

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSELTEN ÇEVİRİCİ TOPOLOJİSİNE SAHİP LİTYUM İYON PİLLER İÇİN
MPPT SOLAR ŞARJ KONTROL CİHAZI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet ÇELİK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSELTEN ÇEVİRİCİ TOPOLOJİSİNE SAHİP LİTYUM İYON PİLLER
İÇİN MPPT SOLAR ŞARJ KONTROL CİHAZI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammet ÇELİK
(D157070007)**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurettin ACIR

OCAK 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün D157070007 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammet ÇELİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "YÜKSELTEN ÇEVİRİCİ TOPOLOJİSİNE SAHİP LİTYUM İYON PİLLER İÇİN MPPT SOLAR ŞARJ KONTROL CİHAZI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nurettin ACIR**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU**
Gebze Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : 25 OCAK 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Muhammet ÇELİK

İmzası :





Ayşenur'a

ÖNSÖZ

Bu tezde, Bursa Teknik Üniversitesi'nde yapmış olduğum Yükselten Çevirici Topolojisine Sahip MPPT Solar Şarj Kontrol Cihazı konulu tez çalışmam sonucunda elde ettiğim bilgileri dikkatinize sunmaktayım. Bu çalışmayı hazırlarken geçirdiğim süreçte benden yardımlarını esirgemeyen Havensis Elektronik firmasındaki çalışma arkadaşlarım Oğuzhan COŞKUN ve Hüseyin ÇELİK'e, başta Prof. Dr. Nurettin ACIR olmak üzere Bursa Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğindeki hocalarıma, ayrıca manevi desteğini her an yanımda hissettiğim anne, babama, kardeşlerime ve dostum Cemal İNCEKARA'ya teşekkür ederim.

Ocak 2019

Muhammet ÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ...	16
1.1 Lityum İyon Pil ve Kurşun Asit Aküler	17
1.2 Güneş Paneli Tanımı	18
1.2.1 Fotovoltaik hücrenin çalışması	19
1.2.2 Monokristal güneş hücresi	20
1.2.3 Poliskristal güneş hücresi.....	21
1.2.4 Güneş hücresi elektriksel karakteristiği	22
1.2.5 Güneş paneli karakteristiği.....	23
1.2.6 Güneş paneli akım, gerilim ve güç karakteristiği	24
1.2.7 Standart test koşullarında akım-gerilim ve güç-gerilim değişimi	24
1.2.8 Değişik ışınımlarda akım gerilim ve güç gerilim değişimi.....	25
1.2.9 Değişik hücre sıcaklığında akım-gerilim ve güç-gerilim değişimi.....	27
1.3 Solar Şarj Kontrol Cihazı Tanımı.....	28
1.3.1 Solar şarj kontrol cihazı tipleri.....	28
1.3.1.1 PWM solar şarj kontrol cihazı çalışması.....	29
1.3.1.2 MPPT solar şarj kontrol cihazı çalışması.....	30
1.3.2 Solar şarj cihazı seçimi	31
1.3.2.1 Güneş paneli gücüne göre seçim.....	31
1.3.2.2 Güneş paneli sayısına göre seçim	31
1.3.2.3 Güneş paneli gücü ve yük oranına göre seçim.....	32
1.3.2.4 Akü gerilimi ve akü sayısına göre.....	32
1.3.2.5 Akü çeşidi ve akü türüne göre seçim	32
1.3.2.6 Saha koşullarına göre seçim.....	32
1.3.2.7 Maliyete göre seçim	33
1.4 Güç Elektroniği Devreleri ve DC-DC Çeviriciler	33
1.4.1 Alçaltan DC-DC çeviriciler	34
1.4.2 Yükselten DC-DC çeviriciler	37
1.4.3 Alçaltan-yükselten DC-DC çeviriciler	37
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
2.1 Yükselten DC-DC Çevirici Devresi	40
2.2 Lityum Pil Şarj Metodu.....	42
2.3 Kurşun Asit Akü Şarj Metodu.....	45

2.4 MPPT Algoritmaları.....	46
2.4.1 DG algoritması.....	48
2.4.2 SG algoritması.....	50
2.4.3 IC Algoritması.....	51
2.5 PID Kontrol Yöntemi	54
3. TASARIM.....	55
3.1 Yükselten Çevirici Teorik Hesaplamalar	55
3.1.1 Maksimum anahtar akımı ve mosfet seçimi	56
3.1.1.1 Mosfet anahtarlama kayıpları.....	57
3.1.1.2 Anahtarlama frekansı ve verimlilik.....	61
3.1.2 Manyetik eleman hesabı ve nüve çekirdek seçimi.....	61
3.1.3 Doğrultucu diyot seçimi.....	66
3.1.4 Kondansatör seçimi.....	68
3.1.5 Soğutucu seçimi	69
3.2 Devre Tasarımı ve Şematik Çizimler	70
3.3 Baskı Devre Çizimi	76
4. TESTLER	80
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

ADC	: Analog Dijital Dönüştürücü (Analog-Digital Converter)
ADO	: Akım Dalgalılık Oranı
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi (Battery Management System)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
DG	: Değişir Gözle
DT	: Görev Çevrim Süresi (Duty Time)
IC	: Artan İletkenlik (Incremental Conductance)
LCD	: Likit Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)
LDO	: Düşük Gerilim Düşümlü (Low Drop Out)
Li-Ion	: Lityum İyon
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking)
MPP	: Maksimum Güç Noktası (Maximum Power Point)
PCB	: Baskı Devre Kartı (Printed Circuit Board)
PID	: Oransal-İntegral-Türevsel
PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
SG	: Sabit Gerilim
UART	: Üniversal Asenkron Alıcı-Aktarıcı (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)

SEMBOLLER

A	: Amper
A_{L(min)}	: Bobinde Tur Sarım için Minimum Henry Değeri
B	: Manyetik Alan
C	: Kondansatör
cm	: Santimetre
C_n	: Akü Kapasitesi ile İlgili Olarak Şarj veya Deşarj Oranı
C_{gd}	: G-D Arası Kapasite
C_{gs}	: G-S Arası Kapasite
°C/W	: Derece/Watt
°C	: Santigrat Derece Sıcaklık
D	: Görev Çevrim Oranı (Duty Cycle)
e⁻	: Elektron
f_p	: Sinyal Periyot Frekansı
f_s	: Sinyal Frekansı
G	: Mosfet Kapı Ucu (Gate)
H	: Henry
\vec{H}	: Manyetik Alan Şiddeti
I_c	: Kondansatör Akımı
I_d	: Diyot Ters Satürasyon Akımı
I_F	: Diyot İletim Yönündeki Akım
I_L	: Bobin Akımı
I_{MPPT}	: MPPT Akımı
I_O	: Çıkış Akımı
I_{OUT(max)}	: Maksimum Çıkış Akımı
I_{rm}	: Maksimum Ters Akım Değeri
I_{REF}	: Referans Akımı
I_{PH}	: Güneş Hücresi Tarafından Üretilen Akım
I_S	: Anahtar Üzerinden Geçen Akım
I_{SC}	: Kısa Devre Akımı
I_{SW(max)}	: Maksimum Anahtar Akımı
k	: Boltzman Sabiti
L	: Endüktans
L_e	: Nüvenin Manyetik Yol Uzunluğu
mm	: Milimetre
m²	: Metrekare
n	: Negatif, Nötr
nS	: Nano Saniye
n_d	: Diyot İdeallik Faktörü
N_{REV}	: Revize Edilen Sarım Sayısı
q	: Elektron yükü
P_D	: Diyot Üzerinde Oluşan Güç Kaybı
P_{MPPT}	: MPPT Gücü

P_{pv}	: Panel Gerilimi
P_{SW}	: Mosfet Kesimden İletime, İletimden Kesime Geçerken Oluşan Anahtarlama Kayıpları
R_{dsON}	: Mosfet İletim Direnci
R_S	: Hücredeki İç Direnç ve Bağlantı Direnci
R_{SH}	: Paralel Kaçak Akım Direnci
Q_G	: Toplam Gate Şarj Yüğü
Q_{GS}	: Gate-Source Arasındaki Şarj Yüğü
Q_{GD}	: Gate-Drain Arasındaki Miller Şarj Yüğü
Q_{OD}	: Miller Kapasitesi Şarj Olduktan Sonraki Aşırı Sürme Şarj Yüğü
Q_{RRC}	: Ters Toparlanma Şarjı
Q_{REF}	: Referans Güneş Işınımı, (W/m^2)
T	: Çalışma Periyodu (Time)
t_a	: P-N Deplesyon Katmanında Depolanan Enerjinin Boşalması İçin Geçen Süre
t_b	: Yarı İletken Bölgede Depolanan Enerjinin Boşalması İçin Geçen Süre
T_C	: Güneş Paneli Çalışma Sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
T_{REF}	: Referans Sıcaklık, ($^{\circ}C$)
T_{RR}	: Ters Toparlanma Süresi
V	: Gerilim / Voltaj
V_C	: Kondansatör Gerilimi
V_F	: Diyotun İletim Yönündeki Gerilimi
V_L	: Bobin Gerilimi
V_{MPPT}	: MPPT Gerilimi
V_{MPP}	: MPP Gerilimi
V_O	: Çıkış Gerilimi
V_{OC}	: Açık Devre Gerilimi
V_{pv}	: Güneş Paneli Gerilimi
V_S	: Kaynak Gerilimi
Y_A	: Soğutucu Yüzey Alanı
W_L	: Bobinde Biriken Enerji
ΔI_L	: Dalgalanma Akımı
ΔI_{Ln}	: Bobin Akımı Negatif Yönde Dalgalanma
ΔI_{LP}	: Bobin Akımı Pozitif Yönde Dalgalanma

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : DG algoritması karar adımları.....	49
Çizelge 3.1 : Tasarım kriterleri tablosu.	55
Çizelge 4.1 : Güneş paneli teknik değerleri.....	83
Çizelge 4.2 : Giriş 24V – çıkış 60V batarya grubu için ölçüm değerleri.	87



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Güneş panelli elektrikli bisiklet.....	16
Şekil 1.2 : Güneş pili hücreninin yapısı [10].....	19
Şekil 1.3 : Güneş hücresinin çalışması [10].	20
Şekil 1.4 : Monokristal güneş hücresi [12].....	21
Şekil 1.5 : Polikristal güneş hücresi [12].....	21
Şekil 1.6 : Güneş hücrelerinin seri ve paralel bağlantısı [10].....	22
Şekil 1.7 : Güneş hücresi eşdeğer devre modeli [14].	23
Şekil 1.8 : Güneş paneli akım, gerilim ve güç gösterimi [16].	24
Şekil 1.9 : 72 hücre 140W güneş paneli akım-gerilim ve güç-gerilim değeri [16]. ..	25
Şekil 1.10 : Işınlıma göre güneş paneli akım-gerilim değışimi [13].	26
Şekil 1.11 : Işınlıma göre güneş paneli güç-gerilim değışimi [13].....	26
Şekil 1.12 : Sıcaklığa bağlı güneş paneli akım-gerilim değışimi [13].....	27
Şekil 1.13 : Sıcaklığa bağlı güneş panel güç-gerilim değışimi [13].....	28
Şekil 1.14 : Güneş paneli maksimum güç noktası [17].	29
Şekil 1.15 : PWM solar şarj kontrol ve güneş paneli gücü arasındaki ilişki [17].....	30
Şekil 1.16 : MPPT solar şarj kontrol ve güneş paneli gücü arasındaki ilişki [17].....	30
Şekil 1.17 : a) Alçaltan çevirici devresi, b) anahtar iletimde, c) anahtar kesimde. ...	34
Şekil 1.18 : Alçaltan çevirici devresinde bobin akımı ve çıkış gerilimi değışimi [14].	35
Şekil 1.19 : a) Alçaltan-yükselten çevirici, b) anahtar iletimde, c) anahtar kesimde.	38
Şekil 1.20 : Alçaltan-yükselten çevirici bobin akımı ve çıkış gerilimi değışimi [14].	39
Şekil 2.1 : a) Yükselten çevirici devresi, b) anahtar iletimde, c) anahtar kesimde....	40
Şekil 2.2 : Yükselten çevirici devresinde bobin akımı ve çıkış gerilim değışimi [14].	41
Şekil 2.3 : Lityum pil şarj kademeleri [19].....	43
Şekil 2.4 : Li-Ion pil şarj olurken zamanla akım, gerilim ve kapasite değışimi [19].	44
Şekil 2.5 : Kurşun asit akü şarj aşamaları [19].	45
Şekil 2.6 : a) Güneş paneli akım gerilim eğrisi, b) güç gerilim eğrisi [14].	46
Şekil 2.7 : MPPT güç kontrol yapısı.....	47
Şekil 2.8 : a) Güneş paneli ışınım, b) sıcaklığa bağlı MPP değışimi [14].....	47
Şekil 2.9 : DG salınım grafiği [14].	48
Şekil 2.10 : Değişken ışınımlarda güneş paneli güç – gerilim karakteristiği [23].....	48
Şekil 2.11 : DG algoritması akış diyagramı.	49
Şekil 2.12 : Değişken güç değeriinde farklı MPP noktaları	50
Şekil 2.13 : Sabit gerilim metodu akış diyagramı.	51
Şekil 2.14 : Güneş panel güç gerilim değışimi [14].	52
Şekil 2.15 : Artan iletkenlik algoritması [25].	53
Şekil 2.16 : PID kontrol diyagramı [29].	54
Şekil 3.1 : Yükselten çevirici prensip şema [30].	56

Şekil 3.2 : Mosfet parazitik kapasiteler [31].	58
Şekil 3.3 : Cgs ve Cgd değişimi [31].	58
Şekil 3.4 : Toplam kapı şarjı [32].	59
Şekil 3.5 : Anatarlama kayıpları ve geçişler [33].	60
Şekil 3.6 : Anahtarlama frekansı ve verim arasındaki ilişki [31].	61
Şekil 3.7 : Kool Mu ve Toz Demir çekirdek kaybı [35].	63
Şekil 3.8 : Kool Mu nüve seçim tablosu [36].	64
Şekil 3.9 : Kool Mu manyetik geçirgenlik grafiği [36].	65
Şekil 3.10 : a) Diyot akım b) diyot gerilim c) diyot güç değişim grafikleri [31].	67
Şekil 3.11 : Soğutucu.	70
Şekil 3.12 : Yükselten çevirici güç kontrol birimi.	71
Şekil 3.13 : Mikroişlemci birimi.	72
Şekil 3.14 : ADC okuma birimleri.	72
Şekil 3.15 : Besleme katı DC-DC çevirici devresi.	73
Şekil 3.16 : Lineer regülatörler.	73
Şekil 3.17 : Mosfet sürücü.	74
Şekil 3.18 : Mosfet sürücü besleme devresi.	74
Şekil 3.19 : Koruma mosfetleri sürme devreleri.	75
Şekil 3.20 : Akım sensörü ve bastırma devresi.	75
Şekil 3.21 : Akım sensör açma kapatma devresi.	76
Şekil 3.22 : LCD devresi.	77
Şekil 3.23 : Baskı devre çizimi ön yüzey görünümü.	77
Şekil 3.24 : Baskı devre çizimi arka yüzey görünümü.	78
Şekil 3.25 : Baskı devre çizimi elemansız üç boyutlu görünüm.	78
Şekil 3.26 : Baskı devre çizimi elemanlı üç boyutlu görünüm.	79
Şekil 4.1 : Yükselten çevirici topolojisine sahip MPPT solar şarj kontrol cihazı.	80
Şekil 4.2 : MPPT solar şarj kontrol cihazı arka yüz görünümü.	81
Şekil 4.3 : Tasarım üzerinde devre birimleri konumu	82
Şekil 4.4 : Soğutucu üzerine yerleştirilen devrenin son hali.	83
Şekil 4.5 : Test ve ölçüm düzeneği.	84
Şekil 4.6 : Lityum iyon batarya ölçüm düzeneği.	85
Şekil 4.7 : G-S ve D-S sinyalleri osiloskop görüntüsü.	85
Şekil 4.8 : Mosfet D-S uçları ve akım sensörü çıkışındaki sinyal.	86
Şekil 4.9 : Mosfet G-S kesime girme zamanı.	86
Şekil 4.10 : Yükselten çevirici verim değişimi.	88

YÜKSELTEN ÇEVİRİCİ TOPOLOJİSİNE SAHİP LİTYUM İYON PİLLER İÇİN MPPT SOLAR ŞARJ KONTROL CİHAZI

ÖZET

Yapılan bu çalışmada, yükselten çevirici topolojisine sahip MPPT solar şarj kontrol cihazı geliştirilerek elektrikli bisiklet ve yük taşıma araçlarının seyahat halinde güneş enerjisinden destek alarak bataryalarını şarj edip daha uzun mesafe yol alabilmesi amaçlanmıştır. Yine bu çalışmada Lityum İyon (Li-Ion) pillerin şarj karakteristikleri incelenmiştir. Aynı zamanda güneş panellerinin elektriksel modelleri irdelenmiş ve Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) algoritmaları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Doğru Akım (DC) – Doğru Akım (DC) çevirici topolojileri üzerinde hesaplamalar yapılmış ve Li-Ion piller ve kurşun asit akülerin güneş panelleri kullanılarak güvenli ve verimli bir şekilde şarj edilebilmesi sağlanmıştır. Güneş panellerinden üretilen enerji ile Li-Ion pillerin ve kurşun asit akülerin şarj edilebilmesi için MPPT yapabilen ve aynı zamanda düşük gerilim değerine sahip tek parça güneş panelinden yüksek gerilimli batarya grubunu şarj edebilmek için yükselten çevirici topolojisine sahip solar şarj kontrol cihazı tasarımı yapılmıştır. Tasarım adımlarında öncelikle sistem gereksinimleri ve proje hedefleri belirlenmiştir. Sonra belirli kabuller çerçevesinde teorik hesaplamalar yapılmıştır. MPPT algoritmaları arasında efektif olarak uygulanabilir yöntem olarak klasik değiştir gözle algoritması yerine çok noktalı değiştir gözle algoritması kullanılmıştır. Güç elektroniği devrelerinde anahtarlama kayıpları incelenmiş ve tasarımda verimi ön planda tutacak şekilde dizayn gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, gelecekte yapılacak olan güneş enerjili elektrikli araçlar için batarya şarjı sistemlerini destekleyecek bir ön çalışma olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Güç Noktası Takibi, Güneş Paneli, Lityum İyon Pil Şarj, Yenilenebilir Enerji

MPPT SOLAR CHARGE CONTROLLER FOR LITHIUM ION BATTERY WITH BOOST CONVERTER TOPOLOGY

SUMMARY

In this study, solar charge controller MPPT which has amplifier topology has been developed and it is aimed to charge electric batteries and load transportation vehicles by taking support from solar energy in travel and to take longer distance. In this thesis, Lithium Ion (Li-Ion) battery charging characteristics are investigated. At the same time, electrical models of solar panels were examined and Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms were studied on. Some calculations have been made on Direct Current (DC) - Direct Current (DC) transformer topologies of the electricity and it've been provided that Li-Ion batteries and lead acid batteries can be charged safely and efficiently by using solar panels. A solar charge controller has been designed for making MPPT for charging of Li-Ion batteries and lead-acid batteries with energy that is generated from solar. And this solar charge controller has also a topology converter to charge a high-voltage battery pack from a single-piece solar panel with a low-voltage value converter. In the design steps, firstly, after the system requirements and project objectives were determined, theoretical calculations were made within the framework of certain assumptions. Among MPPT algorithms, as an effective method that can be used, classical change visualization algorithm have been used instead of a multi-point change visual algorithm. The switching losses in power electronics circuits have been examined and the design have been designed with considering efficiency in the foreground. This study have been also evaluated as a preliminary study to support battery charging systems for future solar powered electric vehicles.

Keywords: Maximum Power Point Tracking, Solar Panel, Lithium Ion Battery Charger, Renewable Energy

1. GİRİŞ

Lityum tabanlı piller üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları başta tüketici elektroniği olmak üzere özellikle elektrikli araçların taşıma sektöründeki öneminin artmasıyla da gün geçtikçe önemli bir hale gelmektedir. Li-Ion bataryalar birçok alanda karşımıza çıkmakta ve tüketiciler tarafından tercih edilmektedirler.

Enerji depolama sistemlerine karşı oluşan ihtiyaç artarak kısa zamanda elektrikli araçların üretiminin yaygınlaşması ile Li-Ion pillere olan talebi daha da arttıracaktır [1]. Güneş enerjisi sistemleri gelişim gösterdikçe, alternatif depolama sistemleri de değişmektedir. Daha uzun ömürlü ve fazla şarj edilebilme kapasitesi oluşturmak için, elektrikli araçlarda kullanımından sonra lityum piller artık yenilenebilir enerji sistemlerinin de tercih edilen önemli bir depolama sistemi olmaya başlamaktadır. Elektrikli araçlarda mevcut pil teknolojileri henüz istenen performansı ve menzili elde edebilecek düzeyde değildir. Bu yüzden mevcut pil teknolojilerinin performanslarının artırılması ve ömürlerinin uzatılması için etkili bir Batarya Yönetim Sistemine (BMS (Battery Management System)) ihtiyaç duyulmaktadır [2].

Elektrikli araçlarının menzillerinin artırılması için güneş panelleri kullanılarak menzil artırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda araç menzilin belli bir oranda arttığı görülmüştür [3]. Özellikle son zamanlarda yaygınlaşmakta olan “Triportör” olarak adlandırılan üç tekerlekli bisiklet tipinde olan araçlarda gerekli enerji ihtiyacını karşılamak için kurşun asit akülerin yerine Li-Ion piller kullanılmaya başlanmıştır. Elektrikli bisiklete ait görsel Şekil 1.1’de yer almaktadır.



Şekil 1.1 : Güneş panelli elektrikli bisiklet.

Güneş panellerinden üretilen elektrik, elektrikli araçların özellikle de üç tekerlekli triportörlerin Li-Ion veya kurşun asit bataryasının şarj edilmesi, menzil artışına etki etmektedir. Bataryaların güneş panelinden şarj edilebilmesi solar şarj kontrol cihazları ile sağlanmaktadır [4].

Bu tez çalışmasında lityum pillerin şarj karakteristikleri incelenmiştir. Aynı zamanda çevirici topolojileri üzerinde hesaplamalar yapılmış ve Li-Ion pillerin güneş panelleri kullanılarak güvenli ve verimli bir şekilde şarj edilebilmesi sağlanmıştır.

1.1 Lityum İyon Pil ve Kurşun Asit Aküler

Lityum tabanlı ve en çok bilinen adıyla Li-Ion pil bir çeşit tekrar şarj edilebilir pil türüdür. Çoğunlukla elektronik aletlerde ve elektrikli araçlarda kullanılmaktadır. Gramaj ve boyutlarına oranla verdikleri yüksek enerji yoğunluğu ile diğer pil türleriyle kıyaslandığında avantajlı bir elektrik depolama kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır [5].

1970 yılında lityum metalinin enerji uygulamalarında kullanımına ait avantajlar fark edildikten sonra 1972 yılında Exxon ilk defa lityum pilini üretmiştir. 1991 yılında ilk defa Sony firması ilk ticari Li-Ion pili üretmiştir. Bu hücrelerde 3,6 Volt üstünde potansiyel fark elde edilmiş ve uzun kullanım döngüleri boyunca kararlılık gösteren Li-Ion pillerin üretilmesi başarılmıştır. Daha sonraki yıllarda pil teknolojisinde rekabet hızla artmış ve özellikle pillerin kullanım ömürleri (şarj-deşarj çevrimi), hacimsel enerji yoğunlukları, güvenlikleri ve yüksek sıcaklıklarda kararlı yapıları üzerinde iyileştirme çalışmaları hız kazanmıştır.

Genel olarak Li-Ion pillerin diğer pil çeşitleriyle (gümüş-çinko, nikel-çinko, nikel-hidrojen) karşılaştırıldığında gösterdikleri avantaj ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilmektedir.

Avantajlar :

- Yüksek enerji verimi
- Kullanım ömrünün uzunluğu
- Geniş çalışma sıcaklık aralığı
- Çabuk şarj olabilme kabiliyeti
- Yüksek güçlüdeşarj kapasitesi

Dezavantajlar :

- Yüksek Maliyet
- Yüksek sıcaklıklarda bozulabilmesi
- Koruyucu devre ihtiyacı
- Aşırı şarj sonucunda kapasite kaybı

Bunların yanı sıra Li-Ion pillerde hafıza etkisi olmadığından bu pilleri şarj etmek için tam olarak boşalmalarını beklemek gerekmemektedir. Aynı zamanda kullanılmadıkları zamanlarda da enerji kayıpları diğer pillere göre daha yavaştır [6]. Doğru şekilde kullanılmadığı takdirde tehlikeli sonuçlar ortaya çıkarabilirken yanlış kullanıldığında ise kullanım ömrü azalabilmektedir. Li-Ion pillerin olumsuz yanı kullanım ömürlerinin üretim tarihlerinde başlamasıdır, şarj edilmesi veya edilmemesi ömrünün azalmasına etki etmemektedir. Ticari değeri olan Li-Ion pilin yüksek kapasitelerde hizmet vermesi de beklenmektedir [7].

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan yapıya kurşun asit akü denilmektedir. Ticari olarak üretilen ve kullanılan 12V aküler birbirine seri olarak bağlı bulunan altı adet 2V hücreden meydana gelmektedir. Hücreler arasında, kısa devreyi önlemek için plakaları izole eden separatörler/ayırıcılar yerleştirilmiştir. Her bir hücre arası seri olarak kurşun bağlantı elemanları ile birleştirilmektedir.

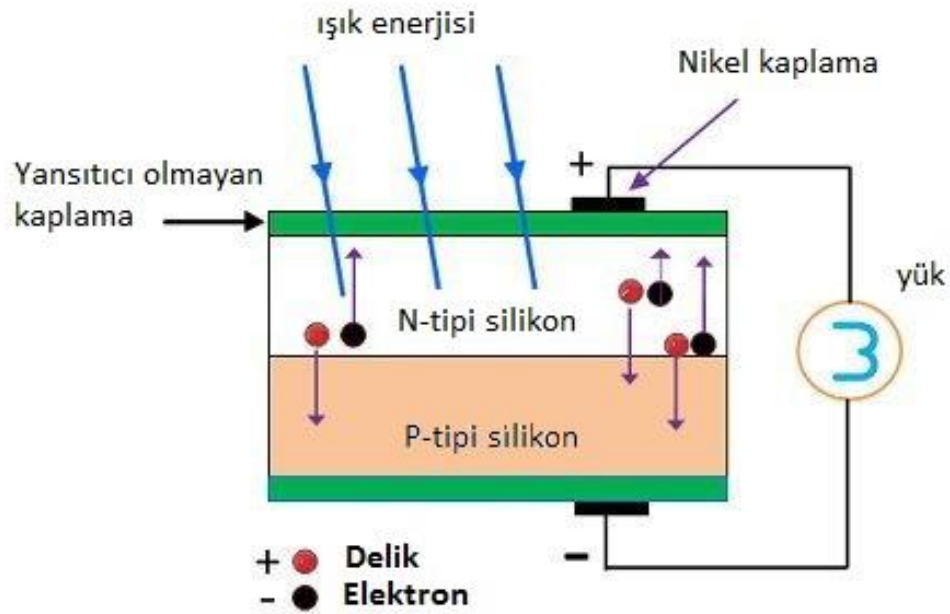
1.2 Güneş Paneli Tanımı

“Güneş pili” veya “güneş hücresi” olarak bilinen ve güneş ışığından elektrik üreten fotovoltaiik hücreler, ilk olarak 1839 yılında Becquerel tarafından araştırılmaya başlanmış ve 1954 yılında modern anlamdaki fotovoltaiik hücreler geliştirilerek uzay teknolojisinde ve uydu araçlarında elektrik üretim kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen yıllarda gelişen teknoloji sayesinde güneş panelleri günümüzdeki halini almış ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [4].

Bir güneş hücresi, yüzeyine çarpan güneş ışınındaki enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire biçiminde olup, alanları 100 cm² civarında, kalınlıkları 0,2 veya 0,4 mm civarındadır [8].

Güneş hücresi, güneşin yaydığı fotonları emerek yani fotonun sahip olduğu enerjiyi kendi yapısında bulunan serbest elektronlara kazandırarak elektrik akımının oluşmasını sağlamaktadır. Oluşan bu elektrik akımı, doğru akım yapısındadır ve elektrik akımının büyüklüğü, güneş ışınım şiddeti, hücre sıcaklığı ve çevresel sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [9].

Şekil 1.2’de silikon güneş pili hücresinin yapısı gösterilmiştir. Hücrenin üst yüzeyi, p-tipi malzemedan ince tabaka şeklinde yapılmıştır. Böylece ışık, hücre içerisine kolaylıkla girebilmektedir. Metal halkalar, sırasıyla pozitif ve negatif çıkış terminalleri olarak işlev gören p tipi ve n tipi malzemenin etrafına yerleştirilmektedir.



Şekil 1.2 : Güneş pili hücresinin yapısı [10].

Güneş hücreleri, genellikle silisyum yarı iletkeninin çeşitli süreçlerden geçirilmesi neticesinde üretilmektedir. Erimiş halde bulunan silisyum elementi katkılanarak p ve n tipi malzemeler oluşturulmaktadır [9].

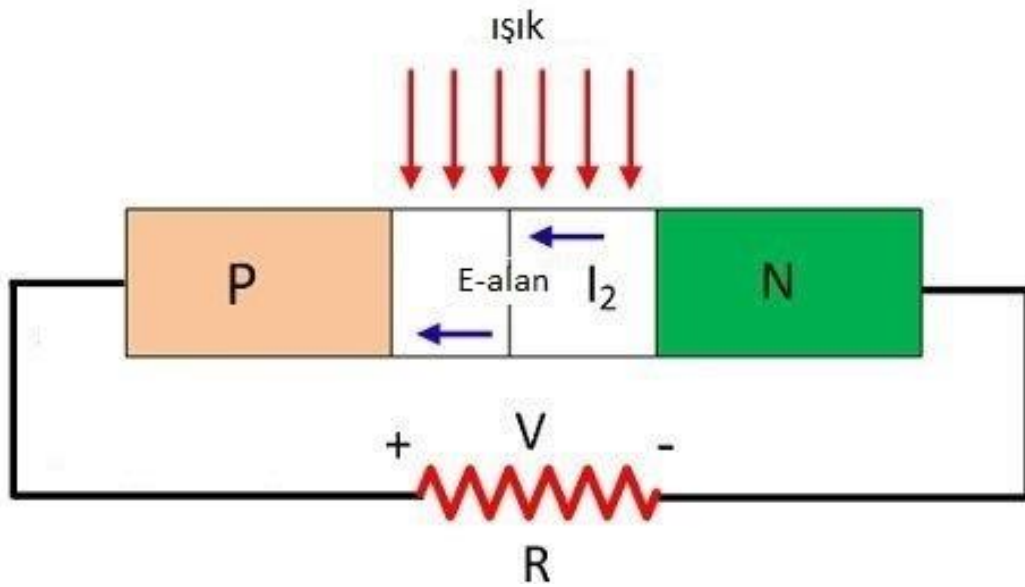
1.2.1 Fotovoltaik hücrenin çalışması

Güneş hücresi, yarı iletken malzemedan imal edilir ve ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için verimli hale getirmektedir.

Yarı iletken malzeme ışığı soğurduğunda, malzemenin elektronlarını hareketlendirmeye başlamaktadır. Bunun sebebi, ışığın yapısında foton adı verilen

küçük enerji parçacıklarının bulunmasıdır. Elektronlar fotonları soğurduğunda, enerjilenirler ve malzemeye doğru hareket etmeye başlar. Oluşan elektrik alanın etkisi nedeniyle, parçacıklar sadece bir yönde hareket ederek, akımı oluşturmaktadır.

Şekil 1.3 silikondan oluşan güneş hücresi ve uçlarına bağlı bulunan direnç göz önüne alındığında güneş hücresinin yarı iletken P ve N tipi katmanlardan oluştuğu görülmektedir. Bu katmanlar, p-n eklemeni oluşturmak için bir araya getirilir. Işık bu birleşim noktasına ulaştığında elektrik alan oluşur ve elektrik akımı meydana gelmektedir [9].



Şekil 1.3 : Güneş hücresinin çalışması [10].

1.2.2 Monokristal güneş hücresi

Monokristal güneş hücreleri yüksek saflıkta bulunan polikristal malzeme içerisinde eritilir. Tekli kristalli silikon tanecikleri erimiş, polikristal malzeme içine batırılır. Sonrasında erimiş malzeme içerisinden yavaş yavaş çekilerek yığın durumundaki nesnelerin oluşturduğu öbek halinde bir yapı meydana gelir. Bu yapı düzgün parçalar halinde kesilir ve kesilerek elde edilen parçalara katkılandırma, kaplama işlemi ve elektriksel bağlantılar yapılarak güneş hücresi meydana gelmektedir.

Ticari olarak monokristal hücreye sahip güneş panelleri %15 - %20 aralığında bir verim değerine sahiptirler [11]. Klasik bir monokristal yapıda güneş hücresi Şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4 : Monokristal güneş hücresi [12].

1.2.3 Poliskristal güneş hücresi

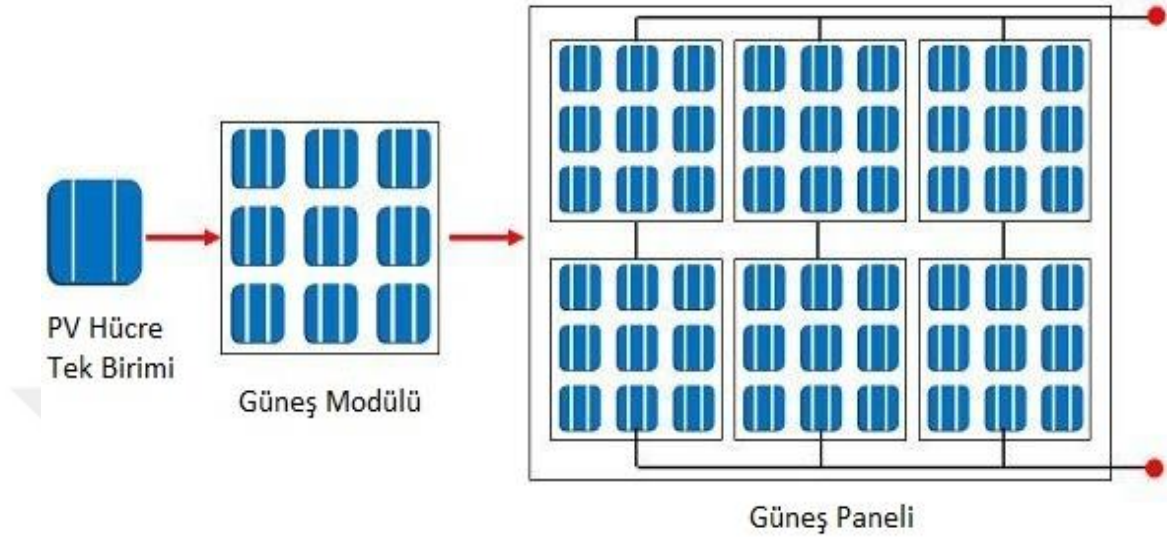
Polikristal güneş hücresinin dış kristal formu, elektronun akışına zorluk çıkardığından dolayı monokristal güneş hücrelerine göre verimleri biraz daha düşüktür. Yaklaşık verimleri % 10-% 14 mertebesinde dir. Monokristal hücreler ile kıyaslandığında üretimi daha kolay olmaktadır. Çünkü silikon külçe doğrudan ince şekilde erimiş malzeme içerisinden çıkarılmaktadır ve kesim işlemi gerekmemektedir. Ayrıca monokristal hücrelere göre yapısal olarak daha dayanıklıdır [9]. Klasik polikristal yapıdaki bir fotovoltaik hücre Şekil 1.5'te görülmektedir.



Şekil 1.5 : Polikristal güneş hücresi [12].

Fotovoltaik sistemlerde alınacak gücü arttırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri olarak bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir. Bu yapıya güneş paneli ya da fotovoltaik modül adı verilmektedir. Güç talebine bağlı

olarak güneş panelleri Şekil 1.6’da gösterildiği gibi birbirine seri ya da paralel bağlanarak birkaç W seviyesinden kW ve MW seviyelerine kadar sistemler oluşturulmaktadır [8].



Şekil 1.6 : Güneş hücrelerinin seri ve paralel bağlantısı [10].

1.2.4 Güneş hücresi elektriksel karakteristiği

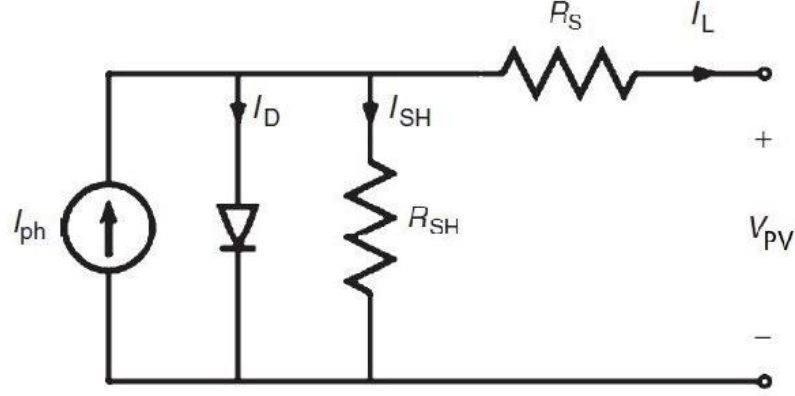
Güneş hücresi P ve N katkılı malzemelerden oluştuğu için diyot ile benzer şekilde modellenmektedir. Güneş hücresinin modellenmesi için literatürde birden fazla yaklaşım bulunmaktadır ve birçok eşdeğer devre modeli geliştirilmiştir. Tek diyotlu devre modeli, çift diyotlu devre modeline kıyasla hesap kolaylığı sunması ve diğer modellere göre daha gerçekçi sonuçlar vermesinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır [13]. Bu çalışmada tek diyotlu eşdeğer devre modeli kullanılmıştır.

Güneş hücresinde iki farklı katman temas halinde olduğundan sınırda bir P-N eklem birleşmesi oluşmaktadır. Işığın serbest bıraktığı yük taşıyıcıları ayrışmaya sebep olarak, içerisindeki elektronları serbest bırakır ve elektriksel akım meydana gelir. Güneş hücresi eşdeğer devresi Şekil 1.7’de gösterilmektedir.

Devredeki parametreler I_{ph} , I_L , I_d , R_{sh} ve R_s ’dir. Burada, I_{ph} , güneş hücresi akımını, R_s , hücredeki iç direnci ve bağlantı dirençlerini, R_{sh} direnci de paralel kaçak akım direncini temsil etmektedir. I_d ve n_d , diyota ilişkin büyüklüklerdir. Diyota ilişkin eşitlik Denklem 1.1’de verilmiştir. Bu denklemde q , bir elektron yükünü, k , boltzman sabitini, I_0 diyot ters doyumluk akımı, q , elektron yükünü, n , diyot ideallik faktörünü, T , güneş pili çalışma sıcaklığını ifade etmektedir. Sıcaklık birimi Kelvin’dir [13].

Diyot akımı Shockley denklemiyle verilir: [14].

$$I_D = I_0 [e^{(qV/n_a kT)} - 1] \quad (1.1)$$



Şekil 1.7 : Güneş hücresi eşdeğer devre modeli [14].

Güneş hücresi uçlarına yük bağlandığında Şekil 1.7’de gösterildiği üzere uçlarından akan I_L akımı Denklem 1.2 ile gösterilebilir.

$$I_L = I_{PH} - I_{SH} \quad (1.2)$$

Güneş hücresi üzerine düşen güneş ışınım miktarı arttıkça elektrik akımı da artmaktadır. Güneş hücreleri, karakteristik olarak yapısında diyot bulunmasından dolayı lineer değildir [15]. Doğrudan yük ile bağlantı yapılması durumunda, tek ve mutlak bir yük değeri için maksimum güç verebilmesi durumu söz konusu olmaktadır. Bir başka ifadeyle optimum yük değeri her koşul için tektir. Her çevresel koşul için farklı bir yük bağlantısı mümkün olmadığı için, fotovoltaik sistemler DC-DC dönüştürücü veya evirici gibi harici olarak bağlanan bir devre yardımıyla yüke güç aktarabilirler [9].

Güneş panellerinin değişen ışınım ve yük durumlarında verebilecekleri maksimum güç değerini tespit etmek için MPPT prensibi ile kontrol edilen DC-DC dönüştürücü devreler kullanılmaktadır. MPPT noktasının tespiti için birden fazla yöntem geliştirilmiştir.

1.2.5 Güneş paneli karakteristiği

Güneş panelleri birden fazla güneş hücresinin bir araya gelmesi ile oluşurlar. İstenen gerilim ve akım değerleri için güneş hücreleri seri ve/veya paralel bağlantı yapılarak gruplanmaktadır.

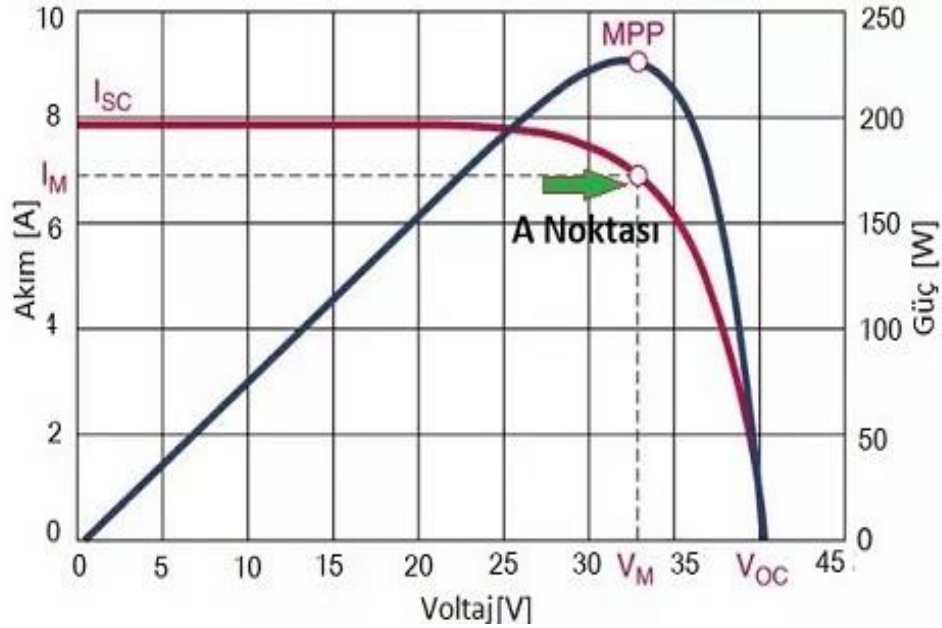
Bu grupta sonucunda elde edilen güneş paneli gücü Denklem 1.3'te gösterilmiştir.

$$P_{pv} = I_{pv} * V_{pv} \quad (1.3)$$

Güneş hücreleri yapı itibarıyla çok hassastır bu yüzden ticari olarak kullanılan güneş panelleri özel yüzeyler üzerine yerleştirilir ve laminasyon işlemi yapılarak, çerçevesiyle satışa sunulmaktadır [9].

1.2.6 Güneş paneli akım, gerilim ve güç karakteristiği

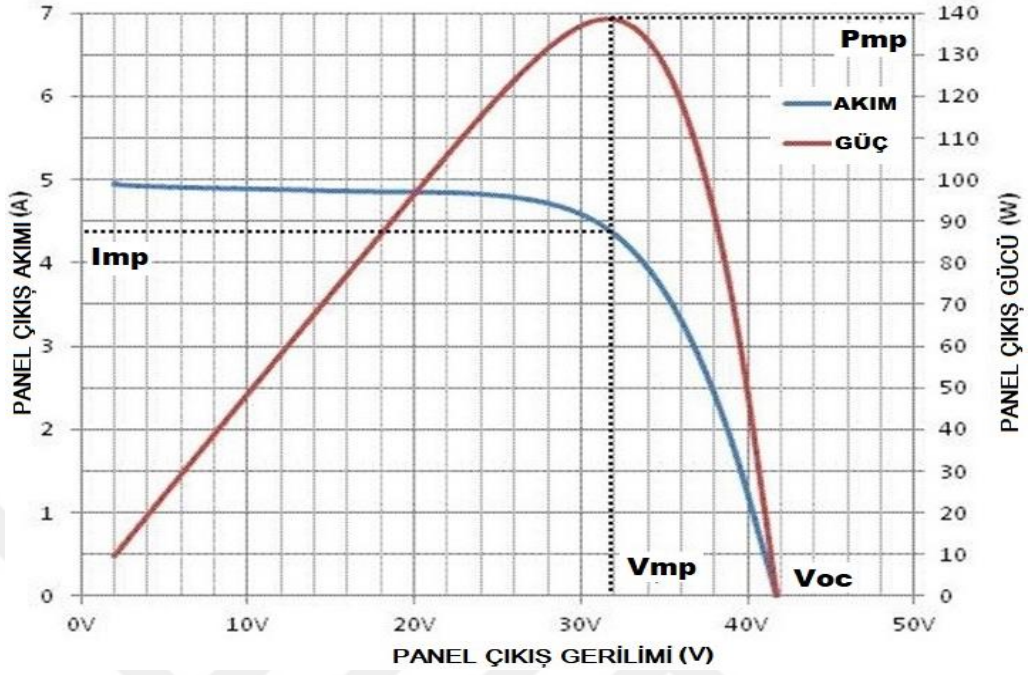
Güneş paneli, Şekil 1.8'de gösterilen Akım-Gerilim grafiğindeki A noktasına göre akım ya da gerilim kaynağı olarak karakterize edilebilir. Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim genel karakteristik grafikleri olmakla beraber bu grafikler güneş ışınımı ve sıcaklık koşullarına göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 1.8 : Güneş paneli akım, gerilim ve güç gösterimi [16].

1.2.7 Standart test koşullarında akım-gerilim ve güç-gerilim değişimi

Güneş paneli için, 1000W/m² güneş ışınımı, 25°C çevre sıcaklığı, Hava Kütleli (A.M. (Air Mass)) 1.5 şartları standart test koşullardır. Güneş ışınım şiddetinin birimi W/m² 'dir. Klasik ticari bir güneş paneline ait Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim grafiği Şekil 1.9'daki gibidir.



Şekil 1.9 : 72 hücre 140W güneş paneli akım-gerilim ve güç-gerilim değeri [16].

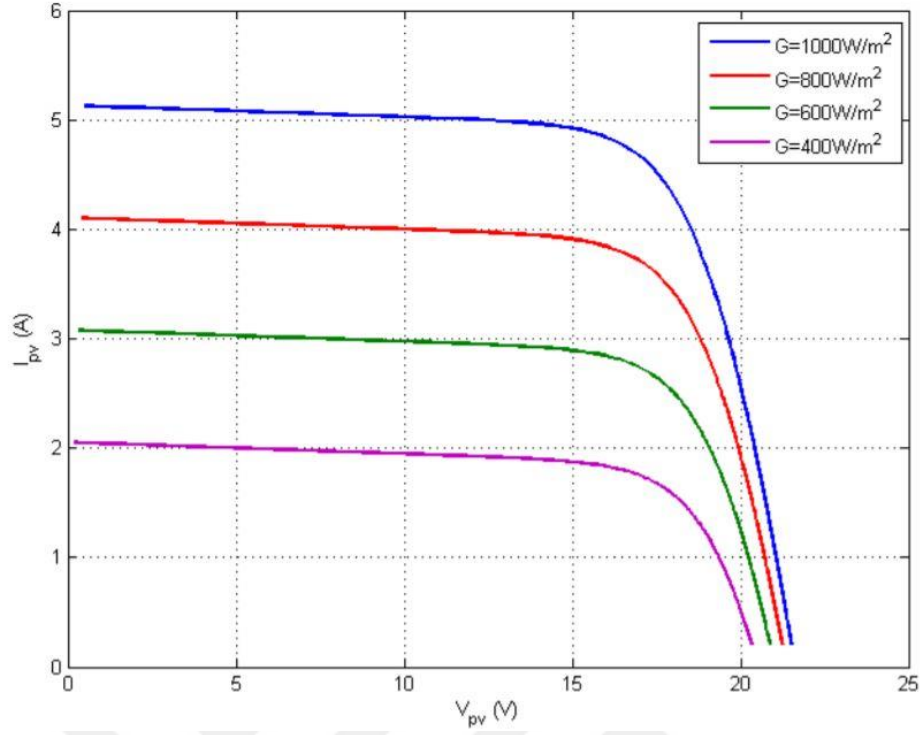
1.2.8 Değişik ışınımlarda akım gerilim ve güç gerilim değişimi

Güneş panelinin Denklem 1.2'deki akım denkleminde I_{PH} ifadesi, Denklem 1.4 ifadesiyle analiz edilebilmektedir. Denklem 1.5'de görüldüğü üzere akım, güneş ışınımı ile doğru orantılı bir şekilde değişmektedir. Bu durum, Şekil 1.10'daki grafikten anlaşılmaktadır.

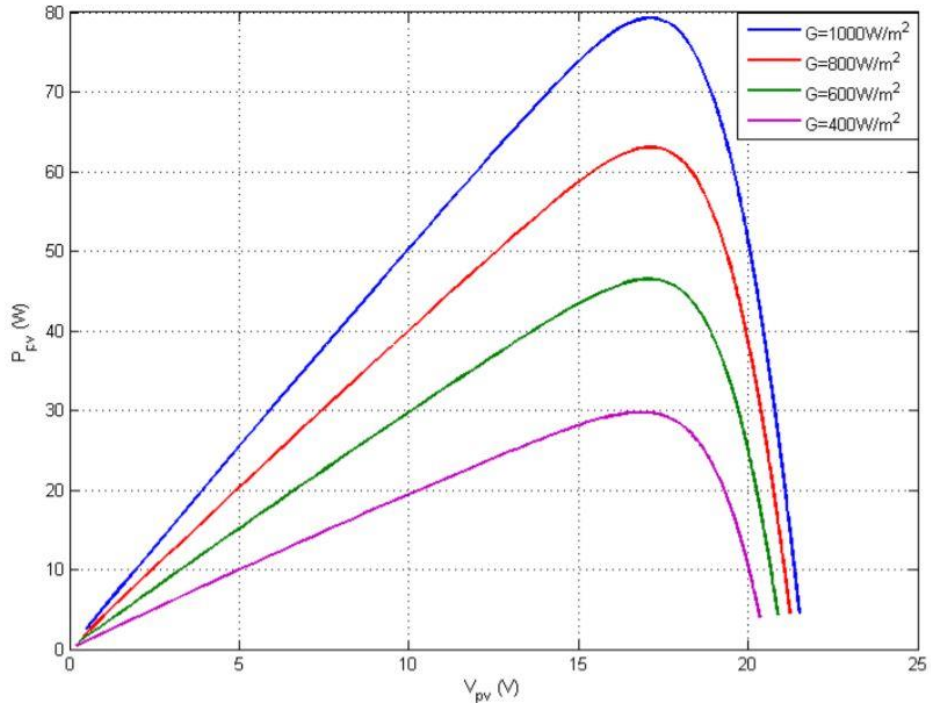
Benzer şekilde güç ve gerilim arasındaki değişimde Şekil 1.11'de görülmektedir. Açık devre gerilimi ise ışınım değişimiyle de bağlantılıdır. Denklem 1.5'de görüldüğü şekilde açık devre gerilimi ile ışınım arasındaki değişim logaritmik şekilde olmaktadır.

$$I_{PH} = [I_{SC} - K_I(T_C - T_{REF})] \frac{Q_{MEV}}{Q_{REF}} \quad (1.4)$$

$$V_{OC,ref} = \frac{AkT_C}{q} \ln \left(\frac{I_{PH}}{I_S} \right) \quad (1.5)$$



Şekil 1.10 : Işınımına göre güneş paneli akım-gerilim değişimi [13].



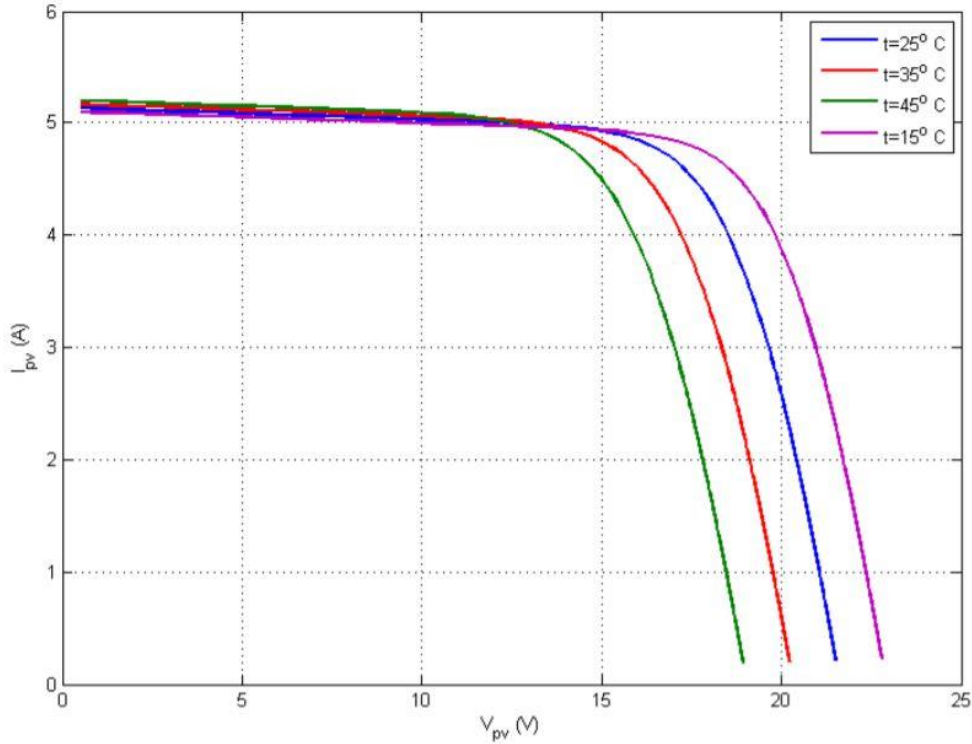
Şekil 1.11 : Işınımına göre güneş paneli güç-gerilim değişimi [13].

1.2.9 Değişik hücre sıcaklığında akım-gerilim ve güç-gerilim değişimi

Ortam sıcaklığı ve ışınımaya bağlı olarak eklem bölgesi sıcaklığındaki değişim, güneş panelinin ürettiği güç performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Güneş paneli eklem bölgesi çalışma sıcaklığı Denklem 1.6 ile ifade edilir;

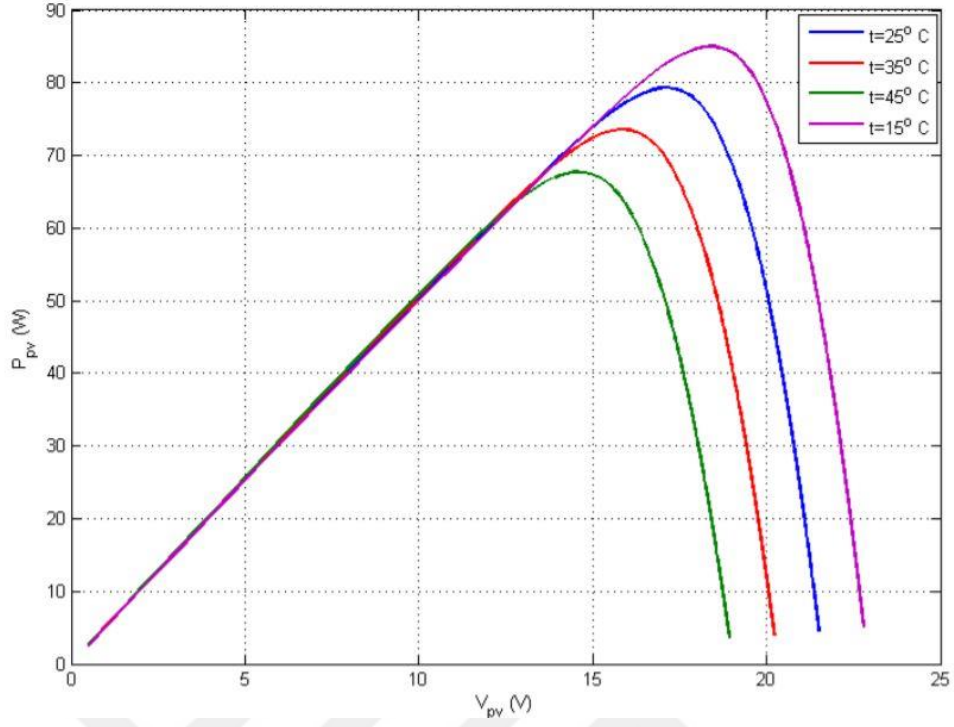
$$T_C = T_{REF} + C_1 Q_{MEV} \quad (1.6)$$

Denklemden yer alan C_1 katsayısı, deneysel olarak elde edilmektedir. Bu katsayı doğrudan T_C eklem bölgesi sıcaklığını etkilediği için son derece önemlidir. Bundan dolayı bu katsayının mümkün olduğu kadar küçük bir değerde olması istenmektedir. Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'te sırasıyla eklem bölgesi sıcaklığına bağlı olarak akım-gerilim ve güç-gerilim değişimi görülmektedir.



Şekil 1.12 : Sıcaklığa bağlı güneş paneli akım-gerilim değişimi [13].

Güneş paneli sıcaklığının artması, kısa devre akımının, $K_I (T_C - T_{REF})$ oranında artmasını sağlarken, açık devre gerilimini $K_V (T_C - T_{REF})$ değerinde azalmasına sebep olmaktadır. Gerilimdeki değişimin büyüklüğü Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'de görülmektedir. Akımdaki artma seviyesi, gerilimdeki azalma seviyesine denk olmadığından dolayı toplam kayıp karşılanamadığı için üretilen güç azalmaktadır.



Şekil 1.13 : Sıcaklığa bağlı güneş panel güç-gerilim değişimi [13].

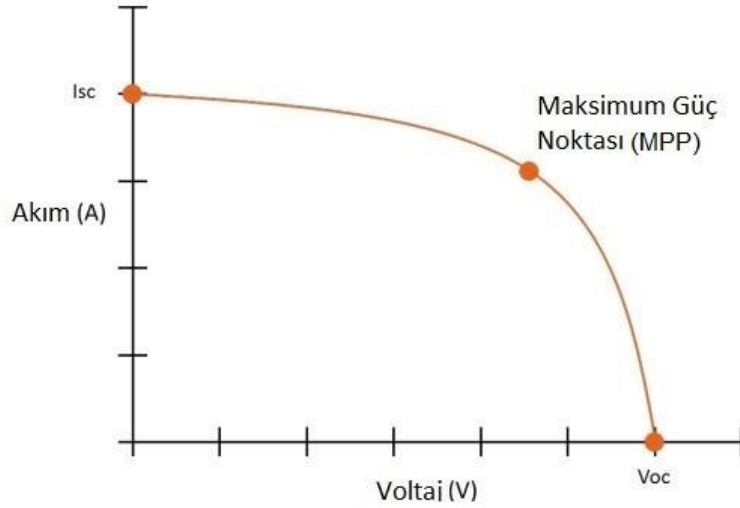
1.3 Solar Şarj Kontrol Cihazı Tanımı

Solar şarj kontrol cihazı veya solar şarj regülatörü, güneş panellerinden gelen akımı ve gerilimi düzenleyerek akünün aşırı şarj olmasını engelleyen cihazdır. Şarj kontrol cihazı aküler dolduktan sonra akımı kesmektedir ve böylece, akü fazla şarja maruz kalmamaktadır bu durum akü ömrünün daha uzun olmasını sağlamaktadır. Şarj regülatörü güneşten elektrik üretim sisteminin performansını ve ömrünü etkileyen en önemli cihazdır.

1.3.1 Solar şarj kontrol cihazı tipleri

Bir güneş paneli için solar şarj kontrol cihazları arasında iki farklı teknikte çalışan cihazlar bulunmaktadır. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM (Pulse Width Modulation)) adıyla bilinen cihazlar ve Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT (Maximum Power Point Tracking)) prensibiyle çalışan cihazlardır. Bu teknolojiler, çoğunlukla şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinde kullanılmaktadır ve bataryaları güvenli ve verimli bir şekilde şarj etmek için gereklidirler. PWM ve MPPT arasında seçim yaparken sistemin tasarımında en iyi şekilde çalışacak solar şarj kontrol cihazı tipini belirlemek gerekmektedir. PWM ve MPPT solar şarj kontrol cihazları

arasındaki farkı anlamak için, bir güneş panelinin normal güç eğrisi Şekil 1.14 'te gösterilmiştir. Güneş paneli tarafından üretilen gerilim ve akıma bağlı olarak beklenen maksimum güç üretimini göstermektedir. En fazla gücü elde etmek için akımın ve gerilimin kesiştiği ideal noktaya Maksimum Güç Noktası (MPP (Maximum Power Point)) denilmektedir. Bu nokta, gün içindeki ışınım şiddetine ve sıcaklığı bağlı olarak değişmektedir. Bu konunun detaylı anlatımı Bölüm 1.2'de yapılmıştır.



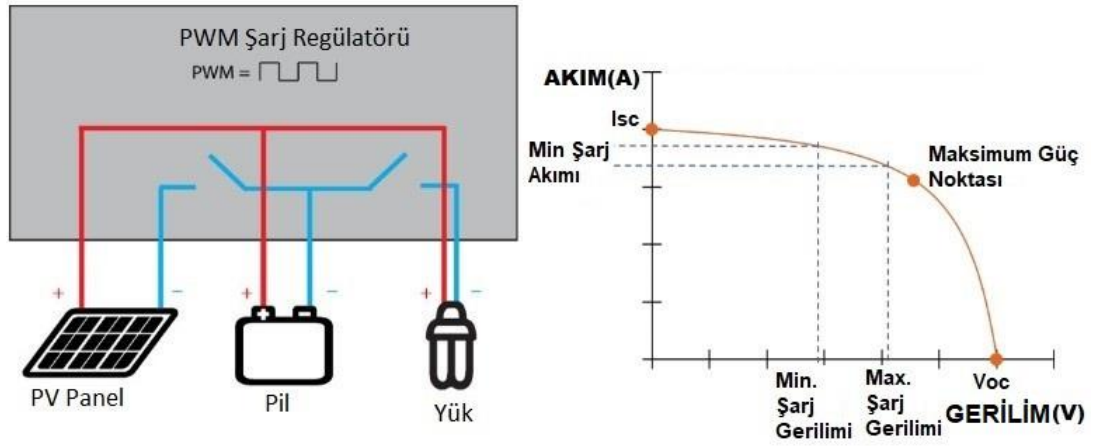
Şekil 1.14 : Güneş paneli maksimum güç noktası [17].

1.3.1.1 PWM solar şarj kontrol cihazı çalışması

PWM şarj kontrol cihazlarında bataryalar şarj edilirken, solar şarj regülatörü, ilgili şarj kademesinde hedef gerilimi elde etmek için güneş panelinin üretebildiği tüm akımı batarya grubuna iletmektedir. Daha basit anlamda ifade edilirse, batarya gerilimi istenen seviyeye gelene kadar güneş paneli uçları, elektronik bir anahtar vasıtası ile akü kutup uçlarına bağlanmaktadır.

Batarya hedef gerilime ulaştığında akü gerilimini düzenlemek ve sabit kalmasını sağlamak için güneş paneli ile batarya bağlantısı elektronik anahtar tarafından kesilmektedir. Anahtarın ne kadar süre iletimde kalacağına cihaz içerisindeki mikroişlemci karar vermektedir. Bu hızlı anahtarlama yöntemi, PWM olarak adlandırılır. Bu çalışma şekli aşırı şarj işlemi önlemekte ve aynı zamanda da bataryaların şarj edilmesini sağlamaktadır.

PWM solar şarj cihazları genellikle MPP'ye biraz uzakta çalışmaktadır. Şekil 1.15 PWM şarj kontrol cihazlarının çalışma aralığını göstermektedir.

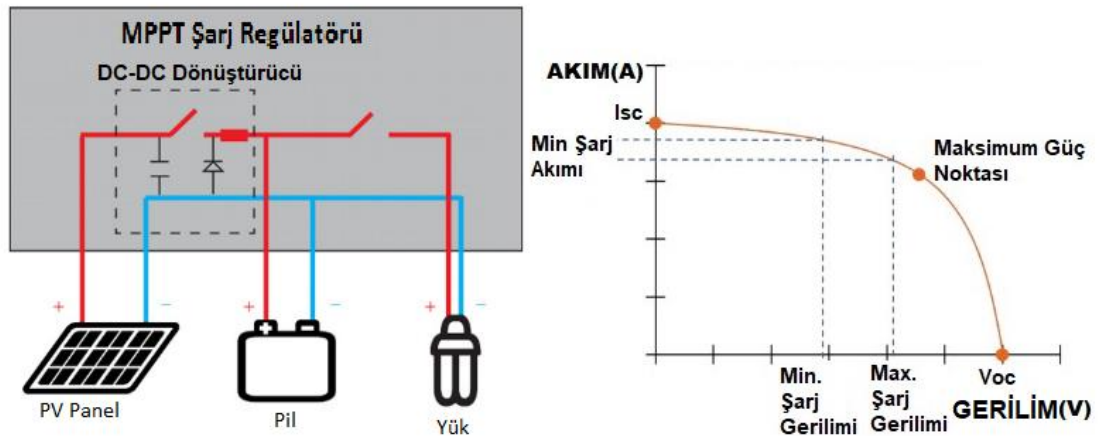


Şekil 1.15 : PWM solar şarj kontrol ve güneş paneli gücü arasındaki ilişki [17].

1.3.1.2 MPPT solar şarj kontrol cihazı çalışması

MPPT solar şarj kontrol cihazları, batarya ve güneş paneli arasında dolaylı bir bağlantı sağlamaktadır. Bu dolaylı bağlantı, yüksek seviyedeki güneş paneli gerilimini, daha düşük bir gerilim seviyesine dönüştüren veya tam tersi durumu gerçekleştiren bir DC-DC çevirici içermektedir.

MPPT solar şarj kontrol cihazları, güneş paneli dizisinin MPP'nı izleyen bir algoritma ile sürekli olarak güneş paneli gücünü izlemektedir. Bu durum, güneş paneli dizisinin sistemdeki en verimli güç seviyesini korumak için gelen gerilimi ayarlamaktadır ve güç transferi yapmaktadır. Şekil 1.16 MPPT şarj kontrol cihazlarının çalışma aralığını göstermektedir.



Şekil 1.16 : MPPT solar şarj kontrol ve güneş paneli gücü arasındaki ilişki [17].

1.3.2 Solar şarj cihazı seçimi

Şarj kontrol cihazı seçimi yaparken birkaç faktörü göz önüne almak gerekmektedir. Bunlar, öncelikle güneş paneli modülünün gücü, güneş paneli sayısı, güneş paneli ve yük oranı, saha koşulları, batarya grubu gerilimi, batarya tipi, sistem bileşenleri ve maliyettir.

1.3.2.1 Güneş paneli gücüne göre seçim

PWM solar şarj cihazları, birkaç nedenden dolayı düşük güçlü güneş paneli sistemlerine daha uygundur. İlk olarak PWM solar şarj kontrol cihazı, dizinin büyüklüğü ne olursa olsun güneş panelinden sabit güç çekebilecek verimlilikte çalışmaktadır. Diğer bir durum ise PWM cihazlar, MPPT kontrol cihazlarından daha az maliyetlidir.

Seçim yapılırken ilk bakılması gereken nokta güneş paneli sisteminin gücüdür. Toplam gücü 450W seviyesini aşmayan güneş paneli sistemleri için PWM şarj kontrol cihazı seçimi uygun olmaktadır. Güç 450W veya daha yüksek bir değerde ise MPPT şarj kontrol cihazları tercih edilmesi gerekmektedir. Bunun başlıca nedeni maliyet ve verim arasındaki ilişkidir.

1.3.2.2 Güneş paneli sayısına göre seçim

Güneş paneli modülleri, genellikle hem PWM hem de MPPT teknolojileri ile uyumlu 36, 60 ve 72 hücrelidir. Ticari olarak satılan güneş panelleri 12Volt ve 24Volt olarak sınıflandırılmaktadır. Normalde 150Watt gücündeki güneş panelleri 12Volt sınıfındaki güneş panelleridir. Yine aynı şekilde 250Watt güneş panelleri ise 24Volt sınıfındadır.

30 Amper solar şarj kontrol cihazına 3 adet 150 Watt güneş paneli paralel bağlanarak maksimum güçte kullanılabilir ancak bu durumda toplam güneş paneli gerilimi 12 Volt olarak kalır. Eğer 24 Volt olarak bağlanmak istenirse, 2 adet 150 Watt güneş panelini seri olarak bağlamak gerekir. Bu durumda da 3 adet 150 Watt güneş paneli seri olarak bağlanamayacaktır. Bu yüzden güneş paneli ve şarj regülatörü arasındaki ilişki kurularak sistem buna göre planlanması gerekmektedir.

60 hücreli bir 250 W güneş paneli ele alındığında, katalog değerinde yazan açık devre gerilimi V_{OC} ve MPP gerilimi V_{MP} , değeri, 24 Volt'luk bir batarya şarjı için çok düşük

ve 12 voltluk bir batarya şarjı için çok yüksek olmaktadır. MPPT teknolojisi ile, bataryaları şarj ederken, nispeten daha ucuz olan 60 hücreli güneş paneli modüllerinin MPPT izlenerek kullanılabilir. PWM solar şarj kontrol cihazlarında böyle bir işlev mevcut değildir.

Daha yüksek güç ve gerilim değerleri elde edilmek istendiğinde güneş panelleri seri ve paralel bağlanarak 36V – 48V – 60V – 72V sistemler kurulabilmektedir. Yine şarj kontrol cihazları da buna göre seçilerek bataryalar şarj edilebilmektedir [18].

1.3.2.3 Güneş paneli gücü ve yük oranına göre seçim

Güneş panellerinin toplam gücü, yük tarafından çekilen güç değerine kıyasla daha büyük olursa, bataryalar her zaman tam bir dolulukta kalacak ve güneş paneli gücü doğrudan yüke aktarılacaktır. Bu durumda PWM şarj kontrol cihazı, MPPT şarj kontrol cihazına gerek olmadan sistemin etkin bir şekilde çalışmasını ve bataryaların şarj edilmesini sağlayacaktır.

1.3.2.4 Akü gerilimi ve akü sayısına göre

Sistemde kullanılacak akü gerilimi 12 Volt ise şarj kontrol cihazı da 12 Volt olmalıdır. Aynı şekilde 24 Volt, 48 Volt, 60 Volt veya 72 Volt olarak da seçim yapılabilir. Burada en önemli nokta PWM solar şarj cihazı gerilimi ile batarya gerilimi aynı olmalıdır. MPPT şarj kontrol cihazlarında ise güneş paneli gerilimi batarya grubu geriliminden daha yüksek bir değerde olması mümkün olmaktadır.

1.3.2.5 Akü çeşidi ve akü türüne göre seçim

Güneş enerjisi sistemlerinde çok çeşitli tipte aküler kullanılmaktadır. Sulu tip akü, kuru tip akü jel tip akü veya Li-Ion bataryalar tercih edilebilmektedir. Bu durumda kullanılacak solar şarj kontrol cihazı, akü tiplerine uygun olarak şarj işlemi yapılabilir veya kullanılacak akü tipine göre, şarj regülatörünün gerilim değerleri ayarlanabilir.

1.3.2.6 Saha koşullarına göre seçim

Güneş panellerinin bulunduğu bölgede soğuk hava koşulları için, MPPT şarj kontrol cihazı daha uygun bir seçim olmaktadır. Bunun sebebi güneş paneli modülü çalışma sıcaklığı düşüğe V_{MP} artmaktadır. MPPT şarj kontrol cihazı ile, bataryaları şarj etmek için yükselen V_{MP} değeri için bu nokta sürekli izlenerek güneş paneli gerilimi

yakalanabilmektedir. Bu durum, soğuk hava koşullarında MPPT şarj cihazını, PWM şarj kontrol cihazına kıyasla %20-%25 daha verimli hale getirmektedir.

1.3.2.7 Maliyete göre seçim

Düşük güçlerde MPPT ile kazanılan verim artışı, maliyet noktasında MPPT cihazlara olan yatırımı karşılamamaktadır. MPPT kontrol cihazları, PWM kontrol cihazlarından daha pahalıdır. Bununla birlikte, MPPT solar şarj kontrol cihazı kullanmanın yararı, belirli koşullar altında daha verimli olması gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Verimin önemli olduğu ve yerleşim yapılacak güneş paneli alanının kısıtlı olduğu uygulamalarda maksimum gücü elde etmek için MPPT tercih etmek en doğru seçim olmaktadır [17].

Sistemde MPPT'nin işlevleri yeteri kadar avantaj sağlamadığı durumda PWM denetleyiciyi seçmek daha ekonomik olabilmektedir. Sonuç olarak, solar şarj kontrol cihazı seçimi yapmadan önce güneş paneli sistemini, saha ve kullanım koşullarını, ihtiyaç duyulan fonksiyonları ve teknoloji için maliyetleri kontrol etmek daha doğru olacaktır.

1.4 Güç Elektroniği Devreleri ve DC-DC Çeviriciler

Gerilim seviyeleri arasında alçaltma veya yükseltme yapmak istenen durumlarda güç elektroniği devreleri başlığı altında DC-DC çeviriciler kullanılmaktadır. Birkaç farklı tipte ve topolojide olan bu yapılarda doğru akım ve gerilimi farklı bir doğru akım ve gerilim seviyesine dönüştürmek için kullanılmaktadır. DC-DC çeviriciler, günlük yaşantımızda endüstriyel kontrol donanımlarından bilgisayar ekipmanlarına, mobil araçlardan elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji sistemlerine kadar çok geniş bir alanda yer almaktadır. DC-DC çeviriciler yüksek frekansta çalışmaya uygun devrelerdir. Kontrol biriminin temelini mikroişlemci veya analog yapılardan alınan PWM sinyali ile bir elektronik anahtarın kontrolü oluşturmaktadır. PWM kontrol sinyali periyodu sabit bir sinyal üzerinde görev çevrim oranı veya darbe boşluk oranı (D), ayarlanır. D değeri maksimum ve minimum $0 < D < 1$ aralığında ayarlanmaktadır [15].

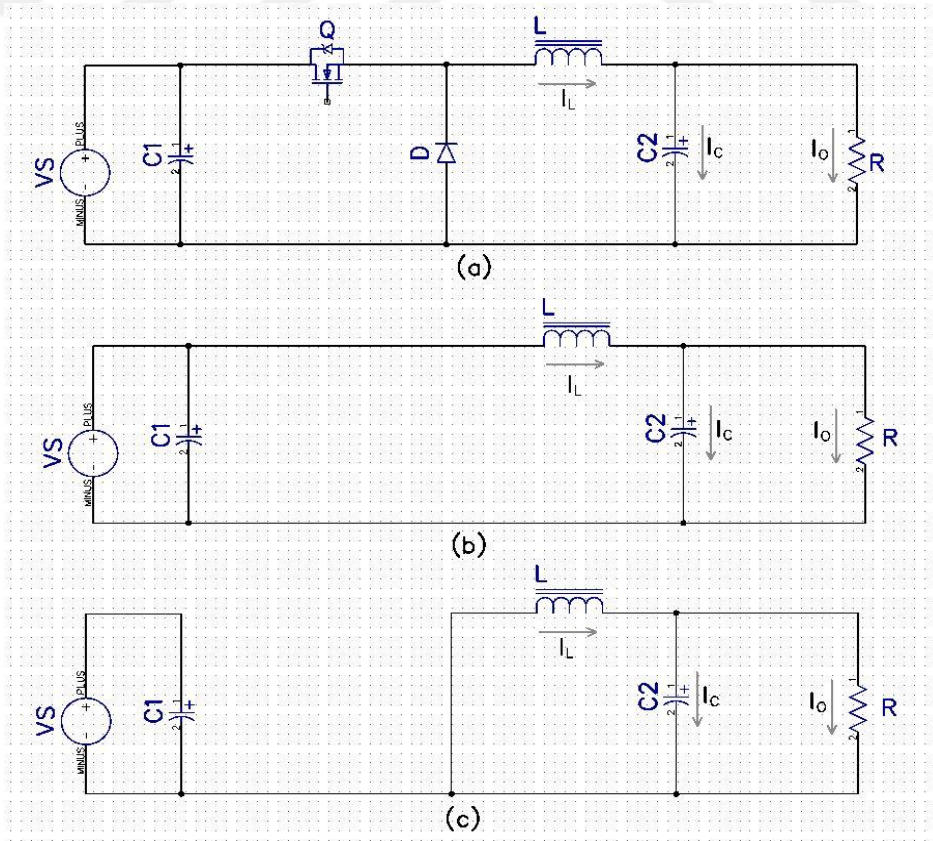
D ifadesi Denklem 1.7 ile ifade edilmektedir.

$$D = DT/T \quad (1.7)$$

Denklem 1.7’de sinyalin aktif olduğu süre Görev Zamanı (DT (Duty Time)), T ise çalışma periyodunu Zaman (T (Time)) ifade etmektedir. Genellikle DC-DC çeviricilerde DT süresinin değiştirilmesi ile kontrol gerçekleştirilmektedir. DC-DC dönüştürücüler iki ana türe ayrılabilir. Bunlar, PWM dönüştürücüler, rezonant ve yumuşak anahtarlama çeviricileridir. Bu tez çalışmasında, PWM dönüştürücüler üzerinde durulmuştur. DC-DC dönüştürme devrelerinde manyetik devre elemanları ve kondansatör seçimide büyük önem arz etmektedir. DC-DC çeviricilerde enerji depolama ve aktarma bobin tarafından gerçekleştirilmektedir. Anahtarın iletimde olduğu süre boyunca bobinde biriken manyetik enerji, anahtarın kesime girmesiyle çıkıştaki yüke aktarılmaktadır. Bu çevirici tiplerinde giriş uçları ile çıkış uçları arasında herhangi bir elektriksel izolasyon bulunmamaktadır. Bu yapıdaki çevirici devreleri alçaltan, yükselten ve alçaltan-yükselten olarak üç başlıkta incelenecektir.

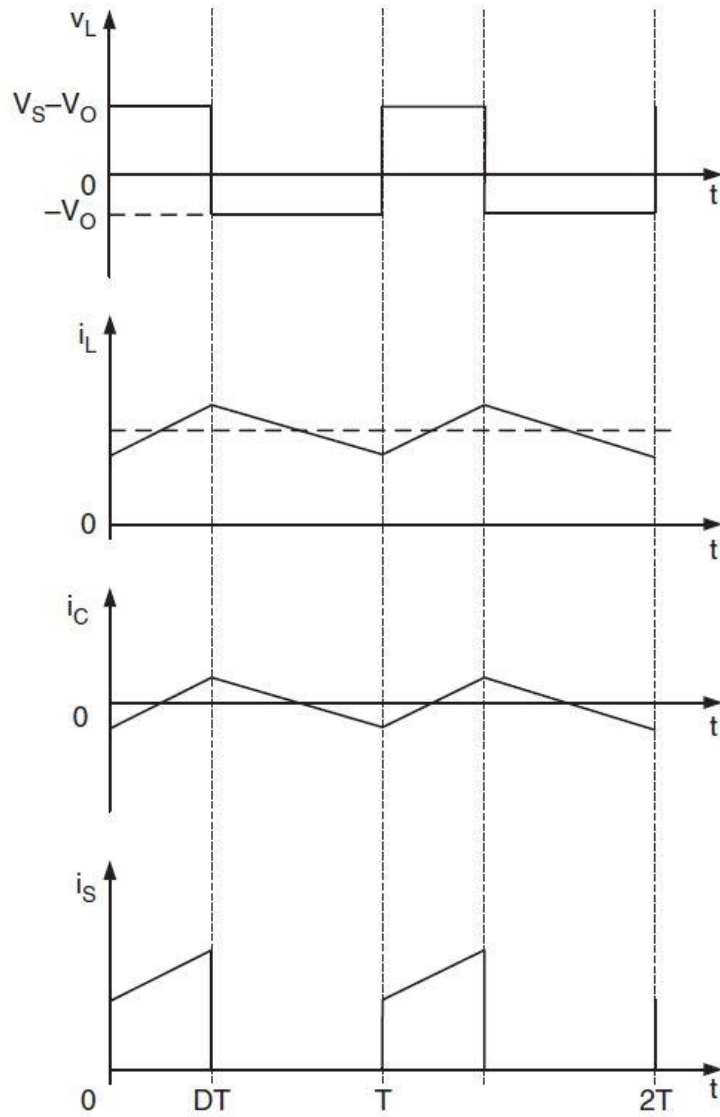
1.4.1 Alçaltan DC-DC çeviriciler

Alçaltan çeviriciler, temel olarak girişteki yüksek DC gerilimi, çıkışında daha düşük bir gerilim seviyesine dönüştüren devrelerdir. Klasik bir alçaltan çevirici devre yapısı Şekil 1.17’de verilmiştir. Devre çizimlerinde tüm elemanlar ideal kabul edilmiştir.



Şekil 1.17 : a) Alçaltan çevirici devresi, b) anahtar iletimde, c) anahtar kesimde.

Alçaltan tipteki DC-DC çevirici devresinde bobin gerilimi, bobin akımı, kondansatör dalgalanma akımı ve anahtar üzerindeki akım değişimi Şekil 1.18’de gösterilmiştir.



Şekil 1.18 : Alçaltan çevirici devresinde bobin akımı ve çıkış gerilimi değişimi [14].

Alçaltan çeviricide, yarı iletken anahtarın kapı (G (Gate)) ucuna uygulanan sürme sinyali aktif olduğunda anahtar iletimdedir. Şekil 1.18’de görülen sinyallerde DT noktasına kadar aktif sinyal devam eder ve çıkıştaki R yükü bobin vasıtası ile beslenmektedir. Aynı zamanda bobin üzerinden geçen akım da artmaktadır. $t=DT$ anında, anahtarın G ucundaki sinyal kesildiğinde anahtar kesime girer ve bobin üzerinde biriken enerji D_d diyotu üzerinden $t=T$ süresine kadar R yüküne enerji sağlamaya devam eder.

DC-DC çeviriciler sürekli akım modu ve kesintili akım modu olmak üzere iki türlü çalışmaktadır. Bu bölümde DC-DC çeviriciler için sürekli akım modu için analiz

yapılmış ve devre elemanları ideal kabul edilmiştir. Sürekli akım modunda, bobin akımındaki artma miktarının ve azalma miktarının birbirine eşit olduğu kabul edilmektedir.

Buna göre;

$$(V_S - V_O)DT = V_O(T - DT) \quad (1.8)$$

Eşitliğinden sürekli akım modunda bobin geriliminin pozitif bölgesi ve negatif bölgesindeki alanları birbirine eşit olduğu için çıkış gerilimi V_O Denklem 1.9'daki gibi bulunur.

$$V_O = DV_S \quad (1.9)$$

Aynı eşitlik akım için de yazılabilir. Buradan denklem 1.10 elde edilir.

$$I_S = DI_O \quad (1.10)$$

DC-DC çevirici devresinde bobin akımındaki ve çıkış kondansatörü gerilimindeki dalgalanmalar tasarımda önemlidir. Pozitif alternansta bobin üzerindeki gerilim Denklem 1.11 ile ifade edilir.

$$(V_S - V_O) = L \frac{dI_L}{dt} \quad (1.11)$$

Negatif bölgede ise Denklem 1.12 ile ifade edilir.

$$-V_O = L \frac{dI_L}{dt} \quad (1.12)$$

Bobin akımının pozitif bölgede değişimi Denklem 1.13 ile ifade edilir.

$$\Delta I_{LP} = \frac{V_S - V_O}{L} DT \quad (1.13)$$

Bobin akımının negatif bölgede değişimi ise Denklem 1.14 ile ifade edilir.

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_O}{L} (T - DT) \quad (1.14)$$

Bobin akımındaki dalgalanma değeri Denklem 1.15 ile ifade edilir.

$$\Delta I_L = D(1 - D) \frac{V_S}{f_p L} \quad (1.15)$$

Açaltan çevirici devre tasarımında gerekli olan bobinin endüktans değeri Denklem 1.15 kullanılarak elde edilen Denklem 1.16 ile hesaplanabilir.

$$L = \frac{V_S}{D(1-D)f_p\Delta I_L} \quad (1.16)$$

Devre çıkışında bulunan kondansatörünün şarjı ve deşarjı bobin akımına bağlıdır. Buna göre kondansatör akımı Denklem 1.17 ile hesaplanabilir.

$$I_C = I_L - I_O \quad (1.17)$$

Denklem 1.17’da görüldüğü üzere kondansatör gerilimi tamamen bobin akımına bağlıdır.

Kondansatörün uçlarındaki gerilim Denklem 1.18 ile ifade edilir.

$$V_C = \frac{1}{C} \int I_C dt \quad (1.18)$$

Denklem 1.20 kullanılarak Denklem 1.19 elde edilir.

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f_p\Delta V_C} \quad (1.19)$$

Tüm formüllerde V_C , kondansatör gerilimini, C kondansatör değerini, f_p frekansı, D görev çevrim oranını, ΔI_L bobin dalgalanma akımını, V_S , Kaynak gerilimini ve V_O çıkış gerilimini ifade etmektedir.

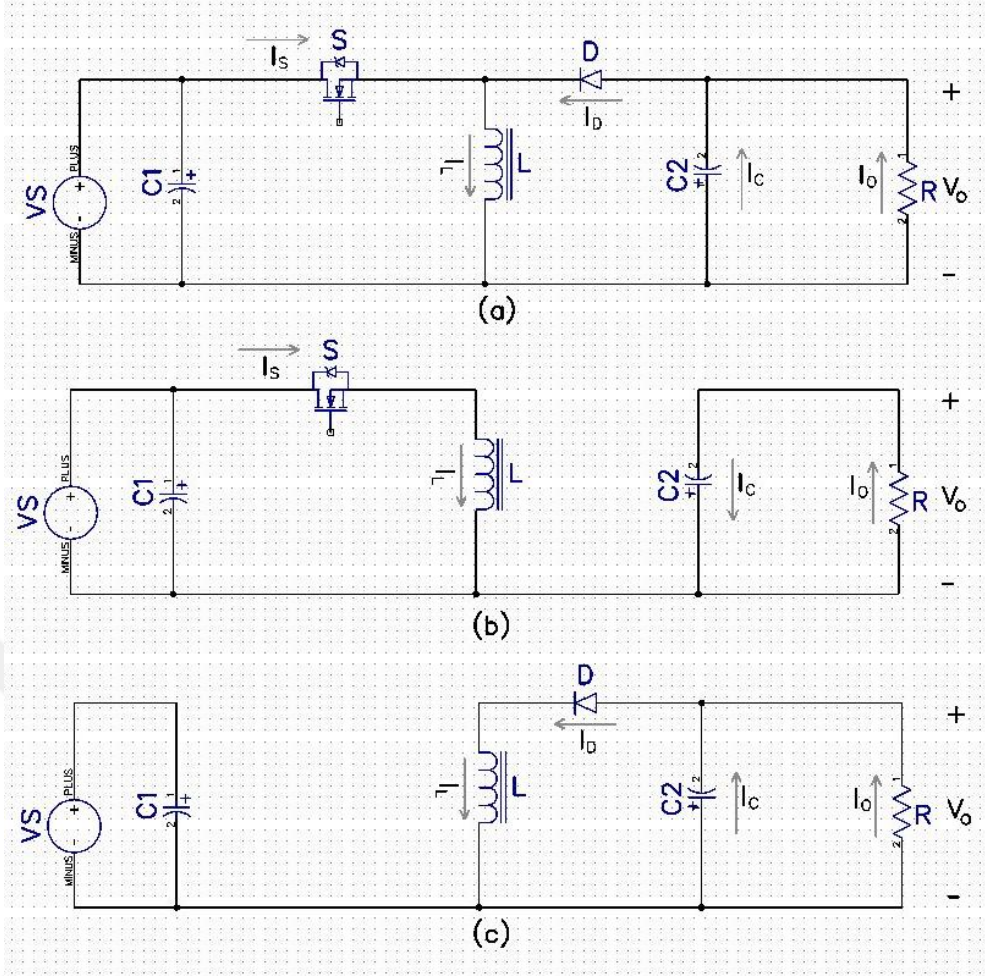
1.4.2 Yükselten DC-DC çeviriciler

Yükselten çeviriciler girişine uygulanan düşük gerilimi, çıkışında daha yüksek bir gerilim seviyesine dönüştüren devre yapılarıdır. Detaylı anlatım, Bölüm 2.1’de yapılmıştır.

1.4.3 Alçaltan-yükselten DC-DC çeviriciler

Alçaltan-yükselten çevirici devresi Şekil 1.19 (a)’da gösterilmektedir. D değerine göre alçaltan veya yükselten çevirici olarak çalışmaktadır. Bu devrenin çalışma sistemi ayırık olarak düşünüldüğünde, alçaltan ve yükselten çeviricilere benzemektedir.

D değeri maksimum ve minimum $0 < D < 1$ aralığında ayarlanmaktadır. Devre $0 < D < 0.5$ aralığında alçaltan çevirici gibi çalışırken, $0.5 < D < 1$ aralığında ise yükselten çevirici gibi çalışmaktadır. Şekil 1.20’de gösterildiği gibi $t=0$ anından $t=DT$ süresine kadar geçen sürede anahtarın G ucuna uygulanan sürme/açma sinyali ile S anahtarı ilettime geçer. Bu durum Şekil 1.19 (b)’de gösterilmektedir. Giriş akımı I_S , bobin üzerinden devresini tamamlamaktadır.



Şekil 1.19 : a) Alçaltan-yükselten çevirici, b) anahtar iletimde, c) anahtar kesimde.

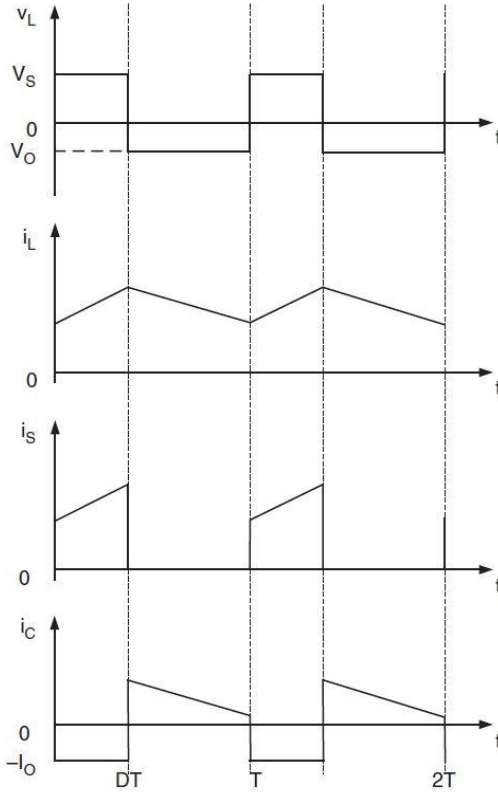
Bobin üzerinde $W = \frac{1}{2} * L * I^2$ büyüklüğünde bir enerji birikmektedir. Bu süre boyunca R yükü, çıkış kondansatöründen beslenmektedir. Şekil 1.20’de grafikte görüldüğü üzere çıkıştaki kapasite akımı I_c , negatif yönde akmaktadır. $t=DT$ süresinde anahtar kesime girer ve Şekil 1.19 (c)’deki devre meydana gelir. Burada artık bobin elemanı devrenin enerji kaynağı olur ve çıkıştaki R yükünü beslemeye devam eder.

Tüm devre elemanları ideal kabul edildiğinde, bobin üzerinden akan akım için Denklem 1.20 ve Denklem 1.21 yazılabilir.

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_S}{L} DT \quad (1.20)$$

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_o}{L} (T - DT) \quad (1.21)$$

Denklem 1.20 ve Denklem 1.21’in ortak çözümünden çıkış gerilimi Denklem 1.22’de ve giriş akımı Denklem 1.23’de ifade edilmiştir.



Şekil 1.20 : Alçaltan-yükselten çevirici bobin akımı ve çıkış gerilimi değişimi [14].

$$V_O = \frac{D}{1-D} V_S \quad (1.22)$$

$$I_S = \frac{D}{1-D} I_O \quad (1.23)$$

Bobin akımı Denklem 1.24 ile ve endüktansı ise Denklem 1.25 ile ifade edilir.

$$I_L = I_S + I_O \quad (1.24)$$

$$L = \frac{D(1-D)(V_S+V_O)}{f_P \Delta I_L} \quad (1.25)$$

Bobin akımı devre çıkışında bulunan kondansatörün şarjı ve deşarjını belirler. Çıkıştaki kondansatör akımı için Denklem 1.17 ve kondansatör gerilimi için de Denklem 1.18 geçerlidir. Bu denklemlerden kondansatör değeri ise Denklem 1.26 ile bulunur.

$$C = \frac{D I_O}{f_P \Delta V_C} \quad (1.26)$$

Denklem 1.20 ile Denklem 1.26 arasında olan tüm eşitliklerde, V_C , kondansatör gerilimini, C kondansatör değerini, f_P frekansı, D görev çevrim oranını, ΔI_L bobin dalgalanma akımını, V_S , Kaynak gerilimini, L , bobin değerini, I_S , anahtar üzerinden geçen akımı ve V_O çıkış gerilimini ifade etmektedir.

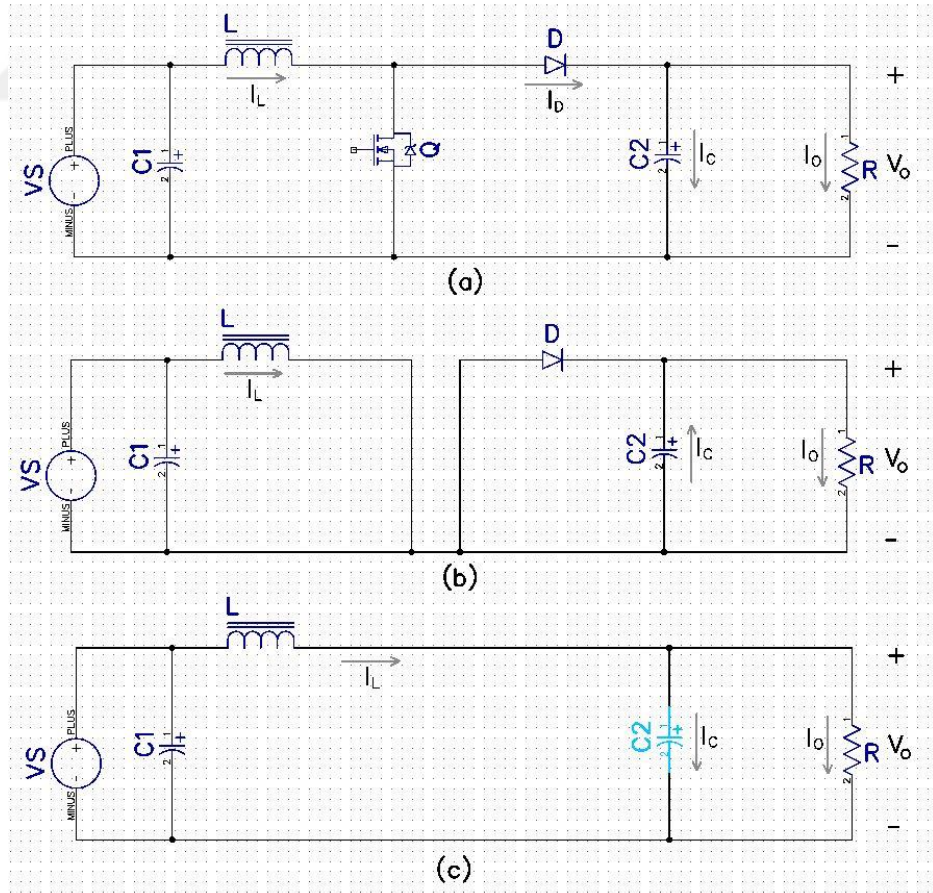
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tezde yapılacak çalışmada ihtiyaç duyulan, yükselten çevirici devre yapısı, pil şarj teknikleri, kontrol metodları ve MPPT algoritmaları üzerinde durulmuştur.

2.1 Yükselten DC-DC Çevirici Devresi

Yükselten çeviriciler girişine uygulanan düşük gerilimi, çıkışında daha yüksek bir gerilim seviyesine dönüştüren devre yapılarıdır.

Yükselten çevirici topolojisine ait devre yapısı, Q anahtarının iletim ve kesime girmesinde oluşan devre modelleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Devre çizimlerinde tüm elemanlar ideal kabul edilmiştir.

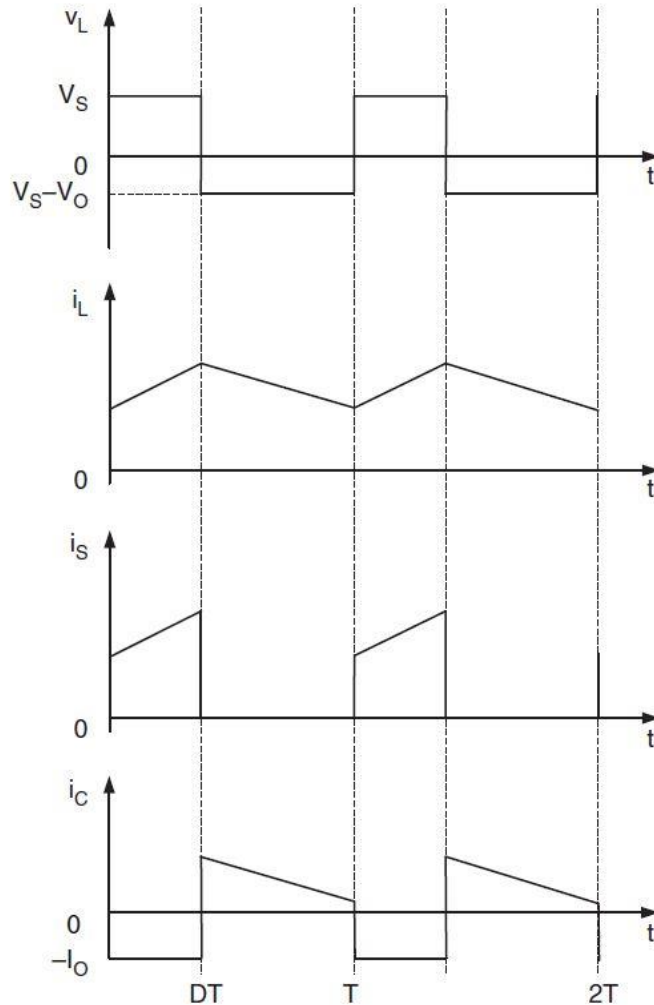


Şekil 2.1 : a) Yükselten çevirici devresi, b) anahtar iletimde, c) anahtar kesimde.

Şekil 2.2’de anahtarın t=0 zamanında G ucuna sürme sinyali uygulandığında, anahtar iletme girmektedir. Anahtar üzerinden geçen akım Şekil 2.1 b’de görüldüğü üzere L, bobini üzerinden geçerek devreyi tamamlamaktadır. Bu esnada L, bobininin akımı artmaktadır ve bobinde depolanan enerji Denklem 2.1 ile ifade edilmektedir.

$$W_L = \frac{1}{2} * L * I_L^2 \quad (2.1)$$

Şekil 2.2’de de görüldüğü üzere t=DT noktasında anahtarın kesime girmesi durumu oluşur ve bobinde depolanan enerji, t=T-DT süresince enerjisini çıkışa aktararak ve yükü besler. Bu anda bobin akımı azalmaktadır. Anahtarın kesim durumunda bulunduğu süre zarfında çıkış gerilimi V_O , V_S+V_L gerilimi tarafından sağlanır. DT anından sonra V_O artmaya başlar.



Şekil 2.2 : Yükselten çevirici devresinde bobin akımı ve çıkış gerilim değişimi [14].

Bobin üzerinden geçen akımdaki dalgalanma değeri t=DT süresine kadar Denklem 2.2 ile ifade edilir.

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_S}{L} DT \quad (2.2)$$

I_L bobin üzerinden geçen akımdaki dalgalanma değeri $t=T-DT$ süresine kadar ise Denklem 2.3 ile ifade edilmektedir.

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_O - V_S}{L} (T - DT) \quad (2.3)$$

Denklem 2.4 kullanılarak çıkış geriliminin ortalama değeri elde edilebilmektedir.

$$V_O = \frac{V_S}{1-D} \quad (2.4)$$

Denklem 2.5'ten yararlanılarak da çıkış akımı bulunmaktadır.

$$I_S = \frac{I_O}{1-D} \quad (2.5)$$

Sürekli durumda bobin üzerinden geçen akımının pozitif ve negatif yönlü dalgalanma değeri Denklem 2.4 ve Denklem 2.5 kullanılarak çözülür ve bobinin endüktans değeri Denklem 2.6 ile ifade edilebilir.

$$L = \frac{V_O D (1-D)}{f_P \Delta I_L} \quad (2.6)$$

Çıkışta bulunan kondansatörün değeri istenen gerilim dalgalanmasını sınırlı bir değerde tutmak adına önem arz etmektedir. Yükselten çeviricilerde, anahtar iletime girdiğinde, yük çıkış kondansatörü üzerinden beslenmektedir. Anahtar kesime girdiği anda kondansatör tekrar dolmaktadır. Devrede kullanılmak istenen kondansatör değeri, Denklem 1.28'de elde edilmektedir ve Denklem 2.7 ile ifade edilmektedir.

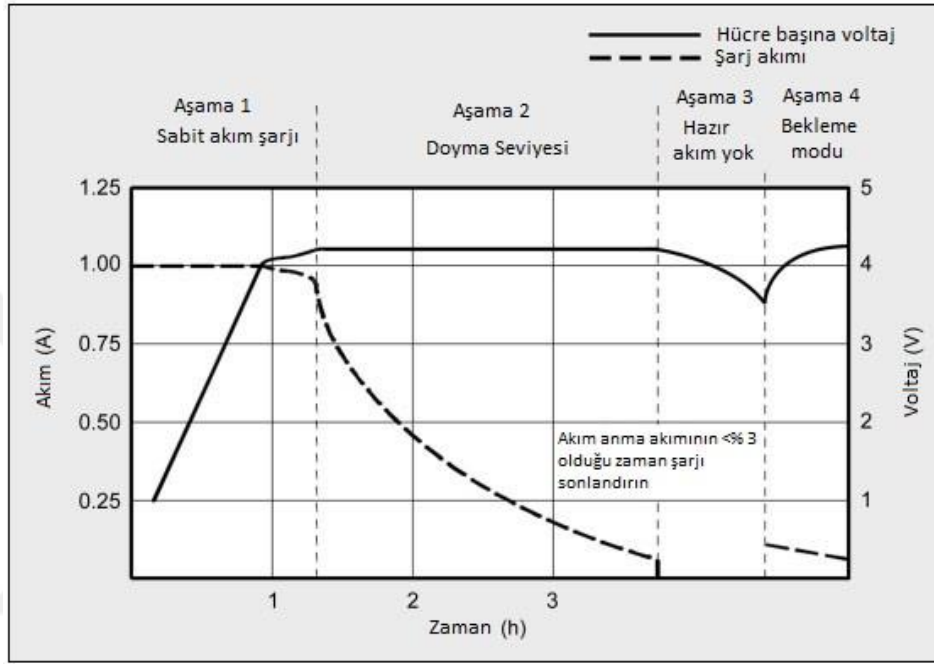
$$C = \frac{I_O D}{f_P \Delta V_C} \quad (2.7)$$

2.2 Lityum Pil Şarj Metodu

Pillerin şarj edilmesi ve boşaltılması kimyasal bir reaksiyondur. Li-Ion pilleri şarj ederken kurşun asit akü sistemine benzerlik gösteren gerilim ve akım sınırlayıcı bir şarj sistemi söz konusudur. Li-Ion pil ile kurşun asit arasında olan farklılıklar, hücre başına daha yüksek bir gerilim veya daha düşük bir gerilim toleranslarında çalışmasıdır ve tam şarjda iken bekleme / yüzdürme / şamandıra şarjının olmamasıdır.

Kurşun asit aküler bekleme şarjı açısından esneklik sağlarken, Li-Ion piller için bu durum söz konusu değildir. Lityum piller sadece tutabileceği kadar akım

alabilmektedirler [19]. Li-Ion piller tipik olarak hücre başına 4.20V gerilime kadar şarj edilir. Tolerans, $\pm 50\text{mV}$ / hücre seviyesindedir. Gerilimi arttırmak kapasiteyi artırır. Ancak hücrenin normal değerinin üstüne geçerek pili zorlar ve güvenliği tehlikeye atmaktadır. Lityum batarya modülleri içerisinde bulunan BMS, her bir lityum pil hücresi için ayarlanan gerilimin üzerine çıkılmasına engel olmaktadır [20]. Şekil 2.3 Lityum pil şarj olurken akım ve gerilimin değişimini göstermektedir.



Şekil 2.3 : Lityum pil şarj kademeleri [19].

Akü kapasitesi ile ilgili olarak şarj veya deşarj oranı “C” olarak ifade edilir. Bu oran, bir şarj veya deşarj akımına eşittir ve Denklem 2.8 ile tanımlanır.

$$I = M \times C_n \quad (2.8)$$

Burada:

I = Şarj veya deşarj akımı, (birimi A)

M = C'nin çoklu adet sayısı,

C = Nominal kapasitenin sayısal değeri, (birimi Ah)

n = C'nin bildirildiği saat cinsinden süreyi ifade etmektedir.

1C oranında deşarj olan bir batarya nominal kapasitesini bir saat içinde vermektedir. Örneğin, nominal kapasite 1000 mAh ise, 1C'lik bir deşarj oranı, bir deşarja karşılık gelmektedir. 1000 mA akımı, benzer şekilde, C/10 oranı 100 mAh'lik bir deşarj akımına karşılık gelmektedir. Li-Ion pilin kimyasal yapısı, sabit akım ve sabit gerilim uygulanacak şekilde şarj işlemine uygundur. Bu durum dört aşamaya ayrılabilir. Sabit

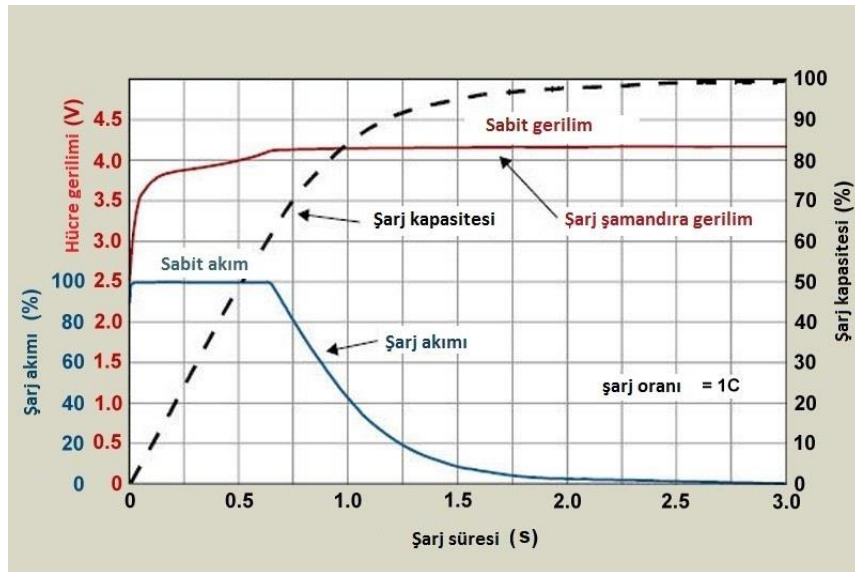
akım, sabit gerilim, şarj sonlandırma ve ek şarj'dır. Şekil 2.3, Li-Ion pilin bu dört aşamasını göstermektedir. Öncelikle ve kritik olarak Li-Ion pil için, hücre gerilimi yaklaşık 3V'un altına düştüğünde, pil hücresi sabit bir akım ile şarj edilir. Örneğin, maksimum 0,1C şarj akımı.

Aşama 1: Sabit Akım: Li-Ion pilin hücre gerilimi, doyma şarj eşliğinin üzerine yükselene kadar sabit tutularak yapılmaktadır. Sabit akım yükü, 0.2C ile 1.0C aralığındadır [21-22].

Aşama 2: Sabit Gerilim: Sadece Li-Ion piller için, sabit akım şarjı bitip, doyma seviyesinde hücre gerilimi 4.2V'a ulaştığında başlamaktadır.

Aşama 3: Şarj Sonlandırma: Li-Ion pillere yüzdürme şarjı yapılmamaktadır. Bunun yerine, akım sonlandırma yapılmaktadır. Li-ion pillerde şarjı sonlandırmak için iki yöntem bulunur. İlk seçenek minimum şarj akımı ile şarj yaparken bir zamanlayıcı ile pil kapasitesi kadar süre tutularak bu süre sonunda şarjı sona erdirmektir. Diğeri ise minimum şarj akımı yaklaşımıdır. Sabit gerilim kademesinde şarj akımını izleyerek, şarj şarj akımı 0,02C ile 0,07C aralığına düştüğünde sonlandırma yapılmaktadır [19].

Aşama 4: Ek Şarj: Diğeri pillerde olduğu gibi Li-Ion pillerde kendi kendine deşarj olmaktadır. Bu şekilde deşarj olan pili bir süre sonra yeniden tam dolu hale getirmek için uygulanmaktadır. Ek şarj gerilim değeri pil hücresi için 4.05 Volt'un altına indiğinde pile tekrar sabit 4.2 V verilir ve Aşama 3 tekrarlanır [20]. Zamanlayıcı metodu, sabit gerilim kademesinde başlamaktadır. Şarj işlemi iki saat devam eder ve sonra şarj işlemi sonlandırmaktadır.



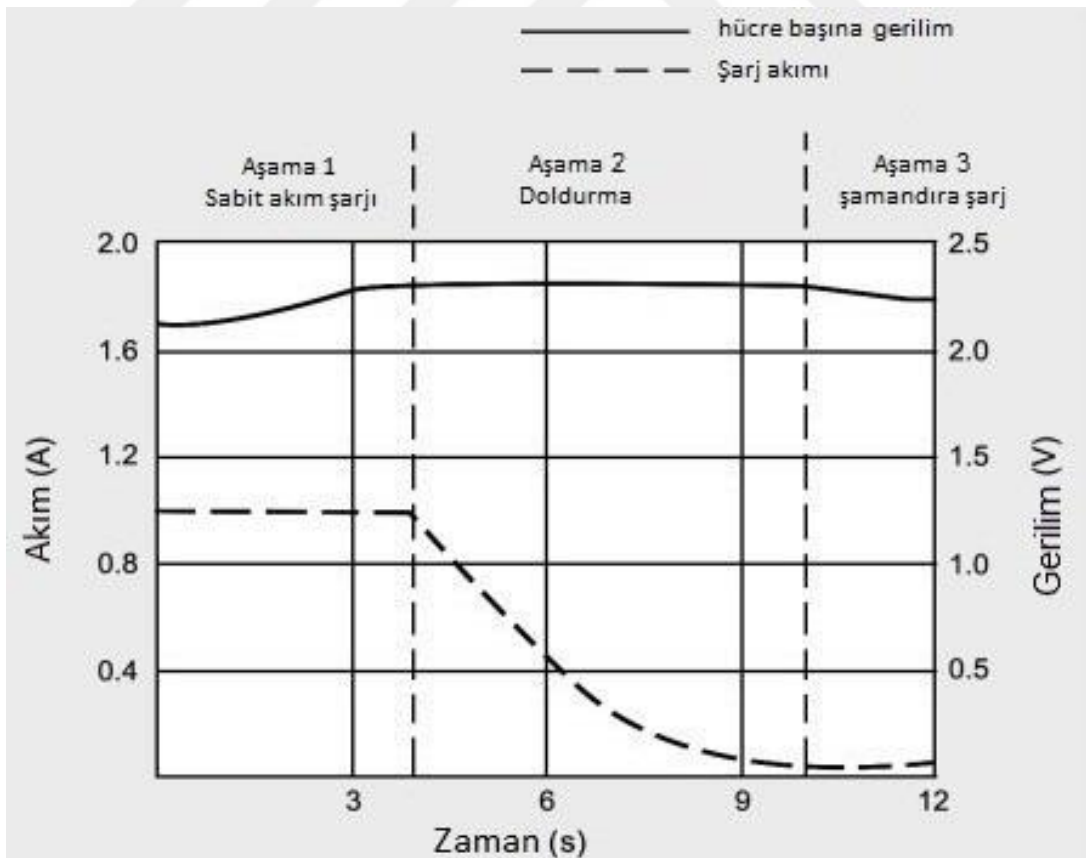
Şekil 2.4 : Li-Ion pil şarj olurken zamanla akım, gerilim ve kapasite değişimi [19].

2.3 Kurşun Asit Akü Şarj Metodu

Kurşun asit aküler sabit akım, sabit gerilim şarj yöntemini kullanmaktadır. Regüle edilmiş bir akım ile, terminal gerilimini, üst şarj gerilim sınırına ulaşılan kadar yükseltir. Bu noktada şarj akımı doluluğa bağlı olarak düşmektedir. Kurşun asit akülerin tam şarj olması için geçen süre yavaştır ve diğer pil sistemleri kadar hızlı şarj edilememektedir.

Kurşun asit akünün şarj aşamaları Şekil 2.5'te gösterilmektedir. 1. Bölge kurşun asit akülerin şarjı için sabit akım yükü, 2. bölge ilave şarj ve 3. bölge şamandıra şarjı olmak üzere üç aşamada şarj edilmektedir.

Sabit akım şarjı, dolması için gereken yükün büyük kısmını uygular ve zorunlu şarj süresinin yaklaşık yarısını alır. İlave şarj daha düşük bir şarj akımında devam eder ve tam doyum sağlar. Şamandıra veya diğer adıyla yüzdürme şarjı kendi kendine deşarjın neden olduğu kayıpları telafi etmektedir. Sabit akım şarjı sırasında, batarya yaklaşık yüzde 70'e kadar şarj olur. Kalan yüzde 30, doldurma şarjı ile doldurulur.

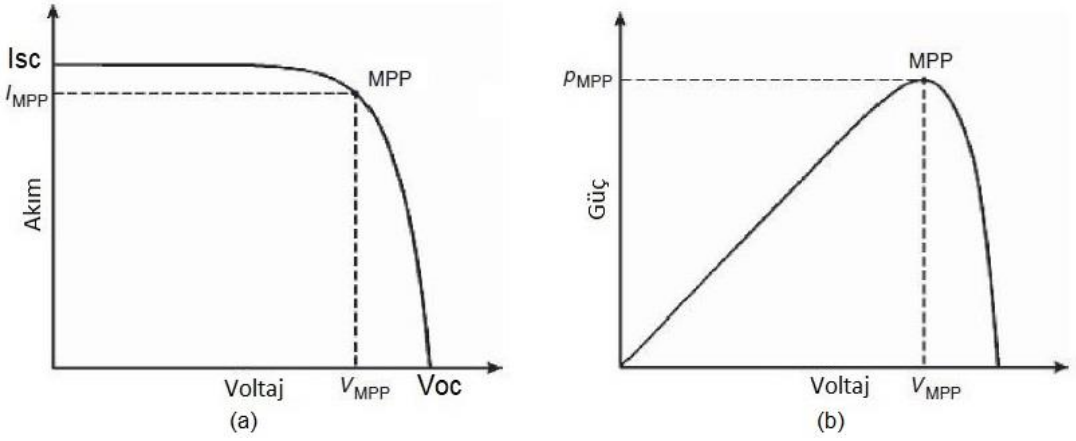


Şekil 2.5 : Kurşun asit akü şarj aşamaları [19].

2.4 MPPT Algoritmaları

Güneş panelleri karakteristik olarak akım ve gerilim ayarlanabilir güç kaynağı olarak düşünüldüğünde maksimum verebileceği güç her zaman sınırlı ve dar bir bölgede olmaktadır. Güneş panellerinde ilave olarak güç noktasını değiştiren etmenler olarak çevre sıcaklığı, güneş ışınım miktarı gibi doğa şartları da göz önüne alındığında sürekli olarak değişken bir güç noktası ortaya çıkmaktadır. İşte tam bu noktada sürekli olarak maksimum güç noktasını takip etmek amacıyla MPPT teknikleri devreye girmektedir.

Güneş paneline ait akım ve gerilim değerine karşılık maksimum güç noktası Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

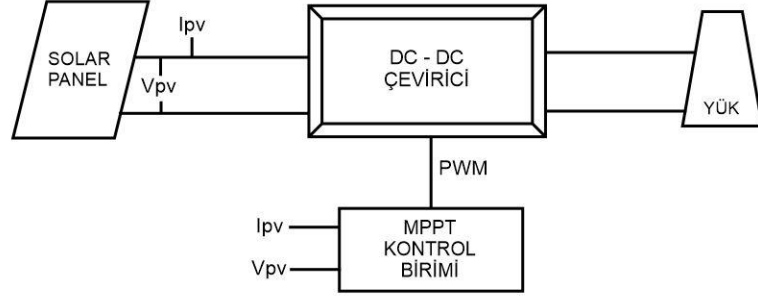


Şekil 2.6 : a) Güneş paneli akım gerilim eğrisi, b) güç gerilim eğrisi [14].

Güneş panelinin iki ayrı parametresinin kesişimi MPP'yi oluşturmaktadır. Şekil 2.6 a'da I_{sc} , güneş panelinin kısa devre akımı, V_{oc} ise açık devre gerilimini ifade etmektedir. Şekil 2.6 b'de V_{MPP} maksimum güç noktası gerilimi ve P_{MPP} ise maksimum güç noktasını ifade etmektedir.

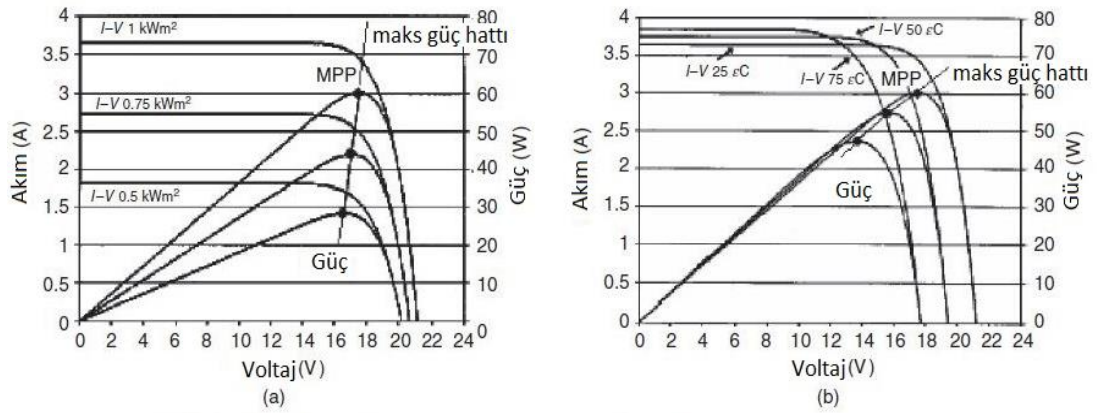
Güneş paneli terminal uçlarının gerilimi, V_{oc} değerine eşit iken veya güneş paneli akımı, I_{sc} değerine eşit olduğu durumda diğer bir ifade ile panel uçları kısa devre halinde iken panel gücü sıfır olmaktadır. Bu iki parametre arasında kalan, eğimin sıfır noktası MPP'yi oluşturmaktadır. Güç, gerilim ve akım eksenlerine iz düşümleri maksimum güç noktasında, P_{MPP} , V_{MPP} ve I_{MPP} değerlerini ifade etmektedir.

Güneş panelinin, sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, gölgelenme durumu gibi sebeplerden dolayı sürekli olarak değişen güç noktasını izlemek ve MPP yakalamak için birçok algoritma geliştirilmiştir. Şekil 2.7'de MPPT güç kontrol yapısı görülmektedir.



Şekil 2.7 : MPPT güç kontrol yapısı

Temelinde MPPT algoritması ile kontrol edilen bir DC-DC çeviriciden meydana gelmektedir. MPPT birimi dijital veya analog şekilde olabilmektedir ancak günümüzde dijital sistemler oldukça sık kullanılmaktadır. Değişen koşullara göre sürekli olarak güneş panelinden alınan akım ve gerilim örnekleri MPPT algoritmasına göre değerlendirilir ve buna karşılık kontrol biriminden PWM sinyali üretilir. Üretilen bu sinyal ile de DC-DC çevirici kontrol edilerek panelden yük çıkışına maksimum güç aktarımı sağlanmaya çalışılır. MPP'nın sıcaklığa ve ışınım şiddetine göre değişimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



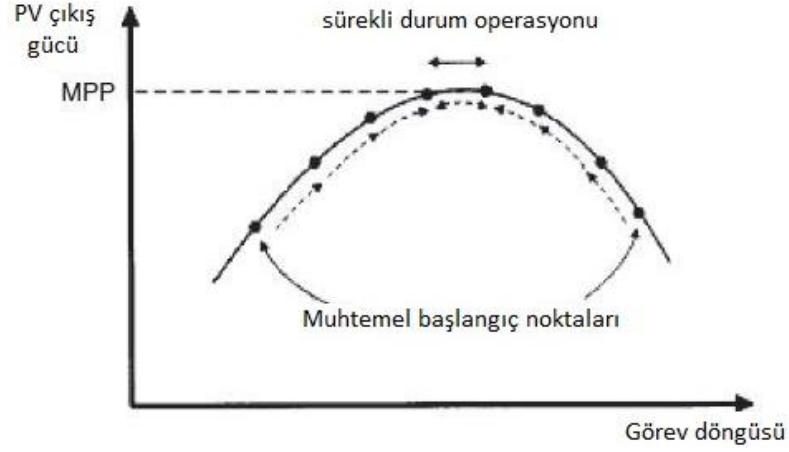
Şekil 2.8 : a) Güneş paneli ışınım, b) sıcaklığa bağlı MPP değişimi [14].

MPPT metodu, güneş panelinin o anki çevre ve sıcaklık koşullarına göre üretebileceği maksimum gücü alabilmek için, MPP gerilimi V_{MPP} , değeri ile MPP akımı I_{MPP} , değerlerinin tespit edilmesine dayanmaktadır (Şekil 2.8). Değişken güneş ışınımı şiddeti, hücre sıcaklığında MPP'nı oluşturacak akım ve gerilim değeri farklılık gösterebilmektedir [23].

MPPT yönteminde yaygın olarak, Artan İletkenlik (IC (Incremental Conductance)), Değiştir-Gözle (DG), Sabit Gerilim (SG) yöntemleri kullanılmaktadır [24].

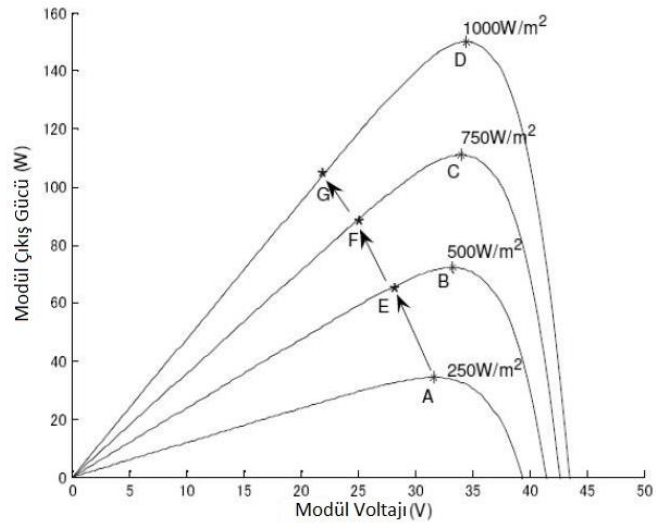
2.4.1 DG algoritması

Güneş paneli için MPPT algoritmaları arasında takip verim performansı ve hesap işlemi yükünün az olmasından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Klasik DG algoritması anlık olarak güneş paneli gerilimini ve güneş paneli akımını ölçme yöntemine dayanır. Çalışma ilkesi, anlık gücü hesaplar, bir önceki güç değeri ile karşılaştırarak güç değişimine göre çalışma referans gerilimini artırır veya azaltır. Referans gerilimin artması güneş paneli geriliminin değişmesine sebep olur. Şekil 2.9'de gösterilen grafikte MPP tespit edildikten sonra bir ileri bir geri adım atacak şekilde hareket ederecek sürekli olarak güç noktasını takip etmiş olur. Güç noktasının değiştiği durumda yine bir önceki güç değişimi ile kıyaslama yapıldığı için referans gerilim buna göre değiştirilmektedir.



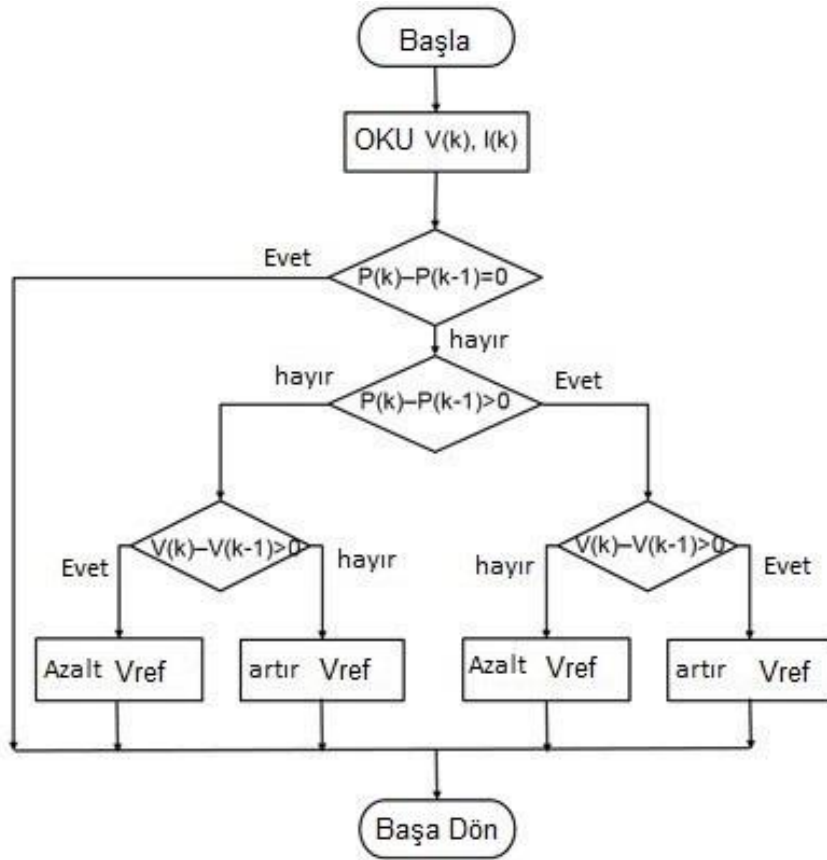
Şekil 2.9 : DG salınım grafiği [14].

Şekil 2.10 da değişken güneş ışınım şiddetine göre güneş panelinin güç gerilim karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Değişken ışınımlarda güneş paneli güç – gerilim karakteristiği [23].

DG algoritması akış diyagramı Şekil 2.11’de verilmiştir. DG algoritması işlem adımı bakımından dört durumda işletilmektedir. Kontrol düzeni ve karar durumları Çizelge 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.11 : DG algoritması akış diyagramı.

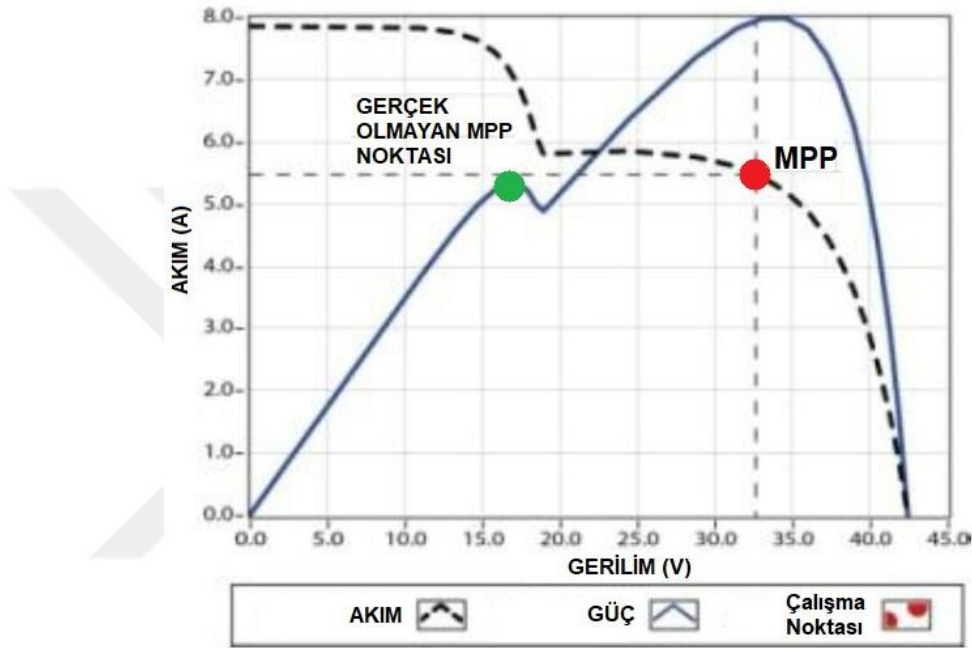
Çizelge 2.1 : DG algoritması karar adımları

Güneş Panel Gerilimi	Güçteki Değişim	Referans Gerilim Değişimi
Artacak	Sıfırdan Büyük	Artacak
Artacak	Sıfırdan Küçük	Azalacak
Azalacak	Sıfırdan Büyük	Azalacak
Azalacak	Sıfırdan Küçük	Artacak

DG algoritmasında güç noktası etrafında sürekli salınım yapmasından dolayı kayıpların olmuşması durumu söz konusudur. Hiçbir zaman tam olarak maksimum güç noktasında sabit kalmamaktadır. Şekil 2.11’de $P(k)$, anlık geçerli gücü, $P(k-1)$ ise bir önceki kaydedilen gücü ifade etmektedir. Kaydedilen bir önceki güçten sonra belirlenen referans değiştirme adımı kadar referans gerilimi artırılır veya azaltılır. Bu oranda değişen anlık güç tekrar izlenir ve değişime göre tekrar değiştirme adımı kadar referans gerilimde değişiklik yapılır. Her bir adım aralığı ve değişim sıklığı DG algoritmasının gerçek MPP’ye ne kadar yakın ve ne kadar hızlı ulaşabildiğini belirlemektedir. Zaman içerisinde DG algoritması üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır

[24]. Yapılan iyileştirmelerde güç değerine bağlı olarak bir sonraki atılacak adım miktarı değiştirilerek sapmalar minimize edilmektedir.

Çok noktalı DG algoritması prensip olarak yine normal DG algoritması ile benzerdir. Burada ana fark Şekil 2.12’de görüldüğü üzere güç eğrisi üstünde oluşan ve anlık olarak değişen MPP noktalarını yakalamaktır. Daha kolay anlaşılması için öncelikle güneş panelinin kısmi olarak gölgelenmiş halde Şekil 2.12’de gerçek olmayan MPP noktası üzerinde sistemimizin çalıştığını düşünelim.



Şekil 2.12 : Değişken güç değerinde farklı MPP noktaları

Değişen atmosfer şartlarında veya anlık güneşlenme durumunda güç noktası değişecek ve MPP noktasına kayacaktır ancak sabit DG algoritması kullanıldığında referans gerilim sadece değiştirme adımı kadar ileri veya geri gideceği için gerçek MPP noktasından uzakta kalacaktır. Bu durumun engellenmesi için güç eğrisinin tamamı belirli aralıklarla taranmakta ve çalışma referans gerilimi değiştirme adımının dışında daha büyük oranda arttırılmaktadır. Aynı şekilde tepe noktası yakalandığı durumda değiştirme adımının boyutunda güce göre ayarlanmaktadır. Çok noktalı DG algoritması yazılımsal olarak gerçekleştirilmektedir. Bu tezde yapılan uygulamada çok noktalı ve değişken adımlı DG algoritması kullanılmıştır.

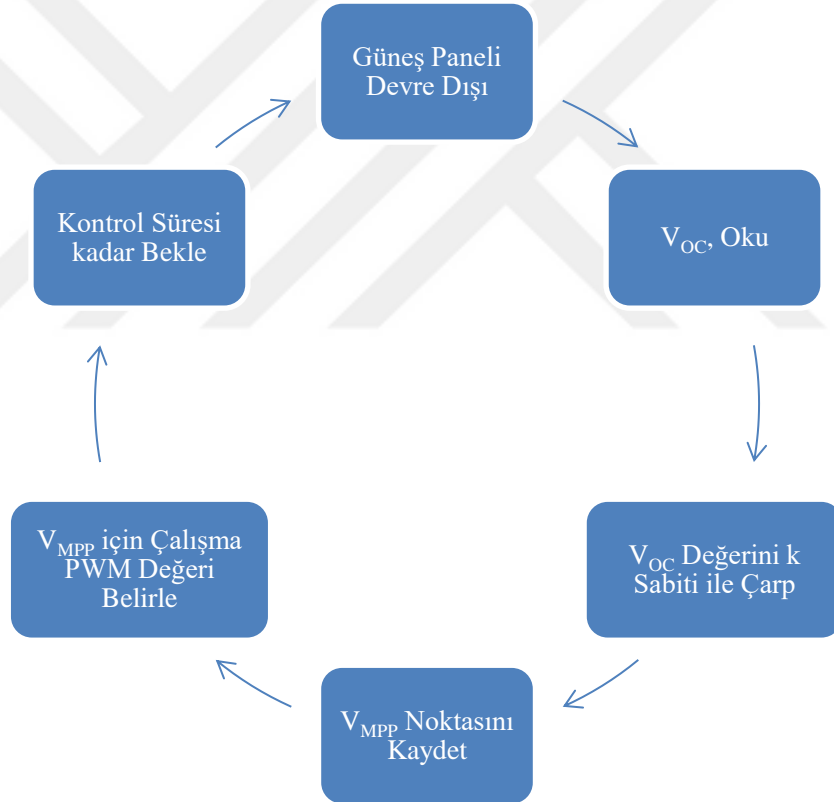
2.4.2 SG algoritması

SG yöntemi, güneş panelinin açık devre gerilimini referans almaktadır. Panelin açık devre gerilimi üretici tarafından verilmektedir ve bu değer her güneş paneli tipine göre

farklılık gösterebilmektedir. Ancak genel koşullar altında ve uygulanan sistemler göz önüne alındığında V_{MPP} gerilimi, güneş panelinin açık devre V_{OC} geriliminin %73-80 civarında olmaktadır. Daha genel olarak Denklem 2.9'daki gibi ifade edilmektedir.

$$V_{MPP} = k * V_{OC} \quad (2.9)$$

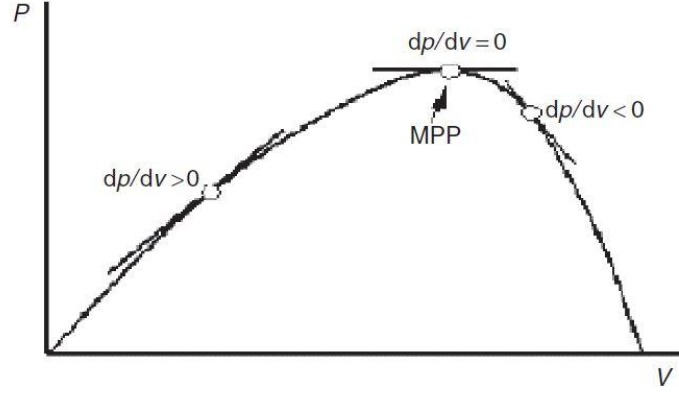
Denklem 2.9'da "k" değeri sabittir. MPP gerilimi V_{MPP} , açık devre gerilimi V_{OC} ile eşitliği sağlayacak şekilde bulunmaktadır. Güneş paneli gerilimini ölçerken panel uçları yüksüz yani açık devre durumunda V_{OC} gerilimi okunması gerekmektedir çünkü algoritma her zaman açık devre gerilimine bağlıdır. Gerilim okuma işlemi yapılırken güneş panelinin devreden ayrılması durumunda güç alınmadığı için toplam izleme veriminde kayıplar yaşanır ve hiçbir zaman gerçek MPP bulunamamaktadır. SG algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 2.13'te gösterilmektedir.



Şekil 2.13 : Sabit gerilim metodu akış diyagramı.

2.4.3 IC Algoritması

Bu algoritma, bir güneş panelinin güç-gerilim eğrisinde MPP'de eğimin sıfıra eşit olduğu gerçeğinden faydalanmaktadır. Eğim, MPP'nın solundaki alanda pozitif ve sağdaki alanda negatiftir. Şekil 2.14'te güç – gerilim eğrisi üzerinde gücün gerilime göre değişimi verilmiştir.



Şekil 2.14 : Güneş panel güç gerilim değişimi [14].

Matematiksel olarak, bu şöyle özetlenebilir,
MPP’de Denklem 2.10 kullanılır.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (2.10)$$

MPP’nin solunda Denklem 2.11 kullanılır.

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad (2.11)$$

MPP’nin sağında Denklem 2.12 kullanılır.

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad (2.12)$$

Şekil 2.14 üzerinden çıkarımı yapılan Denklem 2.10, 2.11, 2.12 eşitliklerinde, Denklem 2.13 eşitliğinden elde edilen ifade artan iletkenlik algoritmasının temelini oluşturan Denklem 2.14, 2.15 ve 2.16 elde edilir.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (2.13)$$

MPP’de Denklem 2.14 kullanılır.

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (2.14)$$

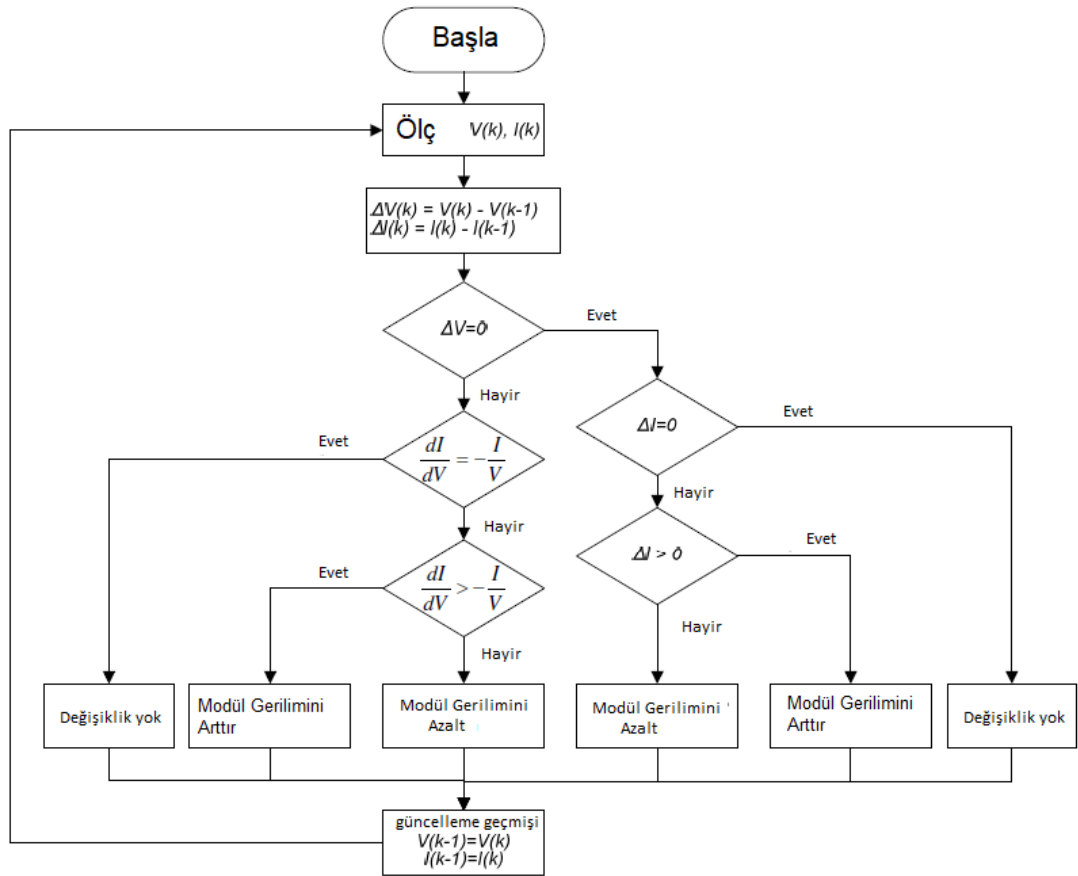
MPP’nin solunda Denklem 2.15 kullanılır.

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad (2.15)$$

MPP’nin sağında Denklem 2.116 kullanılır.

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad (2.16)$$

Denklem 2.14, 2.15 ve 2.16'da sol tarafta güneş panelinin artan iletkenliği ve sağ tarafta ise anlık iletkenlik değerleri yer almaktadır. Algoritma başlangıçta gerilim ve akım ölçümüyle başlamaktadır. Başlangıçta yapılan bu ölçüm bir önceki ölçümlerle değerlendirilir, dI ve dV değişimleri elde edilir sonrasında IC hesaplanır. IC değerleri ve anlık iletkenlik değerleri karşılaştırılır. Denklem 2.15 sağlanıyorsa panel gerilimi arttırılacak yönde, Denklem 2.16 sağlanıyorsa panel gerilimi azaltılacak yönde ve Denklem 2.14 sağlanıyorsa panel gerilimi değiştirilmeden algoritma devam eder. Şekil 2.15'te algoritmanın güncelleme geçmişi bölümünde anlık değerler bir önceki değerlerin üzerine kaydedilir ve algoritma tekrar başa dönerek adımları tekrar eder.



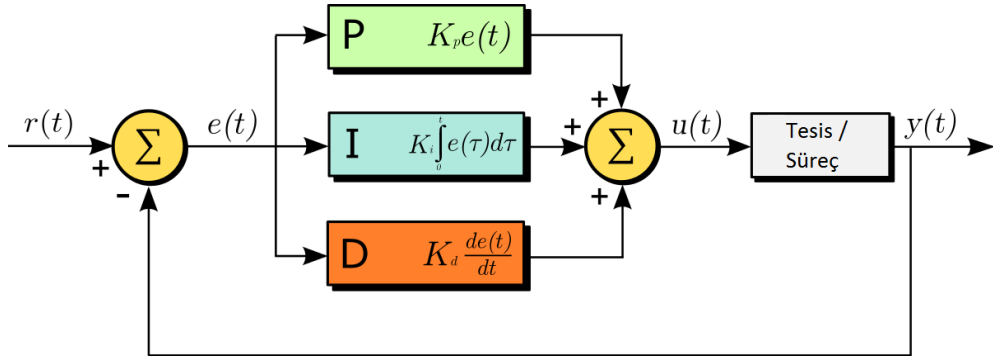
Şekil 2.15 : Artan iletkenlik algoritması [25].

IC algoritmasının en önemli avantajı değişken sıcaklık, ışınım vb. koşullara hızlı adapte olabilmesi ve MPP etrafında çok az salınımın olmasıdır. IC algoritması ile diğer algoritmaların verimlilikleri karşılaştırıldığında ise DG yöntemi ile hemen hemen aynı olmakta iken SG yönteminden daha yüksek olmaktadır. EN50530 dinamik verim testine göre MPPT algoritmasının verim değerleri birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. DG ve IC algoritmalarının ortalama verimlilikleri, düşük orta bölgede (100-

500 W/m²) sırasıyla %99,13 ve %99,08 olarak elde edilmiştir. Düşük-orta bölgede (300-1000 W/m²) DG ve IC yöntemlerinin ortalama verimlilikleri sırasıyla %99,32 ve %99,38'dir [26,27,28].

2.5 PID Kontrol Yöntemi

Oransal-İntegral-Türevsel (PID) olarak adlandırılan kontrol metodu, endüstriden, otomotive, havacılıktan son tüketici ürünlerine kadar kontrol ihtiyacı duyulan tüm sistemlerde sıklıkla kullanılan bir geri beslemeli, hata denetleme metodudur. Kontrol yapısı PID olan bir denetleme mekanizması devamlı olarak bir hata değerini diğer bir ifade ile hedeflenen sistem referansı ile mevcut durum arasındaki farkı hesaplamaktadır. Bu metotta kontrol algoritması üç parametre ile, özel durumların ihtiyaç duyduğu kontrol değerini üretmektedir. PID algoritmasının temel işlevi olarak, hata değerini azaltmak için üç ayrı sabit parametreyi kontrol eder. P değeri mevcut hataya bağlıdır ve anlık olarak oluşturulur, I değeri geçmiş hataların toplamıdır ve D ise anlık hataların farksal değişimine göre gelecekteki hataların bir tahminidir. Bu elde edilen değerler, katsayılar ile çarpılır ve üç ayrı değişken toplanarak çıkan sonuca göre kontrol edilen sistemi ayarlamak için kullanılmaktadır. PID kontrol parametrelerinin nasıl uygulandığı Şekilde 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 : PID kontrol diyagramı [29].

Şekil 2.16'da görüldüğü üzere denetleyici devamlı olarak bir $e(t)$ hata değerini hesaplamaktadır. Burada $e(t)$, istenen durum $r(t)$ ile ölçülen durum $y(t)$ arasındaki farkı ifade etmektedir. Denetleyici sistem içerisinde P, I, D katsayılarına sahip bir hata düzeltme değeri uygulamaktadır. Böylece, bir $u(t)$ kontrol pozisyonu istenilen en düşük hata ile kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Bu tezde yapılan çalışmada PID kontrol yöntemi, çıkış geriliminin ayarlanmasında ve MPPT algoritmaları uygulanırken aktif olarak kullanılmıştır [29].

3. TASARIM

Bu tezde, yükselten çevirici topolojisine sahip Li-Ion piller için MPPT yapabilen solar şarj kontrol cihazı tasarımı yapılmıştır. Bu bölümde uygulanacak olan çalışmanın teknik hesapları yapılacak ve tasarım aşamaları detaylı olarak açıklanacaktır. Tasarıma başlamadan önce yapılması gereken ilk adım, tasarım kriterleri belirlemektir. Belirli sabit kriterler üzerinden hesaplamalar yapılarak nihai tasarım kriterleri belirlenmektedir. Mevcut bir sorun ve bu soruna karşılık geliştirilen çözüm göz önüne alınarak hazırlanmış tasarım kriterleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Tasarım kriterleri tablosu.

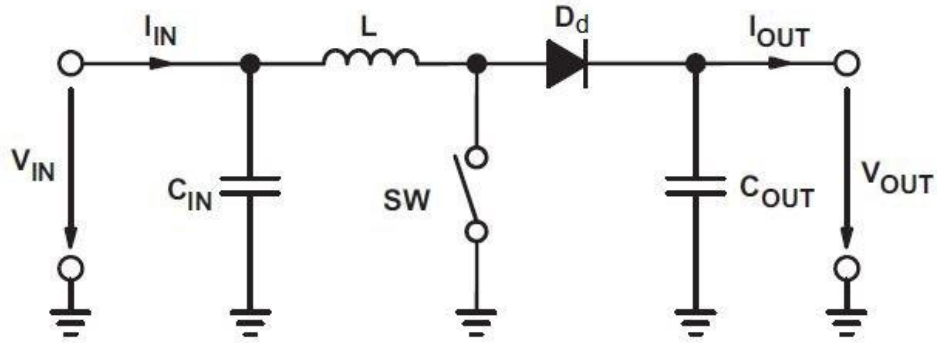
Özellikler	Parametreler
Akü/Batarya Nominal Gerilimi	24V, 48V, 60V, 72V DC
Güneş Paneli Giriş Gerilim Aralığı	12-40V DC
Güneş Paneli Giriş Gücü Maksimum	12V-165W 24V-275W
MPPT Gerilim Aralığı	16-35V DC
Çıkış Gerilimi Maksimum	87V DC
Çıkış Gerilimi Minimum	42V DC
Çıkış/Şarj Akımı Maksimum	4 Amper DC
Giriş Akımı Maksimum	10 Amper DC
MPPT Takip Verimi	%99
Beklenen DC-DC Dönüştürücü Verimi	%96
Çalışma Sıcaklığı	-20°C...+60°C
Anahtarlama Frekansı	50kHz
Çıkış Akım Dalgalanması	%5
Çıkış Gerilim Dalgalanması	%0,1
Batarya Kapasitesi-1	72V-21Seri Lityum İyon Pil
Batarya Kapasitesi-2	60V-5Seri 12V 12Ah Kurşun Asit Akü

3.1 Yükselten Çevirici Teorik Hesaplamalar

Yükselten çevirici tasarımında Çizelge 3.1’de yer alan kabuller göz önüne alınarak hesaplama yapılmıştır. Buradaki parametreler hedeflenen verim ve iyileştirme çalışmaları ile desteklenmiştir.

Temel olarak Şekil 3.1’de gösterilen yükselten çevirici yapısı üzerinde hesaplanması gereken, parametreler, C_{IN} , giriş kondansatörü, L, bobini, SW, mosfet değeri ve maksimum anahtar akımı, D_d diyotu, C_{OUT} çıkış kondansatörüdür. Aynı zamanda

elektronik kontrol ve besleme devreleri mosfet sürücüsü, bastırma devreleri de hesaplanması gerekmektedir.



Şekil 3.1 : Yükselten çevirici prensip şema [30].

3.1.1 Maksimum anahtar akımı ve mosfet seçimi

Günümüzde elektronik devre elemanları arasında çok büyük öneme sahip Mosfet'ler gelişen teknoloji ile çok daha verimli ve efektif çalışabilir hale gelmiştir. Mosfet elektronik anahtarlar üreticilerin vermiş olduğu kataloglarında yazan bilgiler ve koşullar göz önüne alınarak seçilmektedirler.

Yapılan teknik kabuller doğrultusunda öncelikli olarak mosfet üzerinden akacak maksimum anahtar akımı tespit edilmelidir. Anahtar akımının tespiti için D bilinmelidir. D, Denklem 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$D = 1 - \frac{V_{IN(min)} * n}{V_{OUT}} \quad (3.1)$$

Burada,

$V_{IN(min)}$ = Minimum giriş gerilimini,

n = Yaklaşık verimi

V_{OUT} = Çıkış gerilimini ifade etmektedir.

Denklem 3.1 kullanılarak yerine koyulan değerlerden

$$D = 1 - \frac{12V * 0,92}{87V} = 0,889 \text{ olarak bulunur.}$$

D değeri hesaplanırken verim değeri hesaba dahil edilir, çünkü çevirici üzerinden enerji aktarımı yapılır ve kayıplar söz konusudur. En kötü durumda yaklaşık verim değeri hesap yapılırken göz önüne alınır. Burada verim dikkate alınmadan da hesap yapılabilirdi ancak gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için hedeflenen verim değeri %96 mertebesinde olmasına rağmen kötü koşullar düşünülerek yaklaşık %92 verim değeri ile hesaplama işlemi yapılmıştır.

Maksimum anahtar akımını hesaplamak için bir sonraki adım, indüktör bobin dalgalanma akımını belirlemektir. Denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN(min)} * D}{f_s * L} \quad (3.2)$$

Çıkış akım dalgalanması Çizelge 3.1’de sabit bir değer üzerine tasarım inşa edildiği için Denklem 3.2’nin ve Denklem 3.3’ü bağlantılı olarak kullanılarak akım dalgalanması hesaplanabilir.

$$\Delta I_L = ADO * I_{OUT(max)} * \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (3.3)$$

ADO, Akım dalgalılık oranını ifade etmektedir.

$$\Delta I_L = 0,05 * 4 * \frac{87}{40} = 0,44A \text{ olarak hesaplanır.}$$

Maksimum anahtar akımını Denklem 3.4 ile hesaplanır.

$$I_{SW(max)} = \frac{\Delta I_L}{2} + \frac{I_{OUT(max)}}{1-D} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’de $I_{OUT(max)}$, maksimum çıkış akımını, $I_{SW(max)}$ maksimum anahtar akımını ifade etmektedir.

Buradan,

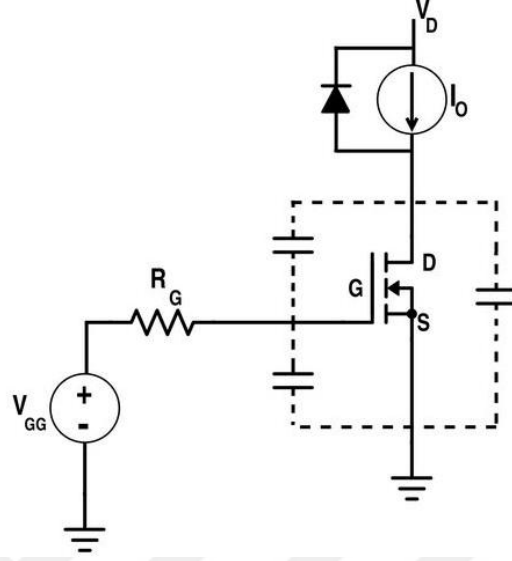
$$I_{SW(max)} = \frac{0,44}{2} + \frac{4}{1-0,889} = 36,25A \text{ olarak bulunur.}$$

Seçilecek olan mosfet anahtar bu akıma dayanabilecek seviyede olmalıdır. Aynı zamanda anahtar üzerinde oluşacak gerilim yükselmeleri ve sistem çalışma gerilimi baz alındığında 87volt maksimum çalışma gerilimi için %15’lik bir güvenlik payı bırakılarak 100V gerilime dayanabilen mosfet seçilmelidir. Bu tez çalışmasında katalog değerleri baz alınarak Infineon firmasının IRF100B201 kodlu mosfet elemanı kullanılmıştır.

3.1.1.1 Mosfet anahtarlama kayıpları

Bu uygulamada, mosfet anahtarı lineer bölgede kullanılmayacak sürekli olarak tam iletim ve tam kesim durumunda çalıştırılacaktır. Mosfetler kesim durumunda ideal şartlarda tam bir açık devre yapısı ile modellenirken iletim durumunda R_{dsON} adı verilen bir iletim direncine sahiptirler. Mosfetin yüksek frekans uygulamalarında göz önüne alınması gereken parametreler arasında Kapı-Savak (G-S (Source)) arasındaki, Kapı-Akaç (G-D (Drain)) arasındaki ve Akaç-Savak (D-S) arasındaki parazitik

kapasiteler bulunmaktadır. Mosfet iletme ve kesime sokulurken bu kapasitelerin şarj-deşarj süreleri anahtarlama kayıplarını etkilemektedir. Endüktif yükü sabit akım kaynağı gibi düşünerek oluşturulan devre Şekil 3.2'deki gibidir.



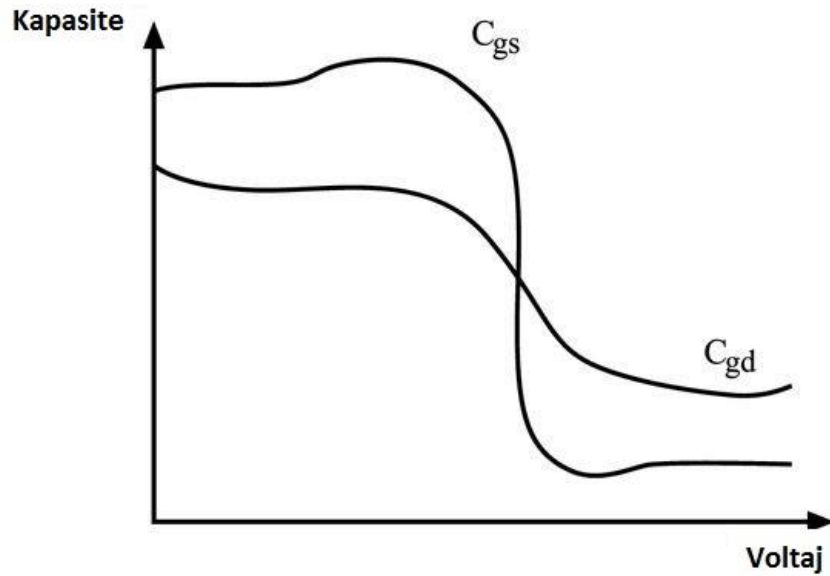
Şekil 3.2 : Mosfet parazitik kapasiteler [31].

Şekil 3.2'deki devre modelinde V_{GG} gerilimi uygulandığı andan itibaren geçen sürede C_{gs} uçlarındaki gerilim V_{GG} gerilimine doğru yükselmeye başlar.

Bu yükselme süresi,

$R_g * (C_{gs} + C_{gd})$ Süresine eşittir. Burada R_g , giriş direncini, C_{gs} , G-S uçlarındaki kapasite değerini, C_{gd} , D-S uçlarındaki kapasite değerini ifade etmektedir.

C_{gs} ve C_{gd} kapasitelerinin V_{ds} gerilimine bağlı değişimi Şekil 3.3'de görülmektedir.

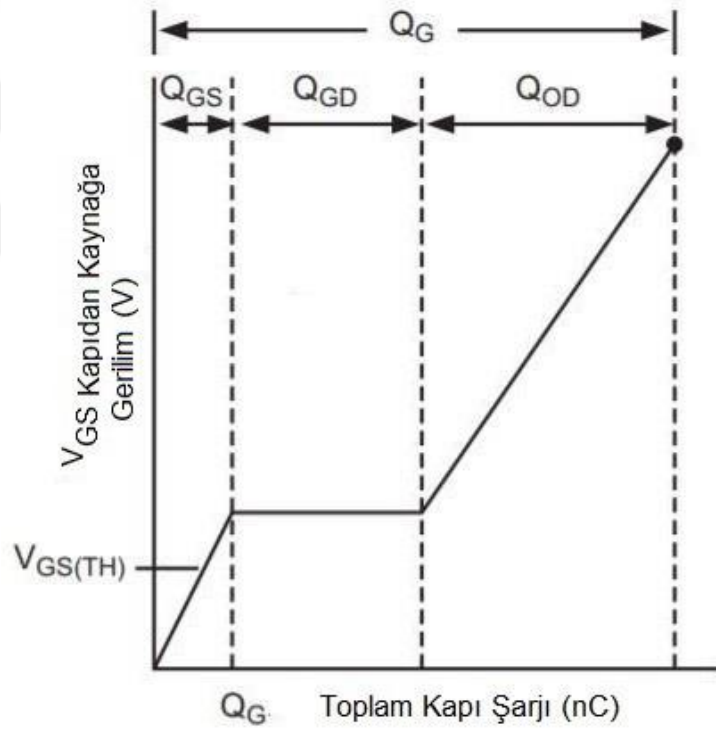


Şekil 3.3 : C_{gs} ve C_{gd} değişimi [31].

Mosfetin iç parazitik kapasitelerinin en büyüğü G-S uçlarında bulunan C_{gs} kapasitesidir. Mosfetin iletimden kesime ve kesimden iletime geçişi sırasında anahtarlama sürecine dahil olan tüm kapasitelerin toplamına “ Q_G kapasitesi” adı verilir. Q_G kapasitesi Denklem 3.5 ile hesaplanır.

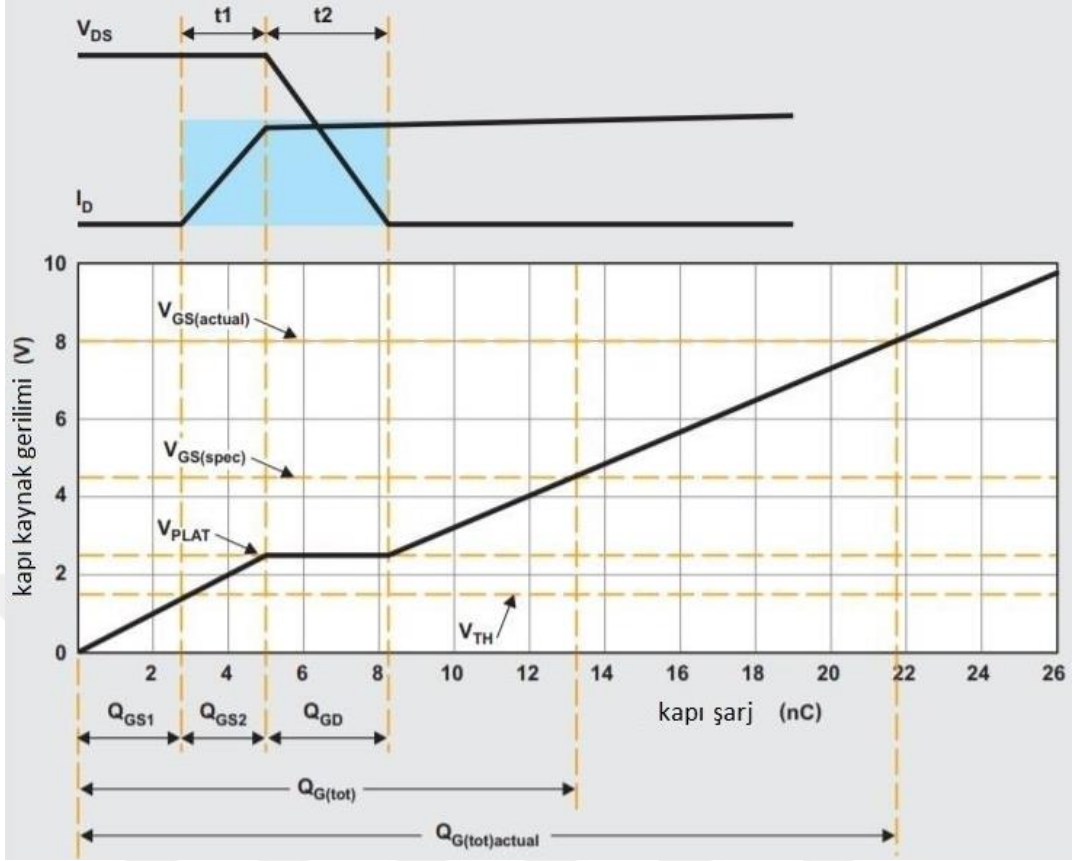
$$Q_G = Q_{GS} + Q_{GD} + Q_{OD} \quad (3.5)$$

Burada, Q_G , toplam kapı şarj yükünü, Q_{GS} , G-S arasındaki şarj yükünü, Q_{GD} , G-D arasındaki Miller şarj yükünü, Q_{OD} , Miller kapasitesi şarj olduktan sonraki aşırı sürme şarj yükünü ifade etmektedir. Q_G kapasitesi mosfetin katalog sayfasında üretici tarafından verilir. Mosfet’in G-S gerilimine bağlı olarak kapasitelerin dolduğu bölgeler Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Toplam kapı şarjı [32].

Yukarıda anlatılanlardan yola çıkarak görüldüğü üzere mosfetin iletim ve kesime girerken zaman sabitini R_G direnci ve C_{gs} , C_{gd} kapasitelerinin değerleri belirlemektedir. Mosfet anahtarlama esnasındaki geçiş süreleri boyunca lineer bölgeden geçer ve kayıpların artmasına sebep olmaktadır. Şekil 3.5 bu durumu göstermektedir. Bu yüzden gerçek uygulamalarda yüksek hızlı geçiş istenmektedir. Q_G kapasitesinin hızlıca doldurulması için mosfet sürücülerden yararlanılmaktadır.



Şekil 3.5 : Anatarlama kayıpları ve geçişler [33].

Mosfet sürücü belirlenirken G sürme akım değerine bakılır. Mosfetin iletme girenken ihtiyaç duyduğu G sürme akım değeri Denklem 3.6 ile hesaplanır.

$$I_G = Q_G / T_{geçiş} \quad (3.6)$$

Burada I_G , Q_G kapasitesini doldurmak için gereken akımı, $T_{geçiş}$ ise Mosfetin iletimden kesime, kesimden iletme geçerken yükselme ve düşme zamanıdır. Bu zaman sabiti tasarım yapılırken belli koşullar gözetilerek optimum değerde tutulmaya çalışılmaktadır. $T_{geçiş}$ süresini çok kısaltmak kayıpların azalması konusunda avantaj sağlıyor olsada, I_G akımının çok fazla artmasından dolayı Mosfet sürücü seçimi yaparken limitlerin dışına çıkılmasına sebep olmaktadır ve tasarımı zorlaştırmaktadır. Temin edilebilirlik ve verim dikkate alınarak bu projede Microchip firmasının TC4420 kodlu mosfet sürücü entegresi kullanılmıştır. Sürücünün verebileceği maksimum akım değeri 6Amper olması sebebiyle, $T_{geçiş}$ süresi buna bağlı olarak hesaplanır.

$$T_{geçiş} = 255 \text{ nC} / 6 \text{ A} = 42.5 \text{ nS} \text{ olarak bulunur.}$$

Mosfet iletimde iken üzerinde düşen güç kaybı Denklem 3.7 ile hesaplanır.

$$P_{iletim} = R_{dsON} * I_D^2 \quad (3.7)$$

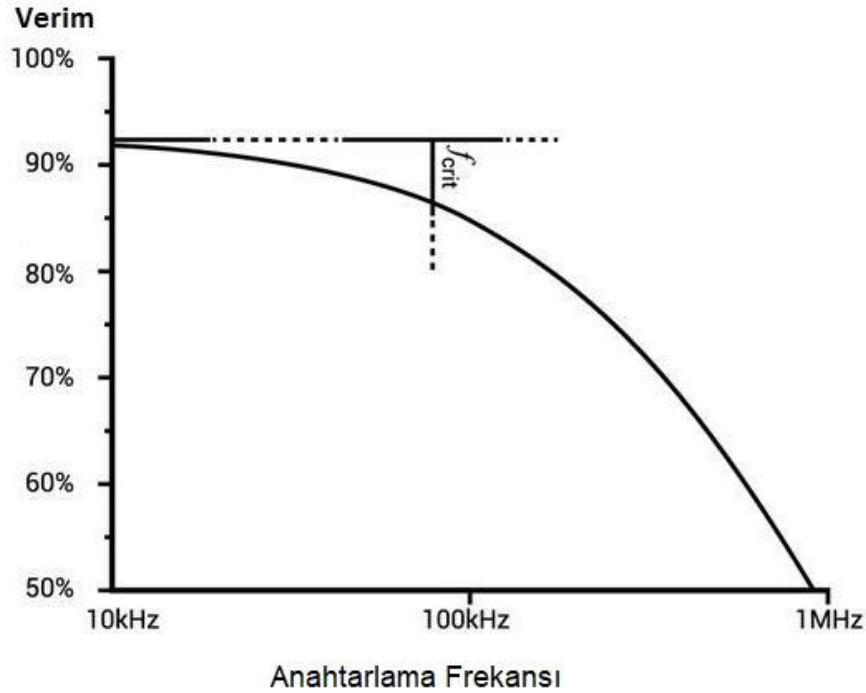
Burada, I_D , iletim durumunda mosfet üzerinden geçen akımı, R_{dsON} , mosfet iletim direncini ifade etmektedir.

Mosfet kesimden iletme, iletimden kesime geçerken oluşan anahartlama kayıpları Denklem 3.8 ile hesaplanır.

$$P_{SW} = V_{IN} * I_D * f_S * \frac{Q_G}{(T_{geçiş} * 2)} \quad (3.8)$$

3.1.1.2 Anahtarlama frekansı ve verimlilik

Frekans arttıkça anahtarlama kayıplarının artmasından dolayı çevirici verimleri belli bir oranda düşmektedir. Ancak kritik bir frekans değerinden sonra verimlilik ciddi bir şekilde azalmaya başlar. Verim ile anahtarlama frekansının birbiri ile arasındaki ilişki Şekil 3.6'daki gibidir.



Şekil 3.6 : Anahtarlama frekansı ve verim arasındaki ilişki [31].

3.1.2 Manyetik eleman hesabı ve nüve çekirdek seçimi

DC-DC çeviricilerde bobinin görevi anahtar kapalı olduğunda akımın sürekliliğini sağlamaktır. Bobin hesabı yapılırken akım dalgalılığı, giriş çıkış gerilimleri ve anahtarlama frekansı göz önüne alınır. Hesaplama için Denklem 3.9 kullanılır.

$$L = \frac{V_{IN}*(V_{OUT}-V_{IN})}{\Delta I_L*f_s*V_{OUT}} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’da yerine koyulan teknik değerler neticesinde;

$$L = \frac{40*(87-40)}{0,44*50000*87} = 0,000988H = \sim 1mH \text{ olarak bulunur.}$$

DC-DC çeviricilerin en önemli bileşenlerinden bir tanesi de kullanılan manyetik nüve elemanıdır. İçerisinde sakladıkları enerji ve çekirdek kayıpları verim değerine büyük oranda etki etmektedir. Bu projede Magnetics firmasının Kool Mu çekirdeğine sahip toroid nüvesi kullanılmıştır. Bunun sebebi, Kool Mu malzemesinin düşük kaybı ve nispeten yüksek doyma seviyesi, PFC ve DC-DC çevirici uygulamalarında kullanım için uygundur [34].

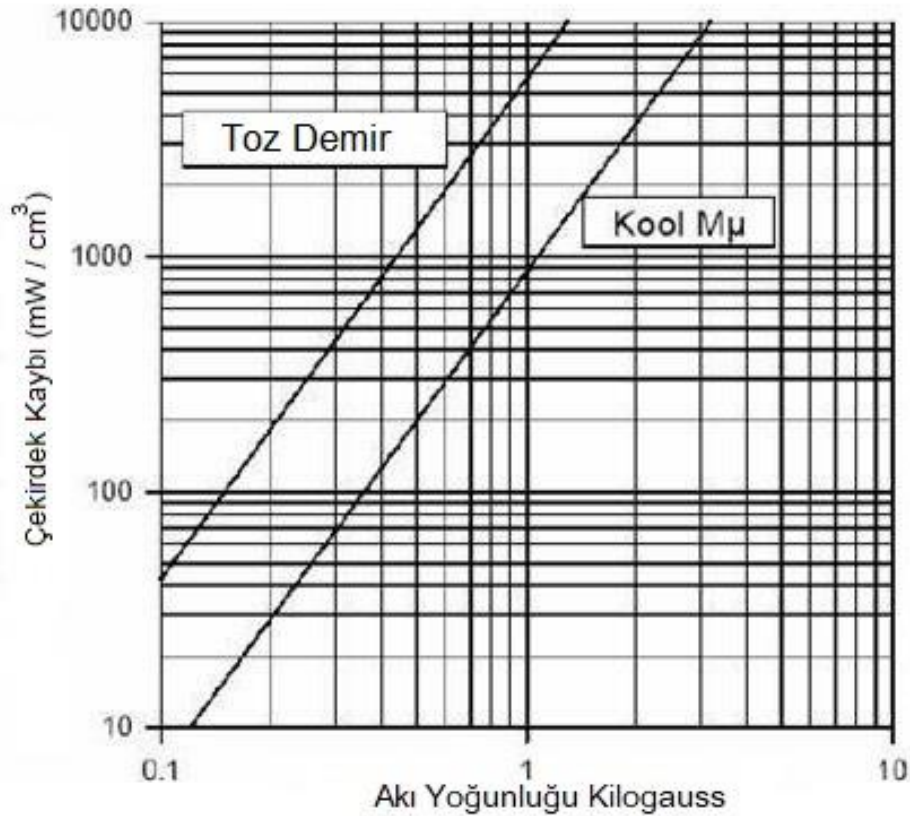
Manyetik Kool Mu (Sendust) çekirdekleri, yüksek frekanslarda düşük kayıplar için % 85 Demir,% 9 Silikon ve% 6 Alüminyum alaşımlı tozdan üretilen hava boşluğu çekirdeklerine dağıtmaktadır.

Kool Mu Çekirdek Uygun Kullanım Alanları

- Kool Mu Toz Çekirdekleri, diğer sendust çekirdekler gibi, anahtarlama güç kaynaklarında kullanılan enerji depolama filtresi indüktörleri için uygundur. Kool Mu çekirdeklerinin 10.500 gauss doyma seviyesi, aynı boyutta ve etkin geçirgenlikteki boşluklu ferrit nüvelerle elde edilebilenden daha yüksek bir enerji depolama kapasitesi sağlar.
- Önemli dalgalanmaların ısı artışına sebep olduğu yerlerde, Kool Mu çekirdekleri bu bakımdan toz demir çekirdeklerinden daha iyi performans gösterir. Benzer uygulamalarda, Kool Mu çekirdeklerinin toz halindeki demir göbekler üzerinde çekirdek boyutunda bir azalma sunması mümkündür. Çekirdek kayıpları Şekil 3.7’de gösterilmiştir.
- Yüksek akı yoğunluğu ve düşük çekirdek kayıpları, Kool Mu çekirdeklerini PFC devrelerindeki gibi tek yönlü DC-DC çevirici uygulamalarında kullanım için avantajlı kılmaktadır.

Kool Mu Çekirdek Avantajları

- Yüksek doygunluk seviyesi
- Toz demirden daha düşük çekirdek kaybı
- Orta maliyetli
- Düşük mıknatıssal büzülme
- Sıcaklık ile istikrarlı performans
- Mevcut şekillerin çeşitliliği (E, U vb. şekiller.)



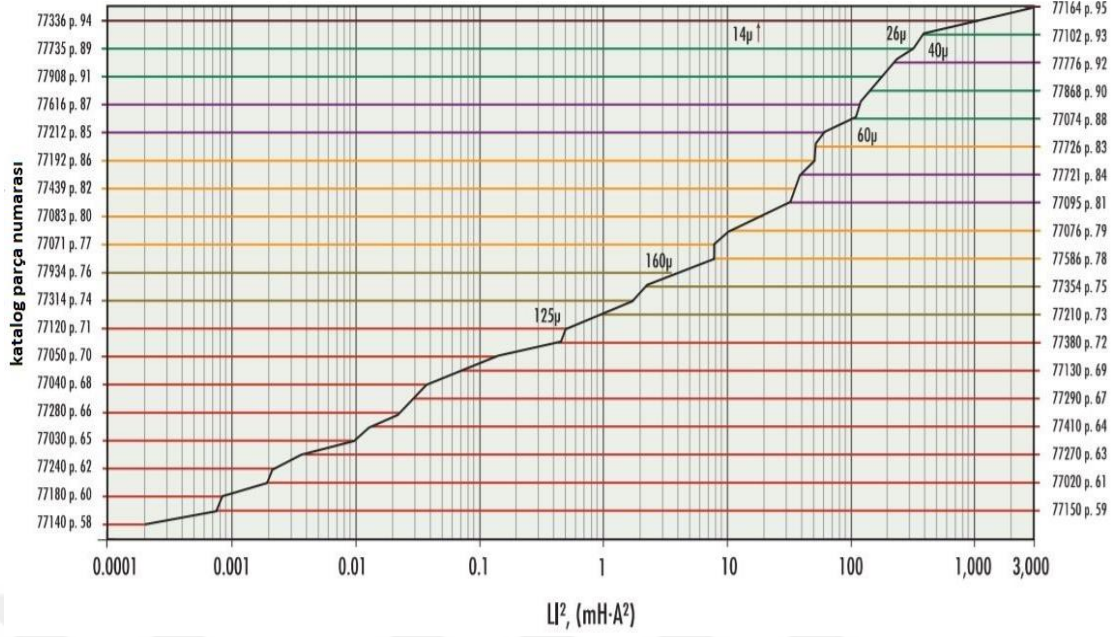
Şekil 3.7 : Kool Mu ve Toz Demir çekirdek kaybı [35].

Nüve çekirdek boyutunu ve sarım yapılacak telin tur sayısını belirlemek için öncelikle nüve de depolanan enerji Denklem 3.10 kullanılarak hesaplanır.

$$E = L * I^2 \quad (3.10)$$

$E = L * I^2 = 1\text{mH} * 4^2 = 16\text{mH-A}^2$ bulunur.

İkinci adım olarak üreticinin vermiş olduğu nüve çekirdek seçim tablosundan karşılık gelen Kool Mu nüve karşılığı bulunur. Nüve seçim tablosu Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 : Kool Mu nüve seçim tablosu [36].

Şekil 3.8’de diyagonal geçirgenlik çizgisinin üzerinde bulunan ilk çekirdek boyutuyla kesişme noktasına karşılık gelen parça kodu kullanılabilir en küçük çekirdek boyuttur. Hesaplanan 16mH-A^2 karşılık tabloda 77083 kodlu nüve kullanılmasının uygun olacağı tespit edilir.

Endüktans ve nüve boyutu belirlendikten sonra tel sarım sayısı belirlenir.

Nüve katalogunda,

$A_L = nH/T_N^2$ değeri $81 \pm \%8$ olarak verilmiştir.

Buradan $A_{L(\min)} = 74,6 nH/T_N^2$ değeri bulunur.

T_N , burada tur/sarım sayısını ifade etmektedir.

İstenen endüktans değerini elde etmek için nüve üzerine sarılmasını gereken tur sayısı

Denklem 3.11 ile hesaplanır.

$$T_N = \sqrt{\frac{L*10^3}{A_{L(\min)}}} \quad (3.11)$$

T_N , burada tur/sarım sayısını ifade etmektedir. L değerinin birimi μH ’dir.

Sonuç olarak;

$$T_N = \sqrt{\frac{1000*10^3}{74,6}} = 116 \text{ olarak bulunur.}$$

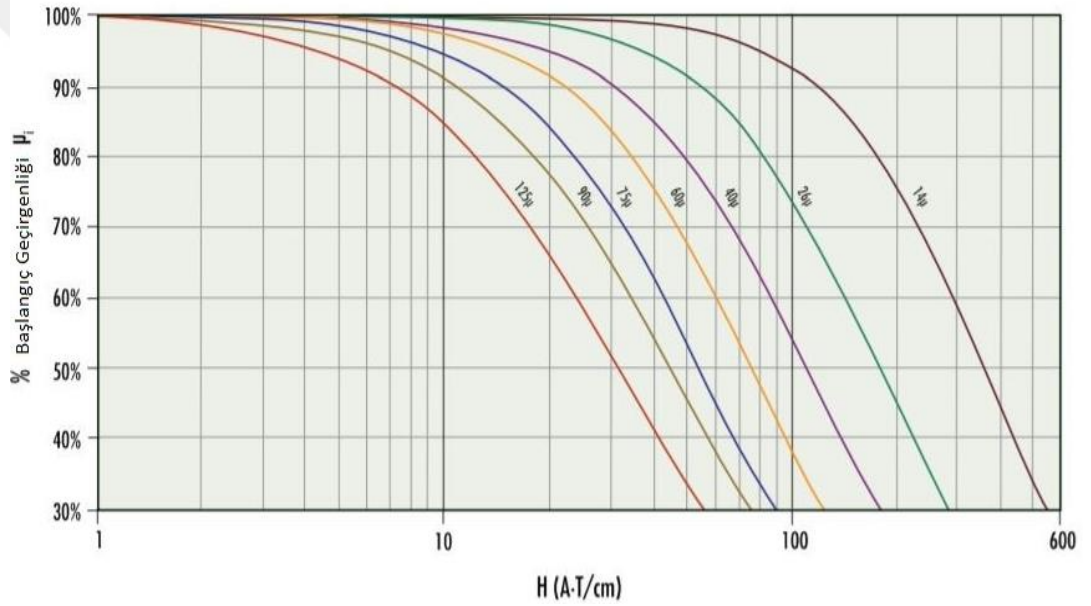
Yüksüz halde 1mH elde etmek için gereken dönüş sayısı 116 turdur. Tam yükte gereken tur sayısını DC manyetik alan şiddetinin (\vec{H}) seviyesi belirler. \vec{H} değeri Denklem 3.12 kullanılarak hesaplanır.

$$H = \frac{N \cdot I}{L_e} \quad (3.12)$$

$$H = \frac{116 \cdot 4}{9,84} = \text{AT}_N/\text{cm} \text{ olarak bulunur.}$$

L_e burada nüvenin manyetik yol uzunluğudur. Bu bilgi nüve katalogunda yer almaktadır.

Kullanılan Kool Mu 77083 kodlu nüvenin permabilitesi 60μ olduğu bilgisi katalogda yer almaktadır. Şekil 3.9'daki grafik üzerinden hesaplanmış olan H değerine karşılık nüvede ki sapma değeri bulunur ve buna göre tam yükte gereken tur sayısı belirlenmiş olur.



Şekil 3.9 : Kool Mu manyetik geçirgenlik grafiği [36].

Şekilde 3.9'da $H = 47,16 \text{ AT/cm}$ değerine karşılık gelen değerin %70 olduğu tespit edilir. Şimdi yapılması gereken yüksüz durumdaki sarım sayısını tam yükteki sarım sayısına göre revize etmektir.

Revize edilen sarım sayısı,

$N_{REV} = 116/0,7 = 166$ olarak bulunur. Nihai olarak nüve üzerine sarılması gereken tur sayısı 166 olarak belirlenmiş olur. Son adım olarak işlemin geri doğru sağlanması yapılarak değerler kontrol edilir. Bulunan son sarım sayısına bağlı olarak H değeri tekrar hesaplanır.

Buradan $H = 67,47$ AT/cm bulunur. Şekil 3.9 üzerinden tekrar kontrol edildiğinde permabilite sapma oranı son değer üzerinden %55 olduğu tespit edilir. Bu sapma değeri, $A_{L(min)}$ değeri üzerinde etki edeceği için,

$$A_{L(min)} = 74,6 * 0,55 = 41,03 nH / T_N^2 \text{ olur.}$$

İşlemin sağlamasını yaparken yüklü durumdaki L endüktans değerini sağlayıp sağlamadığına bakmak gereklidir.

Bulunan son değerler Denklem 3.13'te yerine konulup çözüldüğünde,

$$L = \frac{N^2 * A_{L(min)}}{10^3} \quad (3.13)$$

$L = 1,13$ mH bulunur. Görüldüğü üzere yüklü durumda iken bulunan endüktans değeri yüksüz durumdan büyüktür ve gereksinimi karşılamıştır. Sarım sayısının doğru olduğunu göstermektedir [34].

3.1.3 Doğrultucu diyot seçimi

Yükselten çeviricide bulunan Şekil 3.1'de gösterilen D_d diyotu, yüksek çıkış geriliminin düşük giriş gerilimi arasındaki potansiyel farktan dolayı çıkıştan girişe doğru akım akmasını engeller. Burada kullanılan diyot düşük seviyede kayıplara sebep olursa DC-DC çevirici verimi artmış olur.

Doğrultucu diyot seçilirken bilinen düşük iletim kayıplı Schottky diyot tercih edilir. Diyotun akım değeri en az Denklem 3.14'deki eşitliği sağlamalıdır.

$$I_F = I_{OUT(max)} \quad (3.14)$$

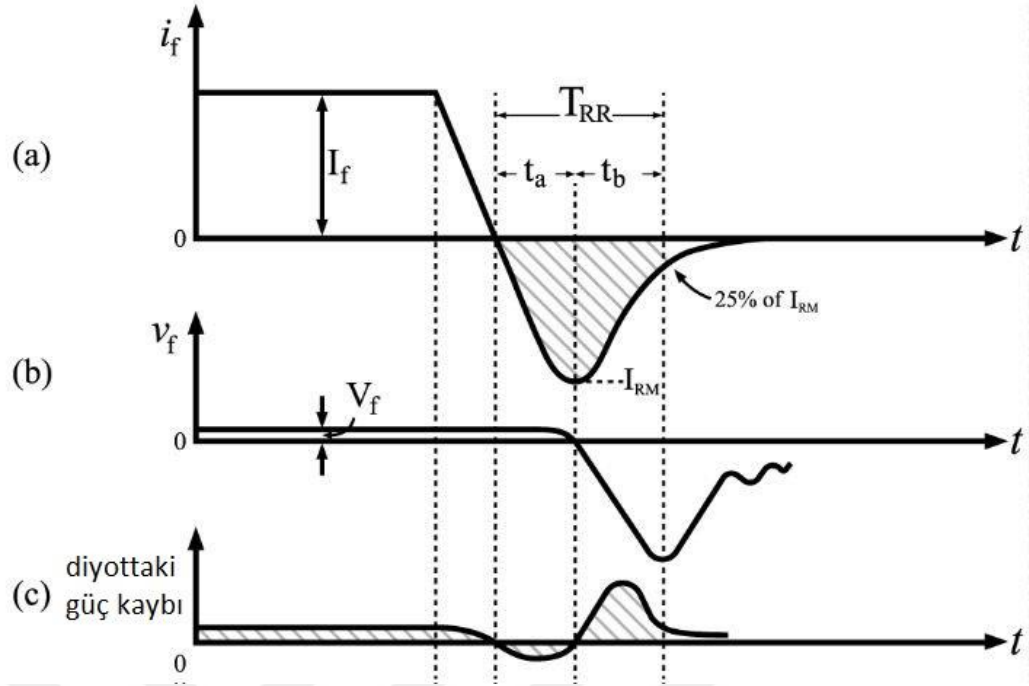
Burada I_F diyot iletim yönündeki akım değerini, I_{OUT} ise maksimum çıkış akımını ifade etmektedir.

Diyot üzerinde oluşan güç kaybı Denklem 3.15 ile hesaplanır.

$$P_D = I_F * V_F \quad (3.15)$$

Burada P_D diyot üzerindeki güç kaybını V_F ise diyotun iletim yönündeki gerilim değerini ifade etmektedir.

Şekil 3.10'da güç diyotunun iletimden kesime geçiş karakteristiği boyunca kayıpları görülmektedir.



Şekil 3.10 : a) Diyot akım b) diyot gerilim c) diyot güç değişim grafikleri [31].

Şekil 3.10'da (a)'da diyotun akım değişimi, (b)'de diyotun üzerindeki gerilim değişimi, (c)'de güç kaybındaki değişim görülmektedir.

Şekillerde de görüldüğü üzere diyot kapalı konuma geçerken diyota ters gerilim uygulandığında P-N plakalarda depolanmış yüklerden dolayı akım akışı belli bir süre boyunca devam etmektedir. Bunun yanı sıra tıkama bölgesine geçtiğinde de bir süre diyot üzerinden ters yönde akım akmaktadır. Bu süre diyot karakteristiğinde ters toparlanma süresi (T_{RR}) olarak ifade edilmektedir. T_{RR} süresinin baz alındığı bölge diyot akımının sıfır olduğu durumdan itibaren başlayarak ters maksimum akım değerinin %25'ine düşene kadar geçen süredir.

Şekil 3.10 a'daki " t_a " süresi; P-N katmanında depolanan enerjinin boşalması için geçen süre, " t_b " süresi ise; yarı iletken bölgede depolanan enerjinin boşalması için gereken süredir.

Buradan toplam toparlanma süresi Denklem 3.16 ile ifade edilir.

$$T_{RR} = t_a + t_b \quad (3.16)$$

Maksimum ters akım değeri de Denklem 3.17 ile ifade edilir.

$$I_{RM} = t_a * \frac{di}{dt} \quad (3.17)$$

Ters toparlanma şarjı (Q_{RRC}) için gereken akım, diyotun iletim modundan tıkama moduna geçerken gereken akımdır. Bu akım değeri Şekil 3.10'da t eksenini boyunca kapalı alanda kalan taranmış kısımdır.

Denklem 3.18 ve 3.19'den yola çıkarak ve genellikle t_a değerinin t_b değerinden çok çok büyük olmasından dolayı $T_{RR}=t_a$ kabul edilmektedir.

$$Q_{RRC} \sim \frac{1}{2} I_{RM} * T_{RR} \quad (3.18)$$

$$I_{RM} = 2 * Q_{RRC} / T_{RR} \quad (3.19)$$

Denklem 3.18 ve 3.19 düzenlendiğinde ise Denklem 3.20 eşitliği sağlanır.

$$I_{RM} = \sqrt{(2Q_{RRC} * di/dt)} \quad (3.20)$$

Görüldüğü üzere I_{RM} değeri, Q_{RRC} değerine bağımlı olmakla birlikte di/dt süresine de bağlıdır. Frekansın artması ile kayıplarında artacağı görülmektedir.

Diyot üzerindeki güç kaybı Denklem 3.21 ile hesaplanır.

$$P_{DIYOT} = V_F * I_{DIYOT} \quad (3.21)$$

Kayıpları azaltmak için Schottky tipi güç diyotu seçilmiştir. Bu diyot tipinde V_F değeri normal diyotlara göre daha düşüktür. Bu tezde yapılan çalışmada, Unisonic firmasının MBR30200C kodlu Schottky tipi güç diyotu kullanılmıştır.

3.1.4 Kondansatör seçimi

DC-DC çevirici çıkışında gerilim dalgalılık oranını düşürmek için düşük eşdeğer seri direnç değerine sahip kondansatörler kullanılmalıdır. Çıkıştaki akım dalgalanmalarından dolayı kondansatör üzerindeki harcanan güçte verime etki etmektedir.

Çevirici çıkışında kullanılacak kondansatörün minimum değeri Denklem 3.22 ile hesaplanır.

$$C_{OUT(min)} = \frac{I_{OUT(max)} * D}{f_s * \Delta V_{OUT}} \quad (3.22)$$

Burada, $C_{OUT(min)}$ DC-DC çevirici çıkışında bulunması gereken minimum kondansatörün kapasite değerini ifade etmektedir. Hesaplanan değer üzerinde kapasite kullanmak dönüştürücü çıkışındaki gerilim dalgalılığını azaltacağı için

olumlu yönde etki etmektedir. Pratikte minimum değerden daha fazla kapasiteye sahip kondansatör kullanmak iyi sonuçlar vermektedir.

$$C_{OUT(min)} = \frac{4 * 0,889}{50000 * 0,001 * 87} = 817 \mu F \text{ Bulunur.}$$

3.1.5 Soğutucu seçimi

Anahtarlama elemanlarının güvenli çalışması için belirli bir sıcaklığın üzerine çıkmasını engellemek amacıyla alüminyum soğutucu kullanılmaktadır. Soğutucu seçiminde dikkat edilecek parametreler yarı iletken güç elemanının maksimum çalışma sıcaklığı, istenen çalışma sıcaklığı, eleman üzerinde harcanan maksimum güç değeri, eklem ve kılıf arasındaki ısı transfer katsayısı, izolatör ve kılıf arasındaki ısı transfer katsayısı ve izolatör soğutucu arasındaki ısı transfer katsayısıdır.

Yapılan cihazın soğutucu seçiminde aşağıdaki parametreler seçilmiş ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Maksimum Ortam Sıcaklığı = 30°C

Maksimum Mosfet Sıcaklığı = 90°C

Mosfet Toplam Sıcaklığı = 120°C

Toplam güç = 15W

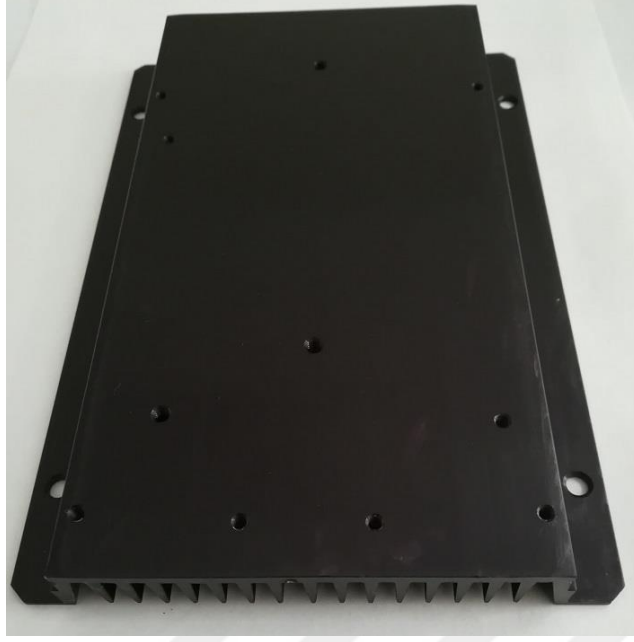
Soğutucu seçimi için Derece / Watt (°C/W) oranı 90°C / 15W = 6 °C/W olarak bulunur.

Soğutucu seçimi yaparken Denklem 3.23'ten yararlanır. İşlem sonunda bulunan değerden daha küçük °C/W oranına sahip soğutucu seçilmelidir. Alüminyum soğutucu için °C/W oranı Rought Formülü ile hesaplanmaktadır. Denklem 3.23'te gösterilmiştir.

$$^{\circ}C/W = 50 / \sqrt{YA} \quad (3.23)$$

YA burada, cm² cinsinden soğutucu yüzey alanıdır. Projede kullanılan soğutucu ölçüleri 132x190x18mm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.11'de görüldüğü üzere soğutucu üzerinde 17 adet dikey kanat bulunmaktadır.

Yüzey alanı hesaplanırken havayla temas eden tüm yüzeyler hesaba dâhil edilir.



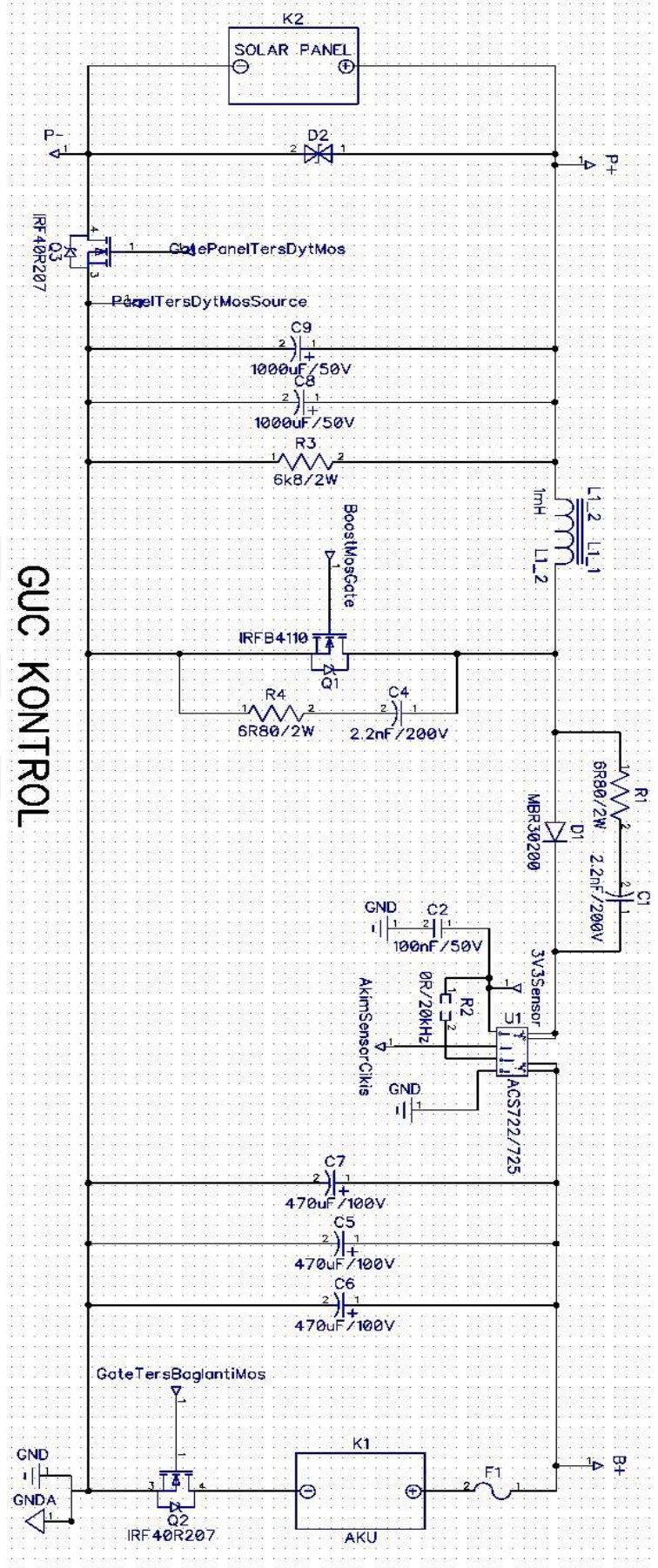
Şekil 3.11 : Soğutucu.

3.2 Devre Tasarımı ve Şematik Çizimler

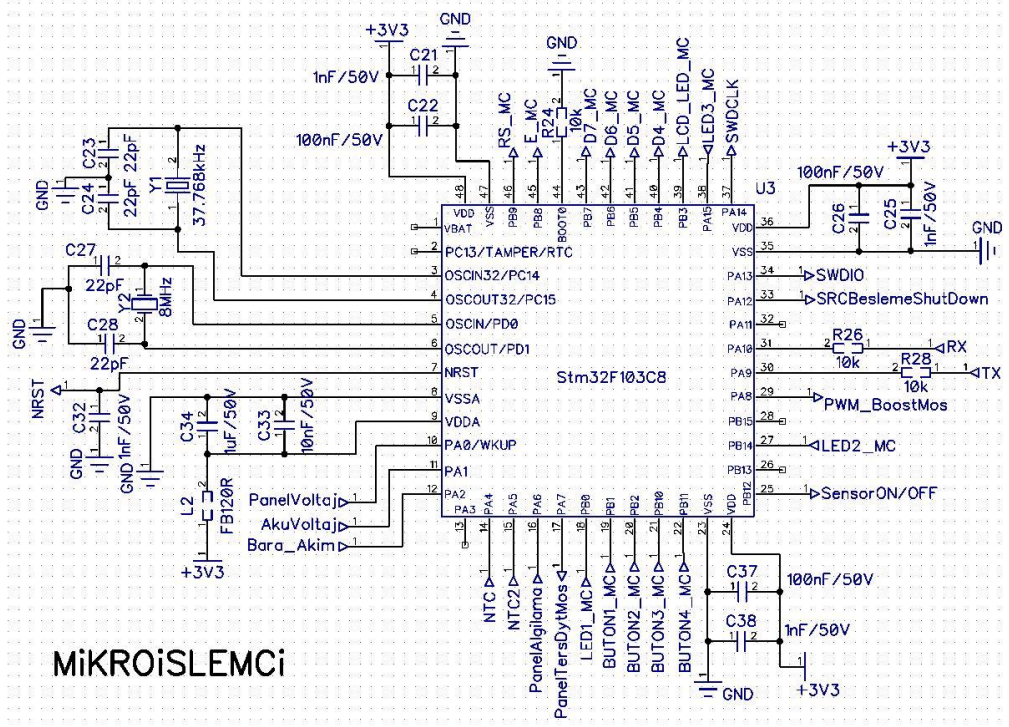
Teorik hesaplamaların tamamlanmasından sonra projenin şematik çizimi yapılmaktadır. Şematik tasarım yapılırken nihai sonuca varmadan önce ihtiyaç duyulan tüm hesaplamalar yapılmalıdır aksi halde tasarım sürecinde sürekli olarak değişiklik yapılması projenin ilerlemesini son derece zorlaştırmaktadır. Yükselten çevirici şematiğine ait birinci bölüm güç kontrol birimidir. Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Kontrol edilmesi gereken güç anahtarlarına ait kapı sinyallerini oluşturmak ve beslemeleri sağlamak için devre şematiği katmanlar halinde çizilmiştir.

Yine giriş çıkış bağlantıları ve akım ölçmede kullanılacak hall etkili sensörde tasarımda bulunmaktadır. Aynı zamanda koruma amaçlı güneş panelinin ters bağlanması durumu veya bataryanın ters bağlantı yapılması durumu göz önüne alınarak bu hatlar üzerine koruma mosfetleri yerleştirilmiştir.

Mikroişlemci birimi devrenin ana kontrol birimidir. Mikroişlemci içerisine yazılan yazılım ile yükselten çevirici için kontrol sinyalleri üretmektedir. Belirlenmiş görevleri yapmak, ayar fonksiyonlarını tutmak, dış çevre birimleri ile iletişim kurmaktadır. Aynı zamanda MPPT algoritmasının işletilmesi için analog sinyalleri okuyup sayısal değerler üzerinden işlem yaparak maksimum güç noktasını takip etmektedir ve PID kontrol için referans oluşturmaktadır. Mikroişlemcinin çalışabilmesi için ve devredeki bağlantı noktasının temel şematiği Şekil 3.13’te gösterilmiştir.



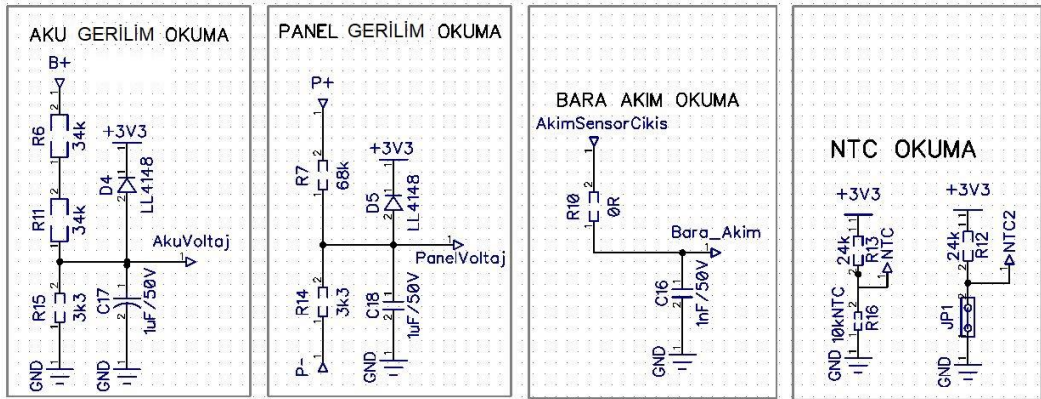
Şekil 3.12 : Yükselten çevirici güç kontrol birimi.



Mikroişlemci

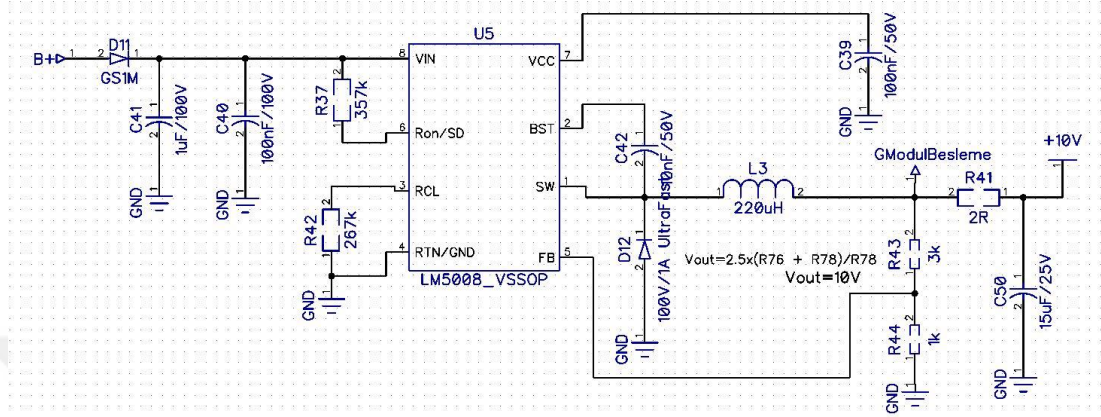
Şekil 3.13 : Mikroişlemci birimi.

Tasarlanan devrede yapılacak işlemlerin yükü göz önüne alındığında ST firmasının ARM Cortex M3 çekirdeğine sahip 72 MHz frekansta çalışabilen STM32F103C8 kodlu mikroişlemcisi kullanılmıştır. Dahili olarak Analog Dijital Dönüştürücü (ADC (Analog Digital Converter)), PWM, Üniversal Asenkron Alıcı-Aktarıcı (UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)) ve birçok çevre birimine sahiptir. Devrede kullanılan mikroişlemcinin yazılım kodlaması C dilinde, ARM firmasına ait Keil üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mikroişlemci analog sinyalleri doğrudan işleme özelliğine sahip olmadığı için ADC vasıtası ile sayısal veriler almaktadır. Yükselten çevirici üzerinde akü gerilimi, güneş paneli gerilimi, bara akımı ve sıcaklık bilgisini algılamak için çizilmiş devre şematığı Şekil 3.14'deki gibidir.



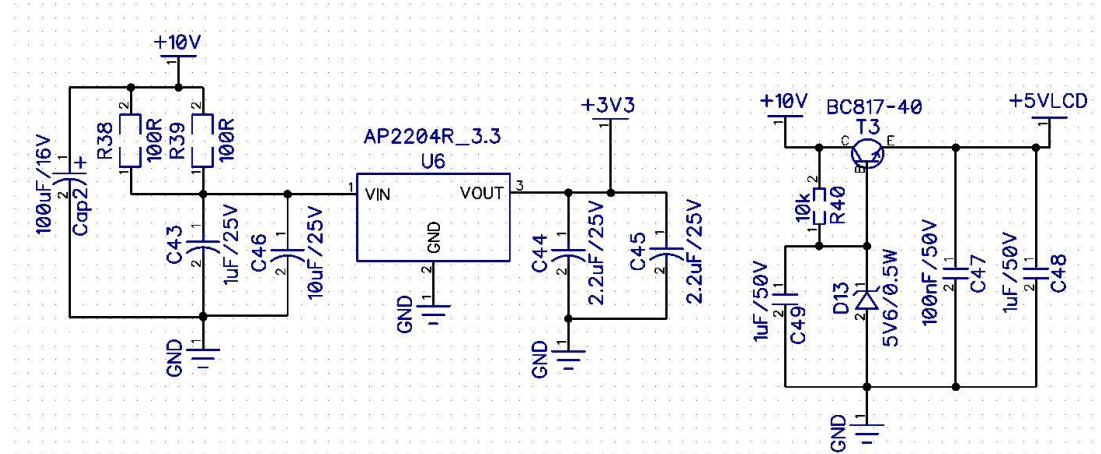
Şekil 3.14 : ADC okuma birimleri.

Elektronik devre elemanlarının çalışabilmesi için sağlanması gereken gerilimler için DC-DC çeviriciler ve linear gerilim regülatörleri kullanılmıştır. Şekil 3.15'deki devre şematığında bataryadaki yüksek gerilim seviyesinden Texas Instrument firmasına ait LM5008 kodlu alçaltan çevirici topolojisine sahip DC-DC çeviricisi ile girişteki 48V-72V olan gerilim sabit +10V DC seviyesine düşürülmektedir.



Şekil 3.15 : Besleme katı DC-DC çevirici devresi.

Mikroişlemci ve diğer analog donanımların çalışması için gereken gerilim seviyesi +3.3V olması sebebiyle Şekil 3.16'daki devre çizilmiştir. Burada kullanılan entegre devre elemanı düşük gürültü ve filtre özelliğine sahip Düşük Gerilim Düşümlü (LDO (Low Drop Out)) sınıfı bir linear gerilim regülatörüdür. Harici bağlanacak olan karakter kristal ekran (LCD (Liquid Crystal Display)) ekran için de yine transistör ve zener diyot ile basit bir linear regülatör devresi ile +5V DC gerilim sağlanmaktadır.

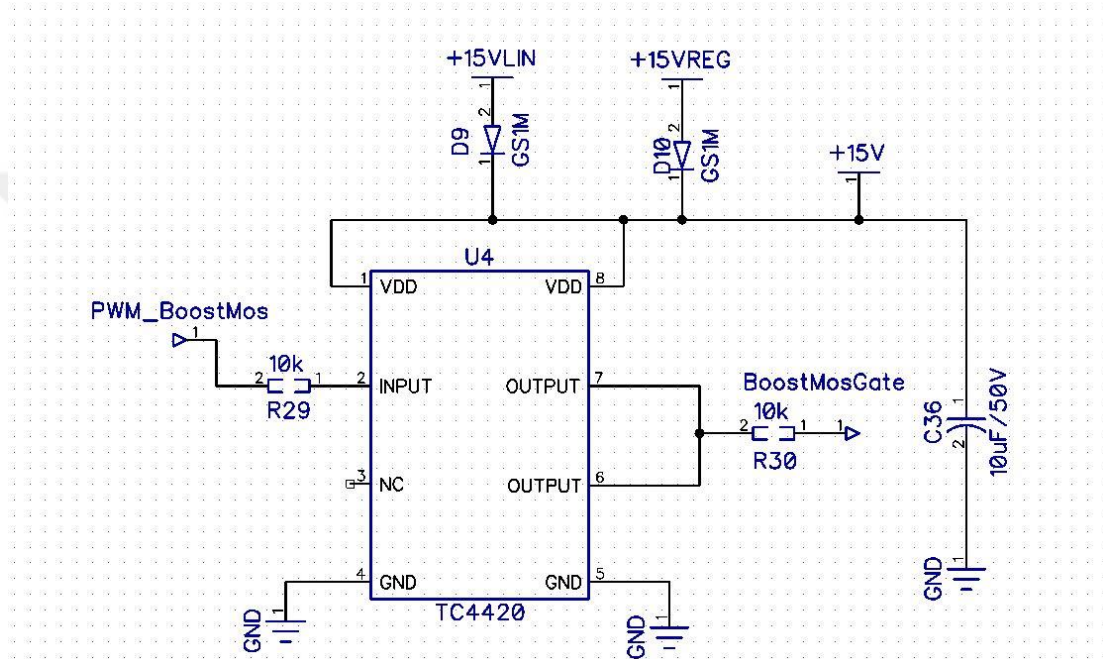


Şekil 3.16 : Lineer regülatörler.

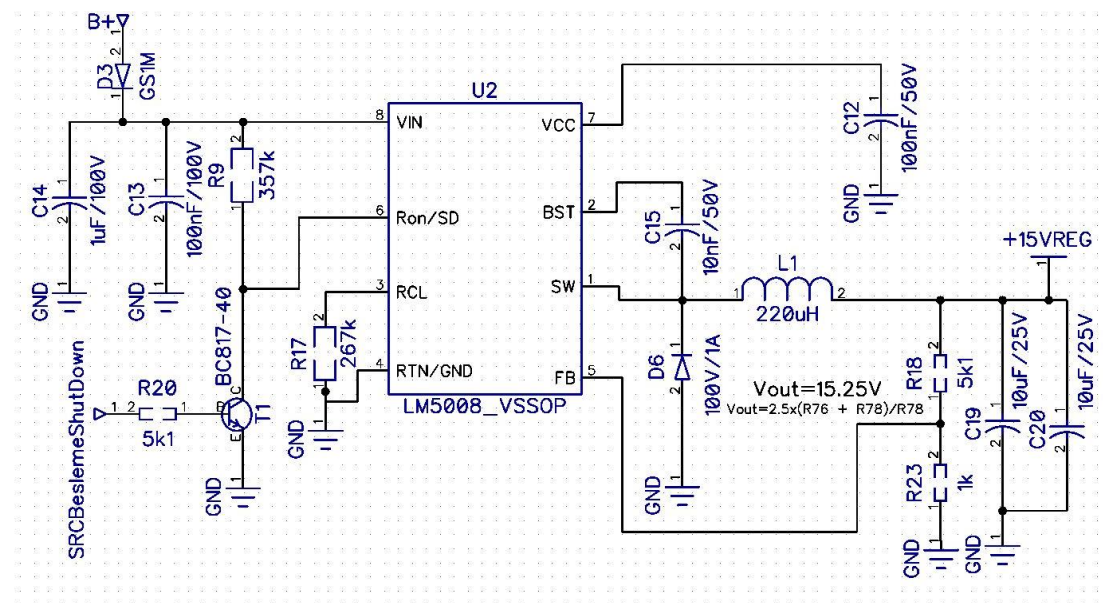
Mosfet ve Mosfet sürücü seçimi yapılmasına dair anlatımı yapılan bölümde hesaplanan değerler üzerinden mosfet sürücü şeması çizilmiştir. Burada seçilen mosfet sürücü Microchip firmasının TC4420 kodlu 6 Amper çıkış akımına sahip mosfet

sürücüsüdür. Mosfet sürücü seçiminde akım kriterinin haricinde temin edilebilirlik ve uygulanabilirlik kriterleride göz önüne alınmıştır.

Şekilde 3.17’de çizimi bulunan mosfet sürücüyü yüksek gerilimden yine besleme katında olduğu gibi sabit bir gerilim sağlamak amacıyla Şekil 3.18’de görülen DC-DC çevirici devresi kullanılmıştır. Mosfet sürülmesi için ortalama olarak katalog değerlerinde +20V DC sınır gerilimi gerektiği yazmaktadır ve ortalama +10V seviyesinde mosfet tam ilettime geçmektedir. Bu nedenden dolayı sürücü beslemesi ve iletim kayıpları göz önüne alınarak +15V olarak ayarlanmıştır.

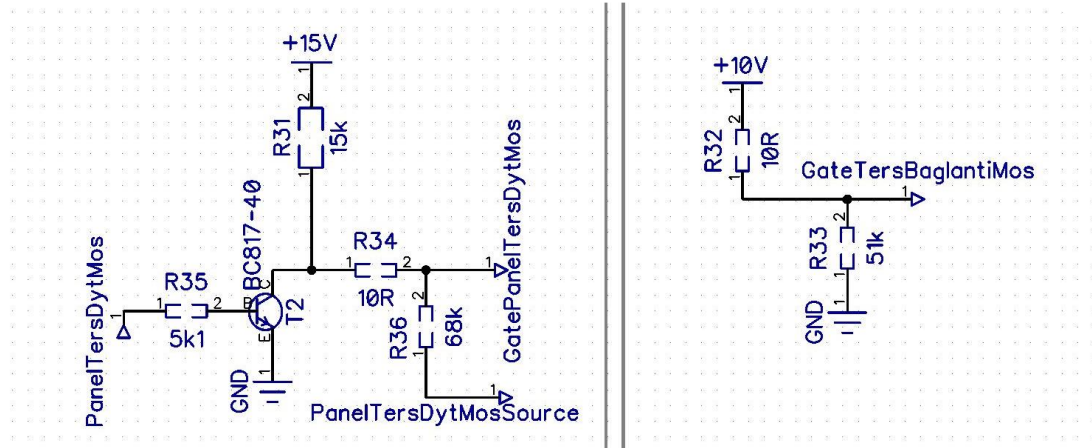


Şekil 3.17 : Mosfet sürücü.



Şekil 3.18 : Mosfet sürücü besleme devresi.

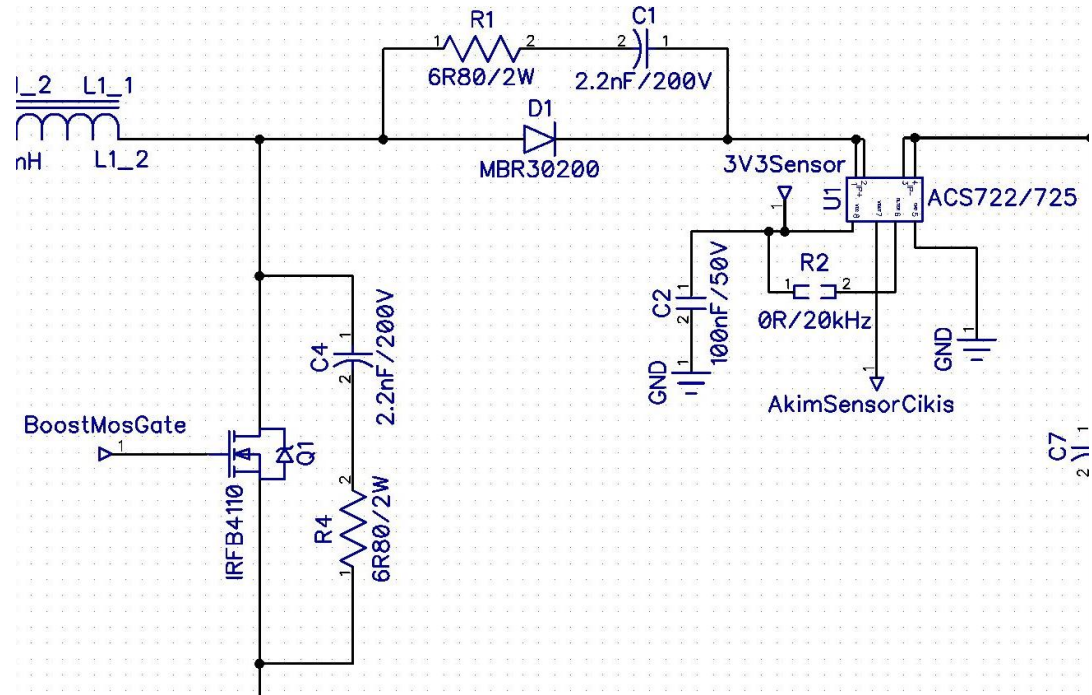
Şematikte bulunan diğer koruma mosfetleri için mosfet sürücü devreleri Şekil 3.19’da görülmektedir.



Şekil 3.19 : Koruma mosfetleri sürme devreleri.

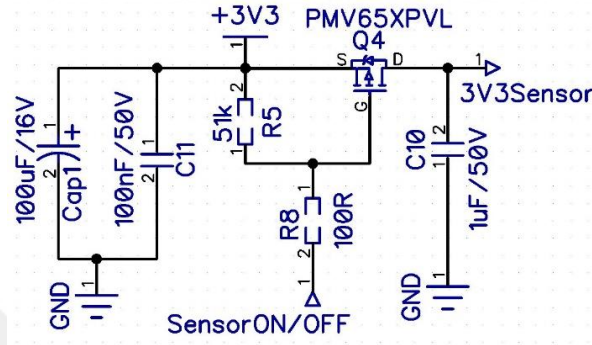
Bu tezde, hall etkisi ile çalışan Allegro firmasına ait ACS722 kodlu akım sensörü kullanılmıştır. Solar şarj kontrol cihazlarında akımı ölçümü için hall etkisi ile çalışan sensör kullanımına devre tekniği Havensis Elektronik Firması Tarafından geliştirilmiş ve faydalı model patenti ile koruma altına alınmıştır [37].

Akım sensörü vasıtası ile bara akımı okunacak ve MPPT için hesaplamalar yapılacaktır. Akım sensörü devre yapısı Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.20 : Akım sensörü ve bastırma devresi.

Solar şarj kontrol cihazı tasarlanırken kendi kendine harcadığı gücün düşük tutulması amacıyla devre üzerinde aktif elemanların kullanılmadığı zaman kapatılması için açma kapatma devresi çizilmiştir. Özellikle akım sensörü aktif çalışmada harcadığı gücü gece olduğu durumda herhangi bir akım ölçme durumu olmayacağı için kapatılması uygundur. Şekilde 3.21’de görülen devrede bir P kanal mosfet yardımıyla mikroişlemci üzerinden gelen komut ile sensör beslemesi kesilmekte veya açılmaktadır.



Şekil 3.21 : Akım sensör açma kapatma devresi.

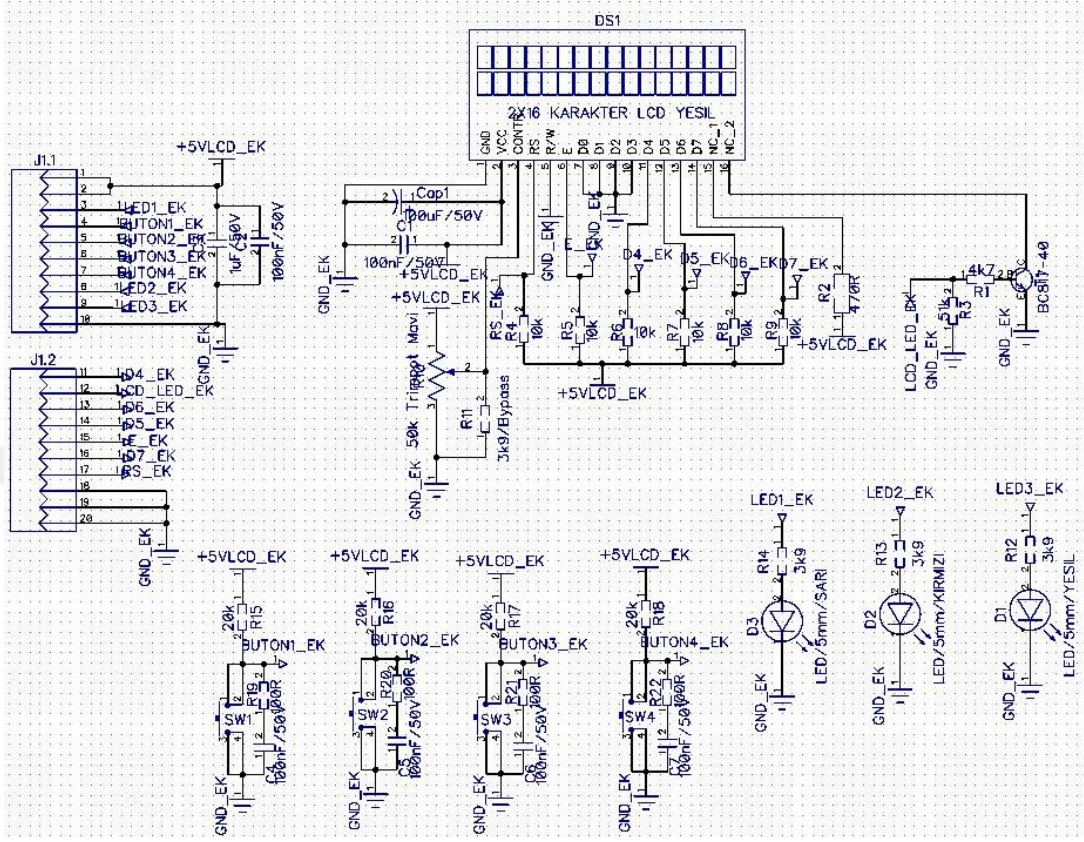
Yükselten çevirici devresinde anahtarlama elemanlarının ve diyot üzerinde iletme ve kesime girerken oluşan gerilim sıçramaları veya stresler sebebiyle bastırma devrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bastırma devreleri eleman üzerinde oluşan ani gerilim sıçramalarını absorbe ederek güç elemanlarının zarar görmesini engellemektedir. Direnç kondansatörden oluşan (R-C) bastırma devresinin şematik üzerinde D1 diyotunun anot katot uçlarına paralel olarak ve Q1 mosfetinin D-S uçlarına paralel olarak yerleşimi Şekil 3.20’de görülmektedir. Bilgilerin okunması ve genel maksatlı ayarlamaların yapılması sistem parametrelerinin takibinin yapılabilmesi amacıyla Şekil 3.22’de verilen LCD devresi kullanılmıştır.

3.3 Baskı Devre Çizimi

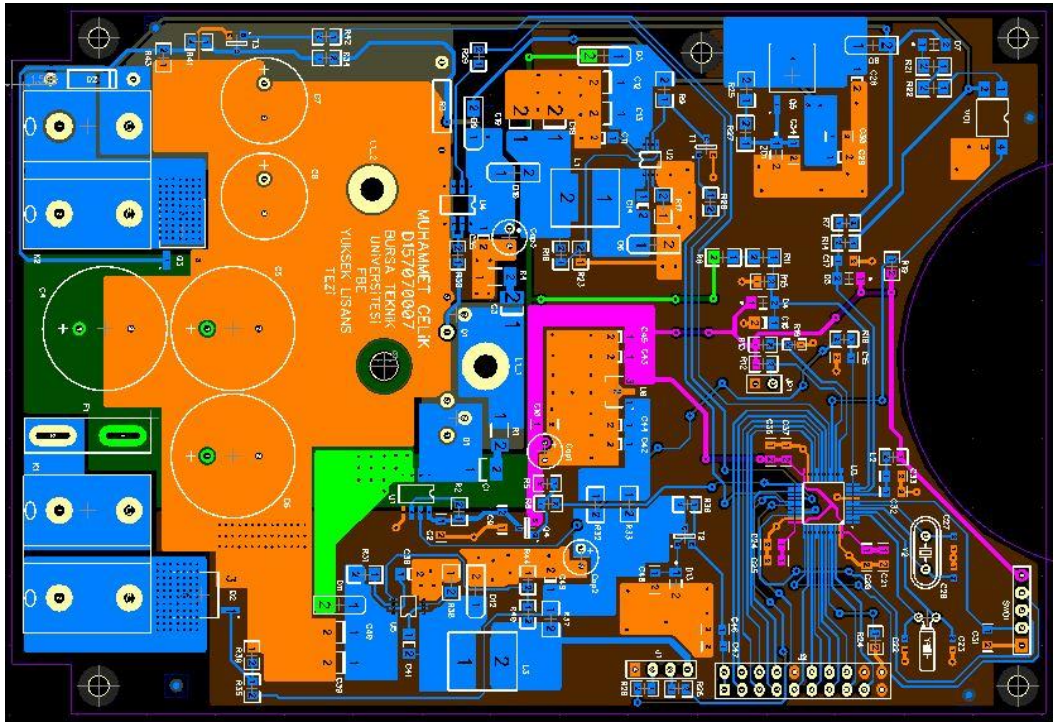
Tasarımı ve teorik hesapları yapılan projenin sonrasında devre şemasının çizimi Bölüm 3.2’de anlatılmıştır. Şematik çizimden sonra yapılması gereken Baskı Devre Kartını (PCB (Printed Circuit Board)) oluşturarak projeyi fiziksel olarak gerçekleştirmektir.

PCB çizimi yapılırken “Diptrace v.3.3.1” adlı Şematik ve PCB çizim programı kullanılmıştır. Devre kartının iki boyutlu çizimi Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de gösterilmiştir. Aynı zamanda PCB tasarım programında iki boyutlu çizim yapıldıktan

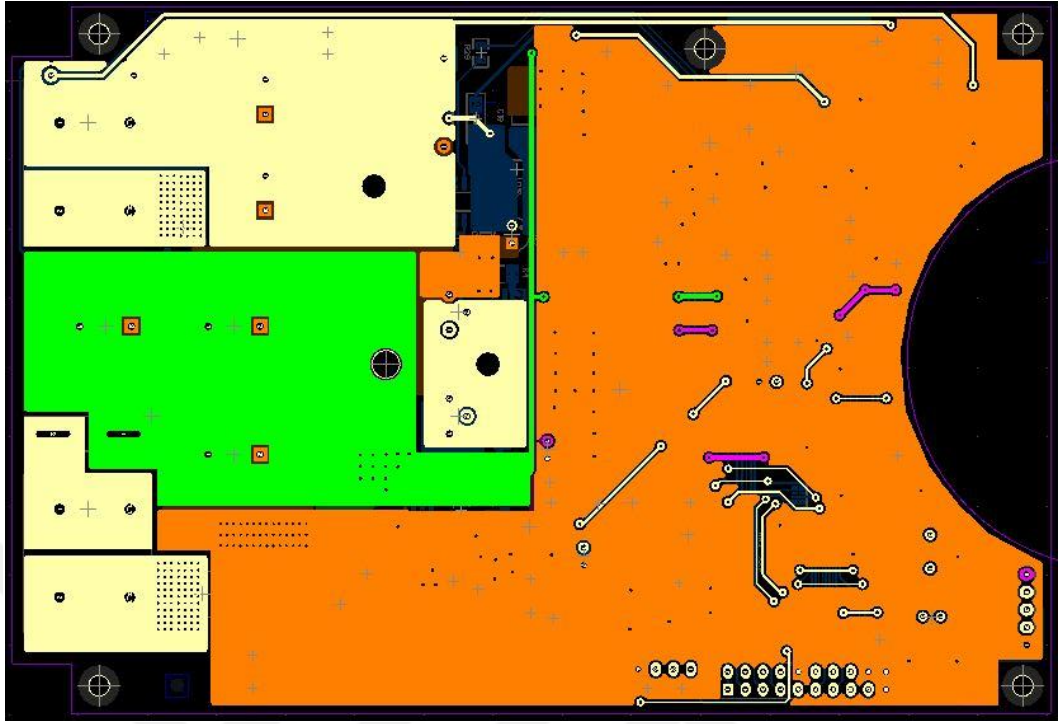
sonra gerçek görünümüne yakın olarak üç boyutlu görünüm izlemeye yapılabilmektedir. Devrenin üç boyutlu görünümü Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’da görülmektedir.



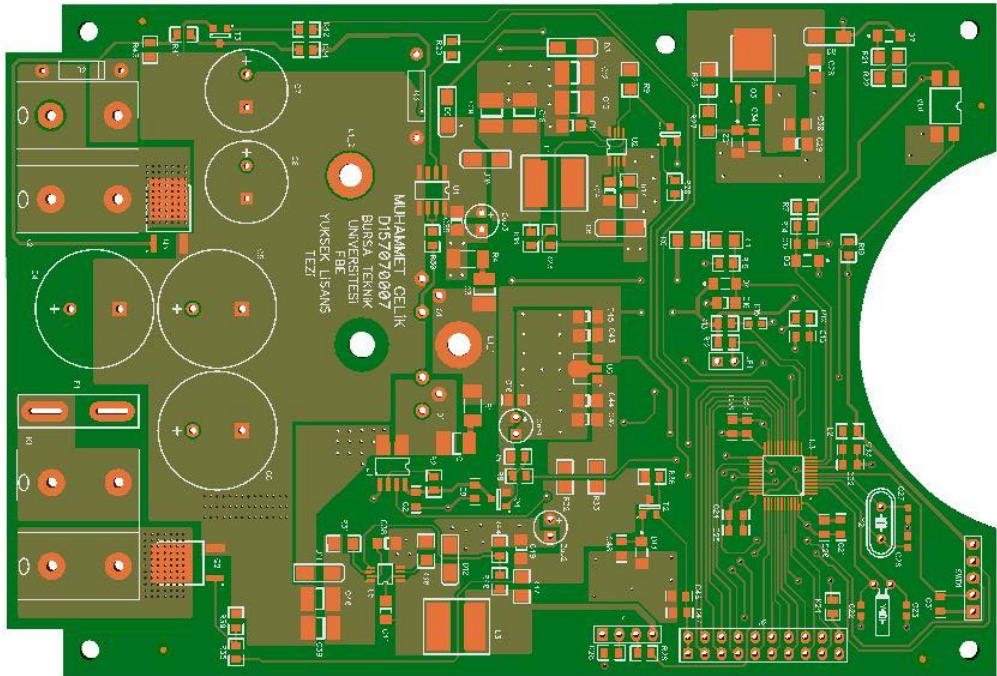
Şekil 3.22 : LCD devresi.



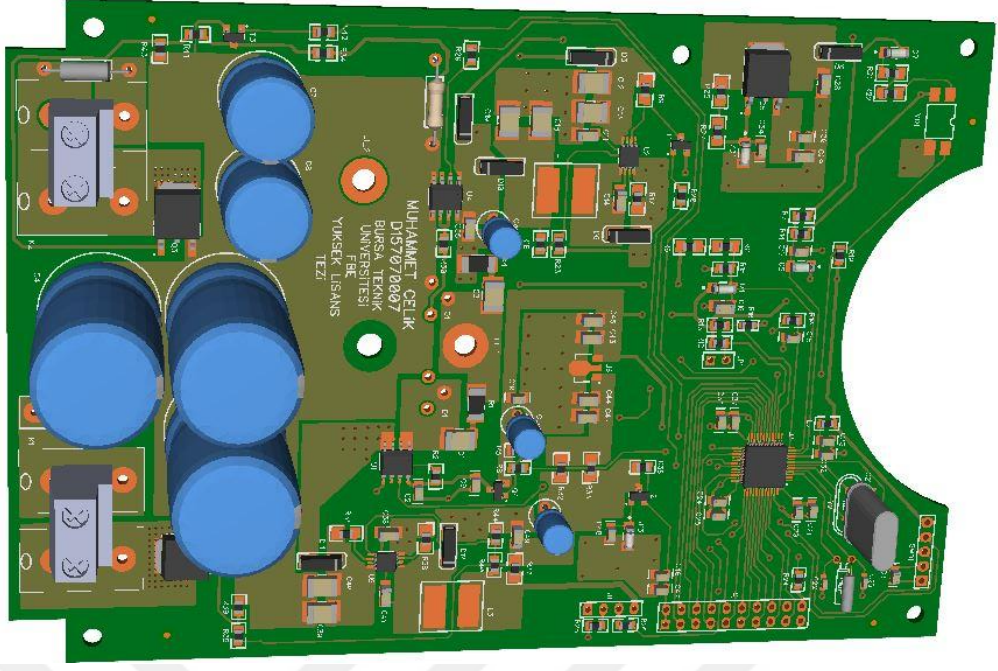
Şekil 3.23 : Baskı devre çizimi ön yüzey görünümü.



Şekil 3.24 : Baskı devre çizimi arka yüzey görünümü.



Şekil 3.25 : Baskı devre çizimi elemansız üç boyutlu görünüm.



Şekil 3.26 : Baskı devre çizimi elemanlı üç boyutlu görünüm.

4. TESTLER

Bu tez kapsamında hazırlanan devrenin üzerine elektronik bileşenlerin lehimleme işlemi gerçekleştirildikten sonra cihazın çalışması için gerekli mikroişlemci kodları yazılmıştır. Yazılım tarafından denetlenen MPPT algoritması ve PID algoritmasının kararlı çalışması gerçek devre üzerinden incelenmiştir. Tasarımı yapılan yükselten çevirici topolojisine sahip MPPT solar şarj kontrol cihazı devresi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Yükselten çevirici topolojisine sahip MPPT solar şarj kontrol cihazı.

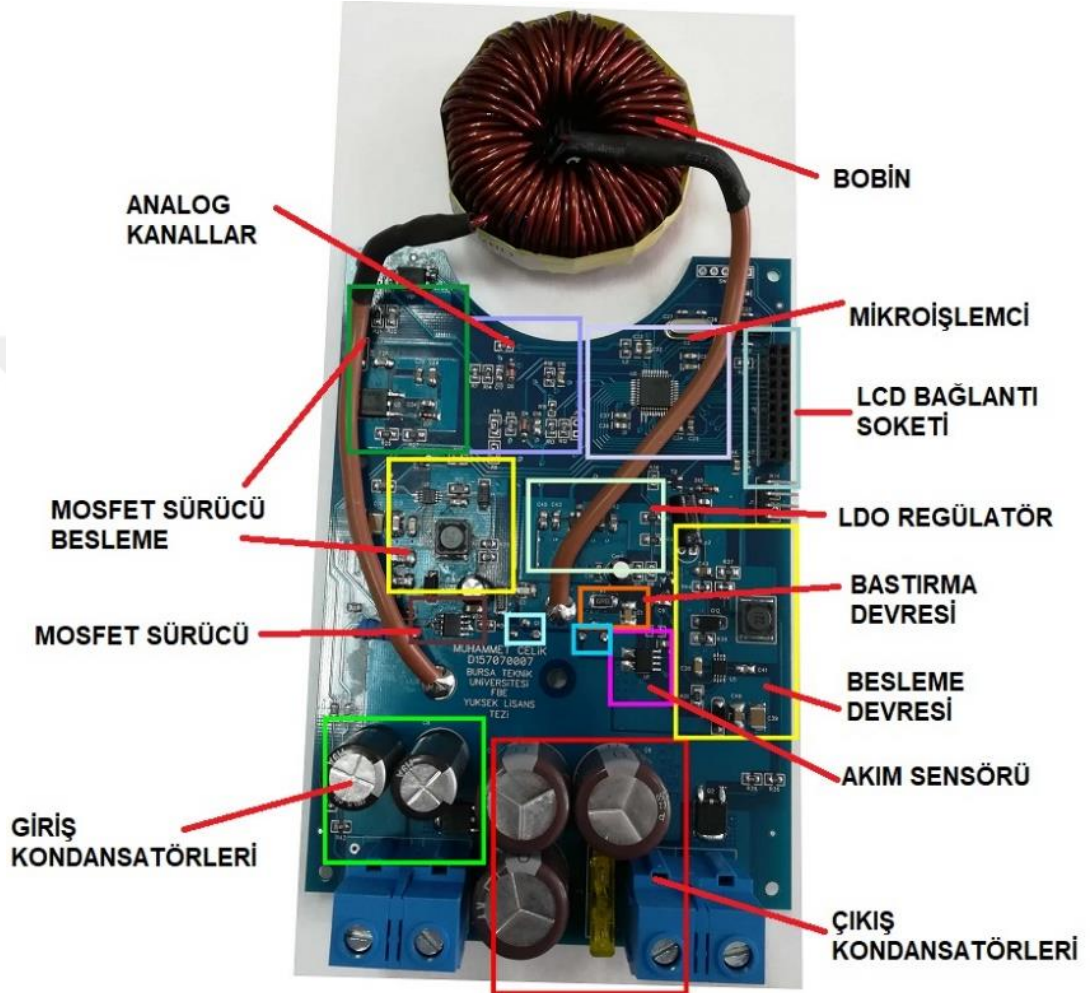
Cihaz, genel tasarım kriterleri gözönüne alınarak ve kullanım koşulları baz alınarak ergonomik şekilde dizayn edilmiştir ve soğutucu yüzey alanına sığacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı zamanda güncel üretim teknolojileri ile de desteklenerek Yüzey Montaj (SMD (Surface Mount Device)) elemanlar kullanılmıştır. Aynı zamanda cihaz çalışırken mosfet ve diyot üzerindeki kayıp güçlerden dolayı ısınan parçaların soğutulması için güç elemanları devre kartının arka yüzeyine yerleştirilmiştir. Arka yüzeyin görünümü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : MPPT solar şarj kontrol cihazı arka yüz görünümü

Soğutucu üzerine yerleşim yapılırken mosfet yüzeyleri ile yalıtkan izolatör ve izolatör ile soğutucu yüzeyleri arasındaki pürüzlerin ısı iletimini etkilememesi için tüm yüzeylere ısı ileten silikon sürülmüştür. Bu sayede pürüzlerin oluşturduğu termal

dirençler azaltılabilmektedir. Soğutucu yüzeyine yerleştirilen devrenin yazılım kodları hazırlanmış ve test için hazır hale getirilmiştir. Sonrasında genel çalışma testleri yapılmıştır. Devre şemasında yer alan tüm devre birimleri PCB üzerinde yerleşimi yapılmıştır. PCB üzerindeki konumları renklendirilmiş çerçeveler halinde görünüşleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Tasarım üzerinde devre birimleri konumu

Devreler tasarlanırken izlenecek Elektromanyetik Girişim (EMI (ElectroMagnetic Interference)) kurallarının gözetilmesi ortaya çıkacak çalışmada kararlı çalışma açısından ve Elektromanyetik Uyumluluk (EMC (ElectroMagnetic Compability)) açısından da önem arz etmektedir. Kayıpları ve girişimleri en aza indirecek şekilde komponent yerleşimi yapılmıştır.

Devre elemanlarının çalışırken yaydıkları ısılar göz önünde bulundurularak hassas elemanlar uygun mesafelerde yerleştirilmiştir. Şekil 4.4'te devrenin test öncesi son hali gösterilmiştir.



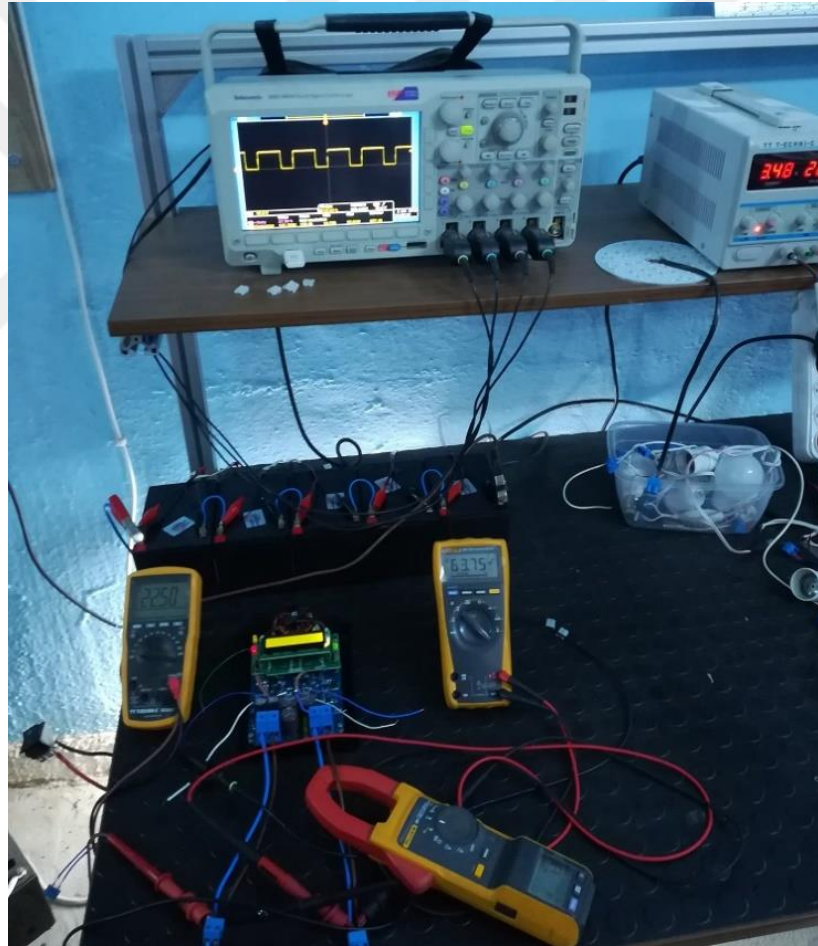
Şekil 4.4 : Soğutucu üzerine yerleştirilen devrenin son hali.

Cihazın çalışması için testler sırasında 5 adet seri bağlı kurşun asit akü ve 72Volt gerilime sahip Li-Ion pil bankası kullanılmıştır. Cihazın gerçek ortam koşullarında çalışma benzetimi için test düzeneği yapılarak gerçek koşullar altında test edilmiştir. Li-Ion batarya ve kurşun asit aküler için test düzeneği Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Yapılan çalışmada cihazın elektriksel kontrolü için öncelikle 0-5A DC ve 0-60Volt doğru gerilim aralığında ayarlanabilir güç kaynağı kullanarak güneş paneli modellemesi yapılarak test işlemi yapılmıştır. Daha sonra dış ortamda bulunan Tera Solar marka 150 W güneş paneli test düzeneğine bağlanmıştır. Güneş paneline ait teknik değerler Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 : Güneş paneli teknik değerleri.

Teknik Özellik	Değer
Maksimum Güç(Pmax)	150W
Maksimum Güç Gerilimi(Vmp)	18.04V
Maksimum Güç Akımı(Imp)	8.30A
Açık Devre Gerilimi(Voc)	22.59V
Kısa Devre Akımı(Isc)	8.73A
Çalışma Sıcaklığı	-40...+85°C
Maksimum Sistem Gerilimi	1000V DC
Güç Toleransı	0..+3%
Seri Diyot Akımı	15A
Boyutlar	148x68x35mm
Rüzgar Dayanımı	2400 kPa
Ağırlık	8.0kg
Vida Aralığı	130x66mm (M8)

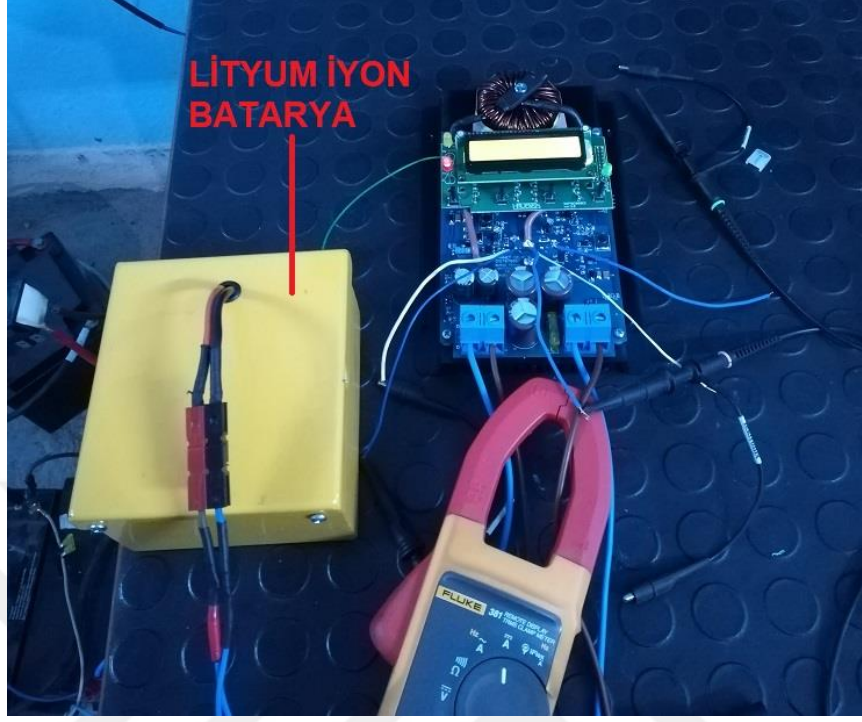
Devre üzerinde öncelikli olarak besleme gerilimleri ölçülmüştür. Mosfet sürücüsüne giden besleme hattın +15V olduğu gözlenmiştir. Malzeme yüzeylerinde oluşan boşa çalışma ısıları kontrol edilmiştir. Ana besleme hattının DC-DC çevirici çalışması ve çıkışındaki gerilim dalgalanmaları izlenmiştir. Güneş paneli girişinden mosfet sürücüyü besleyen lineer besleme katı içinde yine gerilim kontrolü yapılmıştır. Mikroişlemci ve akım sensörüne giden gerilim hattının lineer regülatörden geçerek +3.3V olduğu doğrulanmıştır. LCD ekran bağlantısı yapılarak cihaz çalışabilir hale geldiği tespit edilmiştir. Keil programı üzerinde hazırlanan ve derlenen yazılım kodu ST-Link programlayıcı vasıtası ile mikroişlemci içerisine yüklenerek test işlemine başlanmıştır. Li-Ion pillerin şarj kademeleri farklı olduğu için Li-Ion pillere şarj testi yapılırken yazılım kodu değiştirilerek ayrı ayrı test edilmiştir.



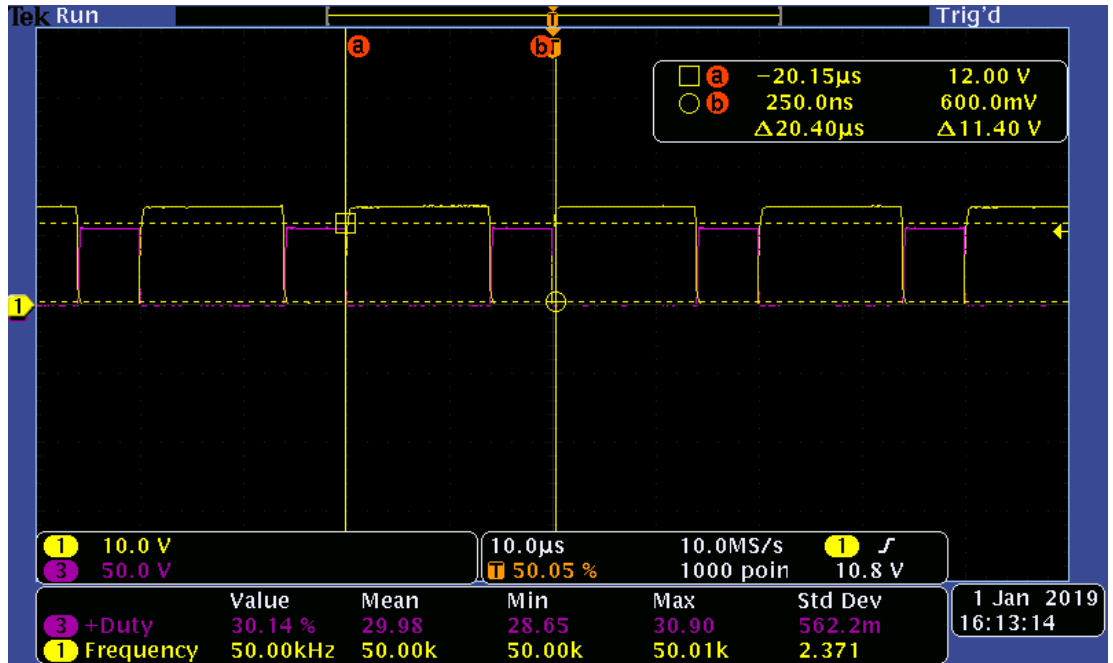
Şekil 4.5 : Test ve ölçüm düzeneği.

Mosfet anahtarların kapı sinyalleri osiloskop üzerinden izlenerek hesaplanan düşme ve yükselme zamanlarının kontrolü sağlanmıştır. Yine aynı şekilde bastırma devresinin mosfet üzerindeki etkisi ve gerilim streslerinin değerleri kontrol edilmiştir. Şekil 4.7’de yer alan görselde sinyal üzerinde görülen sarı renk ve 1 numaralı kanal

mosfet G-S sürme sinyaline aittir. 3 numaralı mor renkli kanal ise mosfet D-S uçları arasındaki sinyale aittir.



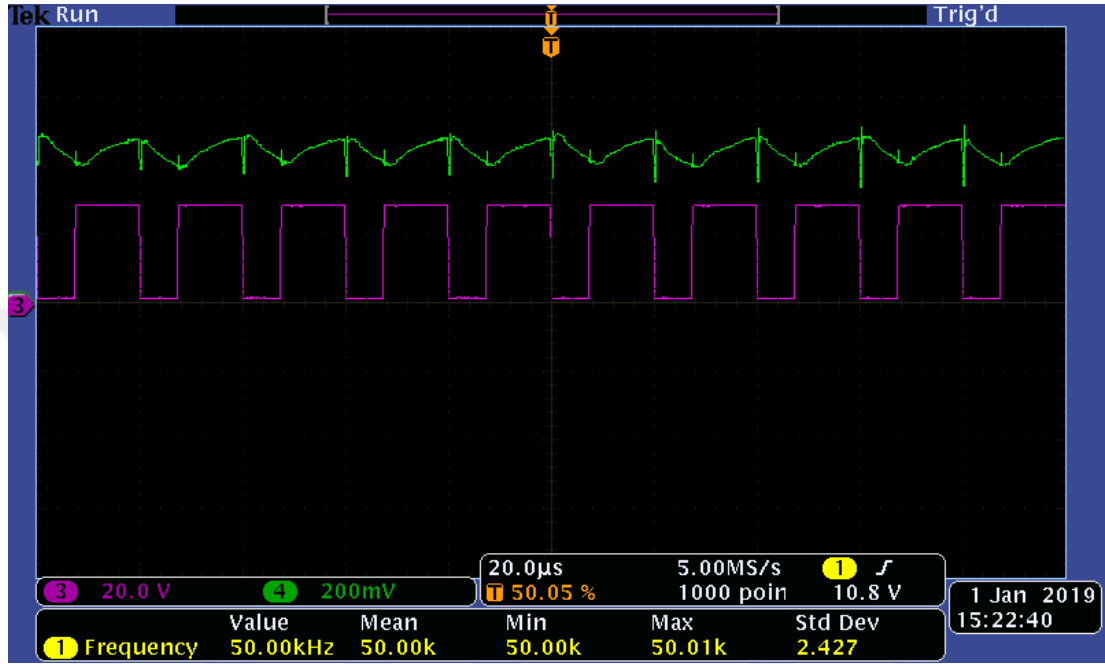
Şekil 4.6 : Lityum iyon batarya ölçüm düzeneği.



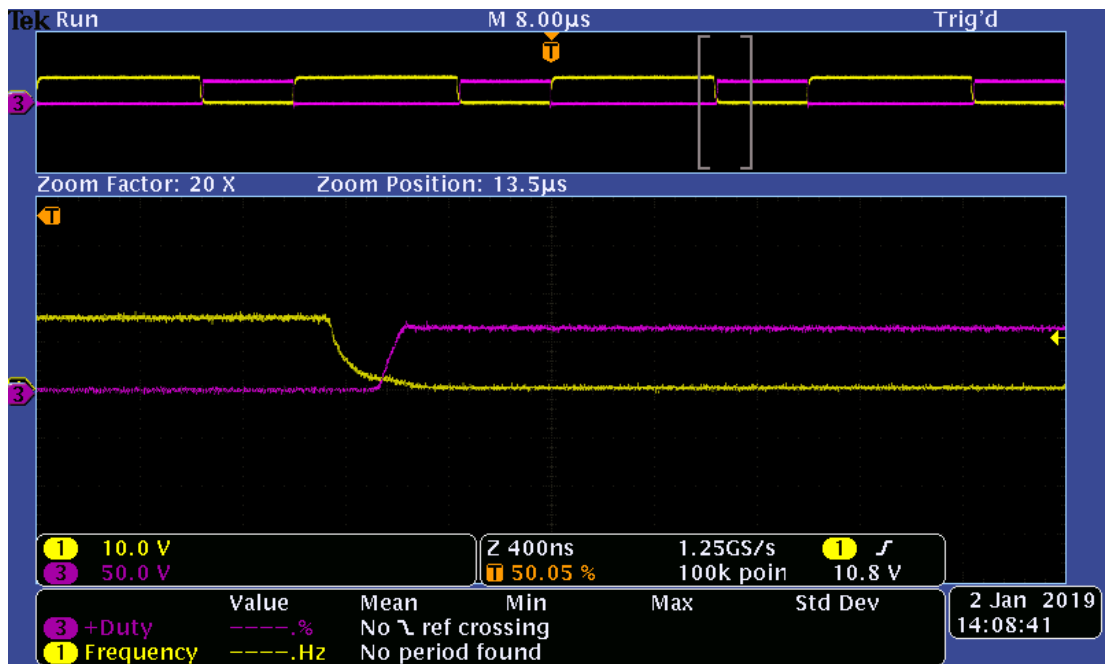
Şekil 4.7 : G-S ve D-S sinyalleri osiloskop görüntüsü.

Anahtarın açık ve kapalı olduğu durumlara ait akım sensöründen alınan sinyal ile akımdaki dalgalılıkta aynı ekran üzerinde izlenmiştir. Şekil 4.8'deki sinyalde 3

numaralı kanal mosfet D-S sinyalini ifade ederken, 4 numaralı kanal yeşil renkli sinyal akım sensörünün çıkışını göstermektedir. Sinyal frekansı 50 kHz olarak ölçülerek tasarım kriterinde belirlenen değerde olduğu doğrulanmıştır. Şekil 4.9’da mosfet G-S sinyalinin genliği izlenerek mosfetin iletimden kesime kesimden ilettime geçişlerindeki zamanlama kontrol edilmiştir.



Şekil 4.8 : Mosfet D-S uçları ve akım sensörü çıkışındaki sinyal.



Şekil 4.9 : Mosfet G-S kesime girme zamanı.

Yaklaşık olarak G-S arası gerilim 0'dan %90 seviyesine kadar yükselmesi için geçen süre 150 nS olarak ölçülmüştür. Kesime girerken C_{gs} kapasitesinin boşalması için geçen sürede 100 nS mertebesinde olmaktadır. Mosfet iletimden kesime kesimden ilettime girerken çok çok hızlı kapanıp açılması durumunda ve C_{gs} kapasitesinin aşırı hızlı şarj edilmesi durumunda mosfet D-S arasında gerilim pikleri oluşmaktadır. Bu sebeple mosfet sürme hızı biraz daha yumuşatılarak bastırma devrelerinin de yardımıyla mosfet uçlarındaki gerilim sıçramaları güvenli sınırdan tutulmuştur.

Yapılan test ve ölçümler sırasında Fluke 177 multimetre, TT-Technic VC68C multimetre, Fluke 381 pensampermetre ve Tektronix MSO3014 4 kanal 100MHz osiloskop kullanılmıştır. Sabit giriş gerilimine karşılık çıkışta stabil değişen bir bara akım ve gerilimi izlenmiştir.

Güç kaynağı üzerinden panel gerilimi 28.5Volt'ta sabit tutularak yapılan ölçümlerde 5 adet seri bağlı 60V akü grubu düzenli olarak şarj edilmiş ve akünün sınır gerilim değerlerinin sabit kaldığı PID kontrolcünün hızlı ve kararlı çalıştığı gözlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

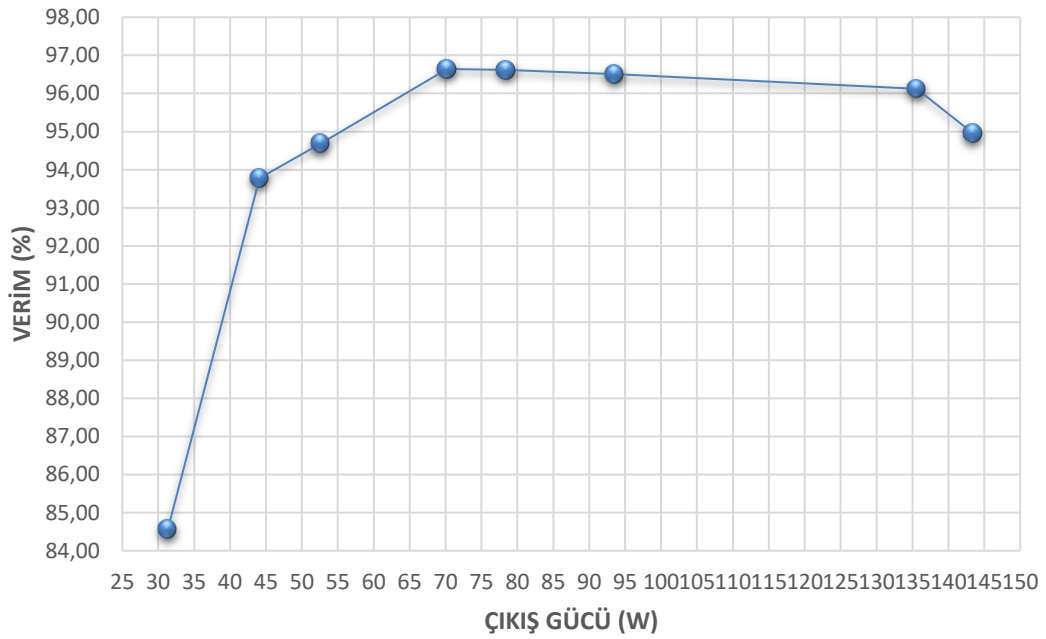
Yine aynı şekilde güneş paneli ile yapılan testlerde çok noktalı değiştir gözle metoduna göre çalışan MPPT algoritmasının sürekli olarak güneş panelinin güç değişimlerini izlediği ve maksimum gücü çektiği tespit edilmiştir.

Test düzeneğinde hazırlanan sabit değerlerde güneş paneli giriş gerilimine karşılık, değişken değerlerdeki giriş akım değeri sonucunda giriş gücü ile çıkış gücü değişimlerine ait Çizelge 4.2'deki verilerden hazırlanan verim değişim grafiği Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Giriş 24V – çıkış 60V batarya grubu için ölçüm değerleri.

Akü Gerilimi (V)	Şarj Akımı (A)	Giriş Gerilimi (V)	Giriş Akımı (A)	Verim %
62,66	0,5	28,5	1,3	84,56
63,00	0,7	28,5	1,65	93,78
63,40	0,83	28,5	1,95	94,69
63,85	1,10	28,5	2,55	96,64
65,40	1,20	28,5	2,85	96,62
66,80	1,40	28,5	3,40	96,51
67,80	2,00	28,5	4,95	96,12
68,30	2,10	28,5	5,30	94,96

Verim değişim grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak 70W mertebesindeki verim, hedeflenen verim değerinin üzerine çıkararak %96.64 seviyesinde elde edilmiştir. Değişken güç değerlerinde DC-DC evirici performansı neredeyse %1 oranında değişmektedir. Yükselten eviricinin tam yükteki verimi ise %95 olarak ölçülmüştür. ıkış geriliminin yükselmesi verimin artmasına sebep olurken çıkış akımının artmasıda verimi azaltmaktadır. Bunun temel sebebi çıkış diyotu üzerinde oluşan güç kaybının akımla ilişkili olmasıdır. Diyot kayıpları yüksek akımda belirgin derecede fark etmektedir.



şekil 4.10 : Yükselten evirici verim değişimi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde güneş enerjisinden elektrik üretimi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır ve giderek yaygınlaşan elektrikli taşıtlarda güneş enerjisinden faydalanmaktadır. Yapılan tez çalışmasında, yükselten çevirici topolojisine sahip MPPT solar şarj kontrol cihazı projesinde elektrikli bisiklet ve yük taşıma araçlarının seyahat halinde güneş enerjisinden destek alarak bataryalarını şarj ederek daha uzun mesafe yol alabilmesi amaçlanmıştır. Topoloji olarak kullanılan yükselten çevirici nihai olarak amaçlanan tek panel ile yüksek gerilimdeki batarya şarjı yapılması hedeflendiği için DC-DC dönüştürücü verimi maliyet ve performans oranı göz önüne alındığında yeterli olmaktadır. Çıkan sonuçlarda belirli gerilim ve akım aralığında %96 üzerinde verim değeri elde edilerek hedeflenen değere ulaşıldığı görülmüştür. Tasarımın doğru yapılması ve kullanılan manyetik eleman ve güç elemanlarının verim değerine etkisi incelenmiştir. Verim konusunda yaklaşık olarak %1 iyileştirme yapılmak istendiği durumlarda senkron çevirici kullanarak diyot iletim kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Li-Ion piller üzerinde yapılan şarj işlemlerinde pil geriliminin doğru ölçülmesi ve BMS işlevselliğinin önemi görülmüştür.

PID kontrol metodunda istenen katsayılar deneysel yöntemlerle tespit edilerek sistemin kararlı çalışır halde bulunduğu nokta tespit edilmiştir. Kontrol sistemini sınırlayan etmenler arasında mikroişlemci çalışma frekansı ve buna bağlı olarak işlem kapasitesi gelmektedir. Kullanılan işlemcinin yapılan çalışma için yeterli olduğu görülmüştür. Çok noktalı MPPT yöntemi sürekli olarak panel gücünü tarayarak optimum noktayı yakaladığı ve sergilediği davranış ile MPPT algoritmasında yapılan çalışmalar ile izleme verimi %99 olarak tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalar ve prototip cihaz üzerinde yapılan testlerde yaz aylarında güneşlenme süreleri ortalaması baz alınarak güneşten üretilen elektrik ile bataryalara depolanan enerji sayesinde %6-%10 oranında güç kazanımı elde edileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Polat, B. D. & Keleş, Ö. (2017). Lityum İyon Pil Teknolojisi, *Metallurji Dergisi*, 162, 42-48.
- [2] Muratoğlu, Y. (2017). *Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum İyon Pillerin Şarj Durumlarının Kokusuz Kalman Filtresi ile Kestirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [3] **Audi Elektrikli Otomobillerin Menzilini Güneş Hücreleriyle Arttıracak**. (t.y.) Erişim: 09 Eylül 2018, <https://www.donanimhaber.com/otomobil-teknolojileri>
- [4] Koç, A. & Aksakal, M. E. (2012). Güneş Enerjisinin Taşıtlarda Kullanımı ve Kırıkkale Üniversitesi Güneş Enerjili Araç Projesi Örneği, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 2(4), 15-20.
- [5] Nazri, G.A. & Pistoia, G. (2009). Lithium Batteries: Science and Technology, *Springer Science and Business Media*, Newyork, 8-11.
- [6] Ozawa, K. (2009). *Lithium Ion Rechargeable Batteries*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH.
- [7] Uysal, M., Karşoğlu, R., Guler, M.O., Alp, A., Akbulut, H. (2009). Rod and Wire like Morphologies of thin Oxide Developed with Plasma Oxidation after Electro Deposition, *Materials Letters*, 63, 422-424.
- [8] Kıncay, O. (2018). *Güneş Enerjisi*. [PowerPoint sunumu]. Retrieved from <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gun-bir.pdf>
- [9] Başoğlu, M. E. (2013). *Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Analizi ve Gerçekleştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [10] **Photovoltaic or Solar Cell**. (t.y.). Erişim: 12 Ağustos 2018, <https://circuitglobe.com/photovoltaic-or-solar-cell.html>
- [11] **Fundamentals of Photovoltaic Materials**. (t.y.). Erişim: 20 Ağustos 2018, <http://userwww.sfsu.edu/ciotola/solar/pv.pdf>
- [12] **Maximum Power Point Tracking** (t.y.). Erişim: 22 Ağustos 2018, <http://bluesat.com.au/maximum-power-point-tracking/>
- [13] **Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Eşdeğer Devresine Ait Büyük Sinyal Analizi**. (t.y.). Erişim: 22 Ağustos 2018, http://www.emo.org.tr/ekler/4a7cb508ff0809f_ek.pdf
- [14] Rashid, M. B. (2011). *Power Electronics Handbook*. Burlington, MA.:Butterworth-Heinemann.
- [15] Mohan, N., Undeland T., Robbins, W. (2003). *Güç Elektroniği: Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım* (Tuncay, N., Gökaşan, M., Boğosyan S., Çev.). İstanbul:Literatür Yayınları.

- [16] **Techniques to Maximize Solar Panel Power Output** (t.y.). Erişim: 30 Ağustos 2018, <https://www.analog.com/en/technical-articles/techniques-to-maximize-solar-panel-power-output.html>
- [17] **Güneş Şarj Kontrolörü: PWM vs. MPPT.** (t.y.). Erişim: 28 Ağustos 2018, <http://tr.solar-led-lights.com/info/solar-charge-controller-pwm-vs-mppt-23935629.html>
- [18] **Mpmt Solar Şarj Kontrol** (t.y.). Erişim: 25 Ekim 2018, <http://www.havensis.com.tr/mppt-solar-sarj-kontrol/>
- [19] **Charging Lithium Ion** (t.y.). Erişim: 30 Ağustos 2018, https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- [20] **Developing Affordable Mixed-Signal Power Systems for Battery Charger Applications.** (t.y.). Erişim: 1 Eylül 2018, https://www.microchip.com/stellent/groups/designcenter_sg/documents/market_communication/en027883.pdf
- [21] **Kaypmaz, T.C.** (2009). *Li-İyon Polimer Pil Karakteristiklerinin Analizi ve Arıza Tanısı.* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Sayin, A.A. & Yüksel, İ.** (2011). Elektrikli Renault Fluence Aracı, lityum-iyon Bataryasının Modellenmesi ve Batarya Yönetimi. *Engineer & the Machinery Magazine*, 615, 75-82.
- [23] **Kurak, E., Erdemir, V., Dursun B.** (2016). PV Sistemin İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı ve Uygulaması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 581-592.
- [24] **Onat, N. & Ersöz, S.** (2009). Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyici algoritmalarının karşılaştırılması, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, (50-56.). Diyarbakır, Haziran 5.
- [25] **Çalışkan, E.** (2011). *Fotovoltaik Sistemler için DSP Temelli Güneş Çeviricisi Tasarımı ve Uygulaması.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] **Özdemir, Ş.** (2007). *Fotovoltaik Sistemler için Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] **Kırcioğlu, O., Ünlü, M., Çamur, S.** (2018). Değişir&Gözle ve Artımsal İletkenlik Algoritmalarının EN 50530 Dinamik Verime göre Performanslarının Değerlendirilmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 85-93.
- [28] **Abdelsalam, A. K., Massoud, A. M., Ahmed, S., Enjeti, P. N.** (2011). HighPerformance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-Based Microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4). 1010–1021.
- [29] **PID** (t.y.). *Vikipedi*. Erişim: 14 Ekim, 2018, <https://tr.wikipedia.org/wiki/PID>
- [30] **Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage** (t.y.). Erişim: 30 Ağustos 2018, <http://www.ti.com/lit/an/slva372c/slva372c.pdf>
- [31] **Switching Losses: Effects on Semiconductors.** (t.y.). Erişim: 30 Ağustos 2018, <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/switching-losses-effects-on-semiconductors/>

[32] **Driving Power Mosfets in High-Current.** (t.y.). Erişim: 10 Ağustos 2018, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00786a.pdf>

[33] **Lakkas, G.** (2016). Mosfet Power Losses and How They affect Power Supply Efficiency, *Analog Applications Journal, AAJ 1Q*, 22-26.

[34] **Learn More about Kool Mu Cores** (t.y.). Erişim: 12 Ekim 2018, <https://www.mag-inc.com/Products/Powder-Cores/Kool-Mu-Cores/Learn-More-about-Kool-Mu-Cores>

[35] **Magnetics Inc.** (2005). Magnetics Kool Mu E Nüveleri, *Magnetics Teknik Bülten, KMC-E1*, 1-8.

[36] **Magnetics Powder Cores.** (t.y.). Erişim: 1 Ekim 2018, <https://www.mag-inc.com/Media/Magnetics/FileLibrary/Product%20Literature/Powder%20Core%20Literature/2017-Magnetics-Powder-Core-Catalog.pdf>

[37] **Havensis Elektronik Ltd. şti.** (2016). *Türk Patent Enstitüsü Patent no: TR 2016 07358 Y.* Ankara, Türk Patent ve Marka Kurumu.



ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyad : MUHAMMET ÇELİK
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.03.1991 BURSA
E-posta : muhendismcelik@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Teknogirişim Sermayesi Desteği Kazananı (2013)
- Havensis Elektronik – Firma Sahibi (2013-Halen)