

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN ÇİFT YÖNLÜ DA
KONVERTÖR TASARIMI VE ANALİZİ**

**Tezi Hazırlayan
Nuri Alper METİN**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ersan KABALCI**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2019
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Ersan KABALCI danışmanlığında Nuri Alper METİN tarafından hazırlanan “Elektrikli Araçlar için Çift Yönlü DA Konvertör Tasarımı ve Analizi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

25.07/2019

JÜRİ

Başkan : Prof. Dr. Saffet AYASUN

Saffet Ayasun

Üye : Prof. Dr. Ersan KABALCI

Ersan Kabalci

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Altan GENCER

Altan Gencer

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun...07.08/2019...tarih ve...48-479... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şakirhan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün akademik ve bilimsel kurallara çerçevesinde sunulduğunu ve bana ait olmayan bilginin kaynağının eksiksiz olarak atıf yapıldığını bildiririm.

Nuri Alper METİN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan Sayın Hocam Prof. Dr. Ersan KABALCI'ya maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.



ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN ÇİFT YÖNLÜ DA KONVERTÖR TASARIMI VE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Nuri Alper METİN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2019

ÖZET

Dünyada artan nüfus ile taşıt sektöründe önemli derecede bir yükseliş meydana gelmiştir. Geleneksel araç teknolojisi yüksek oranda fosil yakıt ve türevlerinin kullanımını arttırmakta, fosil yakıt rezervlerinin azalmasına ve çevresel kirliliğin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum farklı yakıt türlerinin kullanılmasına olan eğilimi arttırmaktadır. Elektrikli araç teknolojisi temelde batarya, güç elektroniği ve elektrik makinesinden oluşmaktadır. Günümüz batarya teknolojisinde, yüksek enerji yoğunluğu, düşük hacim, kolay şarj edilebilirlik, çalışma sıcaklığına ve yüksek şarj/deşarj döngüsüne sahip olması açısından lityum iyon bataryalar yaygın olarak tercih edilmektedir. Güç elektroniği devre yapıları ise elektrikli araçlarda kullanılan elektrik makinesinin istenen çalışma bölgelerine göre değişiklik göstermektedir. Güç elektroniği devrelerinin kontrol algoritmaları bataryanın şarj/deşarj döngüsünü ve aracın sürüş teknolojisini etkilemektedir. Bu tez çalışmasında elektrikli araçlar için yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü DA makinesi ve bataryadan oluşan bir sistem geliştirilmiştir. Tasarlanan sistemin denetlenmesinde bulanık mantık denetleyicisi, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi, kayan kipli denetleyici ve PI kontrollü kayan kipli denetleyici geliştirilerek bataryanın şarj/deşarj kontrolü, sürüşü gerçekleştirecek DA makinesinin motor ve generatör çalışma modları ile sistem için gerekli güç elektroniği sistemlerinin çalıştırılması sağlanmıştır. Matlab/Simulink ortamında analizi gerçekleştirilen elektrikli araç ve sürücü sisteminde iyileştirmeler yapılarak en uygun kontrol

algoritmasının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen test verilerine göre DA makinesi motor modunda çalışırken konvertör PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi ile sürüldüğünde %5,6 deşarj olduğu gözlemlenmiştir. Aynı sürüş senaryosunun DA-DA konvertör bulanık mantık denetleyicisi ile sürüldüğünde %5,5 deşarj, kayan kipli kontrolcü ile %4,1 deşarj ve PI kontrollü kayan kipli %4,2 deşarj olduğu tespit edilmiştir. DA makinesi generatör modunda sürüldüğünde ise şarj değerleri PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde %2,4, bulanık mantık denetleyicisiyle kontrolde %2,5, kayan kipli denetleyici denetleyicisinde %1,7 ve PI kontrollü kayan kipli denetleyici denetleyicisinde de %1,8 şarj meydana gelmiştir. Bu durumda kayan kipli kontrol yöntemlerinin aynı senaryoda toplam %2,4 şarj kaybıyla bulanık mantık denetleyicilerine göre %33 daha yüksek verim sağladığı görülmüştür. Test senaryolarının geliştirilmesi ve çalışma sürelerinin uzatılması sonucunda elektrikli araç bataryasının enerji verimliliğinin daha da yükseleceği ve sonuç olarak elektrikli aracının tek bir şarjla gideceği menzilin artacağı görülmüştür.

Anahtar kelimeler; Elektrikli araçlar, Çift yönlü DA dönüştürücü, Bulanık mantık denetleyici, Kayan kipli denetleyici

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ersan KABALCI

Sayfa Adedi: 100

DESIGN AND ANALYSIS OF BI-DIRECTIONAL DC CONVERTER FOR ELECTRIC VEHICLES

(M. Sc. Thesis)

Nuri Alper METİN

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

July 2019

ABSTRACT

Along with increasing population, a remarkable increase in vehicle sector has occurred. Traditional vehicle technology has developed the use of fossil fuels as well as derivatives which causes decrement on fuel reserves and leads to environment pollution. Thus, this incidence triggers the tendency to exploit different kinds of fuels. Electrical vehicle technology is comprised by battery, power electronics and electrical machine. Nowadays, the lithium ion batteries are preferred in terms of their high energy intensity, low volume, easily rechargeability and being equipped with running temperature and high charge-discharge loops. Power electronic cycle structures show an alteration according to the demanded operation modes of electrical machines to function. The control algorithm of power electronic devices affects the charge-discharge loop of battery and drive technology of vehicle. In this thesis study, a system consisting of half bridge bi-directional DC-DC converter, DC electric machine and battery has been developed for electrical vehicles. The control of designed system has been performed by developing fuzzy logic controller, PI assisted fuzzy logic controller, sliding mode controller and PI assisted sliding mode controller in order to manage charge and discharge of batteries, motor and generator operation of DC machine, and

operation of power electronic devices. It is targeted to determine the most efficient algorithm for electric vehicle and drive system by optimizing the improved system in Matlab-Simulink environment. According to simulation results, it is observed that DC machine operating in motor mode causes to 5.6% discharge when it is driven by PI assisted fuzzy logic controller. Under the same driving scenario, the discharge rates have been determined as 5.5% with pure fuzzy logic controller, 4.1% in sliding mode controller, and 4.2% PI assisted sliding mode controller. When the DC machine is operated in generator mode, the charging rates of battery have been measured at 2.4% in PI assisted fuzzy logic controller, 2.5% in pure fuzzy logic controller, 1.7% with sliding mode controller and 1.8% with PI assisted sliding mode controller. The performed analysis has proved that the sliding mode type controllers causes to 2.5% overall battery discharge which is 33% less than fuzzy logic-based controllers in the same drive scenarios. It is verified that proposed sliding mode controllers would improve the efficiency of battery use and the range of electric vehicle by improving the test scenarios and operation durations.

Keywords: Electric vehicles, Bi directional dc-dc converter, Fuzzy logic control, Sliding mode control

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ersan KABALCI

Page Number: 100

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1.Hibrit Araç Teknolojisi	2
1.2. Tümüyle Elektrikli Araçlar	5
1.3. Bölümler ve İçerik.....	6
BÖLÜM 2	9
ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE KULLANILAN BATARYA TEKNOLOJİLERİ.....	9
2.1. Batarya Teknolojileri	14
2.1.1. Lityum iyon batarya	15

2.1.2. Kurşun-asit batarya	16
2.1.3. Nikel-kadmiyum batarya.....	16
2.1.4. Nikel-metal hidrat bataryalar	16
2.1.5. Pillerin elektriksel eş değeri	17
BÖLÜM 3	21
DA MAKİNE VE ÇALIŞMA BÖLGELERİ	21
3.1. Serbest Uyarmalı DA Makine.....	28
3.2. DA Makinesinin Çalışma Modları	31
BÖLÜM 4	34
ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ VE DEVRE TOPOLOJİLERİ	34
4.1. DA-DA Dönüştürücüler.....	34
4.1.1. Azaltan DA-DA dönüştürücü.....	34
4.1.2. Arttıran DA-DA dönüştürücü	36
4.1.3. Azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü.....	37
4.1.4. Flyback DA-DA dönüştürücü	39
4.1.5. Interleaved DA-DA dönüştürücü	40
4.2. Çift yönlü DA-DA dönüştürücü.....	40
4.2.1. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü	41

BÖLÜM 5	51
KONTROL ALGORİTMALARI	51
5.1. PI Denetleyicisi	51
5.2. Bulanık Mantık Denetleyicisi	52
5.2.1. Giriş ve çıkışların belirlenmesi	52
5.2.2. Bulanıklaştırma	52
5.2.3. Kural tablosu	56
5.2.4. Çıkarım mekanizması.....	57
5.2.5. Durulama birimi	59
5.3. Kayan Kipli Denetleyici.....	61
BÖLÜM 6	65
MODELLENEN ELEKTRİKLİ ARAÇ VE KONTROL YÖNTEMLERİ.....	65
6.1. Bulanık Mantık Denetleyicisi	67
6.2. PI Kontrollü Bulanık Mantık Denetleyicisi	71
6.3. Kayan Kipli Denetleyicisi	73
6.4. PI Kontrollü Kayan Kipli Denetleyicisi	76
BÖLÜM 7	78
BENZETİM SONUÇLARI.....	78

7.1. Batarya Şarj/Deşarj Durumu Analizi	79
7.2. Batarya Akım Analizi	81
7.3. Batarya Gerilim Analizi	86
7.4. Batarya Güç Analizi.....	88
7.5. DA Makine Gerilim Analizi.....	91
BÖLÜM 8	93
SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	100

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Elektrikli araçların özellikleri	13
Tablo 2.2. Pil tiplerinin özellikleri	17
Tablo 6.1. Batarya özellikleri.....	66
Tablo 6.2 Yarım köprü DA-DA dönüştürücü devre tasarım değerleri	67
Tablo 6.3 Bulanık mantık denetleyicisi kural tablosu.....	69
Tablo 7.1. Motor modunda yarım köprü DA-DA dönüştürücüsü denetleyicilerinin batarya deşarj akımları.....	83
Tablo 7.2. Generatör modunda denetleyicilerin batarya akımları.....	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Uluslararası elektrikli araç satış çizelgesi	1
Şekil 1.2. Seri hibrit elektrikli araçlar	3
Şekil 1.3. Paralel hibrit elektrikli araçlar	4
Şekil 1.4. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar	5
Şekil 1.5. Tümüyle elektrikli araçlar	5
Şekil 2.1. Tesla S arkadan çekişli makine şeması.....	9
Şekil 2.2. Tesla model S hem arkadan hem önden çekişli sistemin şeması.....	10
Şekil 2.3. Tesla model S dört çekişli sistem şeması.....	10
Şekil 2.4. Tesla Model S batarya	11
Şekil 2.5. Toyota 2007 model Camry devre şeması	12
Şekil 2.6. Rint eşdeğeri	18
Şekil 2.7. RC eşdeğer modeli	18
Şekil 2.8. Thevenin eş değer modeli	19
Şekil 3.1. Kutuplar arasında dönen çerçeve.....	21
Şekil 3.2. Çerçevede moment üretilmesi.....	23
Şekil 3.3. DA makinenin yapısı	26
Şekil 3.4. DA makinesi tam eşdeğer devresi.....	27

Şekil 3.5. DA makinesi basitleştirilmiş eşdeğer devre.....	27
Şekil 3.6. Serbest uyarmalı DA motor	28
Şekil 3.7. Serbest uyarmalı DA motorun hız-moment eğrisi	30
Şekil 3.8. Serbest uyarmalı DA generatör.....	30
Şekil 3.9. DA makine uç karakteristiği	31
Şekil 3.10. Serbest uyarmalı DA motor ileri yönde frenleme.....	32
Şekil 3.11 Serbest uyarmalı DA motor ters yönde frenleme	32
Şekil 3.12. DA makine çalışma bölgeleri	33
Şekil 4.1. Azaltan DA-DA dönüştürücü devre yapısı.....	35
Şekil 4.2. Arttıran DA-DA dönüştürücü devre yapısı.....	36
Şekil 4.3. Azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü devre yapısı	38
Şekil 4.4. Flyback DA-DA dönüştürücü devre yapısı.....	39
Şekil 4.5. Interleaved DA dönüştürücü devre yapısı.....	40
Şekil 4.6. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü devre şeması	42
Şekil 4.7. Mod-I devre şeması	43
Şekil 4.8. Mod-II devre şeması	45
Şekil 4.9. Mod I-II a) Bobin akımı b)S ₂ akımı c)D ₁ akımı d) Motor gerilimi	45
Şekil 4.10. Mod-III devre şeması.....	47

Şekil 4.11. Mod-IV devre şeması.....	48
Şekil 4.12. Mod III-IVa) Bobin akımı b)S ₁ akımı c)D ₂ akımı d) Generatör gerilimi	49
Şekil 5.1. PI denetleyicisi şeması.....	51
Şekil 5.2. Üçgen üyelik fonksiyonu	53
Şekil 5.3. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	54
Şekil 5.4. Gaussian üyelik fonksiyonu.....	55
Şekil 5.5. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu	55
Şekil 5.6. İki girdili Mamdani bulanık tipi çıkarım sisteminin maksimum ve minimum operatörlerini kullanarak ve/veya işlemlerinin yapılması.....	58
Şekil 5.7. İki girdili Takagi-Sugeno bulanık mantık çıkarım yöntemi	59
Şekil 5.8. Maksimum üyelik derecesi yöntemiyle durulama	60
Şekil 5.9. Ağırlık merkezi durulama yöntemi.....	60
Şekil 5.10. Ortalama en büyük üyelik durulama yöntemi.....	61
Şekil 5.11. Arttıran dönüştürücü kayan kipli denetleyici.....	64
Şekil 5.12. Azaltan dönüştürücü kayan kipli denetleyici.....	64
Şekil 6.1. Modellenen elektrikli araçlar için yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü sistem.....	65
Şekil 6.2. Bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol tasarım şeması.....	68
Şekil 6.3. Bulanık mantık denetleyicisi generatör kontrol tasarım şeması	68

Şekil 6.4. a) Hata b) Hatadaki değişim c) Görev oranı	69
Şekil 6.5. Bulanık mantık denetleyicisi kural yüzeyi.....	70
Şekil 6.6. Bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol anahtarlama sinyali	70
Şekil 6.7. Bulanık mantık denetleyicisi generatör kontrol anahtarlama sinyali anahtarlama sinyali	71
Şekil 6.8. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol tasarım şeması	71
Şekil 6.9. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol anahtarlama sinyali.	72
Şekil 6.10. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi generatör kontrol tasarım şeması.	72
Şekil 6.11. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi generatör kontrol anahtarlama sinyali	73
Şekil 6.12. Kayan kipli denetleyici motor kontrol şeması	73
Şekil 6.13. Kayan kipli motor denetleyici motor anahtarlama sinyali	74
Şekil 6.14. Kayan kipli denetleyicisi generatör kontrol şeması	75
Şekil 6.15. Kayan kipli denetleyici generatör anahtarlama sinyali	75
Şekil 6.16. PI kontrollü kayan kipli denetleyici motor kontrol şeması.....	76
Şekil 6.17. PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi motor kontrol anahtarlama sinyali	76
Şekil 6.18 PI kontrollü kayan kipli generatör denetleyicisi şeması	77
Şekil 6.19. PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi generatör kontrol anahtarlama sinyali	77
Şekil 7.1. Motor moment değeri.....	78

Şekil 7.2. Generatör moment değeri	79
Şekil 7.3 a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya şarj/deşarj durumu	80
Şekil 7.4 a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya akım analizi	85
Şekil 7.5. a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya gerilim analizi	87
Şekil 7.6. a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya güç analizi ..	90
Şekil 7.7. a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi DA makinesi gerilim analizi	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Amper
C_{Ah}	Batarya kapasitesi
D	Diyot
DA	Doğru akım
E_a	Armatür gerilimi
E	Bataryanın enerjisi
I_f	Alan sargısı akımı
I_{Load}	Yük akımı
I_L	Bobin akımı
i_a	Armatür akımı
İYM	İçten yanmalı motor
ΔI_L	Bobin akımındaki dalgalanma
N.m	Newton metre
PI	Proportional Integral
S	Anahtar
T_s	Anahtarlama periyodu
V	Volt
ΔV_{mak}	Elektrik makinesi üzerindeki gerilimin dalgalanma oranı
V_{mak}	Elektrik makinesi gerilimi
V_{bat}	Batarya gerilimi
V_{ref}	Referans gerilimi
V_{oc}	Açık devre gerilimi
V_f	Alan sargısı gerilimi
Δ	Anahtar görev oranı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Artan dünya nüfusuyla birlikte, kullanılan otomobil ve araç sayısı da hızla artmaktadır. Fosil yakıt tüketimine sebep olan geleneksel araç teknolojisinin fosil yakıt ve türevlerinin kullanılmasında açığa çıkardığı sera gazları (karbon monoksit, karbon dioksit, metan vb.) çevre kirliliği ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Fosil yakıt tüketiminin artması ve petrol rezervlerinin azalması araç sektöründe alternatif yakıt ve kaynakların araştırılmasında etkili olmuştur. Bu durum günümüz ulaşım sektöründe elektrikli araç teknolojisine yönelimi önemli ölçüde arttırmıştır [1-3]. Şekil 1.1’de elde edilen veriler, coğrafi olarak doğudan batıya ülkelerin 2017-2018 yıllarının ilk çeyreklerinde elektrikli araç kullanımına yönelik eğiliminin arttığını göstermektedir.



Şekil 1.1. Uluslararası elektrikli araç satış çizelgesi [3]

Elektrikli araçlarda, aracın gidebileceği mesafenin belirlenmesinde ve kullanılan makinenin uygun şartlarda çalışması için batarya denetleyicisinde bataryanın şarj-deşarj yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrikli araçlarda hareketi sağlayan elektrik makinesi motor modunda çalışırken bataryadan beslenmek suretiyle pozitif moment üretir ve aracın hızlanması sağlanır. Tam tersi durumda yani generatör modunda çalışırken enerji akışı elektrik makinesinden bataryaya doğru gerçekleşir. Elektrik makinesi, bu çalışma modunda negatif moment üretir ve generatörün ürettiği enerji sayesinde batarya şarj olmaya başlar. Elektrik makinesi motor modunda çalışırken kaybedilen enerjinin belirli bir kısmı generatör modunda çalıştırılabilirse, bataryayı şarj etmek için kullanılabilir. Son yıllarda elektrikli

araçlarda kullanılmaya başlanan ve yaygın olarak araştırılan bu duruma rejeneratif (geri kazanımlı) frenleme adı verilir. Elektrikli araçlar kullandığı motor, sürücü ve motoru besleyen güç kaynaklarına göre farklı isimlerle adlandırılan teknolojilerle geliştirilmektedir. Klasik içten yanmalı motor teknolojisine entegre edilerek oluşturulan elektrikli araçlara hibrit araç teknolojisi adı verilirken, aynı sistem üzerinde elektrik makinesi, aracın bütün güç özelliklerini sağlayacak şekilde tasarlanırsa buna tümüyle elektrikli araç adı verilmektedir [4,5]. Elektrikli araç teknolojisi bu iki özellik yardımıyla hibrit ve tümüyle elektrikli olmak üzere iki bölümde incelenir.

1.1. Hibrit Araç Teknolojisi

Geleneksel araç teknolojisinde aracın hareketini sağlayan içten yanmalı motor (İYM), benzin ya da dizel beslemeli olarak çalıştırılır. Elektrikli araçlar ise, hareket sistemi için elektrik makinesi, batarya ve her ikisinin kontrolünü sağlayan güç elektroniği devrelerinden oluşmaktadır. Bu sistemin geleneksel elektrikli araç teknolojisine katkısı fosil yakıt tüketimini azaltarak, çevreci bir yapıya sahip olması ve geleneksel araç teknolojisinin daha uzun mesafe almasına katkı sağlamasıdır. Hibrit elektrikli araçlar, hareket esnasında ya da düşük hızlarda elektrik makinesini kullanır. Hızlanma esnasında ise yüksek güç gereksiniminin sağlanması amacıyla İYM devreye girer. Aracın durması esnasında İYM ve elektrik makinesi aynı anda durur. Bu durum yakıt tasarrufu sağlar ve çevre kirliliğini minimuma indirir. Hibrit elektrikli araç teknolojisinin, hibritleşme seviyeleri elektrik makinesinin gücünün, oluşturulan hibrit aracın toplam gücüne oranıyla değişim göstermektedir. Hesaplanan hibritleşme seviyelerine göre, hibrit elektrikli araç teknolojisi mikro hibrit, hafif hibrit ve tam hibrit olmak üzere üç bölümde incelenir [6-10].

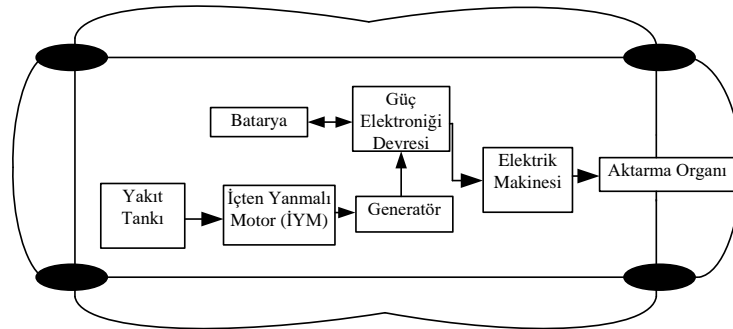
Mikro hibrit araçlarda, elektrik makinesine bir kayış kasnak mekanizması yardımıyla İYM bağlantısı yapılmaktadır. Bu hibrit teknolojisindeki asıl amaç İYM'nin açılıp kapanması ve ilk çalışma anında ya da İYM durdurulup tekrar aktif olması durumunda yakıt tüketiminin düzenlenmesini sağlamak ve yakıt tüketimini azaltmaktır. Mikro hibrit araçların güç oranı 1,5 ile 3 kW arasında değişmektedir [6-10]. Hafif hibrit araçlar, düşük gerilimde çalışan elektrik makinesine sahiptir. Bu sistem içerisinde kullanılan elektrikli makine İYM'ye destek

olması amacıyla tasarlanmıştır. Araç seyir halindeyken elektrik makinesinin tek başına çalışması mümkün değildir. Hafif hibrit araçların güç oranı 10 ile 20 kW arasında değişmektedir [6-10].

Tam hibrit araçlar, yüksek doğru akım (DA) beslemesine sahiptir. Bu araç teknolojisi elektrik makinesi kullanılması durumunda, aracın İYM'ye ihtiyaç duymadan ilerlemesine imkan sağlamaktadır. Bu özelliği açısından değerlendirildiğinde diğer sistemlere oranla yakıt tasarrufu fazladır ve daha çevreci bir yapıya sahiptir. Tam hibrit araçların güç oranı 40 ile 80 kW arasında değişmektedir. Tam hibrit araçlar, seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere üç bölümde incelenir [6-10].

Seri hibrit araç teknolojisinin temeli, elektrik makinesinin çalışmasına dayanmaktadır. Bu araç teknolojisinde batarya sistemi, İYM hızlanmaya başladığında generatöre enerji üretir. Şarj devresi gerilim ve akım değerlerini istenen düzeye getirerek bataryanın şarj olmasını sağlar. Bu durumdan dolayı batarya ve elektrik makinesinin güç, moment ve boyutları aracın tüm gereksinimlerini sağlamak amacıyla hesaplanmalı ve tasarlanmalıdır. İYM'nin mekanik olarak aktarma organına bağlantısı gerçekleşmemektedir. Bu sebeple İYM seçiminde geleneksel araçlara göre daha küçük yapıda bir motor tipi seçilmektedir [6-10].

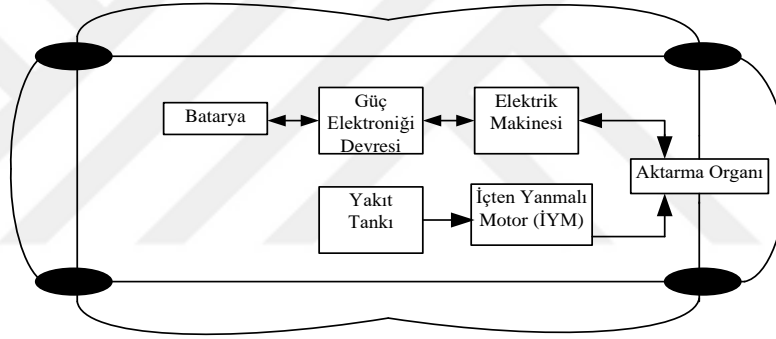
Seri hibrit araç teknolojisinde gaz türbini, Atkinson, Stirling gibi düşük güçlü ve yüksek verimli motor tipleri kullanılır. Bu durum geleneksel araç teknolojisinin, gaz salınımını azaltarak daha çevreci bir yapıda olmasını sağlar. Batarya kapasitesi büyüktür ve bataryanın şarj/deşarj döngüsü uzundur. Seri hibrit elektrikli araçlar Şekil 1.2'de gösterilmiştir [6-10].



Şekil 1.2. Seri hibrit elektrikli araçlar

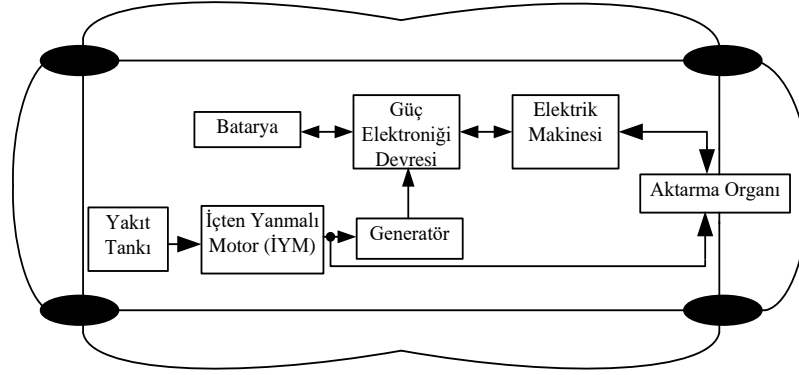
Paralel hibrit elektrikli araçlarda İYM, elektrik makinesi ile sürülebilmektedir. İYM'nin ve elektrik makinesinin, aktarma organına paralel olarak bağlantısı gerçekleştirilebilir. Bu araç tipi, sabit hızlarda maksimum verime sahiptir. Elektrik makinesi, yüksek güç istendiğinde İYM'ye ekstra güç sağlamak amacıyla tasarlanmıştır [6-10].

Paralel hibrit elektrikli araçlardaki elektrik makinesinin güç kapasitesi, seri hibrit elektrikli araçlara göre daha düşüktür. Bu sebeple batarya kapasitesi küçük, şarj/deşarj döngüsü de kısadır. Geri kazanımlı yani rejeneratif frenlemede bataryanın şarj verimi seri hibrit elektrikli araçlara göre yüksektir. Paralel hibrit elektrikli araç yapısı Şekil 1.3'te gösterilmiştir [6-10].



Şekil 1.3. Paralel hibrit elektrikli araçlar

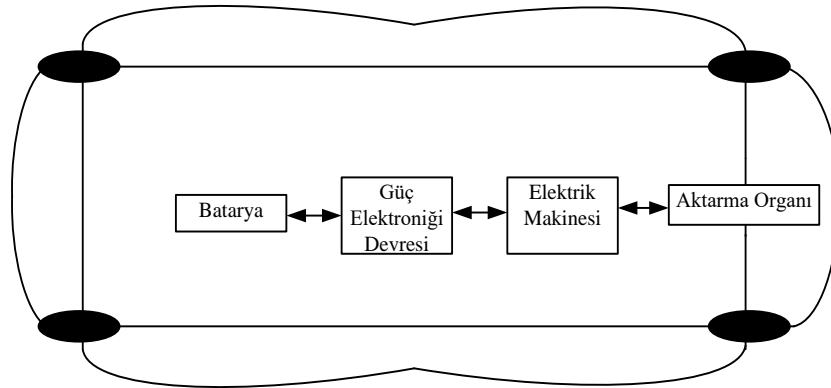
Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar hem paralel hem de seri elektrikli hibrit araç yapısının özelliğini taşımaktadır. Bu araç tipinde iki adet elektrik makinesi bir adet de İYM kullanılmaktadır. İYM, generatörün gerilim üretmesine yardımcı olurken batarya şarj olmaya başlar. Bu durumda İYM'nin aktarma organıyla bağlantısı kesilir ve sadece elektrik makinesinden sürüş gerçekleşir. Öte yandan, İYM aktarma organına direk bağlıdır ve elektrik makinesine güç dağılımında yardımcı olur. Seri paralel hibrit araç yapısı Şekil 1.4'te gösterilmiştir [6-10].



Şekil 1.4. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar

1.2. Tümüyle Elektrikli Araçlar

Tümüyle elektrikli araçlar, batarya, güç elektroniği devresi ve elektrik makinesinden oluşmaktadır. Elektrik makinesi, sürüş esnasında ekstra güç, moment ve hız takviyesine ihtiyaç duyulmaması için tasarlanmıştır. Batarya tasarımı yapılırken sistemin istenen gerilim ve akım seviyesini sağlaması gerekir. Tümüyle elektrikli araç sisteminde bataryalara ek olarak süper kondansatörler kullanılabilir. Bu araçlarda sürüş esnasında gaz salınımı yoktur. Bu durum geleneksel elektrikli araçlardan daha çevreci bir yapıya sahip olmasını sağlar. Tümüyle elektrikli araç sisteminde yakıt olarak batarya, yakıt pilleri, güneş panelleri, süper kondansatörler kullanılmaktadır. Tümüyle elektrikli araç Şekil 1.5'te gösterilmiştir [6-10].



Şekil 1.5. Tümüyle elektrikli araçlar

Elektrikli araç teknolojisi, temel olarak batarya, elektrik makinesi ve güç elektroniği devre yapısından oluşmaktadır. Güç elektroniği devre yapısı, batarya ile elektrik makinesi arasında çift yönlü işlem gerçekleştirmektedir. Batarya deşarj olurken elektrik makinesi motor modunda, şarj olurken ise generatör modunda çalışmaktadır. Bataryanın şarj/ deşarj durumu, akımı ve gerilim seviyesi, güç elektroniği devresinin kontrol algoritmasına ve bataryanın kapasitesine bağlıdır.

Elektrikli araç teknolojisinde bataryalar sınırlı kapasiteye sahiptir. Denetleyici yöntemlerin geliştirilmesiyle, elektrikli araçların menzili uzatılabilir bir konuma getirilmiştir. Bu gelişmeler, son zamanlarda eko sürüş kavramının tartışılmasına neden olmuştur. Eko sürüş, aracın bataryada enerji tüketimini minimuma indirmek olarak tanımlanır. Enerji tüketimini minimuma indirmek için hız, moment ve batarya tüketim değerlerinin belirli bir sınırdan tutulması ne kadar önemliyse yol profili, eğim, sürücünün sürüş teknikleri de o kadar önemlidir. Tüketimi azaltma işlemi, gerçek zamanlı bir optimizasyon yapılması ile sağlanabilir. Elektrikli araç sektöründe bataryanın ömrünü uzatmak ve enerji tüketimini azaltmak için DA dönüştürücülerinin denetleyici kısmında optimizasyon işleminin gerçekleştirilmesi gerekir [11-13].

Elektrikli araçlarda, güç elektroniği devre yapısının batarya ile elektrik makinesi arasında çift yönlü enerji akışını gerçekleştirmesi, önemli bir unsurdur. Bu nedenle çift yönlü DA-DA dönüştürücüler araç sektöründe fazlaca kullanılmaktadır. Bu dönüştürücü tipleri düşük gerilim seviyesiyle yüksek gerilim seviyesi arasındaki enerji akışını iki yönde de sağlamaktadır. Elektrikli araçlarda, batarya gerilim seviyesi düşük olduğu için elektrik makinesi tarafına batarya gerilimi, yükseltılarak iletilir. Elektrik makinesi, gerilimin batarya tarafına iletilmesini gerçekleştirilirken, gerilim seviyesinin gerekir [14,15].

1.3. Bölümler ve İçerik

Bu tez çalışmasında, tümüyle elektrikli araçta bulunan elektrik makinesinin iki yönlü kontrolü için kullanılan yarım köprü DA-DA dönüştürücü tasarımı ve analizi yapılmıştır. Geliştirilen sürücü devre sayesinde, makine hem motor hem de generatör modunda çalıştırılarak bataryanın şarj/deşarj olması sağlanmıştır. Sürücü konvertörün kontrolü için

bulanık mantık denetleyicisi (BMD), PI kontrollü BMD, kayan kipli denetleyici ve PI kontrollü kayan kipli denetleyici algoritmaları geliştirilmiştir. Elektrik makinesi olarak DA makinesi ve makinenin beslenmesi için de lityum iyon batarya modellenmiştir. Analizler için geliştirilen güzergâh senaryosuna göre DA makinesine farklı değerlerde moment uygulanarak bataryanın şarj/deşarj durumu, akım ve gerilim değerleri ile DA makinesinin gerilimi ölçülmüştür. Tezin amacı, bir elektrikli araçta kullanılacak DA makinesinin motor ve generatör modlarında çalıştırılması için en verimli kontrol algoritmasını geliştirmektir. Elektrikli araçlarda alınan mesafenin belirlenmesinde DA makinesinin istenen seviyede çalışabilmesi için gerilim ve akım değerine sahip olmasında, uygulanan moment değerlerinde, bataryanın sağladığı akım ve gerilim değeri önemli bir yere sahiptir.

Bu tezde kullanılan DA makinesinin gücü 250 HP, armatür gerilimi 500 V ve alan sargısı gerilimi 300 V olarak belirlenmiştir. Batarya gerilimi 350 V, kapasitesi 150 Ah, başlangıç şarj durumu ise %88'dir. Bu sistem yaklaşık olarak Tesla Model S 75D 2019 model tümüyle elektrikli araç baz alınarak tasarlanmıştır. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü denetleyicisinde yukarıda bahsedilen her bir denetleyici ayrı ayrı DA-DA makinenin motor ve generatör çalışma durumuna göre tasarlanmış ve analizleri yapılmıştır. Tezin bölümleri aşağıda verildiği şekilde özetlenebilir;

Bölüm 2: Elektrikli araçlar ve kullanılan batarya teknolojilerinin güç yoğunluğu, çevrim sayısı, sıcaklık aralığı, elektriksel devre şemaları bu bölümde verilmiştir.

Bölüm 3: Elektrikli araçlarda kullanılan DA makinesi ve çalışma durumlarında kullanılacak DA dönüştürücü tipleri belirlenmiş ve DA makine hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4: Belirlenen DA-DA dönüştürücülerin anahtarlama iletim ve kesim durumlarına göre devre analizi yapılmıştır. Tezde kullanılan yarım köprü DA dönüştürücünün çalışma modları, durum denklemleri ve dalga şekilleri de bu bölümde analiz edilmiştir.

Bölüm 5: Yarım köprü DA-DA dönüştürücü için geliştirilen kontrol yöntemleri bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 6: Modellenen elektrikli araç ile geliştirilen kontrol yöntemlerinin DA makinenin motor ve generatör çalışma durumuna göre tasarımları, analizleri ve kontrol yöntemleri hakkında detaylı bilgiler bu bölümde verilmiştir.

Bölüm 7: Tasarlanan yarım köprü doğrultucu ile kontrol yöntemleri bir araya getirilerek tasarım işlemi ile DA makinesine farklı moment değerleri uygulanarak bataryanın şarj/deşarj durumu, gerilim, akım ve güç analizleri DA makinenin gerilim analizi, motor ve generatör çalışma modları için ayrı ayrı benzetim sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir.

Bölüm 8: Tasarlanan sistem için kontrol algoritmalarından elde edilen sonuçların değerlendirilmesi bu bölümde sunulmuştur.

Elektrikli araçlarda batarya ile elektrik makinesi arasında enerji akışının çift yönde gerçekleşmesi gerekir. Bu durumu sağlamak için çift yönlü enerji akışına izin veren güç elektroniği devreleri kullanılır. Bu çalışmada da yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücünün tasarımı, analizi ve denetim işlemi gerçekleştirilmiştir. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücünün analiz kısmında anahtarların iletim, kesim durumu incelenmiştir. Tasarım kısmında ise reaktif elemanların kritik değerleri hesaplanmıştır. Denetim kısmında DA makineye motor ve generatör konumu için değişik moment değerleri uygulanarak test senaryoları belirlenmiştir. Test senaryolarında bataryanın şarj/deşarj, akım, gerilim, güç ve DA makinenin gerilim değeri uygulanan kontrol algoritmaları ile gözlemlenmiştir. 4 farklı kontrol algoritması kullanılmıştır. Denetim işlemi gerçekleştirilen algoritmalar, bulanık mantık denetleyicisi, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi, kayan kipli denetleyici ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicidir. Denetleyicilerin tasarım ve uygulama işlemleri gerçekleştirilmiş olup, denetleyici sistemlerde PI denetleyicisinin tasarlanan algoritmalara etkisi gözlemlenmiştir. Bununla birlikte elektrikli araçların yapısı bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

BÖLÜM 2

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE KULLANILAN BATARYA TEKNOLOJİLERİ

Elektrikli araçlar, 20. Yüzyılın başından itibaren ulaşım sektöründe ilgi gören bir araştırma konusu olmuştur. Bu araçların üretim sebebi, içten yanmalı motorun kullanıldığı taşıtların olumsuz çevresel etkilerini azaltmaktır. 1920 ile 1930 yılları arasında elektrikli araçlar taşıt pazarında önemli bir yer almış ancak şarj istasyonları, yarı iletken malzeme teknolojisinin tam gelişmemesi ve yeni petrol rezervlerinin ortaya çıkması bu araç teknolojisinin gelişimini olumsuz yönde etkilemiştir [16,17].

21. Yüzyılda Tesla ve Toyota'nın tümüyle elektrikli veya hibrit araç üreten markaları, geçmişe nazaran daha gelişmiş bir güç elektroniği devre sistemi, batarya sistemi ve kontrol sistemi içermektedir. Tesla S modeli incelendiğinde tümüyle elektrik makinesi kullanıldığı için İYM göre sessiz bir yapıda olduğu gözlenmektedir [17]. Geliştirilen çalışmalarla birlikte, elektrik motorunun konumuna göre arabanın çekişinde de değişkenlik olduğu ortaya çıkmıştır. Elektrik makineleri arkaya yerleştirildiği takdirde tıpkı geleneksel araçlar gibi arkadan çekişli bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmektedir. Tesla Model S'de arkadan çekişli makine yerleşimi Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tesla S arkadan çekişli makine şeması [18]

Geleneksel araçlarda bu çekiş yöntemi tek bir motordan karmaşık bir bağlantı yöntemiyle sağlanmaktadır. Tesla S modelinde ise hem önden hem de arkadan çekişli olarak tasarlanabilmektedir. Elektrik makinelerinin yerleşiminde de hem ön hem de arkaya bağlantısı gerçekleştirilebilmektedir. Bu sistemin faydası, frenleme esnasında belirli bölgeden bağımsız olarak kontrol edilmesini sağlamaktır [18]. Tesla Model S'in hem arkadan hem önden çekişli makine yerleşimi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Tesla model S hem arkadan hem önden çekişli sistemin şeması [18]

Tesla model S’de dört çekiş sistemi de mevcuttur. Bu sistemde ön kısma bir, arkaya ise iki adet elektrik makinesi bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Sistem bu durumda dört çekişli araç gibi davranmaktadır. Bu çekiş yöntemi Tesla S P 70D modelinde bulunmaktadır. Tesla S P 85D modelinde ise seçim olarak sunulmaktadır [18]. Tesla model S dört çekişli makine yerleşimi Şekil 2.3’te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Tesla model S dört çekişli sistem şeması [18]

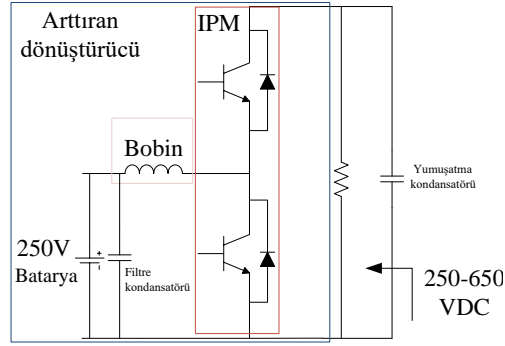
Tesla S modelinde Panasonic 18650 lityum iyon pil teknolojisi kullanılmaktadır. Lityum iyon pil teknolojisinde, yüksek gerilimli büyük pillerin aksine ufak ve silindirik piller mevcuttur. Bu durum, anılan pillerle alakalı olarak iki adet dezavantajı da beraberinde getirmektedir. Birincisi bu pillerin istenen gerilim ve akım değerinin sağlanabilmesi için binlerce silindirik pilin bir araya getirilme zorunluluğu, ikincisi de seri bağlantıda sıcaklık ve sarsıntıdan dolayı ölen bir batarya hücresinin toplam pil kapasitesini de etkilemesidir. [18]. Panasonic 18650 pil türü 18 mm çapında ve 65 mm uzunluğundadır. Bu pillerin gerilim değeri dolu durumda 4 V, boş durumda ise 3,4 V gerilim seviyesine sahiptir. Tek bir silindir pil 3100 mAh kapasiteye sahiptir. Tesla S modelinde bu pillerin 74 tanesinin paralel olarak bağlanmasıyla bir grup elde edilir. Elde edilen grupların 6’lı olarak bağlantısı gerçekleştirilir ve modüller oluşturulur. Bu modüllerin 16 tanesi bir batarya grubuna denk gelmektedir. Tesla S

modelinin batarya oluşumu incelendiğinde bu pillerden 71604 adet kullanıldığı anlaşılmaktadır. Batarya yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir [19].



Şekil 2.4. Tesla S model batarya [14]

Toyota 2004 Prius modeli ise hibrit bir elektrikli araçtır. Bu hibrit araç teknolojisinde İYM 5000 rpm'de 52 kW maksimum güç sağlanmaktadır. Elektrik makinesi ile 1200 ile 1540 rpm arasında maksimum 50 kW, 0-1540 rpm arasında ise maksimum 400 N.m moment sağlanmaktadır. Batarya tipi nikel- metal hidrat olmakla birlikte 28 adet pilden oluşur. Bir adet silindir pil 7,2 V gerilime sahiptir. Seri bağlantısı gerçekleştiğinde ise 201,6 V gerilime sahip olduğu bilinmektedir. Toplam batarya kapasitesi 104,16 Ah olup paralel hibrit araç teknolojisini içermektedir. Aracın elektrik motorunu kontrol eden yarım köprü DA-DA dönüştürücüsünün çıkış gerilimi 250 V ile 650 V arasında değişirken gücü ise 30 kW'dır. Toyota 2007 Camry modelinde kullanılan hibrit araç teknolojisinde ise İYM 4500 rpm'de 105 kW maksimum çıkış sağlanmaktadır. Bu hibrit aracın elektrik makinesinden ise 270 N.m tork sağlanmaktadır. Batarya tipi, nikel-metal hidrattır ve 244,8 V gerilim üretebilmektedir. Bataryanın sağladığı güç 21 kW'dır. Güç elektroniği devresi yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücüye sahiptir. Elektrik makinesi tarafı, gerilim seviyesi 200 ile 500 V arasında değişmekte, yarım köprü DA-DA dönüştürücü güç oranı ise 20 kW'tır. Yukarıda belirtilen iki hibrit araç tipi de 8 kutuplu kalıcı mıknatıslı senkron makineye sahiptir [20]. Toyota 2007 model Camry devre şeması Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Toyota 2007 model Camry devre şeması [15]

Yarım köprü DA dönüştürücü, elektrik makinesi motor modunda çalışırken batarya gerilimi yükseltılarak elektrik makinesine iletilir ve batarya deşarj olmaya başlar. Elektrik makinesi generatör modunda çalışırken üzerindeki gerilim düşürülerek bataryaya iletilir ve bataryanın şarj olması sağlanır. Burada önemli olan batarya akımının yönüdür [15]. Tablo 2.1’de yer alan Tesla modelleri tümüyle elektrikli araçlar sınıfında yer aldığı için elektrik makinesinin yüksek güçte olması sebebiyle batarya güçleri de yüksektir. Bu modellerdeki batarya şarj gerilim sürelerine baktığımızda farklı zaman aralıklarında şarj oldukları dikkat çekmektedir. Örneğin Tesla Roadster Electro/2012 model elektrikli araç 240 V gerilimle 6 saatte şarj olurken, Tesla model S 75/2017 aynı gerilim seviyesi ile 8 saatte şarj olmaktadır. Tesla model S/D sınıfını ise diğer Tesla modellerinden ayıran en belirgin özellik çekiş sayısındaki değişimdir. Normal Tesla S modelinde çekiş mekanizması yalnızca arkadan olurken, D sınıfında 4x2 ve 4x4 çekiş mekanizması mevcuttur. Üretim tarihleri açısından da bakıldığında anılan modellerin batarya kapasitesi ve şarj süresinin değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır. Toyota Camry ve prius ile hyundai modelleri hibrit araç sınıfına dahil olduğu için Tesla’nın tümüyle elektrikli araç teknolojisinden farklı olarak düşük güçlü elektrikli makinelerinden oluşmaktadır. Bu nedenle batarya güçleri de düşüktür. Bu araçlarda elektrik makinesi olarak Atkinson, sabit kutuplu senkron makine kullanılmaktadır. Bu nedenle moment ve hız değerleri tümüyle elektrikli araç sistemlerinden düşüktür. Batarya olarak lityum iyon, nikel metal hidrat teknolojileri kullanılmaktadır. Tablo 2.1’de mevcut elektrikli araçların modeli, üretim tarihi, motor tipi, sayısı, moment değeri, dönüş hızı, gücü, batarya gerilimi ve güç kapasitesi, uygulanan gerilim seviyelerine göre şarj süreleri verilmiştir [21].

Tablo 2.1. Elektrikli araçların özellikleri

Araç Tipi/Üretim yılı	Motor Tipi/ Sayısı	Motor Gücü (kW)/HP	Moment (N.m)/RPM	Batarya Tipi / Batarya gücü (kWh) / Gerilimi (V)	Batarya Şarj Gerilimi (V)/ Şarj Süresi (saat)
Tesla Roadster Electro/2012	3-faz, 4-kutuplu asenkron makine	215/288	270/5400	Lityum iyon/37,4/375	240/6
Tesla Model X Performance /2019	3-faz, 4-kutuplu asenkron makine/2	1: 375/503 2: 193/259	1:660/6150 2:329/6100	Lityum iyon / 100 / 350	240/12
Tesla Model 3 Long range/2018	AA sabit mıknatıslı makine	192/258	600/5100	Lityum iyon/75/350	240/8
Tesla Model S 75/2017	3-faz, 4-kutuplu asenkron makine	285/382	441/685	Lityum iyon/75/300	240/8 400/1
Tesla S standard range/2019	3-faz, 4-kutuplu asenkron makine	1:193/259 2:193/259	1:329/6100 2:329/6100	Lityum iyon/75/300	240/12
Bmw i3/2019	Hibrit senkron makine	168	249/4800	Lityum iyon/19/360	120/15 240/6
Tesla S 75D/2019	3-faz, 4-kutuplu asenkron makine/2	1:193/259 2:193/259	1:329/6100 2:329/6100	Lityum iyon/75/300	240/12
Tesla S 90D/2017	3-faz, 4-kutuplu asenkron makine	1:193/259 2:193/259	1:329/6100 2:329/6100	Lityum iyon/90/350	240/8 400/1
Tesla Model X PD100/2017	3-faz, 4-kutuplu asenkron makine/2	1:375/503 2:259/193	660/6150 329/6100	Lityum iyon/100/350	240/9 400/1
Hyundai IONIQ/2019	Atkinson	78/104	169/5700	Lityum iyon/1.6/240	120/12
Toyota camry technology paralel hibrit/2007	Sabit mıknatıslı 8 kutuplu makine	45/60	270/4500	Nikel metal hidrit/30/248	-
Toyota Prius c base/2019 paralel hibrit	Sabit mıknatıslı 8 kutuplu makine	45	400/1540	Nikel metal hidrit/20/201,6	-

2.1. Batarya Teknolojileri

Enerji, günlük hayatta vazgeçilmez bir unsurdur. Enerjinin depolanması ve taşınabilir olması piller yardımıyla sağlanır. Pillerin seri ve paralel olarak bağlantıları gerçekleştirilerek bataryalar elde edilir. Bataryalar, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yapılardır. Modellenmesi elektriksel olarak yapılabilmektedir. Elektriksel ölçümlerde iyonik tepkimelerin incelenmesinde kullanılan düzeneğe elektrokimyasal hücre denir. Elektrolitik çözeltiyle birlikte elektrotun barındığı tarafa elektrot hücresi adı verilir. İyonik tepkimelerle kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistem ise galvanik hücre olarak adlandırılır. Bu işlemde elektron verdiği için katot indirgenir elektron aldığı için anot yükseltgenir. Bu hücrelerde yüksek gerilim istenirse seri, yüksek akım istenirse paralel bağlantı gerçekleştirilir [22,23].

Piller, elektron hareketi gerçekleştirdiği için hem enerji depolar hem de enerji harcama işlemini sağlar. Enerji yoğunluğu bataryanın deşarj döngüsündeki elektrik enerjisi miktarını ifade eder. Bu yoğunluk, pilin kütle ya da hacimsel kapasitesi olarak da tanımlanır. Çevrim sayısı, pilin ne kadar şarj/deşarj döngüsüne sahip olduğunu ifade etmektedir. Kendiliğinden deşarj olma olayı, bataryanın anot ya da katot bölgesinde oluşan şarj kaybına denir. Kapasite (C_{Ah}) pil geriliminin tükenmeden t saatte sağladığı akım miktarına denir. Kapasite hesabı Denklem 2.1’de verilmiştir [22,23].

$$C_{Ah} = \int_0^t I(t) dt \quad (2.1)$$

Bataryanın enerjisi hesaplanırken sağladığı gerilim (V), deşarj akımı (I) ve deşarj süresi (t) dikkate alınmaktadır. Bu durum Denklem 2.2’de verilmiştir.

$$E = \int_0^t V(t) \cdot I(t) dt \quad (2.2)$$

Günümüzde elektrikli araç teknolojilerinde anma gerilimi akımına sahip çeşitli batarya teknolojileri bulunmaktadır. Batarya teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte elektrikli araçların sürüş mesafesi ve elektrik makinesinin güç aralığı da değişmektedir.

Elektrikli araçlarda batarya kontrolü önemli bir yer alır çünkü batarya kontrolü belirlenen yolun alınmasında ve elektrik makinesinin akım ve gerilim şartlarının sağlanmasında önemli rol oynar. Batarya şarj/deşarj durumu tüketilen yük değeri toplam yük kapasitesine bağlıdır. Bataryanın şarj/deşarj durumu (SoC) tüketilen yük değeri (Q_d) ve başlangıç modundaki (Q) yük değerine bağlıdır. SoC bir fonksiyon olarak Denklem 2.3'teki eşitlikte verilmiştir [10].

$$SoC = \frac{Q - Q_d}{Q} \cdot 100 \quad (2.3)$$

2.1.1. Lityum iyon batarya

Lityum iyon batarya, yüksek hızda şarj edilebilmesi, yüksek enerji yoğunluğu, düşük bakım maliyetleri ve daha az çevre kirliliğine yol açması sebebiyle en fazla tercih edilen batarya tipidir. Bu bataryalar, tekrar şarj edilebilen pil hücreler topluluğu olarak bilinir. Bu batarya yapısının çalışma sistemi anot, katot ve elektrolitik çözeltiden oluşur. Anot, negatif elektrot özelliğini, katot ise pozitif elektrot özelliğini göstermektedir. Elektrolit çözeltinin görevi anot katot arasında elektronun yer değişimini sağlamasıdır. Elektron hareketinin sağlanması için anot ve katot bölgelerinin metal oksitlerden oluşması gerekir. Lityum iyonları elektrolit çözelti içerisinde hareket eder, şarj olurken kullanılabılır. Bu piller, 2000 şarj/deşarja kadar çevrim kapasitesine sahip olmakla birlikte enerji yoğunluğu kilogram başına 380 Wh/kg'ı bulmaktadır. Lityum iyon piller -20 ile 60°C arasında çalışma sıcaklığına sahiptir. Lityum-iyon hücreler, kapalı bir yapıya sahip olması nedeniyle bakım gerektirmez. Bu pillerin diğer pillere göre avantajı yüksek çevrime sahip olup, yüksek hızda şarj/deşarj olabilmesidir. Dezavantajı ise su ile ani tepkimelere girmesidir. Bu pil sisteminde, elektron hareketi ekzotermik bir yapıya sahip olmakla birlikte ısınması ise yüksektir. Ayrıca pozitif elektrotların ve elektrolit sıvıların değişmesiyle farklı tipte lityum iyon piller elde etmek mümkün olabilmektedir [10,22,23].

2.1.2. Kurşun-asit batarya

Kurşun asit bataryalar, kurşun asit pillerden meydana gelmektedir. Kurşun-asit pillerin negatif elektrotu kurşundan oluşurken pozitif elektrotu kurşun dioksitten oluşur. Elektrolit sıvısı sülfürik asitten oluşan bu piller, eski bir pil teknolojisi olup deşarj esnasında yüksek akım sağlamaktadır. Bu piller için üretim maliyetinin düşük olması bir avantaj oluştururken hücre başı üretilen enerji miktarının düşük olması bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Bu pillerin kendiliğinden deşarj olma oranı yüksektir. Enerji yoğunluğu ise kilogram başına 35 Wh/kg'dır. 1000 şarj/deşarj çevrim ömrüne sahip olan bu pillerin çalışma sıcaklığı -15 ile 50 °C arasında değişmektedir [10,22,23].

2.1.3. Nikel-kadmiyum batarya

Nikel-kadmiyum bataryalar nikel-kadmiyum pillerden meydana gelmektedir. Nikel kadmiyum pillerin negatif elektrotu kadmiyum ya da kadmiyum hidroksitten oluşurken pozitif elektrotu nikel hidroksit ya da nikel oksit hidroksitten oluşur. Elektrolit sıvısı ise potasyum hidroksitten oluşmaktadır. Nikel-kadmiyum piller tıpkı kurşun asit piller gibi deşarj anında yüksek akım sağlamaktadır [10,22,23].

Nikel-kadmiyum piller kurşun asit pillere göre yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Nikel-kadmiyum pillerin verimi düşüktür. Bu piller şarj olurken aynı zamanda deşarj olamadığı için hafızaya sahiptir. Enerji yoğunluğu kilogram başına 50-80 Wh/kg arasındadır. Çevrim ömrü 2000 şarj/deşarj ve çalışma sıcaklığı -20 ile 50 °C arasındadır [10,22,23].

2.1.4. Nikel-metal hidrat bataryalar

Nikel-metal hidrat piller, nikel kadmiyum pillerin dezavantajları için üretilmiş bir pil teknolojisidir. Pozitif elektrotundaki kadmiyum yerine metal hidrat kullanılmıştır. Enerji yoğunluğu kilogram başına 70-95 Wh/kg arasındadır. Çevrim ömrü 3000 şarj/deşarj civarındadır. Bu durum nikel-kadmiyum pillerin iyileştirilmesiyle elde edilmiştir. Çalışma sıcaklığı -20 ile 60°C arasındadır. Pil tiplerinin özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir [10,22,23].

Tablo 2.2. Pil tiplerinin özellikleri [10, 17, 18]

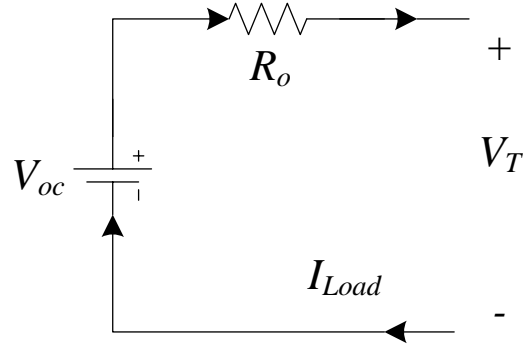
Pil Tipi	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (Şarj/Deşarj)	Hafıza	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Lityum-iyon	380	2000	Hayır	-20/60
Kurşun-asit	35	1000	Hayır	-15/50
Nikel-kadmiyum	50/80	2000	Evet	-20/50
Nikel-metal hidrat	70/95	3000	Evet	-20/60

2.1.5. Pillerin elektriksel eş değeri

Piller elektrik devresi olarak modellenenbilmektedirler. Bu modellemeler yardımıyla pillerin matematiksel eşitlikleri oluşturularak doğrulama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Çalışmalarda genel olarak kullanılan elektriksel eş değer devreler vardır. Bunlar rint eşdeğer, RC eşdeğer ve Thevenin eşdeğer devreleridir [24,25].

2.1.5.1. Rint eşdeğer devresi

Rint eşdeğer devresi gerilim ve ona seri olarak bağlanan bir dirençten oluşmaktadır. Şekil 2.6'da eşdeğer devre görülmektedir. Rint eşdeğer modelin V_{oc} batarya yüke bağlı değilken gösterilen gerilimdir. V_T pil ile bağlantısı gerçekleştirilen yükün gerilimini R direnci bataryanın iç direncidir. R_o ve V_{oc} bataryanın sağlığı ve bataryanın şarj fonksiyonlarıdır. Eğer I_{Load} akımı pilden yüke doğru akıyorsa pil deşarj oluyor demektir. Tam tersi durumda batarya şarj oluyor demektir [26].



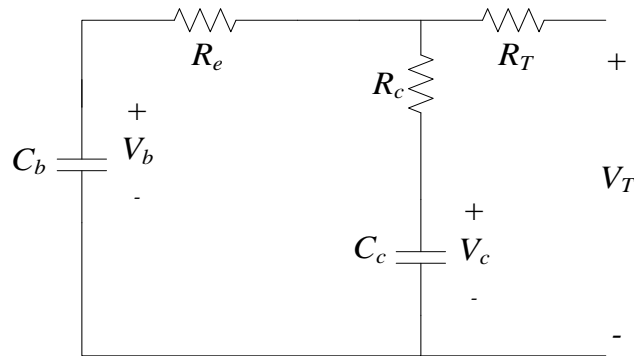
Şekil 2.6. Rint eşdeğeri

Sistemde akım yönünde bir göz akımı uygulanırsa;

$$V_T = V_{oc} - R_o \cdot I_{Load} \quad (2.4)$$

2.1.5.2. RC eşdeğer modeli

RC eşdeğer modelinde C_b kondansatörü batarya gerilimini temsil eden yığın kondansatörüne denir. Devre şeması Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Bu kondansatör yüksek değere sahiptir. C_c pilin yüzey etkilerini önlemek amacıyla kullanılan küçük değerli kondansatördür. R_e , C_b kondansatör yığınının iç direnci R_c , C_c yüzey etkilerini önleyen kondansatörün iç direnci R_T ise terminal direncidir [27].



Şekil 2.7. RC eşdeğer modeli

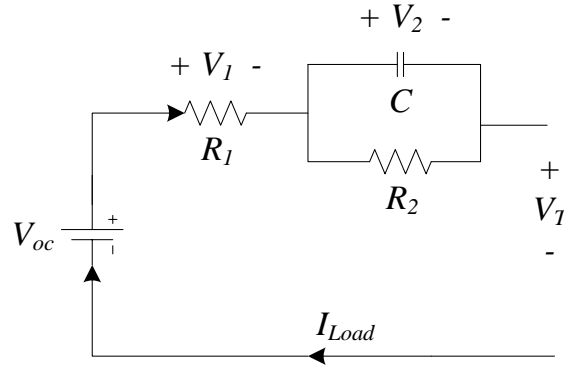
Kondansatörler üzerindeki akım değerleri Denklem 2.5' te, bataryanın terminal gerilimi ise Denklem 2.6'da verilmiştir [10,27].

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{C_b \cdot (R_e + R_c)} & \frac{1}{C_b \cdot (R_e + R_c)} \\ \frac{1}{C_c \cdot (R_e + R_c)} & \frac{-1}{C_c \cdot (R_e + R_c)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_b \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{-R_c}{C_b \cdot (R_e + R_c)} \\ \frac{-R_e}{C_c \cdot (R_e + R_c)} \end{bmatrix} \cdot [I_L] \quad (2.5)$$

$$[V_T] = \begin{bmatrix} \frac{R_c}{R_e + R_c} & \frac{R_e}{R_e + R_c} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_b \\ V_c \end{bmatrix} + \left[-R_T - \frac{R_e \cdot R_c}{(R_e + R_c)} \right] \cdot [I_L] \quad (2.6)$$

2.1.5.3. Thevenin eş değer modeli

Thevenin eş değer modeli R_{int} modeline seri olarak birinci mertebeden RC devresinin eklenmesiyle elde edilir. Thevenin eş değer modeli R_1 iç direncine, eşdeğer modelin V_{oc} batarya yüke bağlı değilken gösterilen gerilimdir. V_T pil ile bağlantısı gerçekleştirilen yükün gerilimini ifade etmektedir. Devre şeması Şekil 2.8'de gösterilmektedir [28].



Şekil 2.8. Thevenin eş değer modeli

Sistemde akım yönünde bir göz akımı uygulanırsa Denklem 2.7'de verilmiştir;

$$V_T = V_{oc} + V_1 + V_2 \quad (2.7)$$

V_2 gerilimi kondansatörün üzerindeki gerilim ve akım değerlerine göre değişkenlik gösterir. Sistem birinci mertebeden RC devresidir. V_1 gerilim değeri Denklem 2.8 eşitliğinde gösterilmiştir.

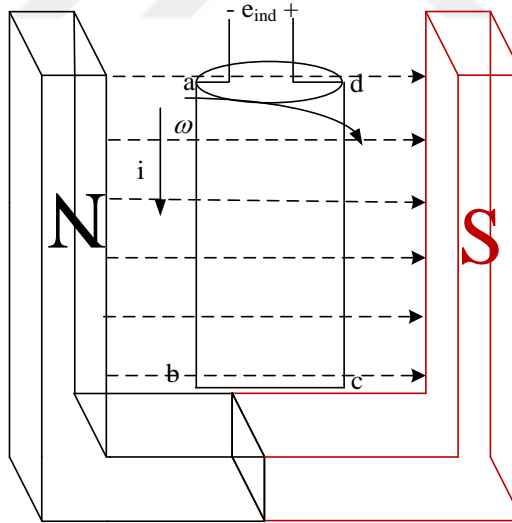
$$V_1(t) = \underbrace{V_1(t-1)}_1 e^{-\Delta t / R_2 C} - \underbrace{R_2 \cdot (1 - e^{-\Delta t / R_2 C}) \cdot I_L(t-1)}_2 \quad (2.8)$$

Denklem 2.8’de gösterilen eşitlikte RC devresinin doğal cevabı ve direnç üzerindeki değişen akımın oluşturduğu gerilimdir [28].

BÖLÜM 3

DA MAKİNE VE ÇALIŞMA BÖLGELERİ

DA makineler, elektrik enerjisini mekanik enerjiye ya da mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren makine sistemidir. DA makineler, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirme sırasında motor modunda çalışırken, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirme sırasında ise generatör modunda çalışır. Sabit bir manyetik alanda iletken boyunca akım geçirilirse, iletken üzerinde bir kuvvet meydana gelir. Bu durum motor modunda çalışma olarak adlandırılır. Bir iletken manyetik alanda hareket ettirilirse, üzerinde bir gerilim meydana gelir. Bu da generatör çalışma modu olarak ifade edilir. DA makine basit bir şekilde manyetik alan içinde dönebilen iletken bir çerçeveden oluşmaktadır. Basit bir DA makinenin iç yapısı Şekil 3.1’de gösterilmektedir [29].



Şekil 3.1. Kutuplar arasında dönen çerçeve

Dönen metal çerçeve üzerinde bir elektro motor kuvveti elde edilir. Bu elektro motor kuvveti Denklem 3.1 eşitliğinde verilmiştir. B manyetik alan, v hız, l çerçevenin kenar uzunluğu ve θ hız ile manyetik alan arasındaki açıyı tanımlamaktadır [24].

$$e = (v \times B) \cdot l = B \cdot v \cdot l \cdot \sin(\theta) \quad (3.1)$$

Sabit manyetik alan içerisinde dikdörtgen çerçevede ab ve cd kenarları manyetik alan hıza dik, bc ve da kenarları ise manyetik alana paraleldir. ab ve cd kenarlarında bir gerilim indüklenmesi olur. Çünkü açı 90° olduğundan vektörel çarpım değer ile sonuçlanmaktadır. bc ve da kenarında bir gerilim indüklenmesi olmaz. Paralelde açı 0° çarpımının sonucu sıfıra eşittir. E ile gösterilen gerilim, bu kenarlarda indüklenen gerilim değerlerinin toplamına eşittir [29].

ab kenarında indüklenen gerilim Denklem 3.2' de verilmiştir.

$$e_{ba} = B \cdot v \cdot l \cdot \sin(90) = B \cdot v \cdot l \quad (3.2)$$

bc kenarında indüklenen gerilim Denklem 3.3'te verilmiştir.

$$e_{cb} = B \cdot v \cdot l \cdot \sin(0) = 0 \quad (3.3)$$

cd kenarında indüklenen gerilim Denklem 3.4'te verilmiştir.

$$e_{dc} = B \cdot v \cdot l \cdot \sin(90) = B \cdot v \cdot l \quad (3.4)$$

da kenarında indüklenen gerilim Denklem 3.5'te verilmiştir.

$$e_{da} = B \cdot v \cdot l \cdot \sin(90) = B \cdot v \cdot l \quad (3.5)$$

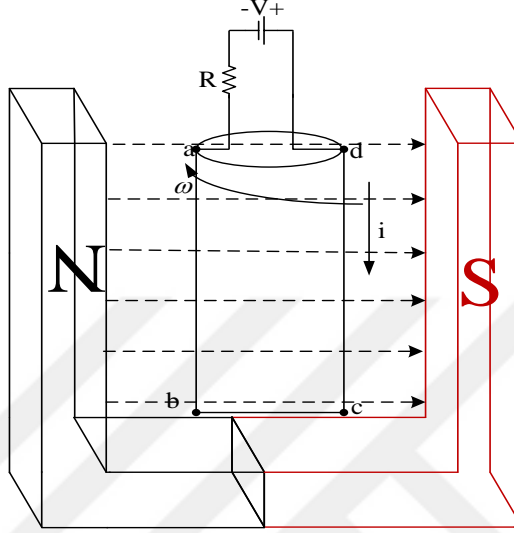
e_{ind} ' de indüklenen gerilim Denklem 3.6'da verilmiştir.

$$e_{ind} = e_{ba} + e_{cb} + e_{dc} + e_{da} = 2 \cdot B \cdot v \cdot l \quad (3.6)$$

Çerçeve sabit manyetik alan içerisinde açısal hız ile dönmektedir. Hız (v) Denklem 3.7'de verilmiştir.

$$v = \omega \cdot r \quad (3.7)$$

Buradaki ω açısal hız, r ise dönüş ekseninin yarıçapıdır.



Şekil 3.2. Çerçevde moment üretilmesi

Çerçevdeki momentin elde edilmesinde uygulanan yaklaşım, çerçevenin her bir kenarı için etkilerinin toplanmasıyla elde edilir. Çerçevenin bir parçasından elde edilen kuvvet Denklem 3.8’de verilmiştir [29].

$$F = i \cdot (l \times B) = B \cdot i \cdot l \cdot \sin(\theta) \quad (3.8)$$

Sabit manyetik alan içerisinde dikdörtgen çerçeveden akım geçirildiğinde bir kuvvet meydana gelir. Bu kuvvet ile birlikte bir moment oluşur. Çerçevde indüklenen toplam moment bütün kenarlardaki momentlerin toplamına eşittir. Moment hesabı Denklem 3.9’da verilmiştir. Bu denklemden θ , r ve F arasındaki açıdır. F dönme kuvveti, r ise çerçevenin dış eksenle yaptığı dönüş ekseninin yarıçapıdır [29]. Moment hesabı Denklem 3.9’da verilmiştir.

$$\tau = F \cdot r \cdot \sin(\theta) \quad (3.9)$$

ab ve cd kenarlarının uzunluğu manyetik alana diktir. bc ve da kenarları manyetik alana paraleldir. ab ve cd kenarında bir kuvvet meydana gelir. Çünkü açı 90° ve vektörel çarpım değeri ile sonuçlanmaktadır. bc ve da kenarında kuvvet meydana gelmez çünkü manyetik alan

ile kenar uzunluğu paraleldir ve aralarındaki açđ 0°'dir. Vektörel çarpımının sonucu sıfıra eşittir. ab kenarındaki kuvvet Denklem 3.10'da verilmiştir [29].

$$F_{ab} = B \cdot i \cdot l \cdot \sin(90) = B \cdot i \cdot l \quad (3.10)$$

Kuvvetin etkisiyle oluşan moment Denklem 3.11'de verilmiştir.

$$\tau_{ab} = B \cdot i \cdot l \cdot r \cdot \sin(90) = B \cdot i \cdot l \cdot r \quad (3.11)$$

bc kenarında hesaplanan kuvvet Denklem 3.12'de verilmiştir.

$$F_{bc} = B \cdot i \cdot l \cdot \sin(0) = 0 \quad (3.12)$$

Kuvvet sıfıra eşit olduğu için momentte sıfıra eşittir. cd kenarında oluşan kuvvet Denklem 3.13'te verilmiştir.

$$F_{cd} = B \cdot i \cdot l \cdot \sin(90) = B \cdot i \cdot l \quad (3.13)$$

Kuvvetin etkisiyle oluşan moment Denklem 3.14'de verilmiştir.

$$\tau_{cd} = B \cdot i \cdot l \cdot r \cdot \sin(90) = B \cdot i \cdot l \cdot r \quad (3.14)$$

da kenarında oluşan kuvvet Denklem 3.15'de verilmiştir.

$$F_{da} = B \cdot i \cdot l \cdot \sin(0) = 0 \quad (3.15)$$

Kuvvet sıfıra eşit olduğu için momentte sıfıra eşittir.

Her kenar için hesaplanan moment değeri toplanırsa çerçevede oluşan toplam moment değeri elde edilir. Bu değeri Denklem 3.16'da gösterilmiştir.

$$\tau_{ind} = \tau_{ab} + \tau_{bc} + \tau_{cd} + \tau_{da} = 2 \cdot B \cdot i \cdot l \cdot r \quad (3.16)$$

DA makineler yapısal olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Alan sargılarının bulunduğu stator duran kısım, armatür sargılarının bulunduğu rotor hareketli kısımdır. Bu kısımlara ek olarak yardımcı kutuplar, fırçalar, kolektörü de barındırmaktadır. Bu yapıda manyetik akıyı üreten sargılar alan sargılarıdır [29].

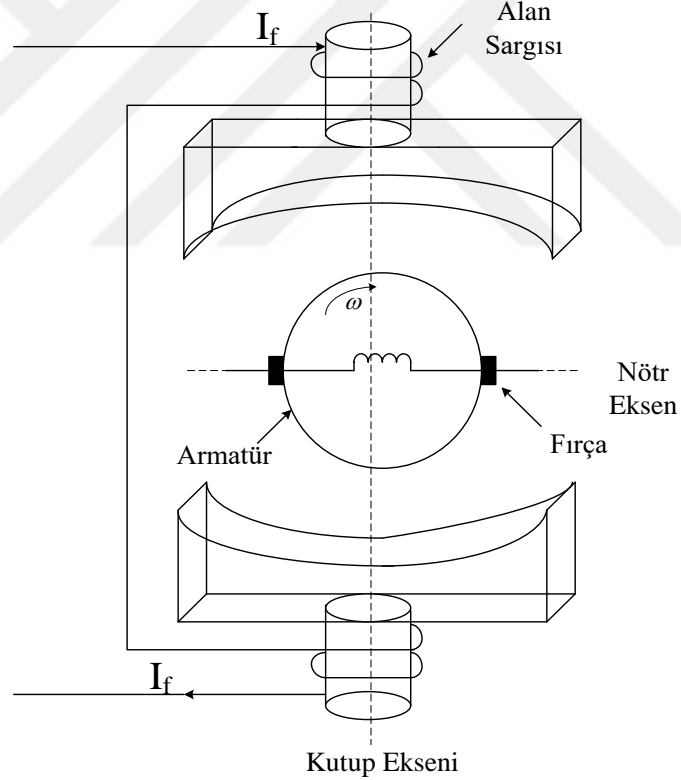
Alan sargılarında dışardan uygulanan DA kaynak ile üzerinde kutuplar oluşur ve manyetik alan meydana gelir. Bu sebeple sargılar duran kısma yerleştirilir. Oluşan bu manyetik alan armatür sargıları üzerinde gerilim indüklenmesi meydana getirir. Bu etkiyle birlikte döner alan oluşur. Gerilim indüklenen bu sargılar, hareketli kısma yerleştirilir. DA makinenin armatür yapısı, sargıların sarıldığı çekirdek ile milden oluşmaktadır. Çekirdek, armatür sargılarını tutmak için dış yüzeyi boyunca preslenmiş çelik levhalar ve oyuklardan meydana gelmektedir [29].

DA makinelerde, komütasyon işlemi temelde DA çıkış geriliminin polaritesini ayarlarken DA makinenin armatür çerçeve bağlantısını gerçekleştirmektedir. Fırçaların bulunduğu konuma nötr eksen adı verilir. Bu eksen etrafına, alan sargılarında oluşan manyetik alanı zayıflatması için, yardımcı kutuplar yerleştirilir. Yardımcı kutupların görevi, sarımların üzerinden geçen akımları düzenleyerek ark oluşumunu engellemektir. Eğer fırçalar bir kutup ile ilişkili bir noktaya yerleştirilirse ark meydana gelir ve bu durumda DA makinenin bakım maliyeti artar [29].

DA makinenin motor ve generatör çalışma durumunda, yapısal olarak hiçbir fark yoktur. Aynı makine hem motor olarak hem de generatör olarak çalışabilir. Bir DA makine temelde alan ve armatür sargılarından meydana gelmektedir. DA makinenin çalışması için alan sargılarına gerilim uygulanması gerekir. Uygulanan bu gerilim V_f ve alan sargılarında meydana gelen akım I_f olarak isimlendirilir. Bu uygulanan gerilim alan sargılarında sabit bir manyetik alana neden olur [29].

İletken üzerinde gerilim indüklenmesi istenirse manyetik alan tarafından kesilmesi gerekmektedir. İletken, değişken manyetik alan tarafından kesilirse bu durum transformatörlerin çalışmasıyla benzerdir. İletken sabit bir manyetik alan içerisinde hareket ederse üzerinde gerilim indüklenir. Bu durum DA makinenin generatör olarak çalışma prensibidir [29].

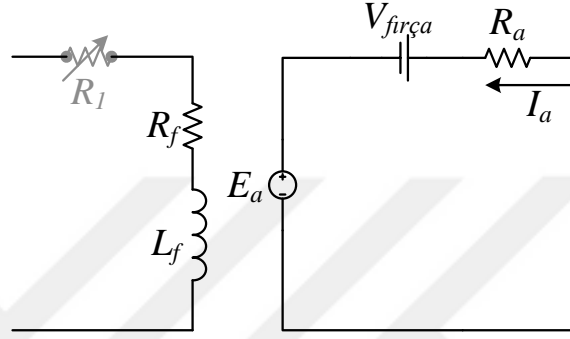
Motor modunda çalışırken armatüre bir gerilim kaynağı bağlandığında iletken üzerinden akım geçer ve bir kuvvet meydana gelir. Bu kuvvet bir dönme momenti oluşturur. İstenen çalışma durumuna göre DA makine motor ya da generatör olarak çalıştırılır [24].



Şekil 3.3. DA makinenin yapısı

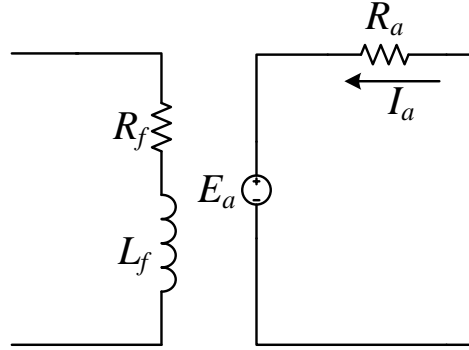
Şekil 3.4'te gösterilen DA makine tam eşdeğerinde armatür elektriksel eş değeri zıt elektro motor gerilimi E_a ve armatür direnci (R_a) ile ilişkilendirilmektedir. Bu gösterim şeklinde devre genel makine yapısının Thevenin eşdeğeridir. $V_{fırça}$ ile gösterilen gerilim fırçalardaki gerilimin düşümünü ifade eder. DA makinedeki manyetik alanı üreten uyarım bobinleri L_f

ve dirençleri R_f olarak isimlendirilmektedir. Uyarımdaki akım miktarının kontrolü için R_l değişken bir direnci temsil eder [29]. Bu devreye tam eşdeğer devre adı verilir Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. DA makinesi tam eşdeğer devresi

Şekil 3.5'te gösterilen basitleştirilmiş devrede R_l değeri R_f ile gösterilmektedir. Fırçalardaki gerilim kaybı R_a direncinin kapsadığı söylenebilir. Devre şeması bu şekilde basitleştirilir [29].



Şekil 3.5. DA makinesi basitleştirilmiş eşdeğer devre

ϕ kutuplar arası manyetik akı yoğunluğudur. açısal hız olarak tanımlanmaktadır. Makinede üretilen iç gerilim Denklem 3.17'de verilmiştir.

$$E_a = K \cdot \phi \cdot \omega \quad (3.17)$$

ϕ kutuplar arası manyetik akı yoğunluğudur. I_a armatür akımı olarak tanımlanmaktadır. Makinede üretilen moment Denklem 3.18'de verilmiştir.

$$\tau = K \cdot \phi \cdot I_a \quad (3.18)$$

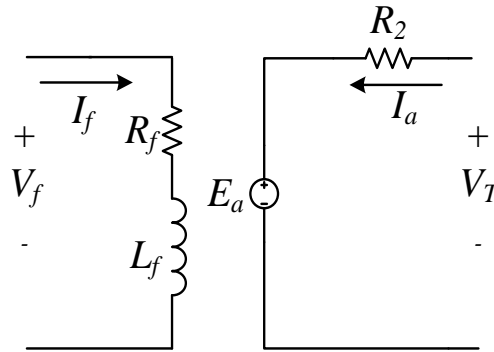
Üretilen gerilim eşitliğinde K değeri Z iletken sayısı, P kutup sayısı, a akım yolu sayısı, olarak Denklem 3.19'da tanımlanmaktadır.

$$K = \frac{Z \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad (3.19)$$

3.1. Serbest Uyarmalı DA Makine

Serbest uyarmalı DA makinede 2 adet birbirinden bağımsız DA kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kaynaklardan biri alan sargılarına uygulanmalı, diğeri ise armatür sargılarına uygulanmalıdır. Alan sargılarına uygulanan DA kaynağı manyetik alan oluşturur [29].

Armatür iletkeninden akım geçirilirse DA makine pozitif moment üretir. Armatür iletkeni manyetik alan içerisinde hareket ettirilirse üzerinde bir gerilim indüklenmesi gerçekleşir. Bu durum armatüre uygulanan DA kaynakla ve yük ile ilgilidir. Serbest uyarmalı DA motor Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Yük akımı armatüre doğruysa serbest uyarmalı makine motor modunda dışarı doğruysa generatör modunda çalışmaktadır [29].



Şekil 3.6. Serbest uyarmalı DA motor

DA makinede geçici durumu haricinde bobin üzerinde sabit bir akım gözleendiği için kapalı devre özelliği gösterir. Göz akımları yöntemiyle alan sargısı akımı (I_f) Denklem 3.20’de verilmiştir [29].

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \quad (3.20)$$

Armatür tarafında göz akımları yöntemi uygulanır. Bu durum Denklem 3.21’de verilmiştir.

$$V_T = E_a + I_a \cdot R_a \quad (3.21)$$

Armatüre bir yük uygulanırsa yüke aktarılan akım I_a ’ya eşit olur. Armatürde indüklenen gerilim (E_a) Denklem 3.17’de verilmiştir. Denklem 3.21’e yazılır ve Denklem 3.22 elde edilir.

$$V_T = K \cdot \phi \cdot \omega + I_a \cdot R_a \quad (3.22)$$

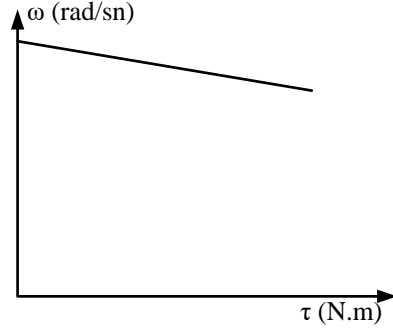
Denklem 3.18’den I_a akımı elde edilir. Denklem 3.21’de yerine yazılır ve Denklem 3.23 elde edilir.

$$V_T = K \cdot \phi \cdot \omega + \frac{\tau}{K \cdot \phi \cdot R_a} \quad (3.23)$$

Açısal hız Denklem 3.24’te verilmiştir.

$$\omega = \frac{V_T}{K \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot \tau}{(K \cdot \phi)^2} \quad (3.24)$$

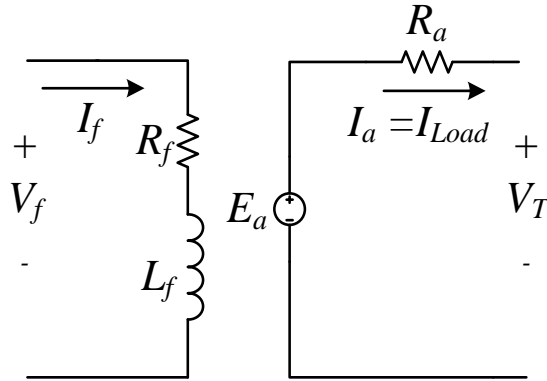
Denklem 3.24’te momentin işaretinden dolayı eğim negatiftir. Elde edilen moment hız eğrisi negatif eğimlidir. Moment azaldıkça hız artma eğiliminde, moment arttıkça hız azalma eğilimindedir. Bu durum Şekil 3.7’de gösterilmektedir [29].



Şekil 3.7. Serbest uyarmalı DA motorun hız-moment eğrisi

Serbest DA makinenin motor modunda moment hız eğrisini lineer doğru şeklinde tutmak önemlidir. Bu nedenle yüklemde olacak değişim için makinenin diğer parametrelerinde bir farklılık meydana gelmemesi gerekir. Bir DA güç kaynağı tarafından sağlanan gerilim değeri sabit tutulmalıdır. Sabit tutulmazsa lineer moment eğrisinin şekli etkilenir [29].

Serbest uyarmalı generatörlerde V_T gerilimi generatör uçlarında ölçülen gerilim değeri, I_{Load} akımı yüke aktarılan akımı temsil eder. İçte üretilen armatür gerilimi E_A ve armatür akımı I_a 'dır. Serbest uyarmalı generatörde I_{Load} akımı I_a akımına eşittir [29]. Serbest uyarmalı generatör Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

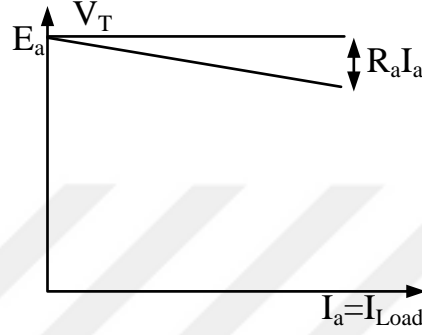


Şekil 3.8. Serbest uyarmalı DA generatör

Devrede V_T gerilimi Denklem 3.25'te verilmiştir.

$$V_T = E_a - I_a \cdot R_a \quad (3.25)$$

Denklem 3.25’de verilen doğru denklemi V_T ve $I_a=I_{Load}$ göre çizilir. V_T değeri maksimum açık devrede E_a iç gerilime eşittir. $I_a=I_{Load}$ akımları arttıkça R_a üzerindeki gerilim düşümü artar ve V_T geriliminde azalma olur [29].

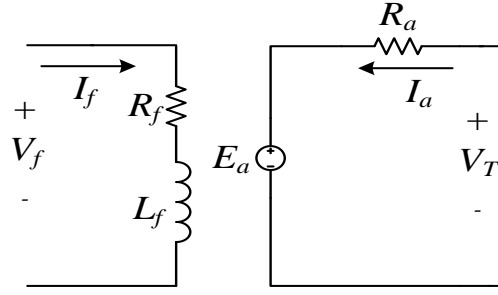


Şekil 3.9. DA makine uç karakteristiği

3.2. DA Makinesinin Çalışma Modları

DA makinelerin motor, ileri yönde frenleme, generatör ve ters yönde frenleme olmak üzere dört tane çalışma modu vardır. Motor çalışma modunda temelde zıt elektro motor kuvveti (E_a) gerilimi armatüre uygulanan DA gerilim kaynağından küçüktür. Armatür ve alan akımları pozitifdir. Motor, yük gereksinimine göre moment değeri üretir. Kaynak gerilimi, armatür gerilimi ve akımı pozitifdir. Bu çalışma bölgesinde hız ve üretilen moment pozitifdir ve motor yükü yukarı çekmektedir [30].

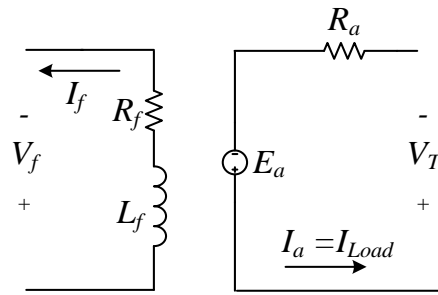
İleri yönde frenleme çalışma modunda, makine ileri yönde çalışır ve armatür gerilimi pozitif kalmaya devam eder. Moment değerinin negatif olmasından dolayı enerji akış yönünün değişmesi için armatür akımı negatif olur. Armatür geriliminin zıt elektro motor kuvvetinden (E_a) düşük olmalıdır. Motor yük tarafından yenilmektedir [30].



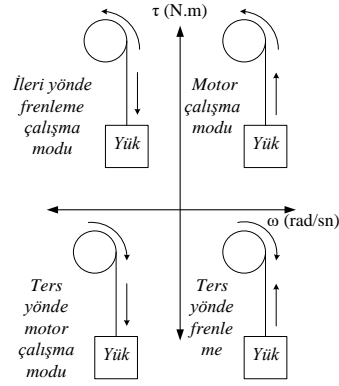
Şekil 3.10. Serbest uyarmalı DA motor ileri yönde frenleme

Ters yönde motor çalışma armatür gerilimi, akımı ve armatür sargılarına uygulanan gerilim negatiftir. Bu bölge hız ve moment değeri negatiftir. Moment değerinin negatif kalması, sistemin motor konumunda çalışması için armatüre uygulanan gerilimin, armatür iç geriliminden büyük olmalıdır. Armatür iç geriliminin negatif olması için, uyarma akımının negatif ya da uyarma uçlarının bağlantı polaritesinin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu konumda çalışan doğru akım makine yükü aşağı doğru indirmektedir.

Ters yönde frenleme çalışma modunda armatür sargılarına uygulanan gerilim ile indüklenen gerilim aynı yönde etki gösterir. Armatür akımının yönü terse döner ve frenleme meydana gelir. Bu işlemler sırasında alan sargılarına uygulanan gerilim pozitifdir. Armatür gerilimi armatüre uygulanan gerilimden büyük olmalıdır. Bu bölge ters yönde frenleme bölgesi olarak adlandırılır. Bu çalışma bölgesinde motora bağlantısı gerçekleştirilen yük motoru yenmekte ve frenle gerçekleşmektedir. Ters akımla frenleme serbest uyarmalı DA motor Şekil 3.11’de ve DA makine çalışma bölgeleri Şekil 3.12’de gösterilmektedir. [30,31].



Şekil 3.11 Serbest uyarmalı DA motor ters yönde frenleme



Şekil 3.12. DA makine çalışma bölgeleri

Doğru akım motorlar, hızları azaltılırken, frenleme sırasında generatör olarak çalışırlar. Bu nedenle DA motorlarının generatör modlu çalışmasının göz önüne alınması gerekir. Ters yönde çalışma için uyarma akımı ters çevrilerek zıt elektro motor kuvvetinin polaritesi değiştirilir [30,31].

DA makinelerde DA-DA dönüştürücüler yaygın olarak kullanılır. DA-DA dönüştürücüler sabit gerilim kaynağı ile makinenin arasına yerleştirilir. DA makine tek yönlü bir DA dönüştürücüyle çalıştırılırsa, sadece bir bölgede çalışır. Batarya ile DA makine arasında tek yönde değişim gerçekleşmektedir. Yarım köprü çift yönlü DA dönüştürücüde batarya ile DA makine arasında güç akışı çift yönde gerçekleşir. Bununla birlikte DA makine iki çalışma bölgesinde de işlev görür [30,31].

BÖLÜM 4

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ VE DEVRE TOPOLOJİLERİ

4.1. DA-DA Dönüştürücüler

Geleneksel DA-DA dönüştürücüler, değişken kaynak gerilimlerine karşı istenen gerilim ve akım değerleriyle bataryanın şarj olmasını sağlar. Tek yönlü bir giriş çıkış ilişkisi vardır [25, 26].

Makine gerilimine göre azaltan, arttıran ya da hem azaltan hem arttıran işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemler, batarya şarj/deşarj döngüsünde istenen gerilim ve akım seviyelerine getirir. Bu durumda güç elektroniği devrelerinin sürekli iletim modunda çalışması ve reaktif devre elemanlarının değerleri tasarımı önem arz eder [25, 26].

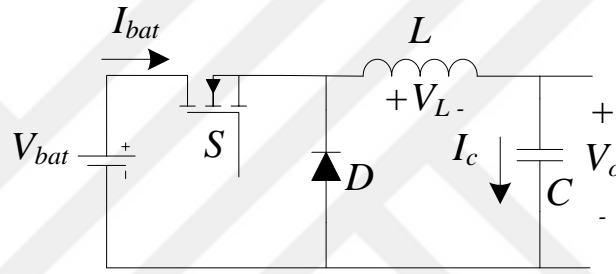
Dönüştürücülerde bobin üzerinden geçen akım değeri önemlidir. Bobin üzerindeki akım değeri belirli bir zaman aralığında sıfıra düşüyorsa dönüştürücü süreksiz, DCM (Discontinuous conduction mode), modunda çalışır. Bobin akımı sıfıra düşmezse dönüştürücü sürekli, CCM (Continuous conduction mode), modunda çalışır. Süreksiz modda çalışan dönüştürücünün anahtarlama elemanlarında ani sıcaklık artışı meydana gelmekte ve kayıplar artmaktadır. DCM çalışan dönüştürücüde kullanılan devre yollarının kesiti büyük olmalıdır. CCM modunda çalışan dönüştürücüde bobin üzerinden akan akım sıfırdan büyük ve belirli bir değere sahiptir. Bu modda çalışan dönüştürücüde anahtarlama elemanları üzerinde ısınma ve kayıplar DCM çalışmaya göre daha azdır. CCM de tasarımı yapılan dönüştürücüde bobin değeri hesaplanan değer altıda seçilirse, CCM çalışan dönüştürücü DCM çalışır [29, 30].

4.1.1. Azaltan DA-DA dönüştürücü

Azaltan DA-DA dönüştürücü devre yapısı olarak anahtar (S), güç diyotu (D), reaktif güç elemanları ve yükten oluşmaktadır. Azaltan dönüştürücüde giriş gerilimi çıkış gerilimden büyüktür. Giriş gerilimiyle çıkış gerilimi arasındaki ilişki görev oranıyla belirlenir. Bobin ve

kondansatör değeri çıkış akım ve gerilimini üretir. Bobin hesaplanan değerden yüksek seçilmeli ve DA dönüştürücü sürekli konumda çalıştırılmalıdır [32,33].

Çıkış kondansatörü yük üzerindeki gerilim dalgalanmasını düzenler. Azaltan DA dönüştürücülerde giriş gerilimi çıkış geriliminden yüksektir. Azaltan DA dönüştürücüler motorların hız denetiminde, batarya şarj kontrolünde kullanılmaktadır [32,33]. Azaltan DA-DA dönüştürücü devre yapısı Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Azaltan DA-DA dönüştürücü devre yapısı

Devre yapısında giriş ve çıkış arasındaki gerilim ilişkisi anahtarın iletim ve kesim durumuna göre bobin üzerindeki akımın değişimine bağlıdır. Anahtar (S) iletimdeyken, diyot (D) kesimdedir. Bobin gerilim değeri giriş ile çıkış arasındaki farka eşittir [32]. Bu durum Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$I_{L_{maks}} - I_{L_{min}} = \left(\frac{V_{bat} - V_C}{L} \right) \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

Anahtar (S) kesimdeyken diyot (D) iletimdedir. Bobin gerilim değeri negatif çıkış gerilimine eşittir.

$$I_{L_{min}} - I_{L_{maks}} = \left(\frac{-V_C}{L} \right) \cdot (1 - \Delta) T \quad (4.2)$$

Bulunan iki denklem çözümü Denklem 4.3’te verilmiştir.

$$\left(\frac{V_{bat} - V_C}{L}\right) \cdot \Delta T - \left(\frac{V_C}{L}\right) \cdot (1 - \Delta)T = 0 \quad (4.3)$$

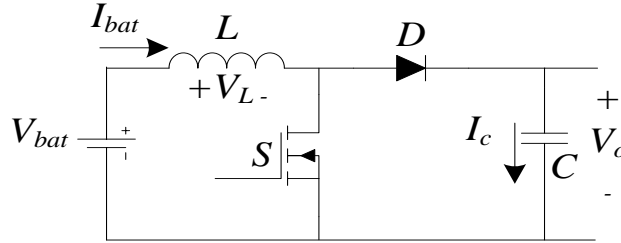
Giriş ve çıkış arasındaki gerilim Denklem 4.4'te verilmiştir.

$$V_C = \Delta \cdot V_C \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'de, Δ (görev oranı) 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu sebeple giriş gerilimi azaltılarak çıkış gerilimi elde edilmiş olur [33].

4.1.2. Arttıran DA-DA dönüştürücü

Arttıran DA dönüştürücüde giriş gerilimi çıkış geriliminden düşüktür. Devre yapısı olarak anahtar (S), güç diyotu (D), ve enerji depolama elemanları (L , C)'den oluşmaktadır. Burada bobin akım dalgalanmasını düşürmek için batarya gerilimine seri bağlanmıştır. Kondansatör, çıkış üzerindeki gerilim dalgalanmasını azaltmak için kullanılır. Bu kondansatörün değeri çıkışta istenen gerilimin düzgün olması için yeteri kadar büyük seçilmelidir [32-34]. Arttıran DA-DA dönüştürücü devre yapısı Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Arttıran DA-DA dönüştürücü devre yapısı

Devre yapısında giriş ve çıkış arasındaki gerilim ilişkisi anahtarın iletim ve kesim durumuna bağlıdır. Anahtar (S) iletimdeyken diyot (D) kesimdedir. Bobin gerilim değeri giriş gerilimine eşittir [32-34]. Bu durum Denklem 4.5'te verilmiştir.

$$I_{L_{maks}} - I_{L_{min}} = \left(\frac{V_{bat}}{L} \right) \cdot \Delta T \quad (4.5)$$

Anahtar (S) kesimdeyken diyot (D) iletimdedir. Bobin gerilim değeri giriş gerilimiyle çıkış geriliminin farkına eşittir.

$$I_{L_{min}} - I_{L_{maks}} = \left(\frac{V_{bat} - V_C}{L} \right) \cdot \Delta T \quad (4.6)$$

Bulunan iki denklem çözümü Denklem 4.7’de verilmiştir.

$$\left(\frac{V_{bat}}{L} \right) \cdot \Delta T - \left(\frac{V_{bat} - V_C}{L} \right) \cdot (1 - \Delta)T = 0 \quad (4.7)$$

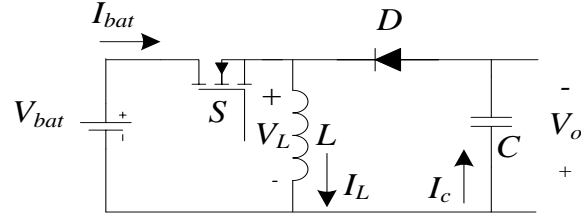
Giriş ve çıkış arasındaki gerilim Denklem 4.8 de verilmiştir.

$$V_C = \frac{V_{bat}}{1 - \Delta} \quad (4.8)$$

Denklem 4.8’de, Δ (görev oranı) 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu sebeple giriş gerilimi arttırılarak çıkış gerilimi elde edilmiş olur [32-34].

4.1.3. Azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü

Azaltan arttıran DA-DA dönüştürücü, giriş ile çıkış arasında azaltma ve arttırma işlemini aynı devrede yapmaktadır. Azaltan arttıran dönüştürücüde giriş geriliminin yönüyle çıkış geriliminin yönü farklıdır. Anahtarın iletim ve kesim süresine göre giriş gerilimi arttırılır ya da azaltılır. Azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü devre yapısı Şekil 4.3’te gösterilmektedir [32,33].



Şekil 4.3. Azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü devre yapısı

Devre yapısında giriş ve çıkış arasındaki gerilim ilişkisi anahtarın iletim ve kesim durumuna göre bobin üzerindeki akımın değişimine bağlıdır. Anahtar (S) iletimdeyken diyot (D) kesimdedir. Bobin gerilim değeri giriş ile çıkış arasındaki farka eşittir. Bu durum Denklem 4.9’da verilmiştir [32,33].

$$I_{L_{maks}} - I_{L_{min}} = \left(\frac{V_{bat}}{L} \right) \cdot \Delta T \quad (4.9)$$

Anahtar (S) kesimdeyken diyot (D) iletimdedir. Bobin gerilim değeri negatif çıkış gerilimine eşittir.

$$I_{L_{min}} - I_{L_{maks}} = \left(\frac{-V_C}{L} \right) \cdot (1 - \Delta) T \quad (4.10)$$

Bulunan iki denklem çözümü Denklem 4.11’te verilmiştir.

$$\left(\frac{V_{bat}}{L} \right) \cdot \Delta T + \left(\frac{V_C}{L} \right) \cdot (1 - \Delta) T = 0 \quad (4.11)$$

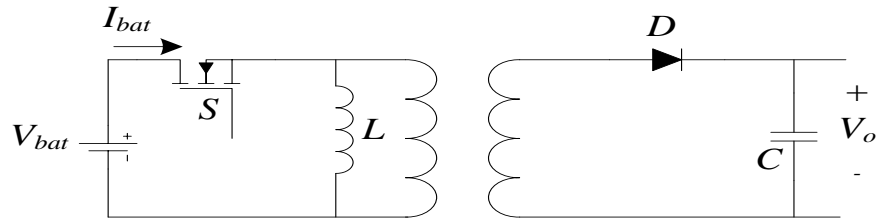
Giriş ve çıkış arasındaki gerilim Denklem 4.12’de verilmiştir.

$$V_C = - \frac{\Delta \cdot V_{bat}}{1 - \Delta} \quad (4.12)$$

Denklem 4.12’de Δ (görev oranı) 0 ile 1 arasında değişmektedir. Görev oranı 0.5’den küçükse azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü azaltan DA-DA dönüştürücü gibi çalışmaktadır. 0.5’den büyükse azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücü arttıran DA-DA dönüştürücü gibi çalışmaktadır [33].

4.1.4. Flyback DA-DA dönüştürücü

Flyback DA dönüştürücüsü, reaktif elemanları olan magnetizasyon bobini, çıkış kondansatörü, primer gerilimi ile sekonder gerilimi arasında izolasyon işlemi sağlayan yüksek frekanslı transformatör (*HF*), diyot (*D*) ve anahtarlama (*S*) elemanlarından meydana gelmektedir. Flyback DA-DA dönüştürücü, devre topolojisi oranına göre giriş gerilimiyle çıkış gerilimi arasındaki ilişki belirlenirken anahtara iletilen görev oranı ve transformatörün sarım oranına göre hem azaltma hem arttırma işlemi gerçekleştirmektedir. Flyback DA-DA dönüştürücüler, çoklu giriş ya da çıkış olarak tanımlanabilir. Çalışma prensibi, azaltan-arttıran DA-DA dönüştürücüsüyle benzerdir. İzolasyon işlemi, yüksek gerilim ve akım değerlerinin çıkışta düzenleme işlevini gerçekleştirmektedir [33]. Flyback DA-DA dönüştürücü devre yapısı Şekil 4.4’ te gösterilmektedir.



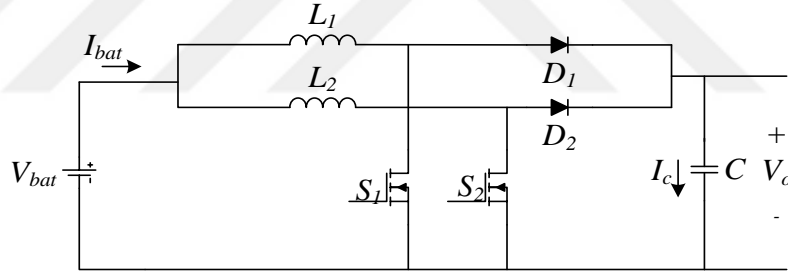
Şekil 4.4. Flyback DA-DA dönüştürücü devre yapısı

Anahtarın (*S*) iletimde olduğu durumda magnetizasyon bobini (*L*) üzerinde enerji depolanır. Diyot (*D*) üzerindeki gerilim polaritesi ters olduğundan kesime gider. Kondansatörde daha önce depolanan enerji yüke aktarılır. Anahtarın kesimde olduğu durumda magnetizasyon bobini (*L*) üzerindeki enerji transformatörün birincil kısmından ikincil kısmına aktarılır. Diyot (*D*) üzerindeki gerilim polaritesi ileri yönde olduğundan ilettime geçer. Kondansatörde enerji depolanır [28]. Giriş ve çıkış arasındaki ilişki Denklem 4.13’ de verilmiştir.

$$V_C = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{\Delta \cdot V_{bat}}{1 - \Delta} \quad (4.13)$$

4.1.5. Interleaved DA-DA dönüştürücü

İnterleaved dönüştürücüler, iç içe geçmiş iki tane arttıran dönüştürücüden meydana gelir. Giriş gerilimi çıkış geriliminden büyüktür. Devrede iki adet bobin (L_1 , L_2) iki adet anahtarlama (S_1 , S_2) elemanı, iki adet diyot (D_1 , D_2) ve çıkış kondansatöründen (C) oluşur. Anahtarlama sinyalleri anahtar sayısına göre değişir. Anahtarlama elemanlarının sayısı iki adet ise her biri 180° faz farkıyla anahtarlmalıdır. Anahtar sayısı artarsa $360^\circ/n$ faz farkıyla anahtarlama işlemi gerçekleşmelidir. İnterleaved DA-DA dönüştürücü devre yapısı Şekil 4.5'te gösterilmektedir [33].



Şekil 4.5. Interleaved DA dönüştürücü devre yapısı

S_1 anahtarı kapalı olduğu durumda L_1 bobini giriş gerilimiyle şarj olur. S_2 anahtarı açık durumda olduğundan L_2 bobini üzerinde depolanan enerji yüke aktarılır. S_1 anahtarı açık olduğu durumda L_1 bobini üzerinde şarj olan gerilim yüke aktarılır. S_2 anahtarı kapalı olduğu durumda L_2 bobini giriş gerilimiyle şarj olur [33].

4.2. Çift yönlü DA-DA dönüştürücü

Çift yönlü DA dönüştürücü, güç akışını çift yönlü gerçekleştirmek üzere tasarlanmış güç elektroniği devre yapısıdır. Bu devre yapısı, elektrikli araçlarda motor kontrolünün yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları, yakıt bataryaları ve kesintisiz güç sağlayan kaynaklarda akım ve gerilim değerlerinin kontrolünde kullanılmaktadır.

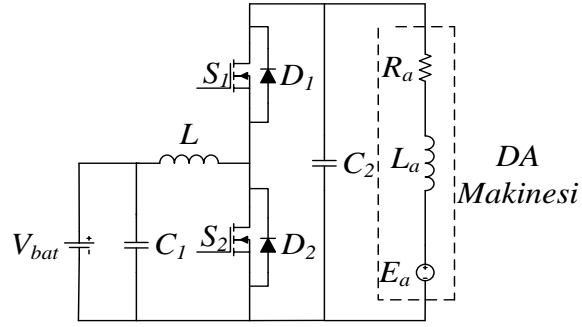
Yenilenebilir enerji kaynakları tek bir kaynak olarak kullanıldığında yük üzerindeki dalgalanmalara sebep olmaktadır. Akım ve gerilimi istenen değerde tutmak ve ani güç dūşümlerini engellemek amacıyla batarya sistemi kullanılmaktadır. Bu batarya sisteminin uygun koşullarda şarj ve deşarj olması için sistem ile batarya arasında düzenleme işlemi çift yönlü DA dönüştürücü yardımıyla sağlanmaktadır [37,38].

Elektrikli araçlarda çift yönlü DA-DA dönüştürücü batarya ve elektrik makinesi arasındaki güç akışını düzenlemek için kullanılır. Bu güç akışında kullanılan motor tipleri 500V ve batarya tipleri 200V ile 400V arasında değişmektedir. Elektrik makinesi hızlanmaya başladığında batarya üzerindeki gerilim değeri yükseltılarak elektrik makinesine iletilmesi gerekmektedir. Elektrik makinesinin frenlemesi esnasında batarya şarj olmaya başlar. Bu iki durumda düzenleme işlemi çift yönlü DA-DA dönüştürücü sağlamaktadır [37,38].

Çift yönlü DA-DA dönüştürücülerde klasik dönüştürücüler gibi izoleli ve izolesiz olmak üzere ikiye ayrılır. Temel yapı olarak izoleli topolojiler girişi ile çıkış arasında *HF* transformatörüne sahiptir. Bu transformatör galvanik izole işlemi gerektiren devre yapılarında kullanılır. Transformatörün sarım oranına göre giriş ve çıkış arasındaki güç ilişkisi değişiklik göstermektedir. İzolesiz devre yapıları az karmaşık bir yapıya sahiptir. İzoleli topolojilere göre verimi yüksektir [33].

4.2.1. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü

Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü geleneksel DA-DA dönüştürücü yapısından farklı olarak kullanılır. Geleneksel DA-DA devre yapılarındaki enerji iletimi tek bir giriş ve çıkış ilişkisine sahiptir. Elektrikli araç uygulamalarında arttırma ve azaltma işleminin aynı devre üzerinde yapılması gerekmektedir. İncelenecek devre yapısı olarak iki yarı iletken anahtarlama elemanı (S_1 ve S_2) anti paralel iki tane güç diyotu (D_1 ve D_2) ve reaktif güç elemanları olan C_1 , C_2 ve L den oluşmaktadır [39,40]. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü devre şeması

Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü sistemi geleneksel arttıran, azaltan güç elektroniği devresi yapılarından oluşmaktadır. Bu devre yapıları arasında elektrik makinesi motor modunda çalışırken pozitif moment üretir ve bataryadaki gerilim yükseltilerek elektrik makinesine iletilir. Bu durum analiz edilirken S_2 ve D_1 diyotu üzerinden enerji akışı gerçekleşmektedir. Elektrik makinesi generatör modunda çalışırken negatif moment üretir ve üzerindeki gerilim düşürülerek batarya şarj edilir. Bu durum da S_1 ve D_2 diyotu üzerinden enerji akışı gerçekleşir [39,40]. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü yarı iletken anahtarlama elemanı (S_1 , S_2) ve anti paralel güç diyotlarının (D_1 , D_2) iletim ve kesim durumlarına göre devre analizi aşağıdaki çalışma modlarında verilmiştir.

4.2.1.1 Mod-I

Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü bu modunda çalışırken S_1 anahtarı iletimde S_2 anahtarı kesimde olduğunda D_1 ve D_2 diyotları ters polariteye sahiptir ve iletme geçmez. Bobin (L) üzerine düşen gerilim giriş gerilimine eşittir. Bu durum arttıran modun anahtarının iletimde olmasıyla ilişkilendirilir [39,40]. Bobin gerilimi ve motor tarafındaki kondansatör Denklem 4.14 ve Denklem 4.15'te verilmiştir.

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{C_1}}{L} \quad (4.14)$$

$$\frac{dV_{C_2}}{dt} = \frac{V_{C_2}}{R \cdot C_2} \quad (4.15)$$

Durum denklem matrisinin oluşması için bobin akımı ve kondansatör geriliminin (V_{c2}) türevlerinin tanımlanması gerekmektedir [40,41]. $I_L=x_1$ ve $V_{C2}=x_2$ olarak tanımlanır Denklem 4.16, Denklem 4.17 ve Denklem 4.18’de türevleri verilmiştir.

$$\left(\begin{array}{l} \dot{x}_1 = \frac{dI_L}{dt}, \dot{x}_2 = \frac{dV_{C2}}{dt} \end{array} \right) \quad (4.16)$$

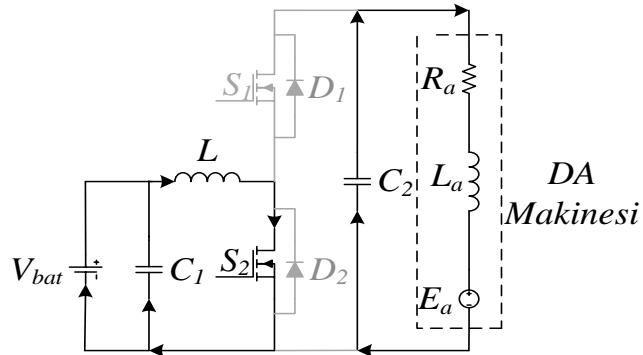
$$\dot{x}_1 = \frac{V_{C1}}{L} \quad (4.17)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{x_2}{R \cdot C_2} \quad (4.18)$$

Anahtar iletimdeyken elde edilen durum denklemi matrisi Denklem 4.19’da verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{R \cdot C_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [V_{C1}] \quad (4.19)$$

Mod-I devre şeması Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Akım yönleri ok ile belirtilmiştir.



Şekil 4.7. Mod-I devre şeması

4.2.2.2 Mod-II

Yarım köprü çift yönlü DA-DA bu konumda çalışırken S_1 ve S_2 anahtarı ve D_2 diyotu kesimdedir. D_1 diyotu iletme geçer ve bobin üzerinde indüklenen gerilim batarya gerilimiyle toplanarak motora iletilir. Bu durum arttıran modun anahtarının kesimde olması ile ilişkilendirilir [39,40]. Bobin gerilimi Denklem 4.20’de ve bobin akımı Denklem 4.21’de verilmiştir.

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{C_1} - V_{C_2}}{L} \quad (4.20)$$

$$I_L = C_2 \cdot \frac{dV_{C_2}}{dt} + \frac{V_{C_2}}{R} \quad (4.21)$$

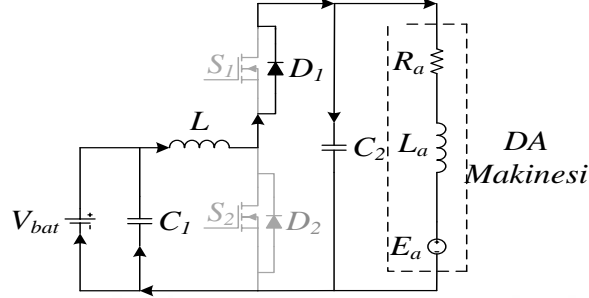
Durum denklem matrisinin oluşması için bobin (L) akımı ve kondansatör (C_1) geriliminin türevlerinin tanımlanması gerekmektedir bu durumda $I_L=x_1$ ve $V_{C_2}=x_2$ olarak tanımlanırsa anahtarın kesimdeki durum matrisi Denklem 4.22’de verilmiştir [41,42].

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{L} \\ \frac{-1}{C_2} & \frac{-1}{R \cdot C_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [V_{C_1}] \quad (4.22)$$

S_2 anahtarı iletim ve kesim durumuna göre durum denklem matrisi tek bir denklem halinde hesaplanmıştır. Δ , S_2 anahtarı için kontrolcü tarafından hesaplanan görev oranını belirtmektedir. Durum denklem matrisi Denklem 4.23’te verilmiştir [41,42].

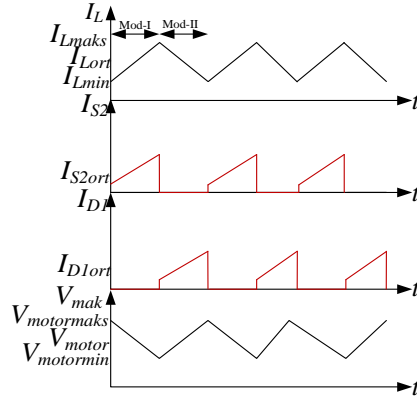
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-(1-\Delta)}{L} \\ \frac{1-\Delta}{C_2} & \frac{-1}{R \cdot C_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [V_{C_1}] \quad (4.23)$$

Mod-II devre şeması Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Akım yönleri ok ile belirtilmiştir.



Şekil 4.8. Mod-II devre şeması

S_2 anahtarı iletme geçtiğinde üzerindeki akım ve bobin üzerindeki akım I_{Lmin} ile I_{Lmaks} arasında değişir ve üzerinden geçen akım atar. D_1 diyotu polaritesi terstir ve üzerinden akım geçmez. Motor üzerindeki gerilim $V_{motormaks}$ ile $V_{motormin}$ arasında değişim göstermektedir. S_2 anahtarı kesime geçtiğinde üzerinden akım akmaz. Bobin üzerindeki akım I_{Lmin} ile I_{Lmaks} arasında değişir. D_1 diyotu üzerindeki akım değeri artar. $V_{motormin}$ ile $V_{motormaks}$ arasında değişir [33, 34]. Mod I-II dalga şekilleri Şekil 4.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Mod I-II a) Bobin akımı b) S_2 akımı c) D_1 akımı d) Motor gerilimi

4.2.2.3 Mod-III

Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü bu modda çalışırken S_1 anahtarı iletme geçer. D_1 ve D_2 polaritesi terstir ve iletme geçmez. Bobin üzerindeki gerilim generatör gerilimi ile

batarya geriliminin farkına eşittir. Bu durum azaltan modun anahtarının kapalı olması ile ilişkilendirilir [39,40]. Bobin üzerindeki gerilim Denklem 4.24'te verilmiştir.

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{C_2} - V_{C_1}}{L} \quad (4.24)$$

Bobin akımı batarya üzerinden ve C_2 kondansatörü üzerinden akan akımın toplamına eşittir. Denklem 4.25'te verilmiştir [40,41].

$$I_L = C_1 \cdot \frac{dV_{C_1}}{dt} + \frac{V_{C_1}}{R} \quad (4.25)$$

Durum denklem matrisinin oluşması için bobin (L) akım ve kondansatör (C_1) gerilim değerlerinin türevlerinin tanımlanması gerekir [41,42]. $I_L = x_1$ ve $V_{C_1} = x_2$ olarak tanımlanır.

$$\left(\begin{array}{l} \dot{x}_1 = \frac{dI_L}{dt}, \dot{x}_2 = \frac{dV_{C_1}}{dt} \end{array} \right) \quad (4.26)$$

Denklem 4.25 ve Denklem 4.26'da tanımlanan işlemlere göre düzenlenirse Denklem 4.27 ve Denklem 4.28 elde edilir [41,42].

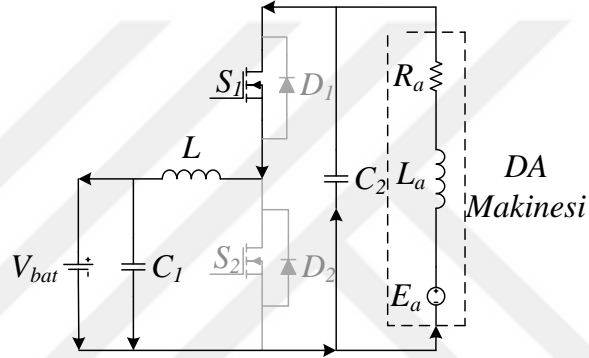
$$\dot{x}_1 = \frac{V_{C_2} - V_{C_1}}{L} \quad (4.27)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{x_1}{C_1} - \frac{x_2}{R \cdot C_1} \quad (4.28)$$

Anahtar iletimdeyken elde edilen durum matrisi Denklem 4.29'da verilmiştir [40,41].

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{L} \\ \frac{-1}{C_1} & \frac{-1}{R \cdot C_1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [V_{C_2}] \quad (4.29)$$

Mod-III devre şeması Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Akım yönleri ok ile belirtilmiştir.



Şekil 4.10. Mod-III devre şeması

4.2.2.4 Mod-IV

Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü bu modda çalışırken S_1 anahtarı kesime geçer. D_1 diyotu polaritesi terstir ve iletme geçmez. D_2 diyotu ise doğru polariteye sahiptir ve iletme geçer. Bobin üzerindeki gerilim bataryaya aktarılır. Bu durum azaltan modun anahtarının açık olması ile ilişkilendirilir [39,40]. Bobin üzerindeki gerilim Denklem 4.30'da verilmiştir.

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{C_1}}{L} \quad (4.30)$$

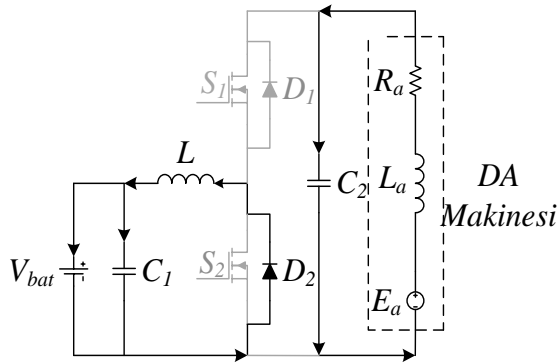
Bobin üzerindeki akım değeri Denklem 4.19 ile aynıdır. Bu durumda anahtarın kesim modundan elde edilen durum matrisi Denklem 4.31'de verilmiştir [41,42].

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{L} \\ \frac{-1}{C_1} & \frac{-1}{R \cdot C_1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [V_{C_2}] \quad (4.31)$$

S_1 anahtarı iletim ve kesim durumuna göre hesaplanan durum denklem matrisleri tek bir denklem halinde hesaplanmıştır. Δ , S_1 anahtarı için kontrolcü tarafından hesaplanan görev oranını belirtmektedir. Durum denklem matrisi Denklem 4.32’de verilmiştir [41,42].

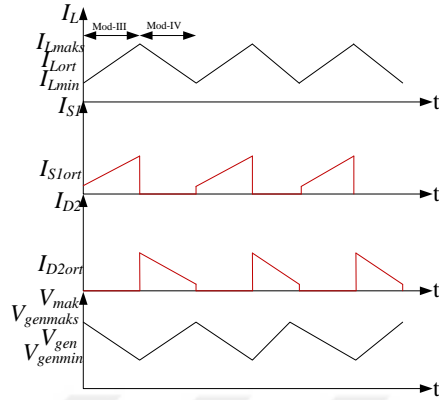
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-(1-\Delta)}{L} \\ \frac{1-\Delta}{C_1} & \frac{-1}{R \cdot C_1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [V_{C_2}] \quad (4.32)$$

Mod-IV devre şeması Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Akım yönleri ok ile belirtilmiştir.



Şekil 4.11. Mod-IV devre şeması

S_1 anahtarı iletime geçtiğinde üzerindeki akım ve bobin üzerindeki akım I_{Lmin} ile I_{Lmaks} arasında değişir. Üzerinden geçen akım atar. D_2 diyotu ters kutuplanır ve üzerinden akım akmaz. Generatör üzerindeki gerilim $V_{genmaks}$ ile V_{genmin} arasında değişim göstermektedir. S_1 anahtarı kesime geçtiğinde üzerinden akım akmaz. Bobin üzerindeki akım I_{Lmin} ile I_{Lmaks} arasında değişir. D_1 diyotu üzerindeki akım değeri artar. Mod III-VI bobin, anahtar (S_1), diyot (D_2) akımı ve doğru akım makine gerilimi Şekil 4.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Mod III-IVa) Bobin akımı b) S₁ akımı c) D₂ akımı d) Generatör gerilimi

Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü tasarımı yapılırken, bobin akımının sıfıra düşmesi ve sistemin sürekli modda çalışması için bobinin kritik değerinin hesaplanması gerekmektedir. Sistem hem azaltan hem arttıran modda çalıştığı için geleneksel dönüştürücülerin bobin değeri eşitliklerinden hesaplamalar yapılır.

Azaltan dönüştürücünün sürekli modda çalışması için gerekli minimum bobin değeri Denklem 4.33'te T_s anahtarlara uygulanan modülasyon sinyalinin periyodunu, ΔI_L Bobin akımının salınımı ifade eder [43].

$$L_{kritik} = \frac{V_{bat} \cdot (1 - \Delta) \cdot T_s}{\Delta I_L} \quad (4.33)$$

Arttıran dönüştürücünün sürekli modda çalışması için gerekli minimum bobin değeri Denklem 4.34'de verilmiştir [43].

$$L_{kritik} = \frac{V_{bat} \cdot \Delta \cdot T_s}{\Delta I_L} \quad (4.34)$$

Batarya tarafındaki kondansatör azaltan modda çalışırken batarya üzerindeki gerilim dalgalanmasını düzenlemektir. Kondansatör değeri seçilirken azaltan dönüştürücünün kondansatör eşitliği kullanılır [44]. Bu eşitlik Denklem 4.35'te verilmiştir.

$$C_{1_{kritik}} = \frac{(1-\Delta) \cdot (T_S)^2}{8 \cdot \Delta V_{bat} \cdot L} \quad (4.35)$$

Elektrik makinesi tarafındaki kondansatör, arttıran modda çalışırken elektrik makinesi üzerindeki gerilim dalgalanmasını düzenler. Kondansatör değeri seçilirken arttıran dönüştürücünün kondansatör eşitliği kullanılır. Bu eşitlik Denklem 4.36'da verilmiştir [45].

$$C_{2_{kritik}} = \frac{\Delta I_L \cdot T_S}{8 \cdot \Delta V_{mak}} \quad (4.36)$$

Denklemlerde ΔV_{mak} elektrik makinesi üzerindeki gerilimin dalgalanma oranını, ΔI_L bobin akımındaki dalgalanma oranını belirtmektedir.

BÖLÜM 5

KONTROL ALGORİTMALARI

5.1. PI Denetleyicisi

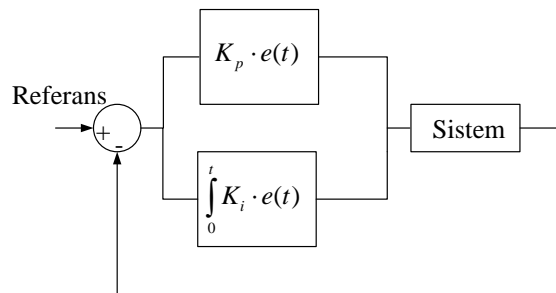
PI denetleyicide *P* oransal terimi, *I* integral teriminden oluşmaktadır. Sistemden alınan çıkış ile referans değer arasındaki farka hata denir. *P* oransal terimi, hatayı kontrol etmek için ilk işlemi gerçekleştirir. Bu işlem K_p oran sabitiyle hatanın çarpılması sonucu elde edilir. Oransal sabitin çok büyük ya da çok küçük seçilmesi sistemde kararsızlıklara neden olmaktadır oransal teriminin hataya etkisi Denklem 5.1’de verilmiştir.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (5.1)$$

İntegral denetleyicisi hatanın boyutu ve hatanın süresiyle alakalıdır. Hatanın süresi boyunca integral denetleyicisi işlem yapmaktadır. İntegral sabiti belirli bir süre içerisindeki hataya cevap verdiği için referans yüzeyinde dalgalanmalar oluşarak istenen değeri yakalamada oran sabitine yardımcı olur. *PI* denetleyicide integral denetleyicisi sistemde kalıcı hal hataların ortadan kaldırılmasında kullanılır. İntegral denetleyicisi referans değer yakalanana kadar işlem yapmaktadır. Sistem referans değerinden uzaklaşırsa hata tekrar oluşur ve integral etkisi tekrar devreye girer *PI* kontrolcünün eşitliği Denklem 5.2’de verilmiştir [46].

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \int_0^t K_i \cdot e(t) \quad (5.2)$$

PI denetleyicisi şeması Şekil 5.1’de gösterilmiştir [44].



Şekil 5.1. *PI* denetleyicisi şeması

5.2. Bulanık Mantık Denetleyicisi

Klasik mantık kavramında, çalışma prensibi olarak sayısal işlemler ‘0’ ve ‘1’ değerlerinden oluşan kümeler olarak ön plana çıkmaktadır. Bu değerler, sistemden sisteme farklılık gösterse de ‘0’ gerçekleşmeyen bir oluşumu ‘1’ ise gerçekleşen oluşumu tanımlamaktadır. Bu kümeleme işlemi sırasında arada bir değer yoktur. Klasik mantıkta bu ara değerler ve belirsizlikler bulunmamaktadır. Bu durum sistemler için imkânsız bir etmendirdir. Klasik kümelerde bir değer o kümeye dâhildir ya da değildir. Kısmî dâhil olma durumu klasik kümelerde gerçekleşmemektedir [47,48].

Bulanık mantık kavramı ile her türlü karmaşık sistemler için tasarım gerçekleştirilmektedir. Sistem içerisinde eksik bilgi ya da belirsizlik durumunda istenen değere ulaşabilir ve sistemin kararlılığı sağlanmış olur. Sistem içerisinde matematiksel ifadeler yerine dilbilimsel ve kurallara (“Eğer- o halde”) uymak suretiyle kural tablosu belirlenerek sistem kural tablosuna göre kontrol edilir. [47,48]. Bulanık mantık denetleyicisi giriş ve çıkışların belirlenmesi, bulanıklaştırma işlemi, kural tablosu, çıkarım mekanizması ve durulama biriminden oluşur.

5.2.1. Giriş ve çıkışların belirlenmesi

Bulanık mantık denetleyicisinde giriş ve çıkışlar önemli bir yer tutar. Sistem, güç elektroniği devresiyle örneklenecek olursa, yük üzerindeki gerilim ya da akım değerleri denetleyici sistemin girişlerini oluşturur. Sistemden çıkış olarak alınan değer ise anahtarın görev oranının belirlenmesidir. Bu görev oranına göre sistem, azaltan, arttıran hem azaltıp hem de arttırma işlemini yapmaktadır [47,48].

5.2.2. Bulanıklaştırma

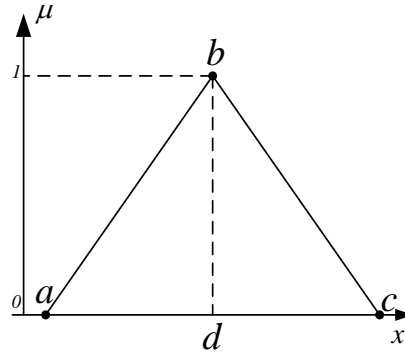
Sistemin giriş ve çıkışları tanımlandıktan sonra sistemden sayısal olarak alınan veriler burada dilbilimsel işaretlere dönüştürülerek sistem üyelik fonksiyonları belirlenir. Bu üyelik fonksiyonlarının sayısına göre dilbilimsel işaretler elde edilir. Sistemde elde edilen bu dilbilimsel işaretler belirli bir aralıkta isimlendirilirler. Bu isimler NB (negatif büyük), NO (Negatif orta), NK (negatif küçük) Sıfır (S), PK (Pozitif küçük), PO (Pozitif orta) PB (Pozitif

büyük) olarak isimlendirilebilir. Bulanıklaştırma işlemi yapılırken sistemin değerleri tanımlanır. Bu tanımlanan değerlerle birlikte üyelik fonksiyonları tasarımı gerçekleştirilir. Bu üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, Gaussian ve çan eğrisi şekillerinde tanımlanabilir [47-49].

Üyelik fonksiyonlarının matematiksel eşitliklerine, istenilen değerler ile ölçülen değerler yazıldığında hesaplanan μ , üyelik fonksiyonundaki yerini belirtmektedir. Bu μ değerine göre sistemin kontrol işlemi gerçekleşmektedir [47,48].

5.2.2.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

Şekil 5.2 de görüldüğü üzere üçgen üyelik fonksiyonu üç belirli noktadan oluşmaktadır. Burada belirlenen noktalar arasında sistem 0 ile 1 arasında bir değer alır. Noktalar dışında ise 0 değerini alır. Bu üyelik fonksiyonunun eşitliği doğru denklemin yardımıyla sağlanmaktadır [47,48]. Üçgen üyelik fonksiyonu a, b, c noktalarıyla isimlendirilir.



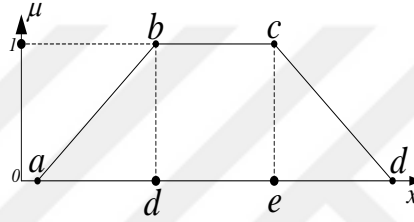
Şekil 5.2. Üçgen üyelik fonksiyonu

Matematiksel ifadesi Denklem 5.3'te verilmiştir.

$$\mu(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{ll} a \leq x \leq b & \frac{x-a}{b-a} \\ b \leq x \leq c & \frac{c-x}{b-c} \\ \text{diğer} & 0 \end{array} \right\} \quad (5.3)$$

5.1.2.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

Şekil 5.3'te görüldüğü üzere yamuk üyelik fonksiyonu dört belirli a, b, c, d noktalarından oluşturmaktadır burada belirlenen noktalar arasında sistem bir değere ulaşırken noktaların dışında 0 değerini, sistem b ile c arasında 1 değerini almaktadır. Bu üyelik fonksiyonun eşitliği doğru denklemi ve sabit değer yardımıyla sağlanmaktadır [47,48].



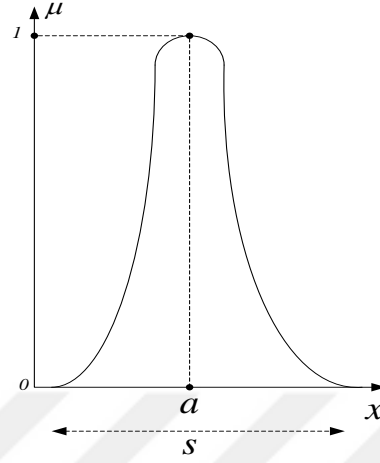
Şekil 5.3. Yamuk üyelik fonksiyonu

Matematiksel ifadesi Denklem 5.4'te verilmiştir.

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} a \leq x \leq b & \frac{x-a}{b-a} \\ b \leq x \leq c & 1 \\ c \leq x \leq d & \frac{d-x}{c-d} \\ \text{diğer} & 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

5.1.2.3. Gaussian üyelik fonksiyonu

Şekil 5.4'te görülen Gaussian üyelik fonksiyonu eğri şeklinde belirlenen üyelik fonksiyonudur. Bu eğrinin bir merkezi ve merkez etrafında yayılım gösteren bir alanı vardır. x ekseninde s ile belirtilen uzunluk ne kadar küçülürse üyelik fonksiyonu o kadar incilir s değeri büyüdükçe şekil yayılacaktır [47,48].



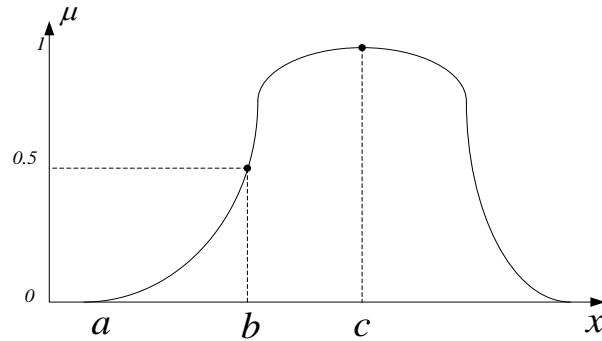
Şekil 5.4. Gaussian üyelik fonksiyonu

Matematiksel ifadesi Denklem 5.5'te verilmiştir.

$$\mu(x; a, s) = \exp\left\{\left(\frac{-(x-a)^2}{2s^2}\right)\right\} \quad (5.5)$$

5.1.2.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

Şekil 5.5'te görülen çan eğrisi üyelik fonksiyonu üç nokta yardımıyla belirtilmektedir. Bu noktalar a, b, c ile isimlendirilse [47,48].



Şekil 5.5. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

Matematiksel ifadesi Denklem 5.6'da verilmiştir.

$$\mu(x; a, s) = \left\{ \left(\frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^b} \right) \right\} \quad (5.6)$$

Bu üyelik fonksiyonlarının matematiksel eşitleri üyelik fonksiyonlarının tasarımında önemli rol oynamaktadır. Matematiksel eşitlikler yardımıyla üyelik fonksiyonları istenilen benzetim programında tasarımı yapılır ve küme işlemleri gerçekleştirilir [47,48].

5.2.3. Kural tablosu

Kural tablosu giriş dilbilimsel değişkenlerin belirlenen durumlarına göre çıkıştaki değerlerin arasında ilişki kurmaya yarayan bir işletim merkezidir. Burada (“Eğer- ise”) temelinde kural tablosu belirlenir [46,47].

Eğer “hata” ve/veya “hatadaki değişim” ise “görev oranı” olarak kurallar belirlenir.

Sistem içerisinde tanımlanan kurallar sistemin çıkışından istenen değerlerin alınmasını sağlar. Sistemin girişi birbirlerine ve/veya değil bağlaçlarıyla işlem yapılmaktadır. Burada giriş üyelik fonksiyonları arasında küme işlemleri yapılmaktadır. X ve Y kümeleri tanımlı olsun [47,48].

Sistemde belirlenen kurallar “ve” operatörüne göre belirlenirse sistemdeki üyelik fonksiyonları arasından maksimum olanı seçilir. Bulanık küme işlemi Denklem 5.7’de verilmiştir [47,48].

$$\mu(X \text{ ve } Y) = \max(\mu(X), \mu(Y)) \quad (5.7)$$

Sistemde belirlenen kurallar “veya” operatörüne göre belirlenirse sistemdeki üyelik fonksiyonları arasından maksimum olanı seçilir. Bulanık küme işlemi Denklem 5.8’de verilmiştir [46,47].

$$\mu(X \text{ veya } Y) = \min(\mu(X), \mu(Y)) \quad (5.8)$$

Sistemde belirlenen eşitlikler “değil” operatörüne göre belirlenirse sistemdeki üyelik fonksiyonları arasından fonksiyonun değil işlemi yapılır. Bulanık küme işlemi Denklem 5.9’da verilmiştir [47,48].

$$\mu(\bar{X}) = 1 - \mu(X) \quad (5.9)$$

5.2.4. Çıkarım mekanizması

Bulanık mantık denetleyicisinde çıkarım mekanizması kural tablosuyla giriş ve çıkış arasında kurulmuş olan ilişkilerin sağlanmasına yarayan yapıya çıkarım mekanizması denir. Çıkarım mekanizması olarak başlıca Mamdani, Sugeno tipi modeller kullanılmaktadır [47,48].

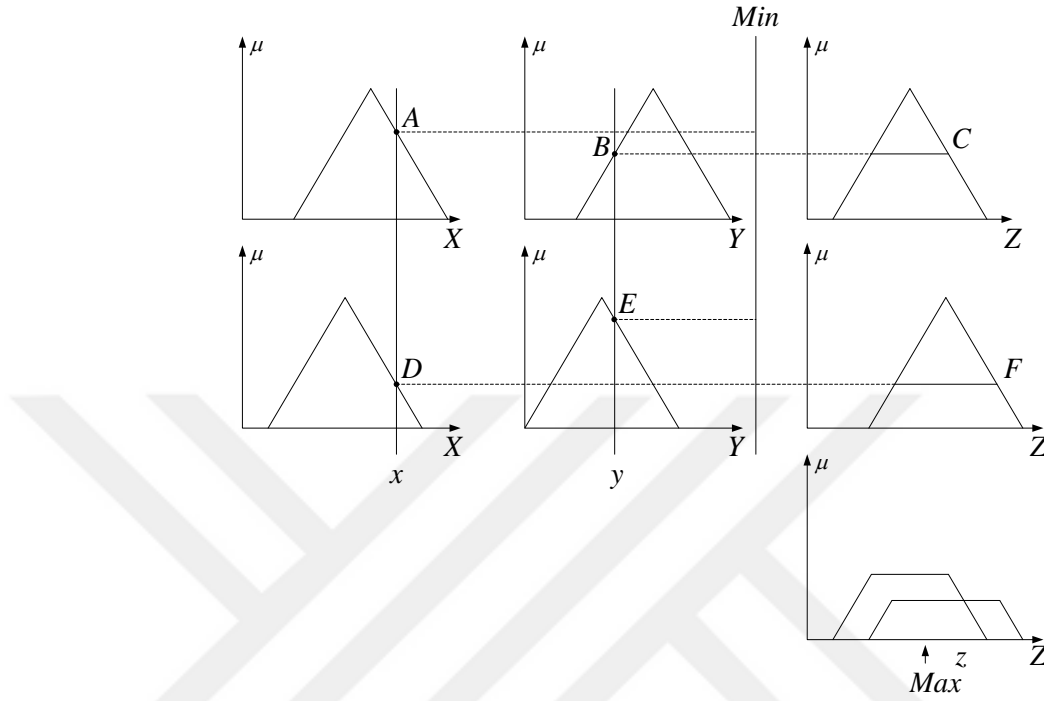
5.2.4.1. Mamdani bulanık çıkarım yöntemi

Mamdani bulanık çıkarım yöntemi kuruluşu bakımından kolaydır. Bu durumdan dolayı kullanışı yaygındır. Girişler ve çıkışlar üyelik fonksiyonları tarafından oluşturulur. Mamdani bulanık denetleyicisi oluşturulurken girişler tanımlanır. Bu girişler, üyelik fonksiyonlarına bölünür. Bu fonksiyonlar dikey ekseninde 0,1 arasında, yatay eksen ise belirlenen değer aralığını tanımlamaktadır. Çıkışlar, sistemden istenen durumlar için oluşturulur [47,48].

x ve y olarak iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık mantık modelde z çıkış değerinin nasıl hesaplandığı gösterilmektedir;

Eğer $x=A$ ve $y=B$ ise $z= C$

Eğer $x=D$ ve $y=E$ ise $z= F$ olarak kural tablosu tanımlanırsa



Şekil 5.6. İki girdili Mamdani bulanık tipi çıkarım sisteminin maksimum ve minimum operatörlerini kullanarak ve/veya işlemlerinin yapılması

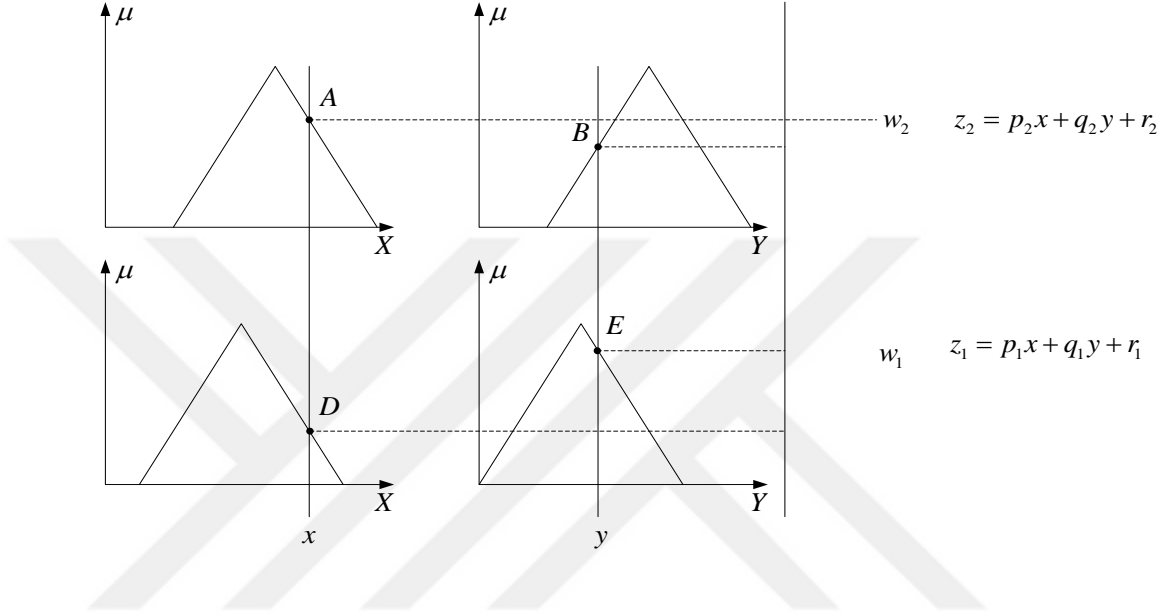
Mamdani modelinin tasarımı diğer çıkarım sistemlerine göre daha basittir. Diğer bulanık mantık denetleyicinin temelini oluşturur. İnsan davranışına uygundur [46,47].

5.2.4.2. Takagi-Sugeno bulanık çıkarım yöntemi

Mamdani bulanık mantık denetleyicisinden üretilen Takagi-Sugeno bulanık çıkarım yöntemi girdi ve çıktılar açısından Mamdani bulanık denetleyicisiyle aynı şekilde tasarlanır [46,47]. Takagi-Sugeno tipi bulanık çıkarım modeli Mamdaniden farklı olarak çıktı üyelik kümeleri sabit veya lineer olabilir. 0. dereceden Takagi-Sugeno tipi çıktı üyelik model sabit bir değer almaktadır. 1. dereceden modellerde çıktı üyelik fonksiyonları lineerdir. Takagi-Sugeno tip bulanık model Mamdani bulanık modele göre daha karmaşıktır ancak uyarlanabilir bir model olduğu için sistemlerde tercih edilir. Birinci derecede bulunan lineer Denklem 5.10'da verilmiştir [47,48].

$$\text{Eğer } x=A/D \text{ ve } y=B/E \text{ ise } z=f(x,y)=px+qy+r \quad (5.10)$$

Denklemden belirtilen x ve y giriş parametreleri p , q , r çıkış parametreleri olarak belirlenmiştir. 1. dereceden iki girişli Takagi-Sugeno sistem Şekil 5.7’de gösterilmektedir.



Şekil 5.7. İki girdili Takagi-Sugeno bulanık mantık çıkarım yöntemi

5.2.5. Durulama birimi

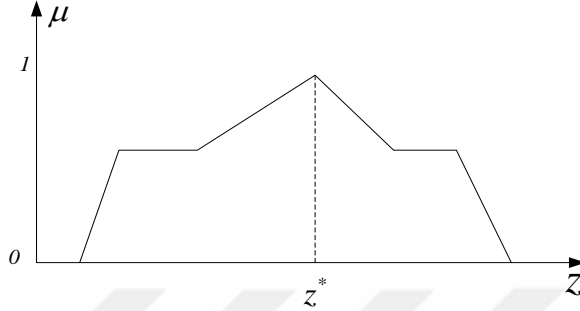
Klasik sistem kontrollerinde sistem kontrolü kesin olan sonuçlarla yönetilmektedir. Bulanık mantık denetleyicisinde bulanıklaştırma ve oluşturulan kural tablosuna göre çıkarımdan elde edilen dilsel işaretlerin dijital sinyale dönüşmesini sağlayan birime durulama birimi denir. Durulama biriminde istenen sinyalin elde edilmesi için uygun durulama yöntemi ve bu yöntemin özellikleri dikkatli seçilmelidir [41, 42].

5.2.5.1. Maksimum üyelik derecesi durulama yöntemi

Maksimum üyelik yöntemi yükseklik yöntemi olarak bilinir. Belirlenen üyelik dereceleri içinden maksimum olanı seçilir. Maksimum üyelik yöntemi ifadesi Denklem 5.11’de verilmiştir [47,48].

$$\mu_j(z^*) > \mu_j(z) \quad (5.11)$$

Şekil 5.8’de maksimum üyelik derecesi durulama yöntemi belirlenmesi görülmektedir.



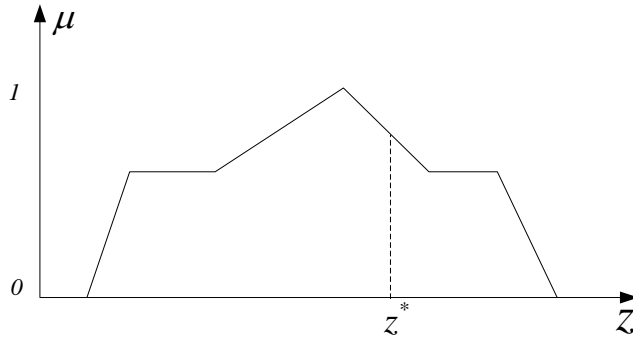
Şekil 5.8. Maksimum üyelik derecesi yöntemiyle durulama

5.2.5.2. Ağırlık merkezi üyelik yöntemi

Ağırlık merkezi yöntemi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin amacı bulanık olarak belirlenen üyelik derecesinin üzerindeki noktaların ağırlık merkezini belirlemektir [47,48]. Ağırlık merkezi yöntemi ifadesi Denklem 5.12’de belirtilmiştir.

$$z^* = \frac{\int \mu(z) \cdot z dz}{\int \mu(z) dz} \quad (5.12)$$

Şekil 5.9’da ağırlık merkezi durulama yöntemi belirlenmesi görülmektedir.



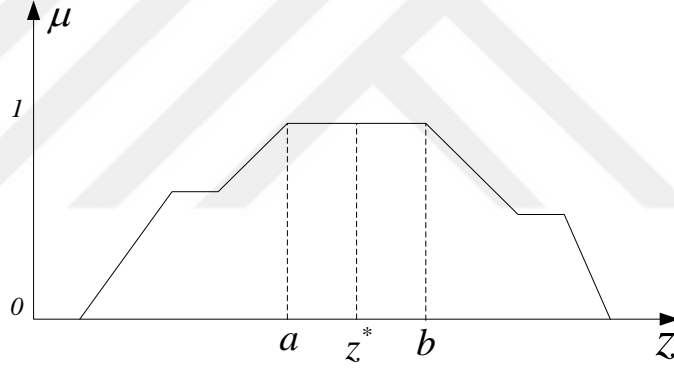
Şekil 5.9. Ağırlık merkezi durulama yöntemi

5.2.5.3. Ortalama en büyük üyelik yöntemi

Bu yöntem büyük olarak belirlenen iki noktanın ortası olarak isimlendirilir. Örnek olarak a ve b noktası en büyük noktalar olarak verilmiş olsun bu iki noktanın ortası alınır ve sinyal belirlenir. Bu durulama yöntemi Denklem 5.13'te verilmiştir [47,48].

$$z = \frac{a+b}{2} \quad (5.13)$$

Şekil 5.10'da ortalama en büyük üyelik durulama yöntemi belirlenmesi görülmektedir.



Şekil 5.10. Ortalama en büyük üyelik durulama yöntemi

5.3. Kayan Kipli Denetleyici

Kayan kip denetleyici doğrusal olmayan sistemler için bir denetleme tekniğidir. Doğruluk, sağlamlık ve uygulama açısından diğer denetleyici yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilir bir yöntem çeşididir. Kayan kip denetleyici, sistem durumlarını belirli bir yüzeye sürmek üzere tasarlanmıştır. Kayan kip denetleyici, iki parçalı olarak tasarlanır. Bunlardan ilki kayma yüzeyi tasarımı ikincisi anahtarlama yüzeyini sistem durumuna çekecek olan denetleyici kurallarıdır. Sistem değişkenleri üzerinde kullanılan parametrelere uygun sürekli zamanda tasarlanan denetleme yöntemi fazla kullanılmamakla birlikte, parametrelerdeki belirsizliği azaltmak adına ayrık zamanda bir kayma kip denetleyicisi tasarlanır [50,51].

Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü için anahtarlama işlemi yapılması için kayan kipli denetleyici yönteminin hem kayma yüzeyi hem de anahtarlama yüzeyinin tasarlanması gerekmektedir [49,50].

Denetlenen sistemdeki hata x_1 eşitliği olarak Denklem 5.14’de verilmiştir. Bu durumda β geri besleme bağlantı oranıdır [51].

$$x_1 = V_{ref} - \beta \cdot V_{maks} \quad (5.14)$$

Referans gerilimini V_{ref} , makine gerilimini V_{mak} ile ifade edilmektedir. Denklem 5.14 türevi alınarak Denklem 5.15 elde edilmiştir [50].

$$\dot{x}_2 = \dot{x}_1 = -\frac{d(V_{ref} - \beta \cdot V_{maks})}{dt} \quad (5.15)$$

Denklem 5.14’ün integrali alınarak Denklem 5.16’da elde edilmiştir [50].

$$x_2 = \int x_1 = \int V_{ref} - \beta \cdot V_{mak} \quad (5.16)$$

Anahtarlama durum denklemi Denklem 5.17’de verilmiştir [50].

$$X = \begin{pmatrix} V_{ref} - \beta \cdot V_{mak} \\ \frac{V_{mak}}{R_L \cdot C} + \frac{\beta}{L \cdot C} \int (V_{mak} - V_{bat}) \cdot u \cdot dt \\ \int V_{ref} - \beta \cdot V_{mak} \cdot u \cdot dt \end{pmatrix} \quad (5.17)$$

Kontrol tasarımının kayma yüzeyi Denklem 5.17’de elde edilir. Anahtarlama sinyali için u sinyalinin değeri önemlidir. S denklemi sistemde anlık durum döngüsünü ifade etmektedir. Bu denklem 1 olduğunda anahtarın iletimde olduğunu 0 olduğunda anahtarın kesimde olduğunu göstermektedir [50].

$$u = \begin{cases} u = 1 & S > 0 \\ u = 0 & S < 0 \end{cases} \quad (5.18)$$

S denklemini $\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 = J^T x$ olarak tanımlanır. α değerleri kayan yüzey katsayıları oransal olarak hesaplanır. ζ sönüm oranıdır [50].

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{10}{T_s} \quad (5.19)$$

$$\frac{\alpha_3}{\alpha_2} = \frac{25}{\zeta^2 \cdot T_s} \quad (5.20)$$

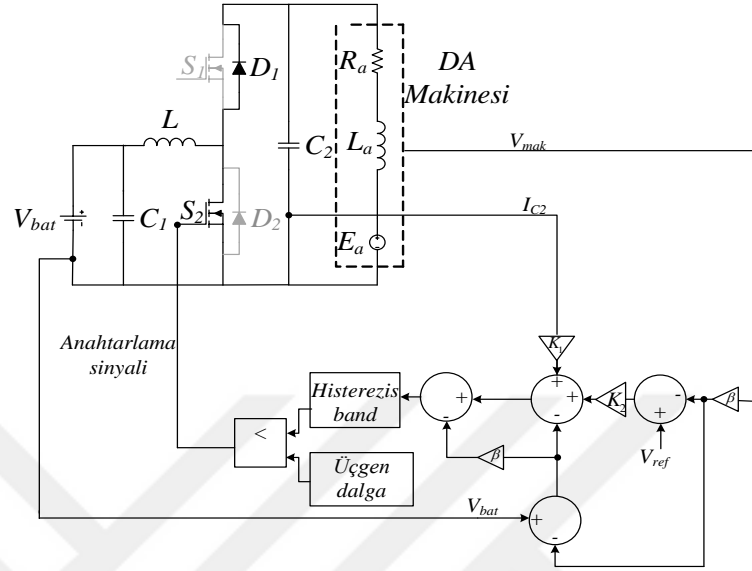
$$\beta = \frac{V_{ref}}{V_{mak}} \quad (5.21)$$

Bu katsayıların oransal bağlantısıyla kontrol yöntemi gerçekleştirilirken sistemden alınan DA makine ve filtre kondansatörü akımları katsayıları hesaplanır. Sistemde yüzey tasarımı gerçekleştirilir [51].

$$K_1 = \beta \cdot L \cdot \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_L \cdot C_2} \right) \quad (5.22)$$

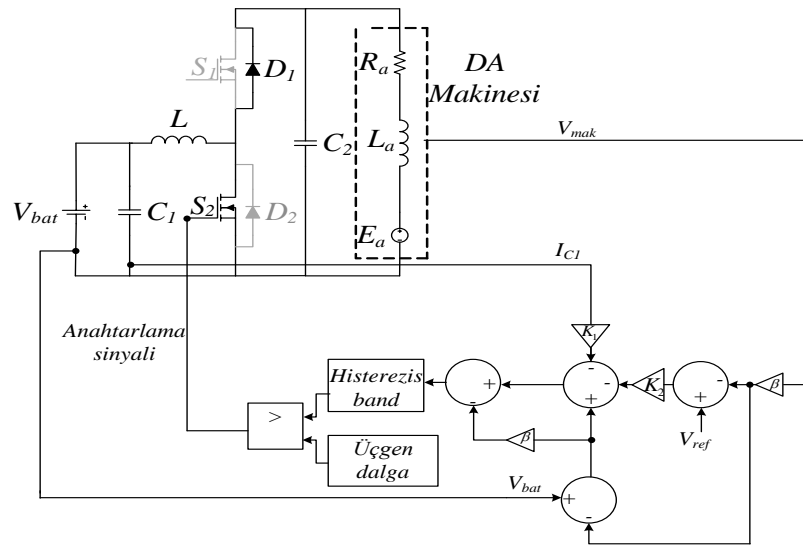
$$K_2 = \frac{\alpha_3}{\alpha_2} \cdot L \cdot C \quad (5.23)$$

Kayan kipli denetleyicide yarım köprü DA-DA dönüştürücü elektrik makinesi motor konumunda çalışırken arttıran dönüştürücü gibi davranır. Kayan kipli denetleyicide tasarımında K_1 , K_2 ve β hesaplamaları yapılarak kayma yüzeyi oluşturulur. Oluşturulan kayma yüzeyi histerezis banttı geçirilip üçgen dalga ile karşılaştırılarak anahtarlama sinyali elde edilir [50]. Kontrol sistemi ve denetleyici diyagramı Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Arttıran dönüştürücü kayan kipli denetleyici

Kayan kipli denetleyicide yarım köprü DA-DA dönüştürücü elektrik makinesi generatör konumunda azaltan dönüştürücü gibi davranır. Kayan kipli denetleyici tasarımında K_1 , K_2 ve β tasarım hesaplamaları yapılarak kayma yüzeyi oluşturulur. Oluşturulan kayma yüzeyi histerezis banttan geçirilip üçgen dalga ile karşılaştırılarak anahtarlama sinyali elde edilir [51]. Kontrol sistemi ve denetleyici diyagramı Şekil 5.12’de verilmiştir.

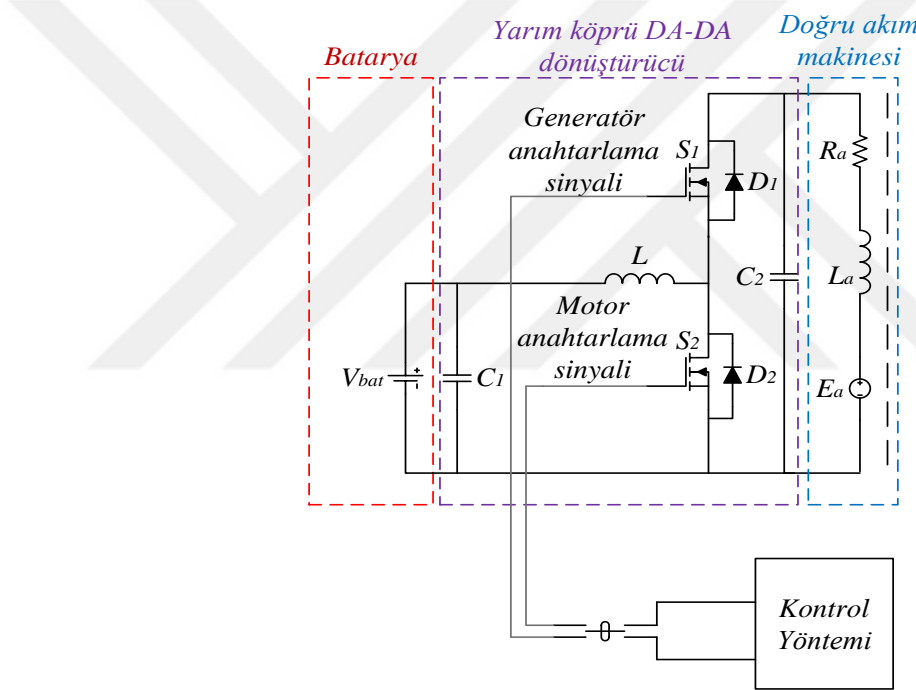


Şekil 5.12. Azaltan dönüştürücü kayan kipli denetleyici

BÖLÜM 6

MODELLENEN ELEKTRİKLİ ARAÇ VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Elektrikli araç sistemi modellenmesi batarya, yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü DA makinesinden ve kontrol yöntemlerinden oluşmaktadır. Batarya gerilim kaynağı ve DA makine R_a armatür direnci, L_a armatür bobini ve E_a zıt elektro motor kuvvetinden oluşmaktadır. Sistem Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Modellenen elektrikli araçlar için yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü sistem

Şekil 6.1’de görülen yarım köprü DA-DA dönüştürücü arttıran konumda çalışırken bataryadaki gerilim seviyesi yükseltilerek DA makineye iletilir ve motor modunda çalışır. DA makine, generatör olarak çalışırken armatür gerilimi düşürülerek bataryaya iletilmesi gerekmektedir. Batarya lityum iyon tipinde, nominal çalışma gerilimi 350 V maksimum kapasitesi 150 Ah üst kesim gerilim değeri 378 V, başlangıç şarj durumu %88 alt kesim gerilimi 262,5, tam şarj gerilimi 407,4 V nominal deşarj akımı 65,2 A dir. Sistem tasarımında

batarya gerilimi DA makine motor modunda çalışırken 500 V gerilim değerine yükseltilmelidir. Generatör modunda çalışırken is DA makine gerilim değeri 500 V düşürülmesi için tasarlanmıştır. Modellenen sistemde batarya özellikleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Batarya özellikleri

Parametre	Değer
Batarya tipi	Lityum iyon
Nominal Gerilim	350 V
Maksimum Kapasite	150 Ah
Üst Kesim Gerilimi	378 V
Başlangıç şarj durumu	%88
Alt Kesim Gerilimi	262,5 V
Tam Şarj Gerilimi	407,4 V
Nominal Deşarj Akımı	65,2 A

Yarım köprü DA-DA dönüştürücü tasarımı yapılırken ilk olarak azaltan dönüştürücü bobin değeri hesaplanır. Azaltan dönüştürücü bobin değeri Denklem 6.1’de verilmiştir. Anahtarlama periyodu (T_s): 4×10^{-5} , batarya gerilimi (V_{bat}) 378 V, akım dalgalanma oranı (ΔI_L) 4 olarak alınmış ve bobin değeri Denklem 6.1 de verilmiştir.

$$L_{kritik} = \frac{V_{bat} \cdot (1 - \Delta) \cdot T_s}{\Delta I_L} = \frac{378 \cdot 0,244 \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{4} = 92,232 \cdot 10^{-5} H \quad (6.1)$$

Yarım köprü DA-DA dönüştürücü tasarımı yapılırken ilk olarak arttıran dönüştürücünün bobin kritik değeri hesaplanır bu Denklem 6.2’de verilmiştir.

$$L_{kritik} = \frac{V_{bat} \cdot \Delta \cdot T_s}{\Delta I_L} = \frac{378 \cdot 0,244 \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{4} = 92,232 \cdot 10^{-5} H \quad (6.2)$$

Denklem 6.1 ve Denklem 6.2’de kritik değerler hesaplanmıştır ve devrede seçilen bobin değeri 1 mH’dir.

DA makine kısmındaki (C_2) kondansatörün kritik değeri Denklem 6.3’te hesaplanmıştır.

$$C_{2_{kritik}} = \frac{\Delta I_L \cdot T_S}{8 \cdot \Delta V_{mak}} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{8 \cdot 0,01} = 2 \cdot 10^{-3} F \quad (6.3)$$

C₂ değeri 3 mF seçilmiştir.

Batarya tarafındaki (C₁) kondansatör değeri Denklem 6.4'te hesaplanmıştır.

$$C_{1_{kritik}} = \frac{(1-\Delta) \cdot (T_S)^2}{8 \cdot \Delta V_{bat} \cdot L} = \frac{0,244 \cdot (4 \cdot 10^{-5})^2}{8 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 4,92 \cdot 10^{-6} F \quad (6.4)$$

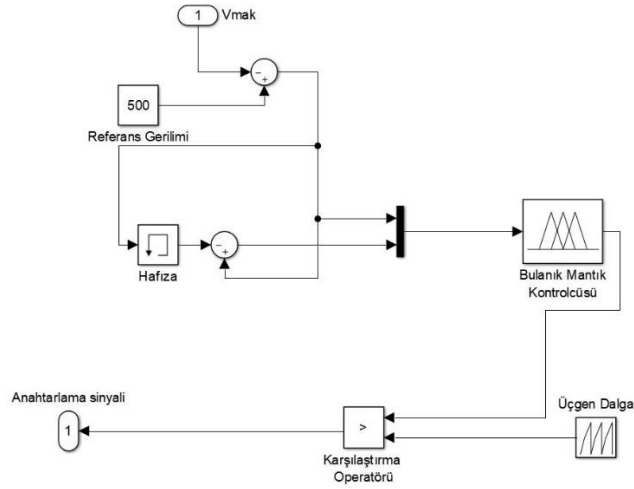
C₂ değeri 0,7.mF seçilmiştir.

Tablo 6.2 Yarım köprü DA-DA dönüştürücü devre tasarım değerleri

Parametre	Değer
Bobin değeri (L)	1 mH
Kondansatör (C ₂)	3 mF
Kondansatör (C ₁)	0,7 mF
T _S	4x10 ⁻⁵

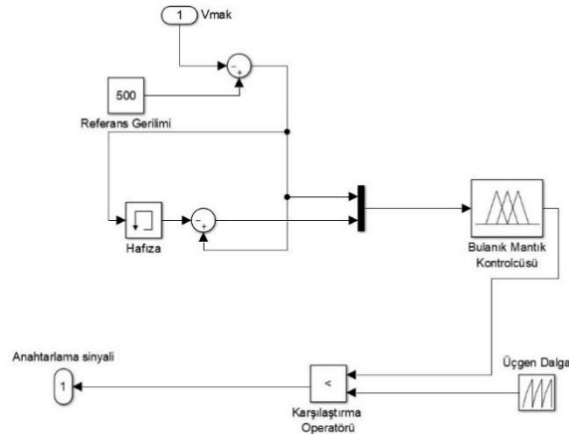
6.1. Bulanık Mantık Denetleyicisi

Bulanık mantık denetleyici tasarımı yapılırken ilk olarak girişler belirlenir. Motor ve generatör giriş olarak hata ve hatadaki değişimi çıkış ise görev oranı olarak isimlendirilmiştir. DA makinenin gerilimi ile referans gerilim arasındaki farka hata ve bu hata değerinin hafızada tutulup bir sonraki hata ile arasında fark ise hatadaki değişim olarak adlandırılmıştır. DA makine motor modunda çalışırken batarya geriliminin 500 V yükselmesi gerekmektedir. DA makine gerilimi 500 V referans gerilimiyle karşılaştırılır ve hata elde edilir. Hafızada tutulan hata değeri bir sonraki hata ile karşılaştırılarak hatadaki değişim elde edilir. Görev oranı küçüktür operatörü kullanılarak anahtarlama frekansına sahip üçgen dalgayla karşılaştırılır. Anahtarlama işareti üretilerek S₂ anahtarına iletilir. Generatör çalışma modunda DA makine gerilimi 500 V düşürülmesi gerekmektedir. Güç akışı DA makineden bataryaya iletilir. Şekil 6.2'de motor modunun denetimi gösterilmektedir.



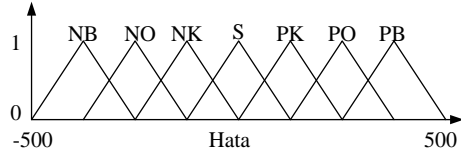
Şekil 6.2. Bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol tasarım şeması

DA makine generatör modunun denetimi Şekil 6.3’de verilmiştir.

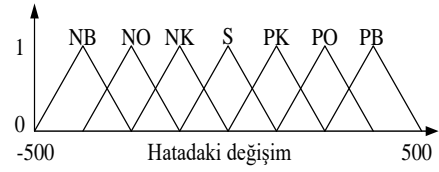


Şekil 6.3. Bulanık mantık denetleyicisi generatör kontrol tasarım şeması

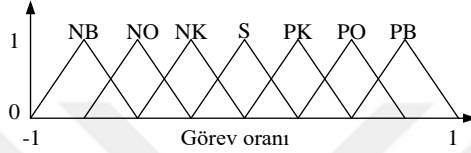
Bu giriş fonksiyonları üçgen üyelik fonksiyonu yardımıyla dilbilimsel işaretlere dönüştürülür. Sistemde hata ve hatadaki değişim -500 V ile 500 V arasında değişmektedir. Görev oranı -1 ile 1 arasında değişiklik göstermektedir. Bu aralıklar 7 üyelik fonksiyonuna eşit aralıklarla bölünmüştür. Bu üyelik fonksiyonları NB (negatif büyük), NO (Negatif orta), NK (negatif küçük) Sıfır (S), PK (Pozitif küçük), PO (Pozitif orta) PB (Pozitif büyük) olarak isimlendirilir. Bu üyelik fonksiyonları Şekil 6.4’te gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

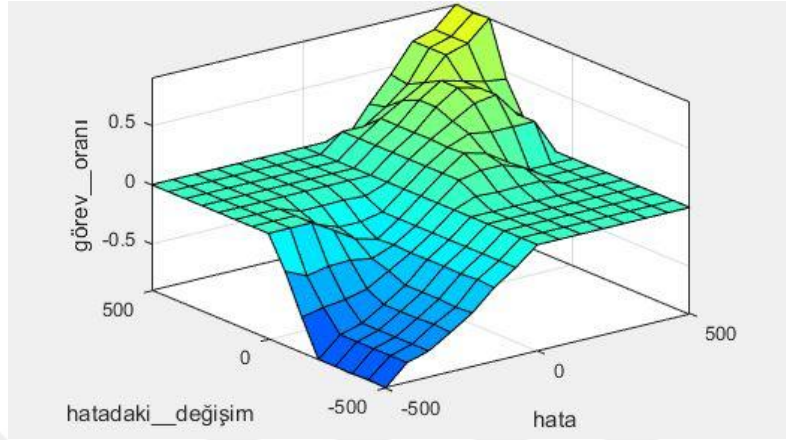
Şekil 6.4. a) Hata b) Hatadaki değişim c) Görev oranı

Kural tablosu 've' işlemine göre tasarlanmıştır. Kural tablosu Tablo 6.3'te verilmiştir. Kural tablosunda hata ve hatadaki değişimin değerine göre denetleyici çıkışta görev oranı üretir. Oluşturulan kural tablosu motor ve generatör konumu için aynıdır.

Tablo 6.3 Bulanık mantık denetleyicisi kural tablosu

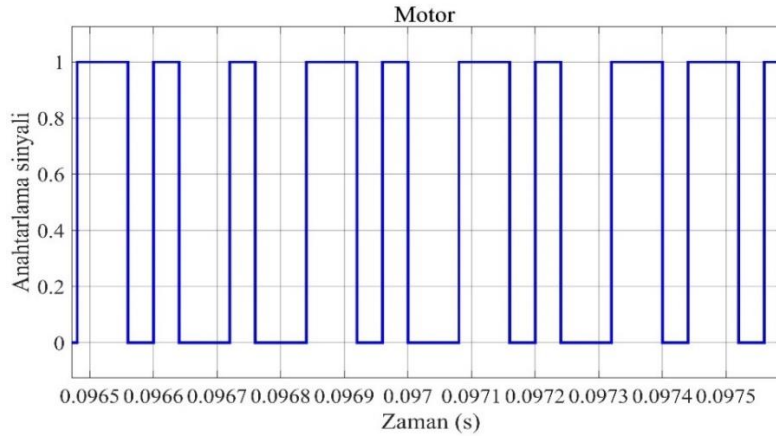
Hata/Hatadaki değişim	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NB	S	S	S	S
NO	NO	NO	NO	S	S	S	S
NK	NK	NK	NK	NK	S	S	S
S	S	S	S	S	S	S	S
PK	S	S	S	PK	PK	PK	S
PO	S	S	S	S	PO	PO	PO
PB	S	S	S	S	S	PB	PB

Bulanık mantık girişler -500 V ile 500 V arasında 7 eşit aralığa, çıkış ise -1 ile 1 arasında 7 adet üyelik fonksiyonuna bölünmüştür. Girişler ve çıkış arasındaki ilişki 49 kural ile sağlanmaktadır. Kural yüzeyi Şekil 6.5'te verilmiştir.



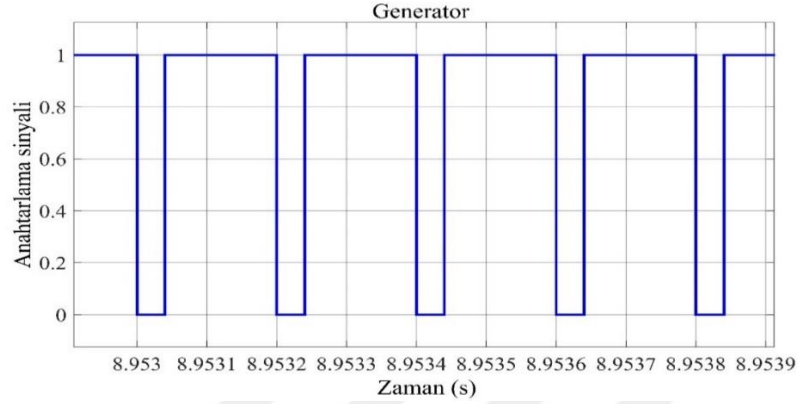
Şekil 6.5. Bulanık mantık denetleyicisi kural yüzeyi

Bulanık mantık denetleyicisinin çıkarım merkezinde Mamdani bulanık çıkarım modeli kullanılmıştır. Durulama birimi olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. DA makine motor modunda çalışırken S_1 anahtarına sinyal iletimi olmaz. S_2 iletim ve kesim durumuna geçer. Şekil 6.6’da anahtarlama sinyali verilmiştir.



Şekil 6.6. Bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol anahtarlama sinyali

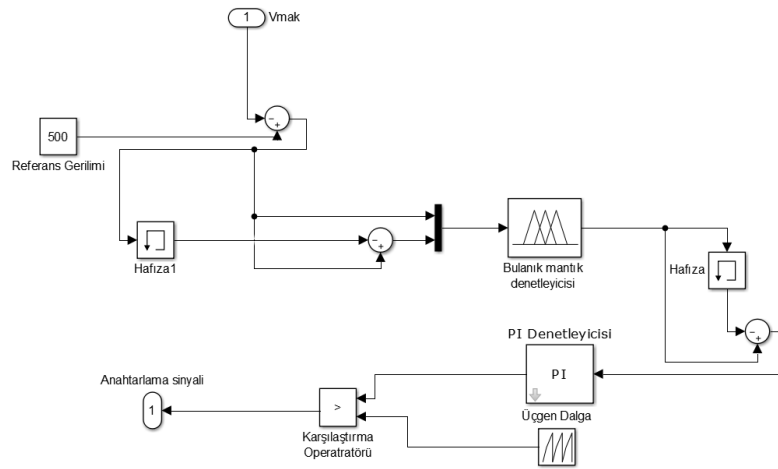
DA makine generatör modunda çalışırken S_2 anahtarına sinyal iletimi olmaz. S_1 iletim ve kesim durumuna geçer. Şekil 6.7’de anahtarlama sinyali verilmiştir.



Şekil 6.7. Bulanık mantık denetleyicisi generatör kontrol anahtarlama sinyali anahtarlama sinyali

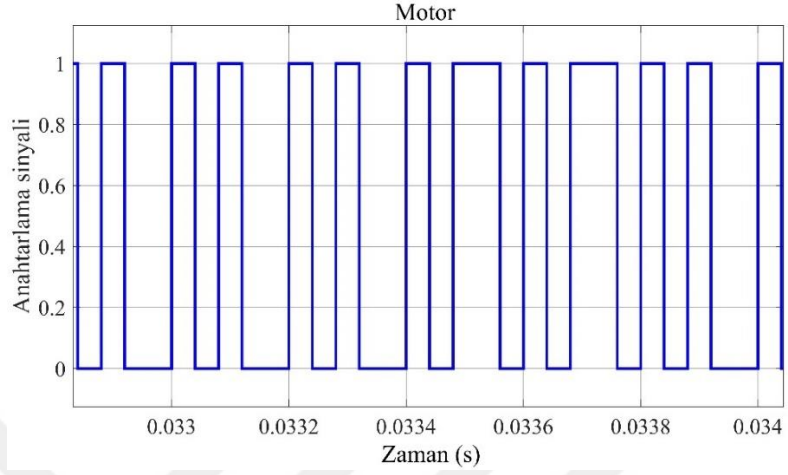
6.2. PI Kontrollü Bulanık Mantık Denetleyicisi

Bulanık mantık ile PI denetleyicilerinin bağlantısı, bulanık mantık denetleyicisi çıkışından gerçekleştirilmiştir. PI denetleyici girişine gelen görev oranı hafızada tutulan görev oranının farkından elde edilir. DA makine motor modunda çalışırken oran sabiti 0,001 integral sabiti 60 olarak tasarlanmıştır. Motor denetim tasarım şeması Şekil 6.8’de gösterilmektedir.



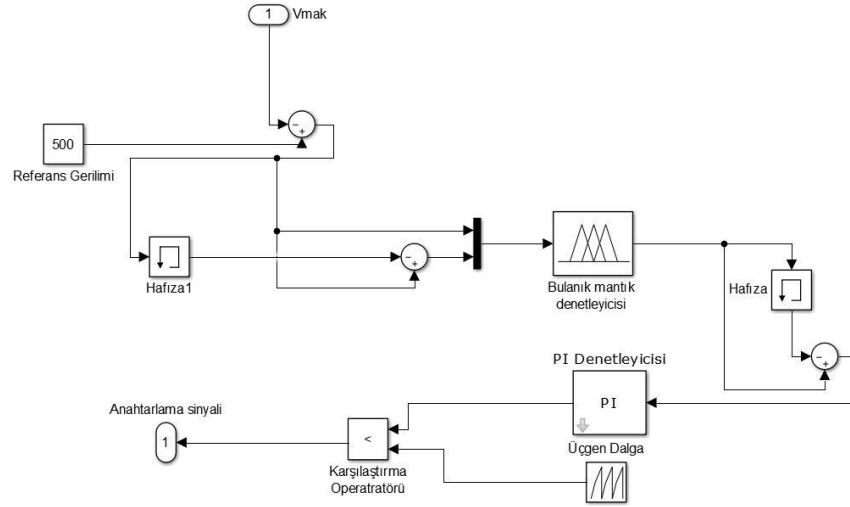
Şekil 6.8. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol tasarım şeması

DA makine motor modunda çalışırken S_2 anahtarına iletilen anahtarlama sinyali Şekil 6.9’da gösterilmektedir.



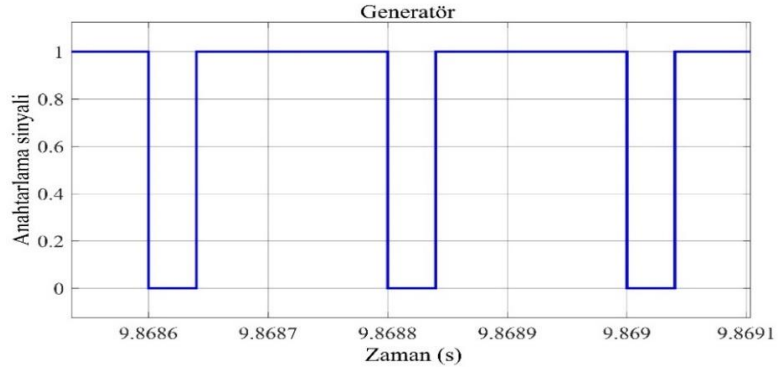
Şekil 6.9. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi motor kontrol anahtarlama sinyali

Generatör modunda K_p değeri 0,02 K_i 50 olarak tasarlanmıştır. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi ile generatör denetim şeması Şekli 6.10'da gösterilmektedir.



Şekil 6.10. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi generatör kontrol tasarım şeması

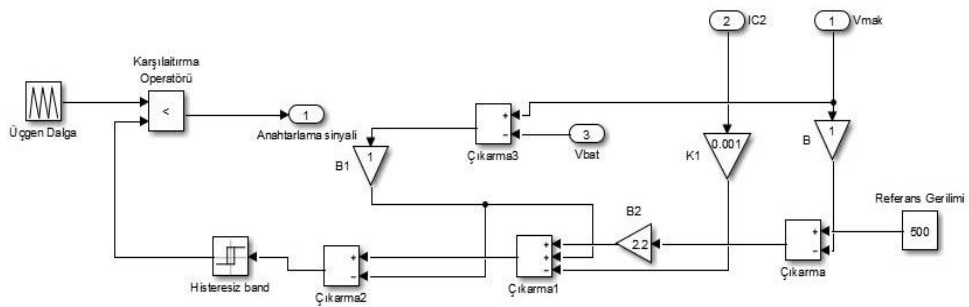
DA makine generatör modunda çalışırken S_1 anahtarına iletilen anahtarlama sinyali Şekil 6.11'de gösterilmektedir.



Şekil 6.11. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi generator kontrol anahtarlama sinyali

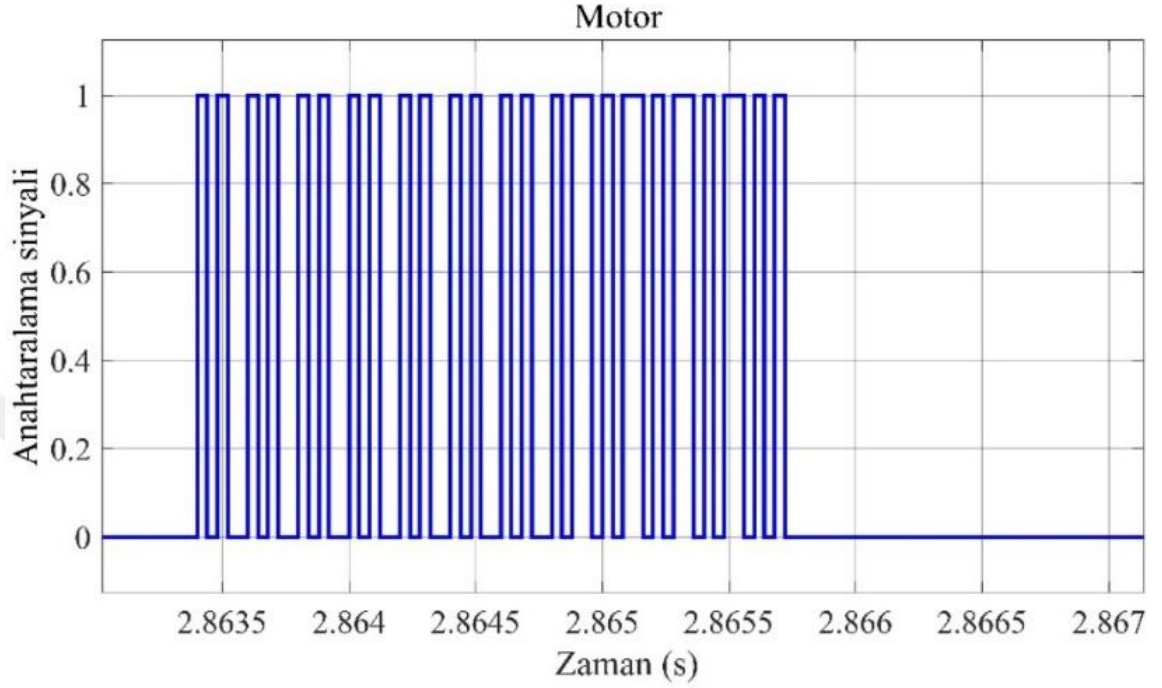
6.3. Kayan Kipli Denetleyicisi

Kayan kipli motor denetleyici tasarımında $K_1=0,001$, $K_2=2,2$ ve $\beta =1$ olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kayan kipli denetleyici tasarımında ilk olarak makine gerilimiyle referans gerilimi karşılaştırılarak gerilim hatası hesaplanır. Hesaplanan hata K_2 değeriyle çarpılarak anahtarlama yüzeyine eklenir. Batarya gerilimiyle motor gerilimi arasındaki fark β ile çarpılır. Kondansatör (C_2) akım değeri ölçülür ve K_1 ile çarpılarak anahtarlama yüzeyine eklenir. Hata değeri pozitifken anahtar iletimdedir. Hata sıfırken anahtar kesimdedir. Kayan kipli denetleyici motor kontrol şeması Şekil 6.12’de gösterilmektedir.



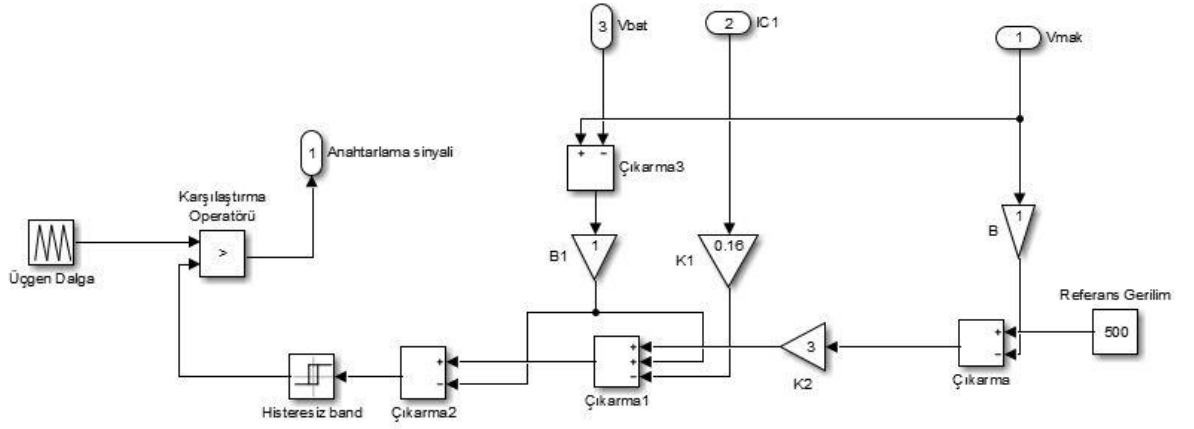
Şekil 6.12. Kayan kipli denetleyici motor kontrol şeması

DA makine motor modunda çalışırken S_2 anahtarına iletilen anahtarlama sinyali Şekil 6.13’te gösterilmektedir.



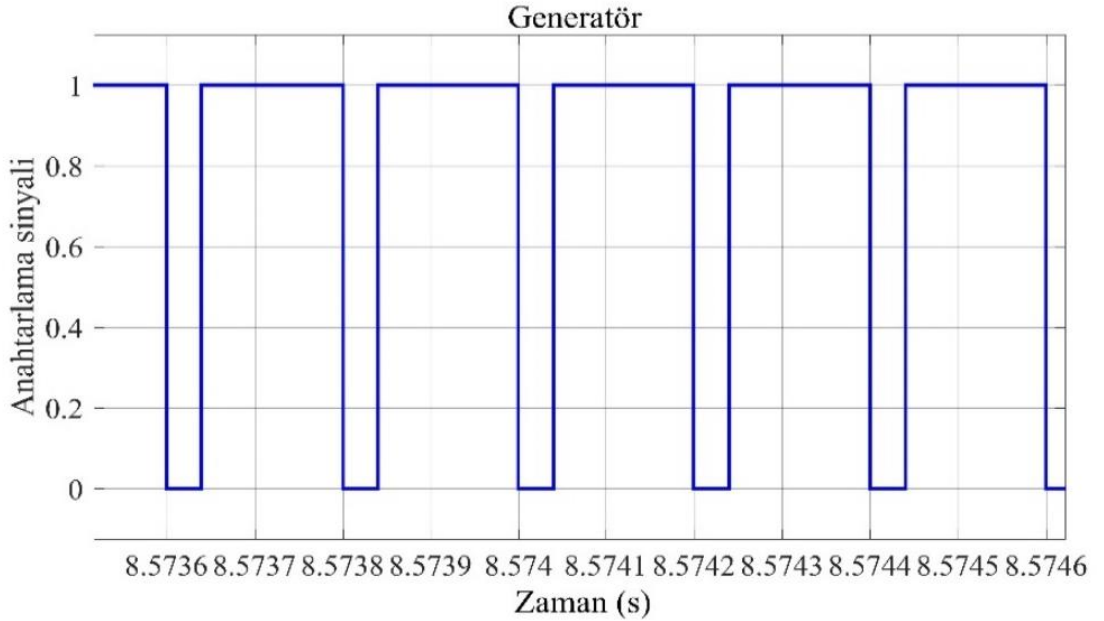
Şekil 6.13. Kayan kipli motor denetleyici motor anahtarlama sinyali

Kayan kipli generatör denetleyici tasarımında $K_1=0,16$, $K_2=3$ ve $\beta =1$ olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kayan kipli kontrol tasarımında ilk olarak makine gerilimiyle referans gerilimi karşılaştırılarak gerilim hatası hesaplanır ve K_2 değeriyle çarpılır. Batarya gerilimiyle motor gerilimi karşılaştırılır β ile çarpılarak anahtarlama yüzeyine eklenir. Kondansatör (C_1) akım değeri ölçülür anahtarlama yüzeyine eklenir. Toplam hata değeri pozitifken anahtar iletimde sıfırken anahtar kesimdedir. Kayan kipli denetleyicisi generatör kontrol şeması Şekil 6.14'te gösterilmektedir.



Şekil 6.14. Kayan kipli denetleyicisi generatör kontrol şeması

DA makine generatör modunda çalışırken S_1 anahtarına iletilen anahtarlama sinyali Şekil 6.15'te gösterilmektedir.

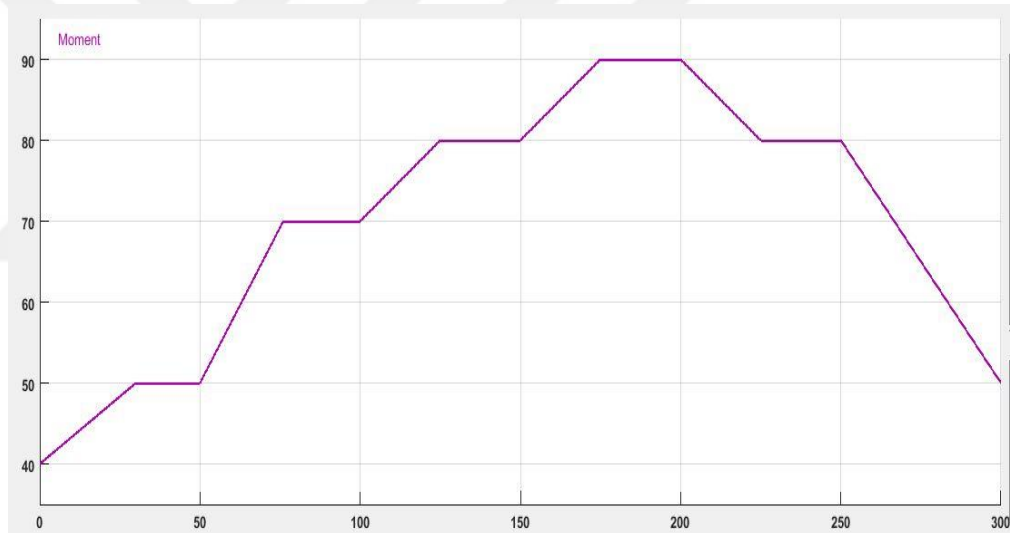


Şekil 6.15. Kayan kipli denetleyicisi generatör anahtarlama sinyali

BÖLÜM 7

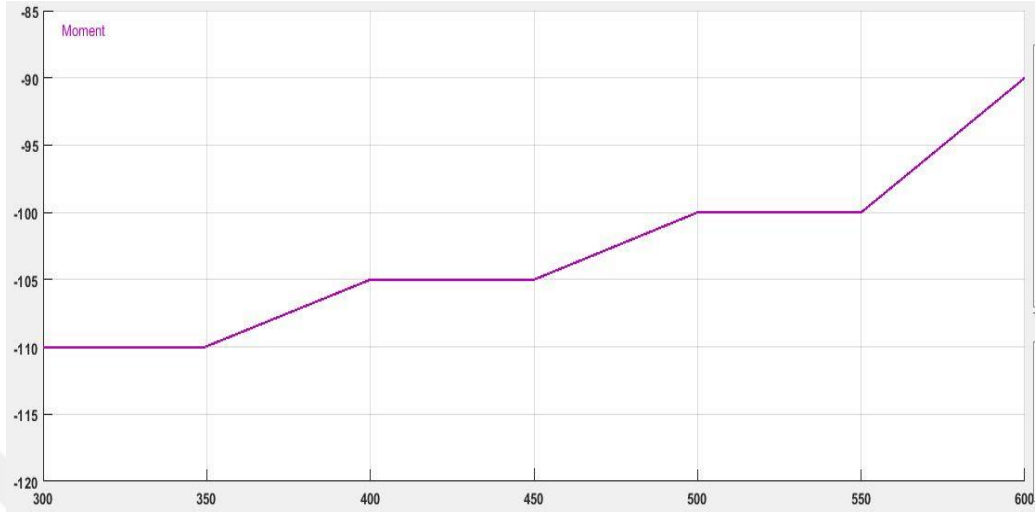
BENZETİM SONUÇLARI

Modellenen sistemde, enerji akışı bataryadan DA makineye doğruysa makine motor modunda çalışmaktadır. Motor modunda çalışan makine pozitif moment üretir ve yük olarak da pozitif moment uygulanır. Bu benzetim çalışmasında 0-300 saniye arasında doğru akım makine motor konumunda çalışırken 40 N.m minimum, 90 N.m maksimum olacak biçimde değişken moment değerleri uygulanmış ve motor konumunun senaryosu belirlenmiştir. Motor moment değeri Şekil 7.1’de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Motor moment değeri

Sistemde enerji akışı DA makineden bataryaya doğruysa makine generatör modunda çalışmaktadır. Generatör modunda çalışan makine negatif moment üretir ve yük olarak da negatif moment uygulanır. Doğru akım makine 300-600 saniye arasında generaör konumunda çalışırken -110 N.m minimum, -90 N.m maksimum olacak bir biçimde değişken moment değerleri uygulanmış ve generatör konumunun senaryosu belirlenmiştir. Generatör moment değeri Şekil 7.2’de gösterilmektedir.



Şekil 7.2. Generatör moment değeri

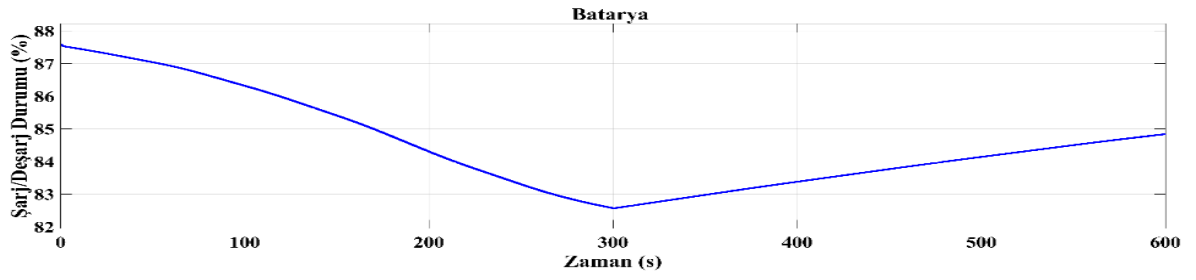
Uygulanan bu moment değerlerinde yarım köprü DA DA dönüştürücüsü denetleyicileri olan, bulanık mantık, PI kontrollü bulanık mantık, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicileri için batarya şarj/deşarj, akım, gerilim ve DA makine gerilimi ölçülmüştür.

7.1. Batarya Şarj/Deşarj Durumu Analizi

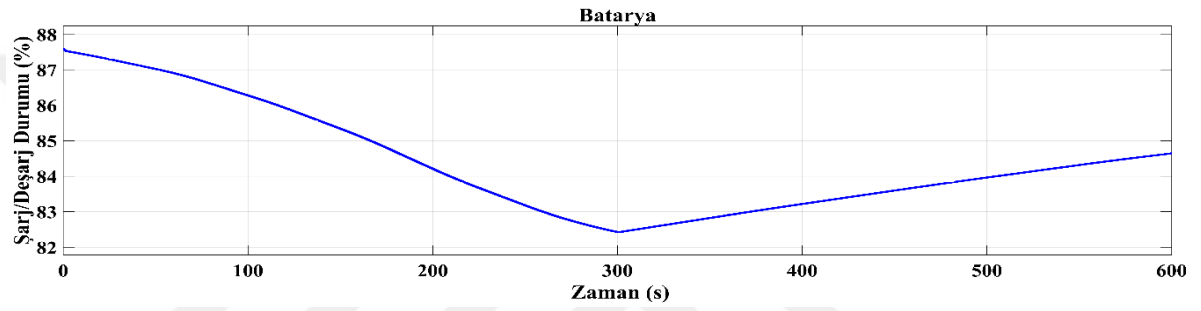
Bataryanın başlangıç şarj değeri %88'dir. DA makine motor modunda çalışırken bulanık mantık denetleyicisinde batarya %82,5'e. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde %82,403'e, kayan kipli denetleyicisinde %83,8'e ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde ise %83,7 değerine deşarj olmuştur.

DA makine generatör modunda çalışırken bulanık mantık denetleyicisinde %84,9'a, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde %84,8'e kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde %85,5 değerine şarj olmuştur.

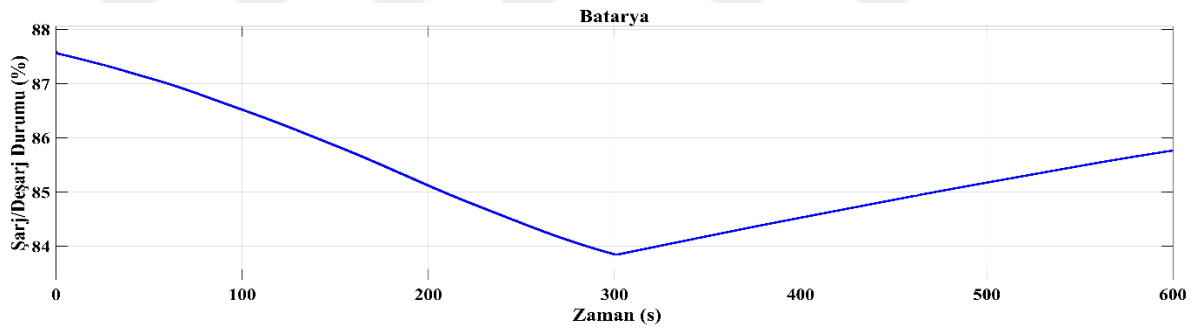
Bataryanın şarj/deşarj durumu elektrikli araçlarda alınacak mesafenin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. DA makine motor modunda çalışırken kayan kipli denetleyici bataryayı minimum oranda deşarj eder. Generatör modunda çalışırken bulanık mantık denetleyicisinin ise yüksek şarj oranına sahip olduğu görülür Batarya şarj/deşarj durumları Şekil 7.3'te gösterilmektedir.



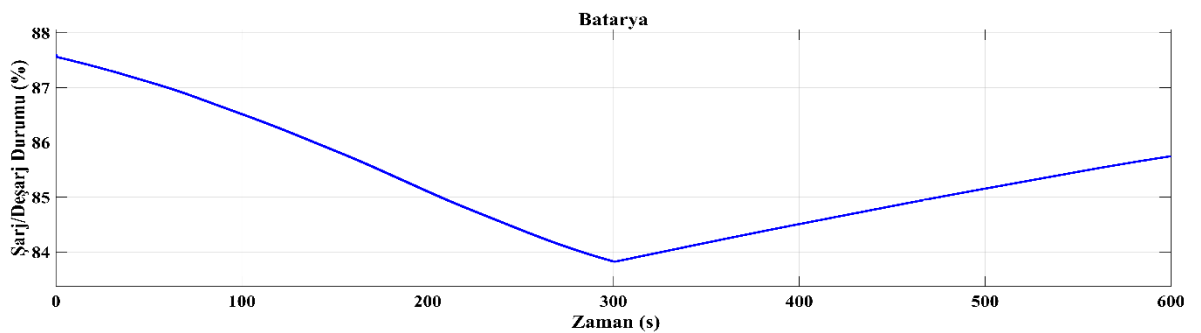
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.3 a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya şarj/deşarj durumu

7.2. Batarya Akım Analizi

Batarya akım analizi ölçümünde DA makine motor modunda çalışırken ilk 30 saniyede 40 N.m moment değerinden 50 N.m moment değerine arttırılmıştır. Bu durumda bulanık mantık ve PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde batarya deşarj akımı 40 A-60 A, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 40 A-55 A arasında değişim göstermiştir.

30 ile 50 saniye arasında, sabit olarak 50 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık ve PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde batarya deşarj akımı 60 A'de, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 55 A'de sabittir.

50 ile 70 saniye arasında moment değeri 50 N.m'den 70 N.m'ye arttırılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya deşarj akımı 60 A'den 85 A'e, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 60 A'den 90 A'e kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 55 A den 70 A artmıştır.

70 ile 100 saniye arasında sabit olarak 70 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde, batarya tarafından sağlanan akım 85 A'de, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 90 A' de, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde ise 70 A'de sabittir.

100 saniye ile 125 saniye arasında moment değeri 70 N.m'den 80 N.m değerine yükseltilmiştir. Batarya deşarj akımı, bulanık mantık denetleyicisinde 85 A'den 100 A'e artmıştır. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi için batarya deşarj akımı 90 A-105 A arasında değişim göstermiştir. Kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyici 70 A'den 75 A'e artmıştır. 125 ile 150 saniye arasında sabit olarak 80 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi batarya deşarj akımı 100 A'dir. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde batarya tarafından sağlanan akım 105 A' de , kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise batarya deşarj akımı 75 A'de sabittir.

150 saniye ile 175 saniye arasında moment değeri 80 N.m'den 90 N.m değerine yükseltilmiştir. Batarya deşarj akımı bulanık mantık denetleyicisinde 100 A' den 120 A'e, PI

kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 100 A' den 125 A'e, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 70 A' den 75 A'e artmıştır

175 ile 200 saniye arasında sabit olarak 80 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi batarya deşarj akımı 120 A'de, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 125 A'de, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerde ise batarya 75 A'e sabittir. 200 ile 225 saniye arası moment değeri 90 N.m'den 80 N.m azalmıştır. Bu durumdaki ölçülen batarya akım değeri bulanık mantık denetleyicisinde batarya deşarj akımı 120 A' den 100 A'e, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 125 A' den 105 A'e, Kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde 80 A 'den 75 A' e azalmıştır.

225 ile 250 saniye arasında sabit olarak 80 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık ve PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde batarya deşarj akımı 100 A'de kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 75 A'de sabittir.250 ile 300 saniye arasında moment değeri 80 N.m'den 50 N.m arasında azaltılmıştır. Bu durumdaki ölçülen batarya akım değeri, bulanık mantık denetleyicisinde 100 A' den 60 A'e PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 105 A den 60 A'e, kayan kipli ve kayan PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde batarya deşarj akımı 75 A' den 50 A'e azalmıştır.

Elektrik makinesi motor konumunda çalışırken, uygulanan moment değeri artarsa, bataryanın deşarj akımının da arttığı gözlemlenmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen bulanık mantık denetleyicisinde, 90 N.m'de batarya deşarj akımı 120 A, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde ise 125 A olarak gözlemlenmiştir. Batarya akım analizinde kayan kipli ile PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinin akım değerleri 80 A'dir. PI kontrollü kayan kipli kontrolcüde, batarya deşarj akımı 1,5 saniye ile 2 saniye arasında sıfıra düşmektedir. Bu durum, diğer denetleyicilerde gözlemlenmemektedir. PI kontrollü bulanık mantık denetleyici, tasarlanan diğer denetleyicilere göre daha fazla batarya deşarj akımı sağlamaktadır. Kayan kipli denetleyici, maksimum moment değerinde en az salınım değeri ile en az deşarj akımını sağlamaktadır.

Tablo 7.1. Motor modunda yarım köprü DA-DA dönüştürücüsü denetleyicilerinin batarya deşarj akımları

Zaman (s)/Moment (N.m)	Bulanık mantık denetleyicisi batarya deşarj akımı (A)	PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi batarya deşarj akımı (A)	Kayan kipli denetleyicisi batarya deşarj akımı (A)	PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya deşarj akımı (A)
0-30/ 40-50	40-60	40- 60	40-55	40-55
30-50/ 50	60	60	55	55
50-70/ 50-70	60-85	60- 90	55-70	55- 70
70-100/ 70	85	90	70	70
100-125/ 70-80	85/100	90- 105	70-75	70 -75
125-150/ 80	100	105	75	75
150-175/ 80-90	100 -120	105 -125	75- 80	75 -80
175-200/ 90	120	125	80	80
200-225/90-80	120-100	125 -105	80 -75	80 -75
225-250/ 80	100	105	75	75
250-300/ 80-50	100- 60	105- 60	75- 55	75-55

DA makine generatör modunda çalışırken, yarım köprü DA-DA dönüştürücüsünün enerji akış yönü DA makineden bataryaya gerçekleşir. Bataryanın şarj akımı DA makineye uygulanan moment değeri arttıkça artış gösterir. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisiyle kontrol edilen yarım köprü DA-DA dönüştürücüde, yüksek moment değerinde bataryanın şarj akımı diğer denetim yöntemlerine göre yüksektir. Kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicide ise batarya deşarj akımı düşüktür.

300 ile 350 saniye arasında sabit olarak -110 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde generatör bataryayı 44,7 A, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi 44,5 A, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicileri de sabit 38 A ile şarj etmektedir.

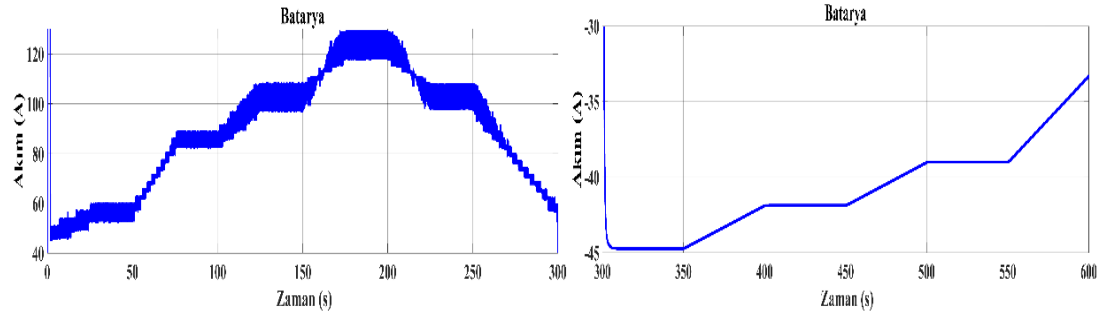
350 ile 400 saniye arasında genaratöre uygulanan moment değeri -110 N.m ile -105 N.m arasında değiştirilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya şarj akımı 44,7 A'den 42,3 A'e, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 44,5 A den 42 A'e kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerde ise 38 A den 35,7 A'e azalmıştır.

400 ile 450 saniye arasında sabit olarak -105 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya şarj akımı 42,3 A PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 42 A kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde batarya şarj akımı 35,7 A 'de sabittir.

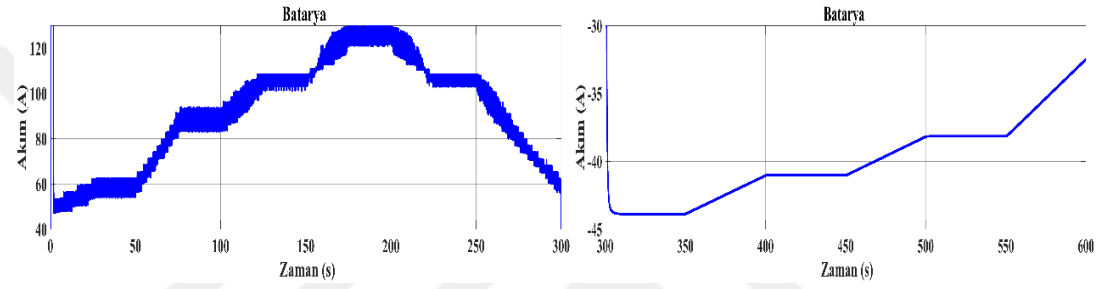
450 saniye ile 500 saniye arasında moment değeri -105 N.m'den -100 N.m değerine yükseltilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya şarj akımı 42,3 A ile 39 A arasında, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 42 A'den 38 A'e azalmış. Kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 35,7 A'den 33 A'e düşmüştür. 500 ile 550 saniye arasında sabit olarak -100 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya şarj akımı 39 A PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 38 A, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde 33 A'de sabittir. 550 saniye ile 600 saniye arasında moment değeri -100 N.m'den -90 N.m değerine yükseltilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya şarj akımı 39 A ile 33 A arasında, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 38 A ile 34 A'e kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde batarya şarj akımı 33 A ile 28 A arasında değişkenlik göstermiştir. Batarya şarj akımı değerleri Tablo 7.2'de, şekiller Şekil 7.3 verilmiştir.

Tablo 7.2. Generatör modunda denetleyicilerin batarya akımları

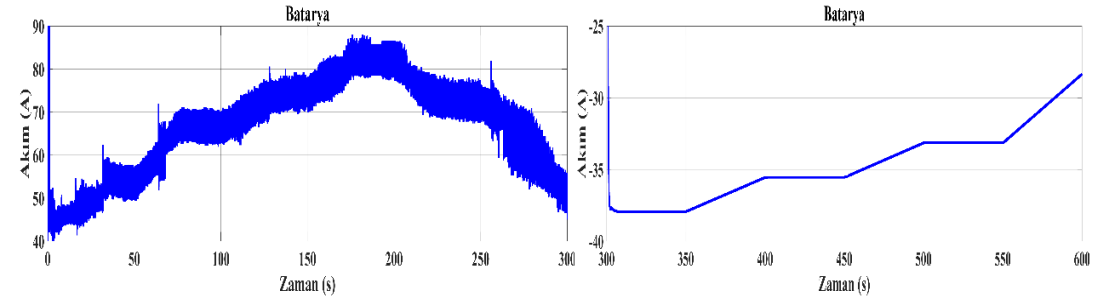
Zaman (s)/Moment (N.m)	Bulanık mantık denetleyicisi batarya şarj akımı (A)	PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi batarya şarj akımı (A)	Kayan kipli denetleyici batarya şarj akımı (A)	PI kontrollü kayan kipli kontrol batarya şarj akımı (A)
300-350/(-110)	-44,7	-44,5	-38	-38
350-400/(-110)-(-105)	(-44,7)-(-42,3)	(-44,5)-(-42)	(-38)-(-35,7)	(-38)-(-35,7)
400-450/ (-105)	(-42,3)	(-42)	(-35,7)	(-35,7)
450-500/(-105)-(-100)	(-42,3)-(-39)	(-42)-(-38)	(-35,7)-(-33)	(-35,7)-(-33)
500-550/ (-100)	(-39)	(-38)	(-33)	(-33)
550-600/ (-100)-(-90)	(-39)-(-33)	(-38)-(-34)	(-33)-(-28)A	(-33)-(-28)



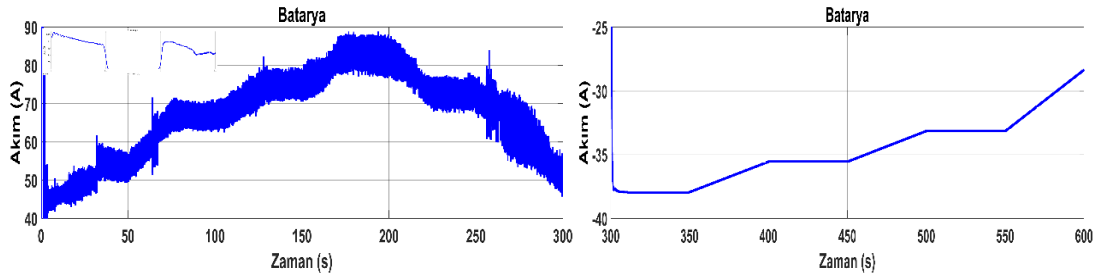
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.4 a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya akım analizi

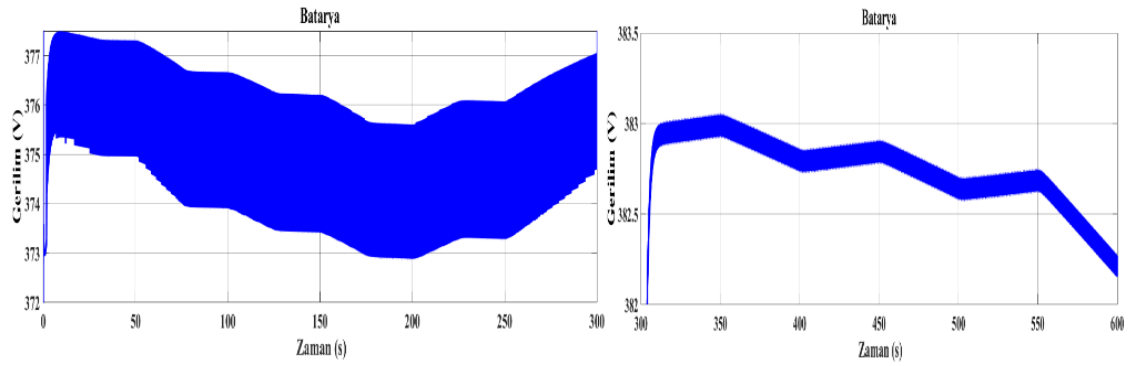
7.3. Batarya Gerilim Analizi

DA makine motor modunda çalışırken, bulanık mantık ve PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde DA makineye uygulanan minimum 40 N.m momentte ortalama 376 V değerinde 2 V, 90 N.m momentte ise ortalama 374 V değerinde 2 V dalgalanmaktadır. Kayan kipli denetleyicide minimum 40 N.m momentte ortalama 376 V değerinde 2 V, 90 N.m moment değerinde ortalama 375 V değerinde 2 V dalgalanmaktadır.

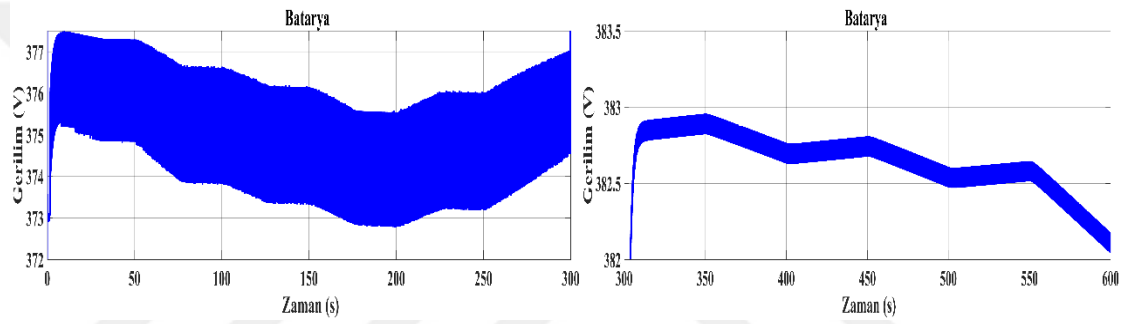
PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde ise minimum 40 N.m momentte ortalama 376 V değerinde 2 V, 90 N.m momentte 375 V değerinde 2 V dalgalanma meydana gelmektedir. Denetleyicilerle PI bütünleştiğinde, gerilim düşümünün arttığı gözlemlenmiştir. Moment değeri arttıkça bataryada gerilim düşmesi artmakta, bu değer azaldıkça, gerilim düşmesinin de azaldığı gözlemlenmiştir.

DA makine generatör modunda çalışırken, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde - 110 N.m momentte ortalama 382,5 V değerinde, bulanık mantık denetleyicisi 383 V gerilim ve PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 382,7 V değerine sahiptir. Generatöre uygulanan moment değeri arttıkça batarya gerilimi azalmaktadır.

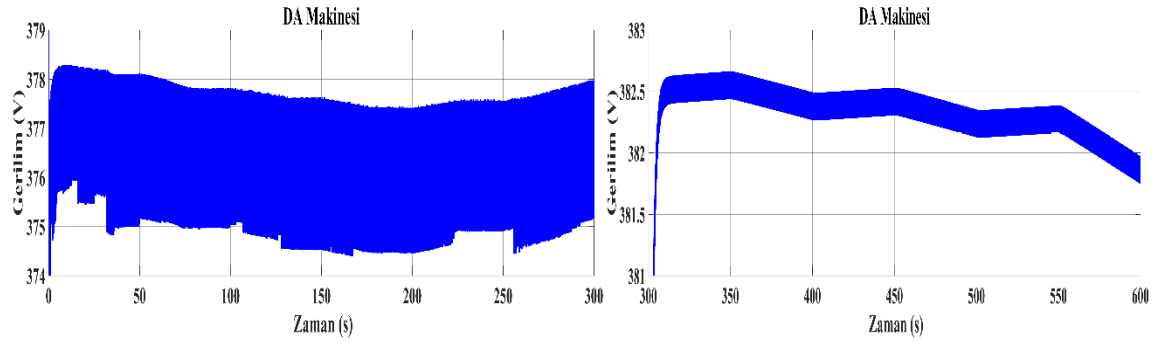
Batarya gerilim analizinde bulanık mantık denetleyicisi ve kayan kipli denetleyicisine PI denetleyicisi eklendiğinde, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisindeki dalgalanma oranının arttığı görülmektedir. PI kontrollü kayan kipli denetleyicide denetleyici belirlenen anahtarlama yüzeyindeki katsayı değerleri değişiklik göstermemesi sebebiyle gerilimdeki dalgalanma oranı ve gerilimdeki düşme değeri benzerdir. Batarya gerilimleri Şekil 7.5'te gösterilmiştir.



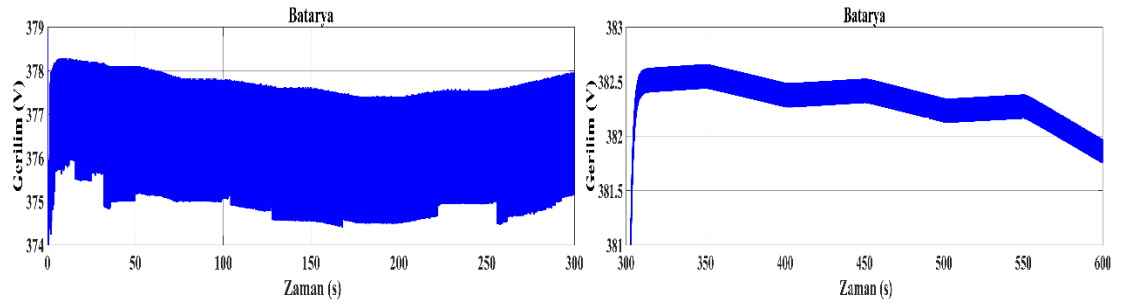
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.5. a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya gerilim analizi

7.4. Batarya Güç Analizi

DA makine motor modunda çalışırken, moment, ilk 30 saniyede 40 N.m 'den 50 N.m'ye arttırılmıştır. Bu durumda bulanık mantık denetleyicisinde bataryanın sağladığı güç değeri, 18 kW'tan 20 kW'a, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi 18 kW'tan 22 kW'a, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde ise 17,5 kW'tan 20 kW'a bir artış gözlemlenmiştir.

30 ile 50 saniye arasında sabit olarak 50 N.m moment değeri uygulanmıştır. Batarya tarafından sağlanan güç değeri, bulanık mantık denetleyicisinde 20 kW, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 22 kW'a, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 20 kW 'a sabittir.

50 ile 70 saniye arasında moment değeri 50 N.m'den 70 N.m yükselmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya tarafından sağlanan güç değeri, 20 kW'tan 32 kW'a, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde 22 kW'tan 34 kW'a, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli kontrolcülerde ise 20 kW'tan 25 kW'a doğru bir artış gözlemlenmiştir.

70 ile 100 saniye arasında sabit olarak 70 N.m moment değeri uygulanmıştır. Batarya tarafından sağlanan bulanık mantık denetleyicisinde güç değeri, 32 kW'a, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde, 34 kW'a, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 25 kW'a sabit olduğu gözlemlenmiştir.

100 ile 125 saniye arasında moment değeri 70 N.m'den 80 N.m yükselmiştir. Batarya tarafından sağlanan güç değeri, bulanık mantık denetleyicisinde 32 kW'tan 37 kW'a, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 34 kW'tan 40 kW'a, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli kontrolcülerde ise 25 kW'tan 27 kW'a yükselmiştir.

125 ile 150 saniye arasında sabit olarak 80 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde güç değeri, 37 kW, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 40 kW'a sabitlenirken, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 27 kW'a sabitlenmiştir.

150 ile 175 saniye arasında moment değeri 70 N.m'den 80 N.m yükselmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya güç değeri, 37 kW'tan 45 kW'a yükselmiştir. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde, batarya tarafından sağlanan akım 40 kW'tan 47 kW'a yükselmiştir. Kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 27 kW' ile 30 kW arasında değişiklik göstermektedir.

175 ile 200 saniye arasında sabit olarak 90 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde güç değeri 45 kW, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde batarya tarafından sağlanan güç 47 kW'ta sabitken, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde 30 kW'a sabitlenmiştir.

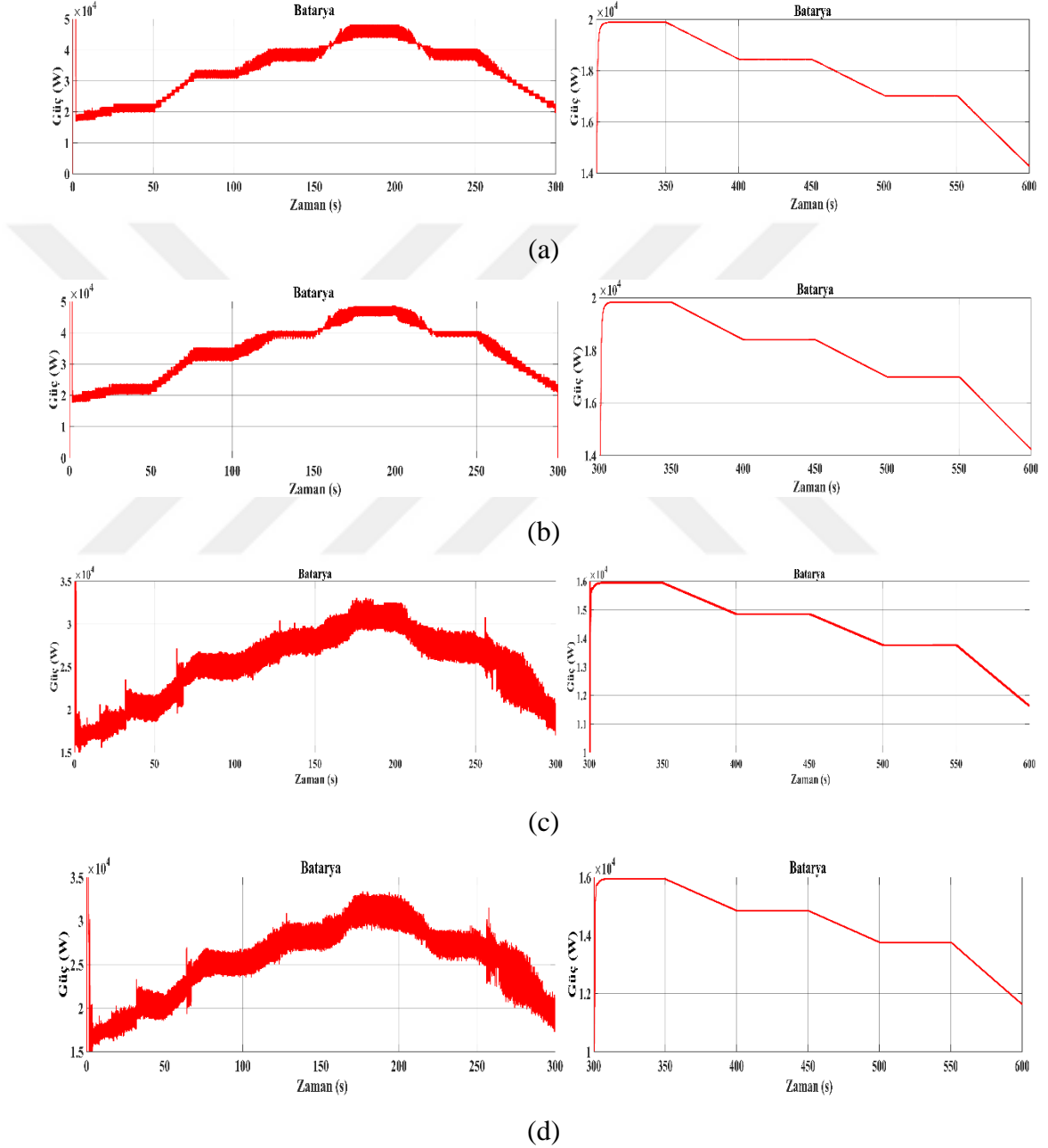
200 ile 225 saniye arasında moment değeri 90 N.m'den 80 N.m azalmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde bataryanın sağladığı güç değeri 45 kW'tan 37 kW'a azalmıştır. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicilerinde batarya tarafından sağlanan güç 47 kW'tan 40 kW'a azalma gösterirken, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerde ise 30 kW'tan 27 kW'a eğilimine girmiştir.

225 ile 250 saniye arasında sabit olarak 80 N.m moment değeri uygulanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde güç değeri, 37 kW'a, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 40 kW'a sabitlenirken, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicilerinde ise 27 kW'a sabitlenmiştir.

250 ile 300 saniye arasında moment değeri 80 N.m'den 50 N.m' ye azalmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya güç değeri, 37 kW'tan 20 kW'a azalmıştır. PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde, 40 kW'tan 22 kW'a azalma gösterirken, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde 27 kW ile 17,5 kW arasında bir değişiklik göstermektedir.

DA makine generatör modunda çalışırken, moment değeri -110 N.m ile -80 N.m arasında değişmektedir. Bulanık mantık denetleyicisinde batarya güç değeri, 20 kW ile 14,9 kW, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 19,8 kW ile 14,7 kW, kayan kipli ve PI kontrollü

kayan kipli denetleyicilerinde ise 15,9 kW ile 11,9 kW arasında değişiklikler gözlemlenmiştir. Denetleyicilere göre batarya güçleri Şekil 7.6’da gösterilmiştir.



Şekil 7.6. a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi batarya güç analizi

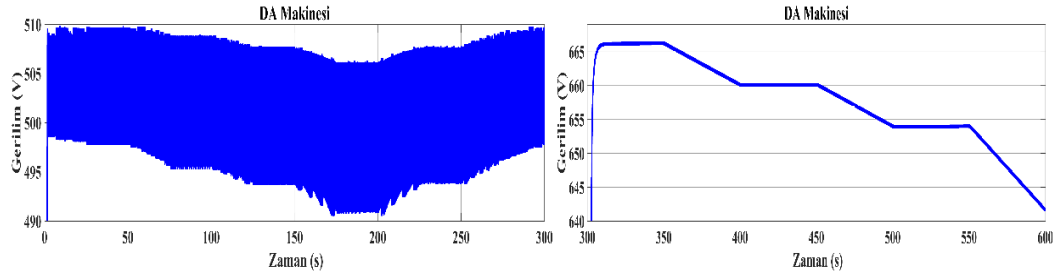
DA makine motor ve generatör modunda çalışırken, bataryadan çekilen maksimum güç dönüştürücünün PI kontrollü bulanık mantık kontrolüyle elde edilmiştir. Bataryadan çekilen minimum güç ise kayan kipli denetleyici ve PI kontrollü kayan kipli denetleyiciden elde edilmiştir. Ancak PI kontrollü kayan kipli denetleyicinin dalgalanma oranı kayan kipli kontrole göre daha fazladır.

7.5. DA Makine Gerilim Analizi

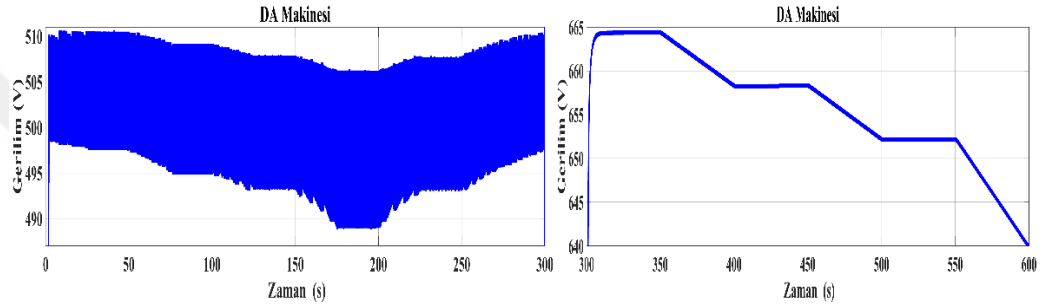
DA makine motor konumunda çalışırken, üzerindeki gerilim seviyesi, bulanık mantık denetleyicisinde, 50 N.m momentte %2 gerilim dalgalanma oranına sahiptir. Moment değeri arttıkça batarya geriliminden kaynaklı düşmeden dolayı gerilim seviyesi düşmüştür. Ancak dalgalanma oranı sabit kalmaktadır. 90 N.m moment değerinde DA makine geriliminin 493 V seviyesine düştüğü gözlemlenmiştir.

PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde, 50 N.m'de dalgalanma oranı %2'dir. 90 N.m değerinde 489 V seviyesi ölçümü gözlemlenmiştir. Kayan kipli kontrolde gerilim dalgalanma 50 N.m değerinde %2 iken 90 N.m moment değerinde %3 civarında ve gerilim seviyesi olarak 487 V'a düşmektedir. PI kontrollü kayan kipli denetleyicide 50 N.m değerinde gerilim dalgalanma oranı %2'dir. Moment 90 N.m ye geldiğinde gerilim dalgalanma oranı %3 çıkmakta, gerilim değeri ise 491 V olarak gözlemlenmektedir. PI kontrollü kayan kipli kontrol 500 V gerilim değerine ulaşırken 1,5 ile 2 saniye arasında yüksek salınım yapmaktadır. Bu diğer denetleyicilerde de gözlemlenmemiştir.

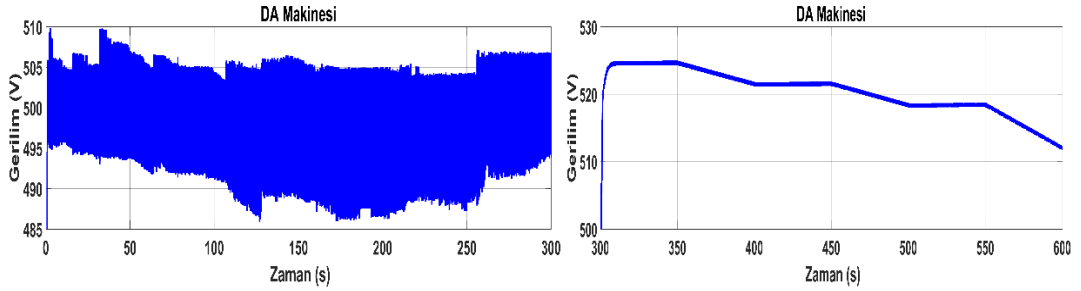
DA makine generatör modunda çalışırken, -100 N.m'de gerilim seviyesi bulanık mantık denetleyicisinde 663 V, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisinde 667 V, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicisinde 524 V olarak gözlemlenmiştir. Bu durumda istenen DA makine gerilimine yaklaşık olarak en yakın gerilim değerine kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyiciler olmuştur. Doğru akım makine gerilimleri Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



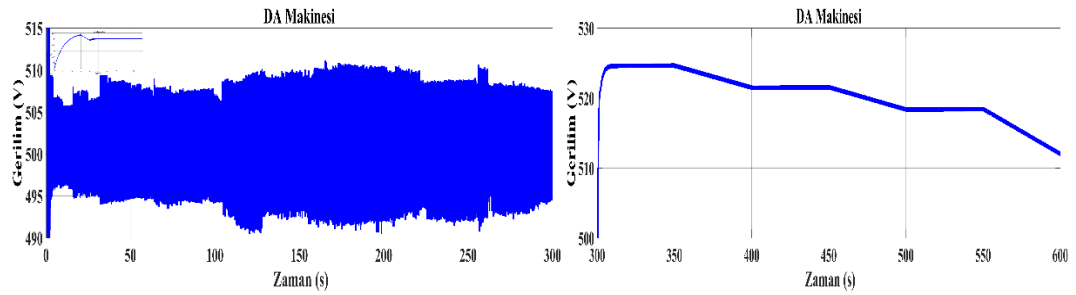
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.7. a) Bulanık mantık denetleyicisi b) PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi c) Kayan kipli denetleyicisi d) PI kontrollü kayan kipli denetleyicisi DA makinesi gerilim analizi

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada artan nüfus ile birlikte taşıt sektöründe önemli derecede bir artış meydana gelmiştir. Geleneksel araç teknolojisi yüksek oranda fosil yakıt ve türevlerini kullanmasını arttırmıştır. Fosil yakıt rezervlerin azalmasıyla birlikte gelişen batarya teknolojisi ve yarı iletken malzemelerin ön plana çıkması elektrikli araçlara olan eğilimi arttırmıştır. Elektrikli araçların makine kontrolünde güç elektroniği devresi ve kontrol algoritmaları önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada elektrikli araçların DA güç elektroniği yapısı için yarım köprü çift yönlü DA dönüştürücü analizi, tasarımı ve bulanık mantık, PI kontrollü bulanık mantık, kayan kipli ve PI kontrollü kayan kipli denetleyicileri incelenmiştir. Kullanılan çift yönlü DA dönüştürücü DA makine ve batarya Matlab/Simulink programında benzetim çalışması yapılmıştır.

Yarım köprü çift yönlü DA dönüştürücü DA makine motor modunda çalışırken arttıran dönüştürücü gibi davranarak 378 V batarya gerilimini, 500 V yükseltilmiş ve batarya deşarj olmaya başlamıştır. Deşarj kontrolünde önemli husus ilk ve son andaki şarj değeri farkının minimum olmasıdır. Deşarj kontrolü, elektrikli araçlarda alınacak mesafenin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Kayan kipli denetleyicide, şarj/deşarj denetiminde diğer denetleyicilere göre daha verimlidir. Yarım köprü çift yönlü DA-DA dönüştürücü DA makine generatör modunda çalışırken azaltan dönüştürücü gibi davranarak DA makine gerilimi 500 V düşürülür ve batarya şarj olamaya başlar. Şarj kontrolünde önemli husus ilk ve son andaki şarj değeri farkı maksimum olmasıdır.

Yapılan analizlerden elde edilen verilere göre DA makine motor modunda çalışırken, PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi %5,6, bulanık mantık denetleyicisi %5,5, kayan kipli denetleyici %4,1 ve PI kontrollü kayan kipli denetleyici %4,2 oranında deşarj olmuştur. DA makine generatör modunda çalışırken PI kontrollü bulanık mantık denetleyicisi %2,4, bulanık mantık denetleyicisi %2,5, kayan kipli denetleyici %1,7 ve PI kontrollü kayan kipli

denetleyicide %1,8 oranında şarj olmuştur. Bu durumda, kayan kipli denetleyici yöntemlerinin aynı senaryoda toplam %2,4 şarj kaybıyla, bulanık mantık denetleyicilerine göre yüksek verim sağladığı gözlemlenmiştir. Güzergâh senaryolarının değişmesi, çalışma süresinin uzatılması, denetim algoritmalarında optimizasyon işlemleri gibi faktörlerin iyileştirilmesi ile elektrikli araçların daha fazla mesafe almasına katkı sağlanabilir. Elektrikli araçlarda yapılacak diğer çalışmalarda kullanılan çift yönlü DA-DA dönüştürücünün devre yapısı, denetim yöntemi ve elektrik makinesinin değiştirilmesiyle batarya şarj/deşarj döngüsünün denetimi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Kural E. “Hibrit elektrikli araçlar için enerji yönetim sistemi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, s:1,30, İstanbul, 2015.
2. Kaptan D. “Energy efficiency increase at the electric vehicle” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, s:1,35, İstanbul 2016.
3. İnternet sitesi: “Dünya enerji konseyi Türkiye komitesi”
<https://www.dunyaenerji.org.tr/elektrikli-araclar/>
4. Zhang F., Zhang X., Zhang M., Edmonds A. S. E., “Literature review of electric vehicle technology and its applications,” *2016 5th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, Changchun, 2016, s: 832-837.
5. Tiwari A., Jaga O. P., “Component selection for an electric vehicle: A review,” *International Conference on Computation of Power, Energy Information and Commuincation (ICCPEIC)*, Melmaruvathur, s: 492-499, 2017.
6. Erbeyler A. S. “Hibrit elektrikli hafif ticari araçta dizel azot oksit emisyonlarının optimisasyonu için enerji yönetim sistemi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora tezi, s:1,30, İstanbul, 2015.
7. Wang Y., Lin X, Pedram M., Chang N., “Joint automatic control of the powertrain and auxiliary systems to enhance the electro mobility in hybrid electric vehicles,” *2015 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, San Francisco, s: 1-6, 2015.
8. Ağyel S. “Hibrit elektrikli araçlar için bilgisayar simülasyonu” Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, s:1,35, İstanbul 2016.
9. Rendillo Albiol L. “Desing and control of a bi directional dc/dc converter for an electric vehicle application” Universtat rovira virgili, Doctroa Thesis, s:1,50 Tarragona, 2015.
10. Muratoğlu Y. “Elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin şarj durumlarının kokusuz kalman filtresiyle kestirilmesi” Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s:1,40, Mersin, 2017.
11. Yasir Naeem H. M., Iqbal Bhatti A., Butt Y., Ahmed Q., “Velocity Profile Optimization of an Electric Vehicle with Battery Dynamic Model” *2019 12th Asian Control Conference (ASCC)*, Kitakyushu-shi, s: 609-614, 2019.

12. Alamdari S., Voos H., Darouach M., “Nonlinear Model Predictive Control for Ecological Driver Assistance Systems in Electric Vehicles, Robotics and Autonomous Systems” Cilt: 112,2019, s: 291-303
13. Wang H., Gaillard A.,Hissel D. “A review of DC/DC converter-based electrochemical impedance spectroscopy for fuel cell electric vehicles” Renewable Energy,Volume 141,2019,Pages 124-138
- 14 Nene H., Zaitso T., “Bi-directional PSFB DC-DC converter with unique PWM control schemes and seamless mode transitions using enhanced digital control” *2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, s: 3229-3233, 2017.
15. Sheir A., Youssef M. Z. Orabi M., “A Novel Auxiliary Modular Inverter with Battery Integration for Electric Vehicle Applications,” *2019 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Anaheim, CA, 2019, s: 1730-1737.
16. Melis W. “The future of electric vehicle” Autonomous hybrid vehicles: intelligent transport systems and automotive technologies, Bölüm 8, Pitești, s: 157-165, 2013.
17. Güner C. “Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç İle Menzil Artırıcılı Elektrikli Araç Konseptlerinin Karşılaştırmalı Analizi” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s:1-50 2013.
18. İnternet sitesi: Tesla
<https://www.tesla.com/sites/default/files/tesla-model-s.pdf>
19. İnternet sitesi: Tesla Türk
<http://teslaturk.com/model-s/>
20. İnternet sitesi: Oak Labratory
<https://www.ornl.gov/>
21. İnternet sitesi: Guide Auto Web
<https://www.guideautoweb.com/en/makes/tesla/model-s/2019/specifications/75d/>
22. Akın N. “Modifiye edilmiş grafitin lityum iyon pillerde anot malzemesi olarak kullanımının incelenmesi” İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s:1-40, 2015
23. Biçer E. “Lityum iyon pillerde yeni organik polimerler” Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s:1,45, İstanbul, 2015

24. Ying Yong J, Vigna K., Tan K. M., Mithulananthan N., “A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol: 49, s: 365-385, 2015.
25. Xiong H. He, R., Zhang X., Sun F., Fan J., “State-of-Charge Estimation of the Lithium-Ion Battery Using an Adaptive Extended Kalman Filter Based on an Improved Thevenin Model” in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, cilt. 60, no. 4, s: 1461-1469, 2011.
26. Zhang Y., Cheng X., Fang Y., Yin Y., “On SOC estimation of lithium-ion battery packs based EKF” *Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference*, s: 7668-7673, 2013.
27. Zhang Q., Wang X., Yuan H., “Estimation for SOC of Li-ion battery based on two-order RC temperature model,” *2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Wuhan, s: 2601-2606, 2018.
28. W. Peng, Z. Yang, C. Liu, J. Xiu and Z. Zhang, “An Improved PSO Algorithm for Battery Parameters Identification Optimization Based on Thevenin Battery Model,” *2018 5th IEEE International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems (CCIS)*, Nanjing, China, s: 295-298, 2018.
29. Chapman S. J., *Electric Machine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 2005.
30. Rashid, M.H., “*Power Electronics Handbook*”, Elsevier Inc, USA, 2011.
31. Güngör B. “*Elektrik Makineleri (Doğru Akım Sürücüler-Transformatörler)*”, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2016.
32. Kabalcı E. “Power electronics and drives used in automotive applications” *Autonomous hybrid vehicles: intelligent transport systems and automotive technologies*, bölüm 8, Pitești, s: 157-165, 2013
33. Boyar A. “Güneş panelleri için mikro evirici tasarımı ve analizi”, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s: 20-44, 2018
34. Kabalcı E., Boyar A, Kabalcı Y., “Design and analysis of a micro inverter for PV plants” *2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Targoviste, s: 1-6, 2017.
35. Çoban G. “Programlanabilir çapraz dönüştürücü”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s:13-23, 2007.

36. Altımanıa M., Alzahrani A., Ferdowski M., Shamsi P., "Operation and Analysis of Non-Isolated High-Voltage-Gain DC-DC Boost Converter with Voltage Multiplier in the DCM," *2019 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)*, Champaign, IL, USA, s. 1-6, 2019.
37. Ergün A. "Hibrit enerji depolama sistemli elektrikli araçlar için çift yönlü da da dönüştürücü tasarımı ve gerçekleştirilmesi" Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s:1-60, 2014.
38. Gökden F. B "Elektrikli araçlar için iki fazlı yalıtımsız faz kaydırmalı çift yönlü da da dönüştürücü tasarımı ve uygulaması" Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s:1-50, 2014.
39. Premananda P., Singh R.K, Tripathi R.K. "Bidirectional DC-DC converter fed drive for electric vehicle system," *International Journal of Engineering, Science and Technology* cilt. 3, no. 3, s: 101-110, 2011.
40. Guoet P., "Analysis and Control of Modular Multilevel Converter with Split Energy Storage for Railway Traction Power Conditioner," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, s:1, 2019.
41. Tan R. H. G., Hoo L. Y. H., "DC-DC converter modeling and simulation using state space approach," *2015 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, Johor Bahru, s: 42-47, 2015.
42. Modabbernia, M. R., Sahab, A. R., Mirzaee, M. T., & Ghorbany, K. "The State Space Average Model of Boost Switching Regulator Including All of the System Uncertainties," *Advanced Materials Research*, cilt: 403, s: 3476–3483, 2012.
43. Perdigão M. S., Trovão J. P. F., Alonso J. Saraiva M., E. S., "Large-Signal Characterization of Power Inductors in EV Bidirectional DC–DC Converters Focused on Core Size Optimization," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, cilt: 62, no. 5, s: 3042-3051, 2015.
44. Chao, Kuei-Hsiang, "Design and implementation of a bidirectional dc-dc converter for stand-alone photovoltaic systems." *energy* cilt:4 no:8, 2013.
45. Suresh, K., and R. Arulmozhiyal. "Design and Implementation of Bi-Directional DC-DC Converter for Wind Energy System," *Circuits and Systems*, cilt: 17 s: 3705-3722, 2016.

46. Nainar I. “An adaptive fuzzy logic controller for intelligent networking and control” Cowan University, Doktora Tezi, s:1-70, 1996.
47. Yıldız H. “Tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorun bulanık mantık ile denetimi” Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s:20-41, 2012.
48. Bayindir R., Colak I., Kabalcı E., Irmak E., “The Fuzzy Logic Control of a Multilevel Converter in a Variable Speed Wind Turbine,” *2009 International Conference on Machine Learning and Applications, Miami*, s: 787-790, 2009.
49. Bektaş E., Karaarsalan A. “The Comparison of PI Control Method and One Cycle Control Method for SEPIC Converter”, *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, s:345-349. 2017.
50. Sachin C. S., Nayak S. G., “Design and simulation for sliding mode control in DC-DC boost converter,”*2017 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, Coimbatore, s: 440-445, 2017.
51. Li H., Ye X., “Sliding-mode PID control of DC-DC converter,” *2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Taichung, s: 730-734, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Nuri Alper METİN 1995 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kırıkkale’de tamamladı. 2013’te kazandığı Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

Adres: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü 50300- Nevşehir

GSM: 05466928884

e-posta : alper-metin@hotmail.com