FL-PI kontrolörün geleneksel PI kontrolöre göre batarya akımının yerleşme süresi, batarya akımındaki aşma, yük geriliminin yerleşme süresi ve yük gerilimindeki aşma yönünden üstün olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] G, Barchi., G,Miori. D, Moser, ve S. Papantoniou. (2018). A Small-Scale Prototype for the Optimization of PV Generation and Battery Storage through the Use of a Building Energy Management System. *Proceedings of IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Palermo, Italy, June 12- 15, pp. 1–5.
- [2] Dhameja, S. (2001). *Electric vehicle battery systems*. Elsevier.
- [3] Panday A. ve Bansal , H.O, (2016). Energy management strategy for hybrid electric vehicles using genetic algorithm. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 8, 015701.
- [4] Serna-Garcés, Sergio Ignacio, Daniel González Montoya, and Carlos Andrés Ramos-Paja. "Control of a charger/discharger DC/DC converter with improved disturbance rejection for bus regulation." *Energies* 11.3 (2018): 594.
- [5] Serna-Garcés, S. I.; Montoya, D. G. and Carlos, A. R. P. (2018). Control of a charger/discharger DC/DC converter with improved disturbance rejection for bus regulation, *Energies*, C. 11.3, 594.
- [6] Padhee, S., Umesh, C. P. and Mahapatra, K. (2016). Design of photovoltaic MPPT based charger for lead-acid batteries, *2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech)*. IEEE, 2016.
- [7] Yau, H. T., Liang, Q. C. and Hsieh, C. T. (2012). Maximum power point tracking and optimal Li-ion battery charging control for photovoltaic charging system, *Computers & Mathematics with Applications*, C. 64.5 822-832
- [8] Chauhan, A., (2014). *MPPT Control PV charging system for lead acid battery*, Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, Master Thesis, Orissa.
- [9] López, J. et al. (2017). Digital control strategy for a buck converter operating as a battery charger for stand-alone photovoltaic systems, *Solar Energy*, 140, 171-187.
- [10] Eldahab, Y. E. A., Saad, N. H., Zekry, A. (2018). Enhancing the design of battery charging controllers for photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C. 58, 646-655.
- [11] Aljarhizi, Y. and Hassoune, A. (2019). Control management system of a lithium-ion battery charger based MPPT algorithm and voltage control, *5th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*. IEEE, 2019.
- [12] Amin, I. K., Uddin, M. N. and Cotter, J. A. (2021). A PV-coupled battery energy storage system incorporated with PSO-ANFIS based MPPT controller for standalone mode, *2021 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*. IEEE, 2021.
- [13] Bhumika, A., et al. (2021). Power Management of photovoltaic battery stand-alone system using fractional order PI controller, *2021 IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON)*. IEEE, 2021.
- [14] Suchart, J. and Panta, S. (2019). Novel battery charging and discharging control system for solar panel using one-by-one controllers and maximum power point tracker, *ECTI-CON2019: The 2019 ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*. IEEE, 2010.
- [15] Pau, R.B., J, P.A., (2020). Battery Technology: A rewiev, NOVIA university of applied sciences, Bachelor's thesis, *Mechanical Engineering and Electronic and Automatic Industrial Engineering*, Vaasa, pp 1-51.
- [16] Din, E., Schaef, C., Moffat, K., ve Stauth, J.T., (2017). A Scalable Active Battery Management System With Embedded Realtime Electrochemical Impedance Spectroscopy, *IEEE T. Power Electr.*, 32 (7), 5688-5698.

- [17] Malkhandi, S., Sinha, S. K. ve Muthukumar, K., (2001). Estimation of state of charge of lead acid battery using radial basis function, Industrial Electronics Society. *IECON'01. The 27th Annual Conference of the IEEE*, 1: 131-136.
- [18] Świerczyński, M., Teodorescu, M., Rasmussen, C.N., Rodriguez P., Vikelgaard, H., 2010. Overview of wind power storage mediaBy Windpower Engineering. *Uluslararası Endüstriyel Elektronik Sempozyumu*.
- [19] Balog, R. S., & Davoudi, A. (2021). *Batteries, battery management, and battery charging technology In Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles* (pp. 315-352). New York, NY: Springer New York.
- [20] 5954.http://c.ymcdn.com/sites/battery council.org/resource/resmgr/Press_Releases/Recycling_StuDy_Press_Releas.pdf Erişim Tarihi:15.12.2022
- [21] http://c.ymcdn.com/sites/battery council.org/resource/resmgr/Press_Recycling_Study_Press_Releases/Recycling_Study_Press. Erişim Tarihi 02.02.2022
- [22] Abdulrahman M.F., (2018), *Design and Implementattion of Intelligent Li-İon Battery Charger*, Master Thesis, Universty of Gaziantep, İn Electrical and Elektronics Engineering.
- [23] https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v49y2015icp365-385.html Erişim Tarihi 10.12.2022
- [24] Dhundhara, S., Verma Y., (2021). *Energy Storage for Modern Power Systems Operations*. Wiley.
- [25] 5954.http://c.ymcdn.com/sites/battery council.org/resource/resmgr/Press_Releases/Recycling_StuDy_Press_Releas.pdf Erişim Tarihi:15.12.2022
- [26] http://c.ymcdn.com/sites/battery council.org/resource/resmgr/Press_Recycling_Study_Press_Releases/Recycling_Study_Press. Erişim Tarihi 02.02.2022
- [27] Şükran, E. F. & Güngör, Z. A. (2021). Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 947-955.
- [28] Assefi M, Maroufi S, Mayyas M, Sahajwalla V, (2018). Recycling of NiCd batteries by selective isolation and hydrothermal synthesis of porous NiO nanocuboid. *J Environ Chem Eng* 2018, 6:4671–4675.
- [29] https://tap.org.tr/pil-atik-pil/sss/pil-nedir/ Erişim Tarihi: 12.05.2021
- [30] Johnson, S.C., Todd Davidson, F., Rhodes, J.D., Coleman, J.L., Bragg-Sitton, S.M., Dufek, E.J. ve Webber M.E., (2019). *Storage and Hybridization of Nuclear Energy*, Academic Press, pp.119–175, 3.
- [31] Ash, B., Nalajala, V.S., Popuri, A.K., Subbaiah, T., ve Minakshi, M. (2020). Perspectives on Nickel Hydroxide Electrodes Suitable for Rechargeable Batteries:Electrolytic vs. Chemical Synthesis Routes, *Nanomaterials* (Basel), 10(9) 1878.
- [32] Larminie, J. ve Lowry, J., (2003), *Electric vehicle technology explained*”, John Wiley&Sons, Ltd.
- [33] Tarlak, H. (2018). *Elektrikli Araçlar İçin İki Yönlü Akü Şarj Devresi* (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [34] Chawla, N., Bharti, N. ve Singh, S. (2019). Recent Advances in Non-Flammable Electrolytes for Safer Lithium-Ion Batteries, *Batteries*, pp 3-25.
- [35] Nagasubramanian G, Jungst R.G, (1998). “Energy and power characteristics of lithium-ion cells,” *Journal of Power Sources*, 72(2), 189-193, ISSN 0378-7753, 10.1016/S0378-7753(97)02712-2.
- [36] Kotha S., ve Nolan R., (2005) “Boeing 787: the dreamliner.” Harvard Business School Case, *Blackwell Scientific Publications*
- [37] Mollei, A., (2020). *Design and Implementation of a PI-Controlled Lithium Ion Battery Charger with Protection and Monitoring*, Master Thesis, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus.
- [38] Altanneh, N., (2012) *Güneş pili ve hidrojen yakıt pilinden beslenen küçük bir elektrikli araç için batarya şarj sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [39] Satılmış, O., (2013) *Batarya beslemeli üç-fazlı iki-seviyeli dc/ac dönüştürücülerde farklı modülasyon metotları ve çalışma durumları için batarya akımının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [40] Kaynak, M., (2015). *Lityum polimer pillerde kullanım amaçlı lityum iyon iletken nanokompozit elektrolitlerin sentezi ve karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Farag, M. (2013). *Lithium-Ion Batteries: Modelling and State of Charge Estimation*, Master Thesis, McMaster University, Master of Applied Science.
- [42] Ceylan, M., Sarıkurt, T., & Balıkcı, A. (2013). Elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon bataryalar için model geliştirilmesi. 5. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Kongresi*, 23-24.
- [43] Phung, T.A., (2020). EnD of Largescale Management Lithiumion A literature review, Bachelors Thesis, Tampere University of Applied Sciences, *Degree Programme in Energy & Environmental Engineering*.
- [44] Küçükdeveci, N., *CoB Nano Tozu ve Filmin Elektrot Performansları ve Şarj/Deşarj Mekanizmaları* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi ,Ocak 2015.
- [45] Morcos, M. M., Dillman, N. G., & Mersman, C. R. (2000). Battery chargers for electric vehicles. *IEEE Power Engineering Review*, 20(11), 8-11.
- [46] O. Satılmış and E. Meşe, *Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar için batarya şarj Cihazları*, 2011.
- [47] Hua, C. C., & Lin, M. Y. (2000). A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles. In *ISIE'2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (Cat. No. 00TH8543) 1, 135-140).
- [48] Agrawal, J. P., *Power Electronics Systems: Theory and Design*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001., 6 .
- [49] Mohan, N., Undeland, T. M., and Robbins, W. P., *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1995, chap. 7.
- [50] Skvarenina, T. L. (Ed.). (2018). *The power electronics handbook*. CRC press.
- [51] Hoft, R. G., (1986) *Semiconductor Power Electronics*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986, chap. 5.
- [52] Karshenas, H. R., Daneshpajoo, H., Safaee, A., Jain, P., & Bakhshai, A. (2011). *Bidirectional dc-dc converters for energy storage systems*. Energy storage in the emerging era of smart grids, 18.
- [53] M. H. Rashid, (2004) *Power Electronics: Circuits, Devices and Applications*, 3rd edition, Pearson, 2004
- [54] V. R. Moorthi, *Power Electronics: Devices, Circuits and Industrial Applications*, Oxford University Press, 2007
- [55] Jantzen, J. (1998). *Design of fuzzy controllers*. Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg, 326, 362-367.
- [55] IEC, E. (1996). *Programmable controllers-Part 7: Fuzzy Control Programming*.
- [56] Passino, K. M. and Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy Control*, Addison Wesley Longman, Inc, Menlo Park, CA, USA.
- [57] Lee, C. C. (1990). *Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller*, IEEE Trans. Systems Man & Cybernetics (20)(2):404-435