

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN MİKRODENETLEYİCİLİ EN
YÜKSEK GÜÇ NOKTASINI İZLEYEN BİR KONVERTÖRÜN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Şaban ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2007
ANKARA**

Şaban ÖZDEMİR tarafından hazırlanan FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN MİKRODENETLEYİCİLİ EN YÜKSEK GÜÇ NOKTASINI İZLEYEN BİR KONVERTÖRÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA

Tez Danışmanı, Elektrik Makinaları Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Güngör BAL

Elektrik Makinaları Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA

Elektrik Makinaları Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Kontrol Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 18/12/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Şaban ÖZDEMİR

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN MİKRODENETLEYİCİLİ EN YÜKSEK
GÜÇ NOKTASINI İZLEYEN BİR KONVERTÖRÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Şaban ÖZDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2007

ÖZET

Fotovoltaik kaynaklı enerji üretim sistemlerinden mümkün olabilecek en yüksek gücü elde edebilmek ancak en yüksek güç noktası takibi (MPPT) yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. Yüksek frekanslı anahtarlama elemanları ile manyetik malzemelerdeki güç sınırları ise, MPPT işleminin gerçekleştirildiği güç dönüştürücü katı tasarımına önemli sınırlamalar getirmektedir. Ayrıca, çeviricinin güç bölgesinin tamamında sabit frekans değerinde çalıştırılması, verim düşüklüğünün yanında çevresel bozucu etkiler de oluşturmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, faz kaydırma etkisiyle toplam anahtarlama frekansını doğal olarak ikiye katlayan ve gerekli olduğu kadar paralel çalışabilen faz kaydırmalı sıralı-artıran (interleaved-boost) çevirici yapısı MPPT tekniği ile birlikte uygulanmıştır. Böylece, düşük maliyetli manyetik devre elemanları ile güç anahtarlarının kullanılabilmesiyle yüksek güç uygulamalarında maliyetin düşürülmesi de mümkün olabilmektedir. Denetleyici olarak yine düşük maliyetli ve ihtiyaçları karşılayan PIC18F452 mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Tasarlanan devre, DA baraya bağlı ve mikro denetleyici tarafından denetlenen ikinci bir bağımsız anahtar yardımı ile akü grubunu önceden ayarlanan bir akım değerinde şarj edebilecek yapıdadır. Benzetim ve uygulamadan

elde edilen sonuçlar geleneksel artıran yapısı ile karşılaştırılarak önerilen yapı ve denetim tekniğinin üstünlükleri açıklanmıştır.

Bilim Kodu : 703.3.016
Anahtar Kelimeler : MPPT, PV Çevirici, Sıralı Artıran Çevirici,
Sayfa Adedi : 79
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MICROCONTROLLER BASED
MAXIMUM POWER POINT TRACKER CONVERTER FOR
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
(M.Sc. Thesis)**

Şaban ÖZDEMİR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2007**

ABSTRACT

Obtainable maximum power generation from PV based energy production systems is only possible with Maximum Power Point Tracker (MPPT) methods. Magnetic components and the high frequency switches limit the power rate of the MPPT converters. In addition, working with constant frequency in all power range causes environmental noise effect and low efficiency.

In this study, interleaved boost converter structure that doubles the switching frequency naturally by phase shifting and can operate parallel when necessary has been applied with a MPPT method. Thus the cost reduction in high power application can be possible with using low cost magnetic components and power switches. PIC18F452 low cost microcontroller is used as a controller. The designed circuit has also been able to charge the battery group with desired current value with a second independent switch that is connected to DC bus and controlled by microcontroller. The advantages of the proposed converter structure and control technique have been explained by comparing the simulation and experimental results with a traditional boost converter.

Science Code	:703.3.016
Key Words	:MPPT, PV Converter, Interleaved Boost Converter,
Page Number	:79
Adviser	:Assist. Prof. Dr. İbrahim SEFA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, tecrübelerinden faydalandığım danışmanım Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA' ya ve Necmi ALTIN'a katkılarından dolayı sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ PİLLERİ	5
2.1. Fiziksel Yapıları.....	5
2.2. Çalışma İlkesi.....	6
2.3. PV Panel Verimi	6
2.3.1. PV yapı maliyeti.....	6
2.4. Işınım Şiddeti	8
2.5. PV Sistem Kullanım Alanları ve Türkiye’ki Durum.....	10
2.6. PV Hücre Elektriksel Modeli.....	11
2.7. PV Sistem Verimini Etkileyen Faktörler.....	15
2.8. PV Modül Performansının Yıllara Göre Değişimi	16
2.9. Sonuç.....	17
3. MPPT TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	18

Sayfa

3.1. Dolaylı denetim	19
3.1.1. Sabit gerilim metodu.....	19
3.1.2. Sabit akım metodu	21
3.2. Doğrudan denetim.....	22
3.2.1. Değiştir-gözle metodu	22
3.2.2. Artan iletkenlik metodu	23
3.3. Diğer metotlar	25
3.4. Denetim Metodlarının Karşılaştırılması	26
3.5. Sonuç.....	28
4. DA-DA ÇEVİRİCİLER.....	30
4.1. İzolesiz Çeviriciler	30
4.1.1. Azaltan çeviriciler	30
4.1.2. Artıran çeviriciler.....	33
4.1.3. Azaltan-artıran çeviriciler	36
4.1.4. SEPIC çeviriciler.....	38
4.1.5. Cuk çeviriciler	40
4.2. İzoleli Çeviriciler	42
4.2.1. Çapraz (flyback) çeviriciler	42
4.2.2. İtme-çekme (push/pull) çeviriciler	43
4.2.3. Yarım köprü (half bridge) çeviriciler.....	44
4.2.4. Tam köprü (full bridge) çeviriciler	45
4.3. Diğer Çeviriciler.....	45

Sayfa

4.4. Çeviricilerin Karşılaştırılması	46
4.4.1. İzoleli çeviriciler	46
4.4.2. İzolesiz çeviriciler	47
4.4.3. Azaltan ve artıran çeviriciler	48
5. SIRALI ÇEVİRİCİLER.....	50
5.1. Sıralı-Artıran Çeviriciler	52
5.2. Artıran ve Sıralı-Artıran Çeviricilerin Karşılaştırılması	53
6. TASARIM VE UYGULAMA.....	55
6.1. Benzetim	55
6.2. Uygulama.....	57
6.2.1. Akış şeması.....	59
6.2.2. Devre elemanlarının seçimi	60
6.2.3. Akım ve gerilim algılama devreleri.....	61
6.2.4. Çapraz çevirici tasarımı	62
6.2.5. Uygulama sonuçları.....	63
6.2.6. Çevirici verimlerinin karşılaştırılması	71
6.2.7. Uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi.....	72
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	9
Çizelge 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ...	10
Çizelge 2.3. PV modül değişkenlerinin yıllara göre değişimi.....	16
Çizelge 3.1. Değiştir-gözle değişim verileri	23
Çizelge 3.2. MPPT verimleri	27
Çizelge 3.3. MPPT tekniklerinin temel özellikleri.....	28
Çizelge 4.1. Çevirici seçimi	47
Çizelge 4.2. Çevirici özeti.....	48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Güneş pili içyapısı	5
Şekil 2.2. Güneş pili temel elektriksel modeli	6
Şekil 2.3. PV yapı maliyet oranları	7
Şekil 2.4. PV yapı maliyetinin yıllara göre değişimi	7
Şekil 2.5. Güneş pili elektriksel eşdeğer modeli	12
Şekil 2.6. En yüksek güç noktasındaki eşdeğer devre modeli	12
Şekil 2.7. Modül akımı geriliminin değişiminin A katsayısı ile değişimi.....	13
Şekil 2.8. Modül akımı ile geriliminin R_s direnci ile değişimi	14
Şekil 2.9. Modül akımı ve geriliminin ışıyım şiddeti ile değişimi	14
Şekil 2.10. Modül akımı ile geriliminin sıcaklıkla değişimi	15
Şekil 2.11. Modül en fazla güç eğrisi.....	15
Şekil 2.12. PV modül değişkenlerinin çıkışa etkisi	16
Şekil 3.1. MPPT ve MPPT olmadan üretilen enerjilerin karşılaştırması	18
Şekil 3.2. Sabit gerilim metodu akış diyagramı	21
Şekil 3.3. Değiştir-gözle yöntemi ile denetlenen çevirici.....	22
Şekil 3.4. Artan İletkenlik algoritması çalışma eğrisi.	24
Şekil 4.1. Azaltan çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri	31
Şekil 4.2. Azaltan çevirici çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi	32
Şekil 4.3. Artıran çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	34
Şekil 4.4. Artıran çevirici çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi	35
Şekil 4.5. Azaltan-Artıran çevirici çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi ...	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Azaltan-Artıran çevirici yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri	37
Şekil 4.7. SEPIC çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	39
Şekil 4.8. CUK çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	41
Şekil 4.9. Fly-back çevirici.....	42
Şekil 4.10. İtme-çekme çevirici.....	43
Şekil 4.11. Yarım köprü çevirici.....	44
Şekil 4.12. Tam köprü çevirici	45
Şekil 4.13. PV uygulamaları için azaltan ve artıran çeviricilerin verimi.....	49
Şekil 5.1. Sıralı çevirici girişindeki enerji akışı.....	50
Şekil 5.2. İletim yolu ile yayılan EMI seviyelerinin benzetimi ($f_s=100$ kHz)....	51
Şekil 5.3. PV ile beslenen girişik artıran çevirici	52
Şekil 5.4. Artıran Çevirici.....	53
Şekil 5.5. Girişik ve sıradan çevirici verimlerinin karşılaştırılması	54
Şekil 6.1. Tüm sistem modeli	55
Şekil 6.2. Güç katı modeli	56
Şekil 6.3. MPPT yapısı.....	56
Şekil 6.4. Anahtarlara uygulanan kapı darbeleri	57
Şekil 6.5. Benzetim sonuçları.....	57
Şekil 6.6. Uygulama devresi prensip şeması	58
Şekil 6.7. Sistem akış diyagramı	59
Şekil 6.8. Akım okuma devresi.....	61
Şekil 6.9. Gerilim okuma devresi.....	61

Şekil	Sayfa
Şekil 6.10. Uygulama devresi SMPS prensip şeması.	63
Şekil 6.11. Çevirici kapı darbelerine göre çıkış gerilimi.	64
Şekil 6.12. Sıralı artıran çevirici giriş akım ve gerilimi	66
Şekil 6.13. Sıralı artıran çevirici çıkış akım ve gerilimi.	68
Şekil 6.14. Akü çeviricisi kapı darbesi ve akımı.....	69
Şekil 6.15. Sıralı artıran çevirici akü ile çıkış akım ve gerilimleri	70
Şekil 6.16. Tüm anahtarlama işaretlerinin eş zamanlı gösterimi	71
Şekil 6.17. Çevirici verimlerinin karşılaştırılması	72

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Büyük ölçekli PV santralleri.....	2
Resim 2.1. Dünya güneşlenme haritası	8
Resim 6.1. Uygulama devresi	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	PV idealleştirme katsayısı
Ar	PV panel alanı (m^2)
C_{IN}	Giriş Kondansatörü (Farad)
C_O	Çıkış Kondansatörü (Farad)
D	Darbe genişlik oranı
dB	Gürültü seviyesi (Desibel)
δ_{GA}	Işınım şiddeti verimi
e	e sabiti = 2.71828
ekt	Karaktesistik eğri eğimi (V^{-1})
E_L	Yükün ihtiyaç duyduğu enerji (kWh)
E_P	PV sistem tarafından üretilen enerji (kWh)
E_{PA'}	PV hücre enerjisi (kWh)
E_{PA}	Uygulamaya bağlı olarak hücreden çıkan enerji (kWh)
Φ_m	Manyetik akı (Weber)
fs	Anahtarlama Frekansı (Hertz)
G	Işınım şiddeti ($Sun=W.m^{-2}$)
H_A	PV panel yüzeyine düşen ışınım şiddeti ($kWh.m^{-2}$)
H_G	Güneş ışınım gücü ($kWh.m^{-2}$)
I_C	Kondansatör Akımı (Amper)
I_D	Diyot akımı (Amper)
I_H	Güneş pili çıkış akımı (Amper)
I_{IN}	Giriş Akımı (Amper)
I_L	Endüktans Akımı (Amper)
I_{MPP}	En yüksek güç noktası akımı (Amper)
I_O	Çıkış akımı (Amper)

Simgeler	Açıklama
I_{PH}	Güneş tarafından üretilen akım (Amper)
I_{REF}	Referans akım (Amper)
I_{SC}	Kısadevre akımı (Amper)
k	Sabit değer
K	Boltzman sabiti ($8,65 \times 10^{-5}$ eV/K)
K_B	Akü ve akü devre kaybı katsayısı
K_C	Güç dönüştürücü kayıpları katsayısı
K_H	Gölgelenme ve kir katsayısı
K_{PA}	Hücre devre kaybı katsayısı
K_{PH}	Işınım düşme açısı katsayısı
K_{PM}	Yanlış yükleme metodu katsayısı
K_{PT}	Hücre sıcaklık katsayısı
η_{MPPT}	En fazla güç noktası verimi
η_{PS}	Standart koşullarda PV verimi
P_{MAX}	En fazla güç (W)
R_L	Yük direnci (Ohm)
R_{MPP}	En fazla güç noktası direnci (Ohm)
R_P	Güneş pili eşdeğer paralel direnci (ohm)
R_{PM}	En fazla güç noktası PV eşdeğer paralel direnci (ohm)
R_S	Güneş pili eşdeğer seri direnci (ohm)
R_{SM}	En fazla güç noktası PV eşdeğer seri direnci (ohm)
T	Pil sıcaklığı (Kelvin)
T_s	Periyot Süresi (s)
V	Gerilim (Volt)
V_A	Çıkış gerilimi (Volt)
V_D	Diyot gerilimi (Volt)
V_{IN}	Giriş gerilimi (Volt)
V_L	Endüktans gerilimi (Volt)
V_{MPP}	En fazla güç noktası gerilimi (Volt)
V_{MPPT}	En fazla güç noktası izleme gerilimi (Volt)

V_o	Çıkış gerilimi (Volt)
V_{oc}	Açık devre gerilimi (Volt)

Kısaltmalar	Açıklama
CC	Sabit Akım (Constant Current)
CV	Sabit Gerilim (Constant Voltage)
D	Diyot
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
e	Elektron
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EMI	Elektro Manyetik Girişim
IC	Artan İletkenlik (Incremental Conductance)
kcal	kilo kalori
MC	Mikrodenetleyici (Microcontroller)
MP	En Fazla Güç
MPP	En Fazla Güç Noktası
MPPT	En Fazla Güç Noktası İzleme
MW	Mega Watt
P&O	Değiştir ve Gözle (Perturb and Observe)
PV	Foto Voltaik
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
RFI	Radyo Frekanslı Girişim
SMPS	Anahtar Kipli Güç Kaynağı (Switch Mode Power Supp.)
TS	Türk Standardı

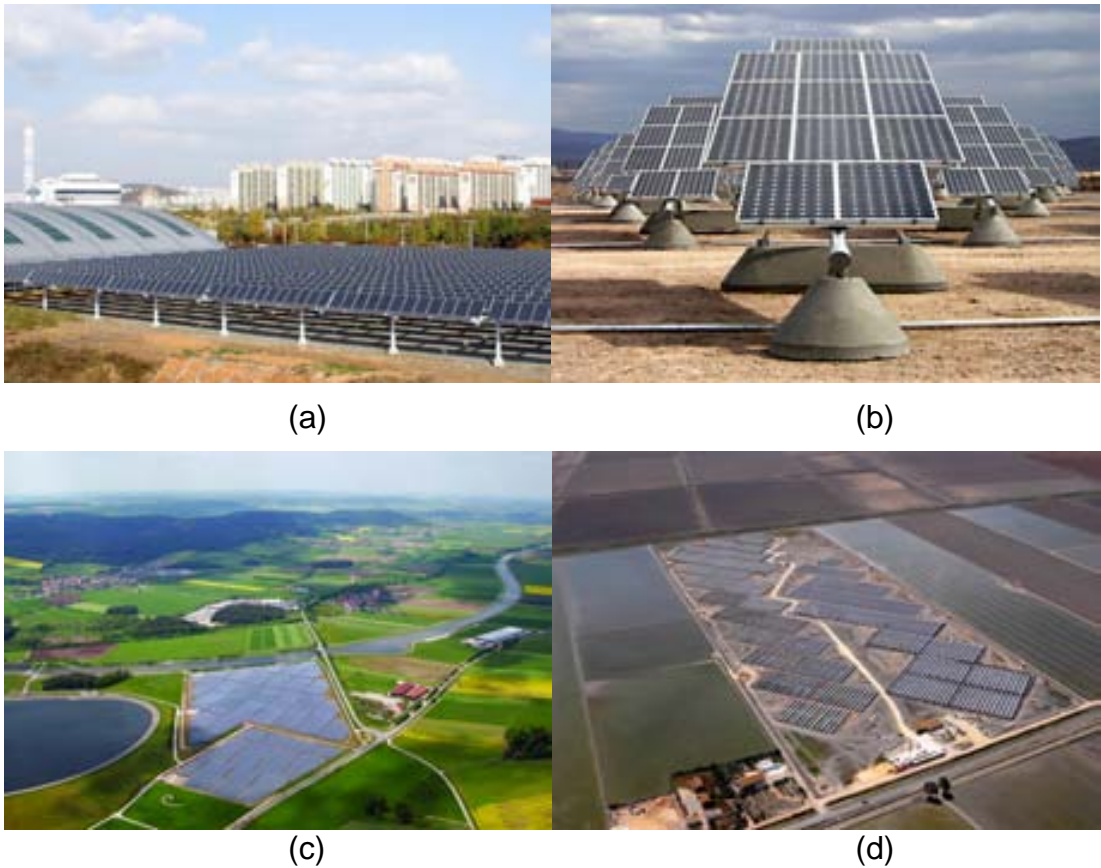
1. GİRİŞ

Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil ve nükleer yakıtlardan elde edilmektedir. Bu yakıtların gerek çevreye verdikleri zararlar ve gerekse birikilerinin sınırlı oluşu, alternatif enerji kaynakları arayışına sebep olmuştur. Çevrenin korunması, gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde oluşabilecek tehditlerin önlenmesi, ulusal kaynaklardan en üst düzeyde yararlanılarak ülkelerin enerji kaynakları arz güvenliğinin sağlanması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Böylece, enerjinin karşılanma ihtiyacına bağlı olarak güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları üzerine araştırma geliştirme çalışmaları yoğunlaşmıştır. Çalışmalar önceleri rüzgâr ve daha sonra ise güneşten elektrik enerjisi üretmek şeklinde başlamış ve farklı güçlerde santraller kurulmuştur. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerin verimi %18, rüzgar üreteçlerinin ise %55 civarındadır. Bu oranlar ışıyım izleme, ışıyım odaklama veya rüzgar yönü denetimi gibi işlemlerle verim %50'lere varan oranlarda artırılabilir [1].

Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi, sonsuz ve yaygın bir kaynak olması, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi gibi avantajları sebebiyle hızla yaygınlaşmaktadır. Güneşten elektrik enerjisi üreten sistemlerin bir diğer önemli özelliği de modüler yapısı ile birkaç watt'tan MegaWatt değerine kadar kolaylıkla tasarlanıp uygulanabilmesidir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'nin yaptığı araştırmaları başta Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri olmak üzere ülkemizin fotovoltaik (PV) uygulamalarına elverişli olduğunu göstermektedir [2].

PV paneller DA gerilim üretmektedir. Bu sebeple, elektrikle çalışan uygun güç ve gerilimdeki her türlü alıcı doğrudan beslenebilir. Ancak, kW başına yatırım maliyeti yaygın kullanılan enerji kaynaklarından daha yüksek olduğu için, önceleri elektrik enerjisinin iletilemediği ya da iletilmesinde güçlük

çekilen yerlerde ve belli güçlere kadar diğer kaynaklardan daha avantajlı olduğu belirtilmekteydi. Bu sebeple geçmişte otoyolların aydınlatılması ve sinyalizasyonu, park bahçe aydınlatması, uzay uygulamaları, su pompaları ile ev ve küçük işyerleri gibi uygulamalarda tercih edilmiştir. Sistem, gün boyunca alıcıları besleyerek ihtiyaç fazlası enerjiyi akü gruplarında depolayacak ve gerektiğinde alıcılara aktaracak şekilde tasarlanırdı. Günümüzde bu uygulamaların yanı sıra yatırımdan en yüksek faydayı sağlama düşüncesi öne çıkmış ve şebeke ile paralel çalışan veya şebekeye doğrudan enerji aktarabilen sistemler önem kazanmıştır. Bu tip uygulama örnekleri gün geçtikçe çoğalmaktadır. Güç kapasiteleri ise MW değerlerine ulaşmış olup, birçok ülkede şebeke etkileşimli PV enerji üretim merkezleri kurulmaya başlanılmıştır.



Resim 1.1. Büyük ölçekli PV santralleri

a) Gwangju City Power Plant, Güney Kore, 1 MW b) Nellis Air Force Base, NV - 15 MW c) Bavaria Solarpark, Germany - 10 MW d) Isla Mayor Power Plant, Spain - 8.4 MW

Bunların dışında otomobil, sera ısıtılması gibi farklı alanlarda araştırmalar devam etmektedir. Ülkemizde halen Telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyolların aydınlatma ve trafik işaretlerinde kullanılan PV kurulu gücü 300 kW civarındadır [2].

Yatırım bedeli dikkate alındığında PV sistemlerden elde edilen enerjinin kW başına maliyeti su, petrol ve kömür gibi alışılmış kaynaklara göre daha yüksektir. Ancak, PV panellerin üretim teknolojisi ile eviricilerdeki gelişmeler gün geçtikçe bu farkı azaltmaktadır. PV sistemlerde yatırım başına maliyeti düşürmeye ve yatırımdan en fazla yarar sağlamaya yönelik olarak iki konu üzerinde yoğun araştırmalar devam etmektedir. Bunlardan birincisi modül veriminin diğeri ise toplam verimi etkileyen en önemli etken olan çevirici veriminin yükseltilmesidir. Çeşitli üretim tekniklerinde ve değişik maddelerden üretilen PV panellerin verimleri her geçen gün daha da artarak günümüzde %21'e optik yoğunlaştırıcılar kullanıldığında ise %35'e kadar ulaşmıştır [3, 4].

Güneş pillerinden elde edilen enerjinin maliyet/kW değerinin su, petrol ve kömürden elde edilen enerjiden 3-5 kat daha yüksek olduğu gerçeği enerji dönüşümü işleminde verimin en önemli faktörlerden biri olması sonucunu doğurmaktadır. Bu amaçla güneşten alınan enerjiyi alıcı sisteme aktaracak çevirici yapısının seçimi ile çevirici denetim tekniğinin pil verim özelliğine göre düzenlenmesi gerekmektedir.

PV panellerin karakteristiğine göre alıcı sistem tarafından çekilen gücün akım gerilim oranı düzenlenmediği ve/veya kullanılan çeviricilerin PV sisteme uygun olmaması yada iyi tasarlanamaması güneşten faydalanma miktarı azalmaktadır. Bu amaçla MPPT işlemi yapan çeviriciler geliştirilmiştir.

Günümüzde birçok MPPT denetim tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikler *“dolaylı denetim”* ve *“doğrudan denetim”* olarak iki grupta ele alınabilir. Dolaylı denetim tekniğinde PV çıkış gerçek gücü sürekli olarak hesaplanmaz. Burada referans denetim sinyalinin oluşturulması işlemi PV hücre özelliğine

bağlı olarak belirli aralıklarla yada örnekleme hücresi yardımı ile modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışıyım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerlerinin okunması ile yapılır. Doğrudan denetim tekniğı ile oluşturulan sistemler sürekli olarak PV çıkış gücünü okuyarak gerçek MPPT noktasına ulaşmayı sağlayacak dönüştürücü referans sinyali oluşturur. Dolayısı denetim yöntemleri hızlı olmalarına karşın PV panel bağımlıdırlar ve gerçek MPPT yapamazlar. Doğrudan yöntemler ise daha yavaş ancak PV panellerden bağımsızdırlar. Bu çalışmada doğrudan ve dolaylı yöntem birlikte kullanılarak sistem hızı ve verimi artırılmıştır.

MPPT ve gerilimin uygun seviyelere getirilmesi için kullanılan güç dönüştürücüleri, zorlamalı anahtarlama ve akım ile gerilimdeki ani değişimler nedeniyle elektromanyetik girişim (EMI) ve radyo frekanslı girişim (RFI) oluşumuna neden olurlar. Bu durumu önlemek amacıyla birçok EMI azaltma yöntemleri geliştirilmiştir. Gürültü yalıtım ve bastırma yöntemleri ile yumuşak anahtarlama tekniklerinin kullanılması bunlardan bir kaçıdır. Yumuşak anahtarlama tekniklerinin uygulanması kontrol ve güç devresinin gerçekleştirilmesini zorlaştırdığı gibi gücün yükseltilmesine fazla bir katkı da sağlamazlar. Ayrıca bu yöntemler devre yapısında değişiklik gerektirmektedirler. Sayılan bu olumsuzlukları aşmak amacıyla faz kaydırmalı sıralı çeviriciler geliştirilmiştir. Sıralı çeviriciler ile devre yapısında değişiklik yapmadan EMI seviyesi azaltılmakta ve sürekli iletim kipinde bir enerji akışı sağlayabilmektedir. Ancak bu yapılar ile yükün az olduğu durumlarda verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Bu çalışmada verimin yükseltilmesi amacı ile düşük yüklerde tek çevirici yüksek yüklerde ise ikili sıralı çevirici ile çalışılarak verimin yükseltilmesi sağlanmıştır. Ayrıca frekans dengelemesi yapılarak giriş ve çıkış frekans etkisinden taviz verilmemiştir.

Bu yazı, ikinci bölüm PV yapıların yapısal özellikleri ile güneşlenme bilgileri, üçüncü bölüm MPPT yapıları, dördüncü bölüm DA-DA çeviriciler, beşinci bölüm sıralı çeviriciler, altıncı bölüm tasarım ve uygulama, yedinci bölüm sonuç ve öneriler olarak düzenlenmiştir.

2. GÜNEŞ PİLLERİ

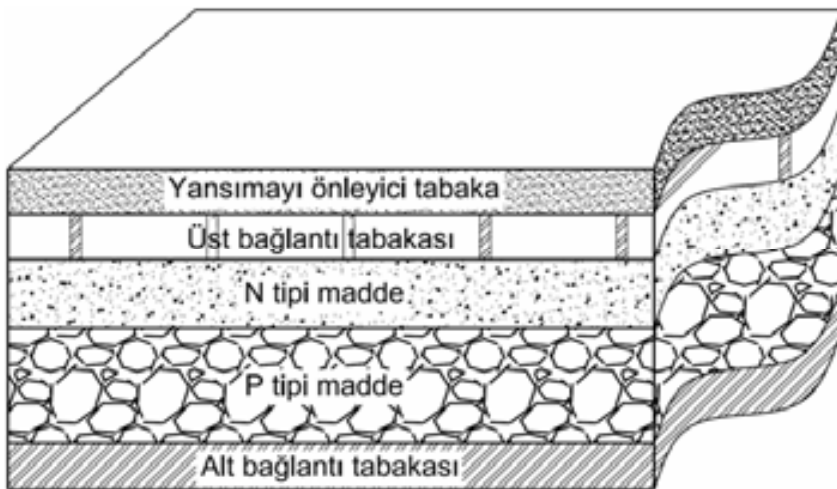
Fotovoltaik (PV) yapılar güneşten aldıkları enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Temelde aldıkları enerjinin küçük bir kısmını elektrik enerjisine çevirebilirler. Sonsuz sayılabilecek bir kaynaktan beslenmeleri, atık madde oluşturmamaları en önemli tercih sebeplerindendir.

2.1. Fiziksel Yapıları

Günümüzde farklı maddelerden ve farklı teknolojilerde birçok tipte PV panel üretilmektedir. Pahalı yarı iletkenlerden üretilirler. Genelde en yaygın üç tipi yapı vardır. Bunlar,

- Tekli Kristal Silikon (Mono-Crystalline Silicon)
- Çoklu Kristal Silikon (Poly-Crystalline Silicon)
- İnce Film (Thin-Film)

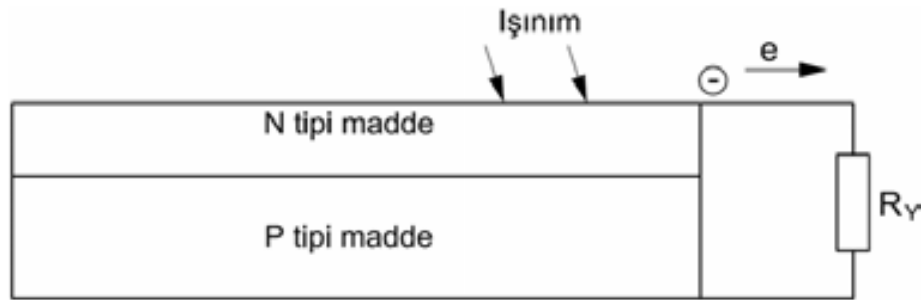
Kristal Silisyum, Galyum Arsenit (GaAs), Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellurid (CdTe), Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂) gibi üretim maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Güneş pili içyapısı

2.2. Çalışma İlkesi

PV hücreleri pozitif ve negatif taraf olmak üzere iki kısımdan oluşur. Her iki tarafta da son yörüngelerinde 4 elektron bulunduran (genelde germanyum ya da silisyum) atomlar bulunur. Ayrıca pozitif tarafta 3 elektron, negatif tarafta ise 5 elektron bulunduran atomlar vardır. 5 elektron bulunduran atom elektron vermeye 3 elektron bulunduran atom ise elektron almaya elverişlidir.



Şekil 2.2. Güneş pili temel elektriksel modeli

Işınım etkisi ile fotonlar PV hücresine çarparak elektronların hareketini sağlar, hareketlenen elektron yük üzerinden devresini tamamlar.

2.3. PV Panel Verimi

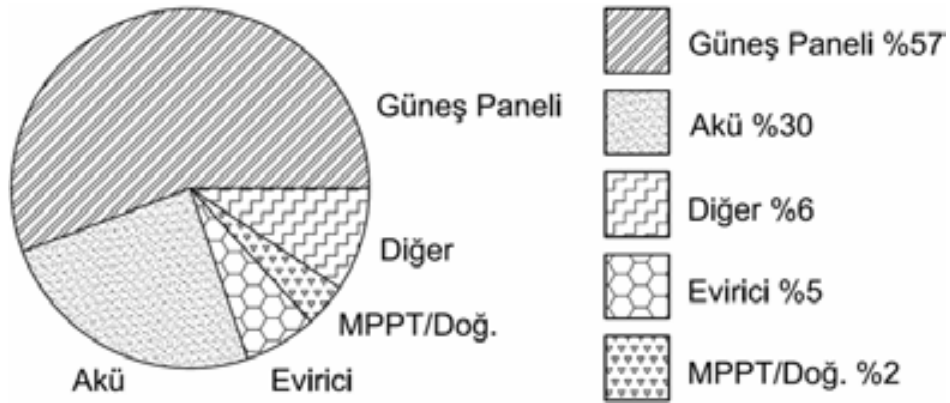
PV hücreler güneşten aldıkları enerjinin tamamını elektrik enerjisine dönüştüremezler. Birim alanda üretilen elektrik enerjisinin ışınım yolu ile gelen enerjiye oranı verimi vermektedir. Çeşitli üretim tekniklerinde ve değişik maddelerle üretilen PV panellerin verimleri her geçen gün daha da artarak günümüzde %21 değerine kadar ulaşmıştır [4]. Ayrıca yoğunlaştırıcı sistemler (concentrator) kullanılarak PV panel verimleri %35'lere kadar yükseltilmiştir [3].

2.3.1. PV yapı maliyeti

PV panellerden elde edilen enerji maliyeti, hidroelektrik, kömür, petrol, nükleer gibi günümüz yakıtlarından elde edilen enerjiden daha fazladır. Temelde aradaki farkın kaynağı kurulum maliyetidir. Kurulum maliyetini oluşturan unsurlar PV panel, yedekleme üniteleri (akü), güç dönüştürücüleri,

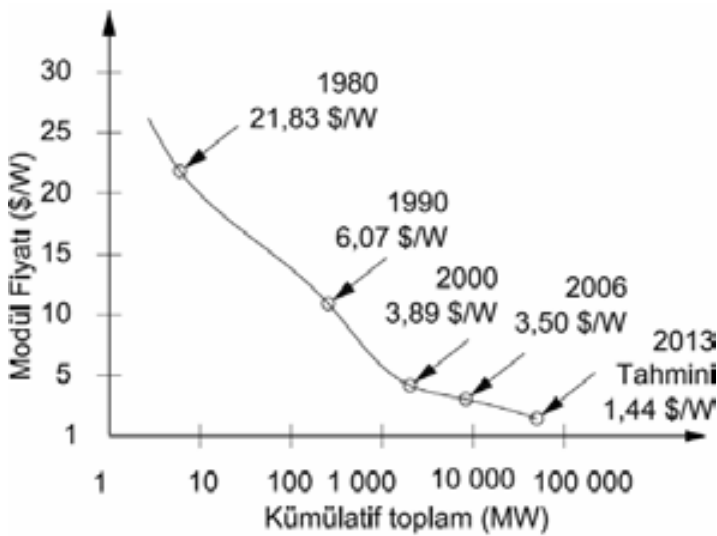
taşıma ve inşa giderleri olarak sıralanabilir. PV sistemin büyüklüğüne göre adı geçen giderlerin ağırlıkları değişmektedir.

Şekil 2.3'de 15 kWh/gün için kurulmuş bir sistemin kurulum maliyet oranlarını veren grafik bulunmaktadır [5].



Şekil 2.3. PV yapı maliyet oranları

PV paneller kurulum maliyetinin en büyük bileşenidir. PV yapılar yaygınlaştıkça panel maliyetleri de düşmekte bunun sonucu olarak daha ekonomik olmaktadır.



Şekil 2.4. PV yapı maliyetinin yıllara göre değişimi

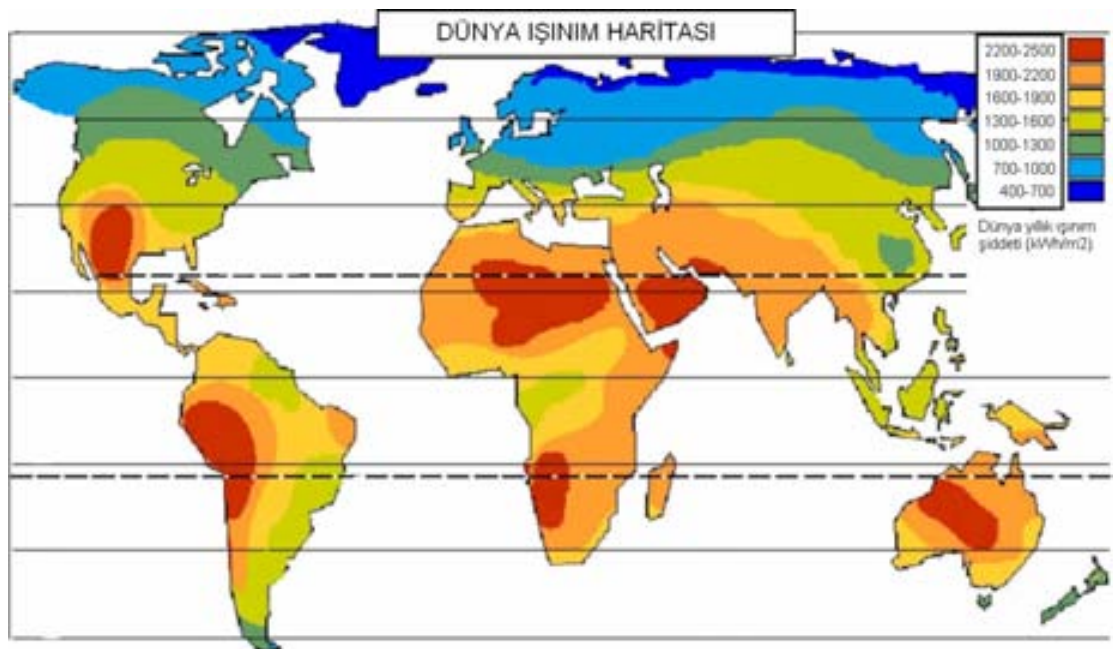
Şekil 2.4'de PV panel fiyatlarının \$/W cinsinden yıllara göre değişimi ve gelecek yıllardaki tahmini sonuçları veren grafik verilmiştir [6]. Buradan hareketle PV sistemlerin yakın gelecekte enerji ihtiyacına oldukça ekonomik çözümler getireceği söylenebilir.

Güneşten elde edilen enerjinin birim maliyeti ise kullanılan teknoloji, ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve PV hücre cinsine göre 0,15-0,29 \$/kWh arasında değişmektedir [2].

2.4. Işınım Şiddeti

PV sistemler güneşten aldıkları enerjiyi verimleri oranında elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu yüzden PV sistemlerinin ışınım şiddeti ve güneşlenme sürelerinin yüksek olduğu alanlarda daha verimli ve kullanışlı olmaktadır. Işınım şiddeti pironometre ile ölçülmektedir.

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre daha elverişlidir. Şekil 2.5'de dünya yıllık ışınım şiddetini gösteren harita verilmiştir [7].



Resim 2.1. Dünya güneşlenme haritası

DMİ'nin 1966-1982 yılları arasında yaptığı güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti de 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 2.1'de verilmiştir [2].

Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

Aylar	Aylık toplam güneş enerjisi		Güneşlen. süresi
	Kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	(Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.D. Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DİM, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir [2].

EİE'nin ölçü yaptığı 8 istasyondan alınan yeni ölçümler ve DİM verileri yardımı ile 57 ile ait güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri değerleri hesaplanarak bir kitapçık halinde basılmıştır [2].

2.5. PV Sistem Kullanım Alanları ve Türkiye'ki Durum

PV sistem çıkışı elektrik enerjisi olduğundan elektrikle çalışan uygun güçteki her türlü alıcılarla çalışabilir. Güneş pilleri, halen elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim merkezlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir.

Genelde otoyol aydınlatma, otoyol sinyalizasyon, park bahçe aydınlatma, uzay uygulamaları, su pompalama, ev ve küçük işyerleri tipi sistemlerde kullanılmaktadır. Genel olarak gün boyunca alıcıları besleyerek ihtiyaç fazlası enerjiyi akülerinde depolayarak gerektiğinde alıcı sisteme aktaracak şekilde

tasarlanırlar. Şebeke ile paralel çalışan ve şebekeye enerji gönderebilen sistemler son yıllarda önem kazanmış ve geniş uygulama alanı bulmuştur.

Bahsi geçen uygulamalar dışında otomobil, sera ısıtma gibi çeşitli uygulamalarda da çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde halen Telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında kullanılan güneş pili kurulu gücü 300 kW civarındadır.

Güneş enerjisi araştırma ve geliştirme konularında EİE'nin yanında Tübitak Marmara Araştırma Merkezi ve üniversitelerde çalışmalar yapmaktadır. Yine araştırma amacıyla Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nde şebeke etkileşimli çalışabilen 2,59 kW kurulu gücünde PV sistem kurulmuştur.

Güneş enerjisi verilerinin ölçülmesi konusunda Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü faaliyet göstermektedir. EİE 1991 yılından bu yana kendi güneş enerjisi gözlem istasyonlarını kurmaktadır.

Güneş enerjisi ile ilgili standartlar hazırlanması konusunda Türk Standartları Enstitüsü;

- TS 3680-Güneş Enerjisi Toplayıcıları-Düz
- TS 3817-Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemlerinin Yapım, Tesis ve İşletme Kuralları

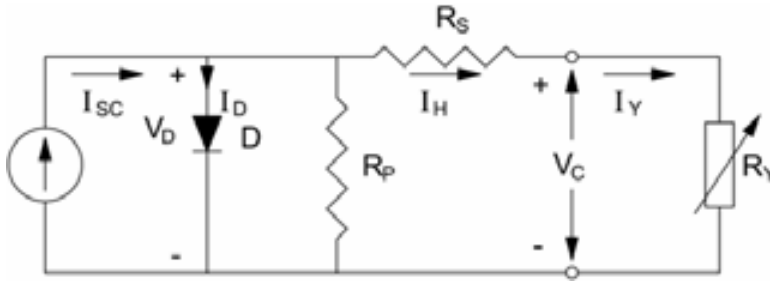
konulu standartları hazırlamıştır. Ancak bu standartlar termal sistemlere yöneliktir.

2.6. PV Hücre Elektriksel Modeli

Güneş pilleri p-n yarı iletkenlerinin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden oluşur. Karanlıkta PV hücre çıkış I - V karakteristiği diyot

karakteristiğine çok benzer. Işığa maruz kaldığında fotonlar sayesinde elektron hareketi dolayısı ile akım sağlanır. PV panel kısa devre edildiğinde bu akım harici yük üzerinden, açık devre halinde bırakıldığında ise bu akım karakteristik p-n bileşimli diyot üzerinden devresini tamamlar [8].

Güneş pilleri Şekil 2.5'deki gibi bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç ve diyot, oluşan yapıya seri bağlı bir direnç ile ifade edilirler [9].

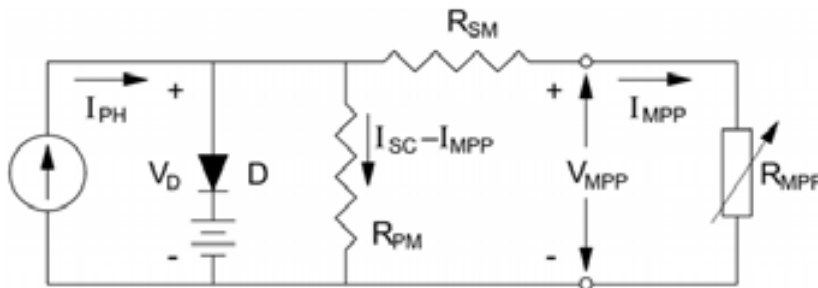


Şekil 2.5. Güneş pili elektriksel eşdeğer modeli

Ayrıca devre matematiksel modeli Eş. 2.1 ile ifade edilebilir. İlgili model Şekil 2.6'da verilmiştir.

$$I_H = I_{PH} - I_O \cdot \left(e^{\frac{q}{A \cdot k \cdot T} (V_O + I_H \cdot R_S)} - 1 \right) \frac{V_O + I_H \cdot R_S}{R_P} \quad (2.1)$$

R_S direnci çok küçük bir dirençtir. R_P direnci ise büyük değerdedir. Bu direnç değerlerini en yüksek güç noktası (MPP) için hesaplamak mümkündür. Bu işlemi yapabilmek için modül eşdeğer devresinden yararlanılır. Üretici firmadan alınan bilgi yapıları değerleri modül eşdeğer devresinde kullanılarak yapı değişkenleri bulunur [9].



Şekil 2.6. En yüksek güç noktasındaki eşdeğer devre modeli

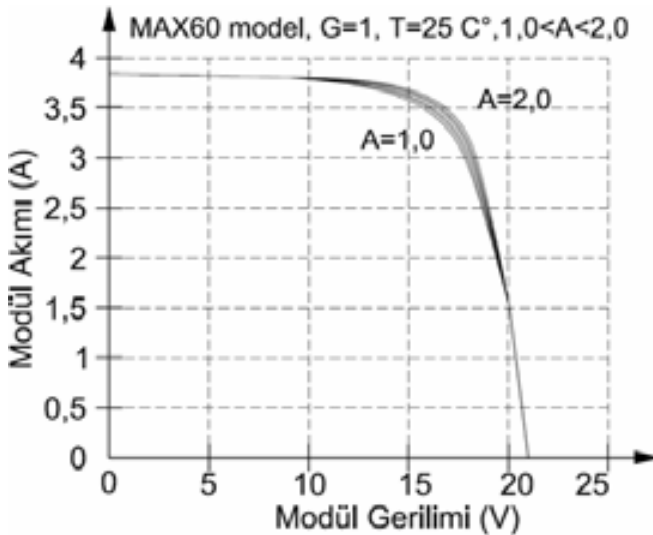
Eşdeğer devreden hareketle R_{PM} ve R_{SM} değerleri Eş. 2.2 ve Eş. 2.3 yardımı ile bulunabilir.

$$R_{SM} = \frac{V_{OC} - V_{SC}}{I_{MPP}} \quad (2.2)$$

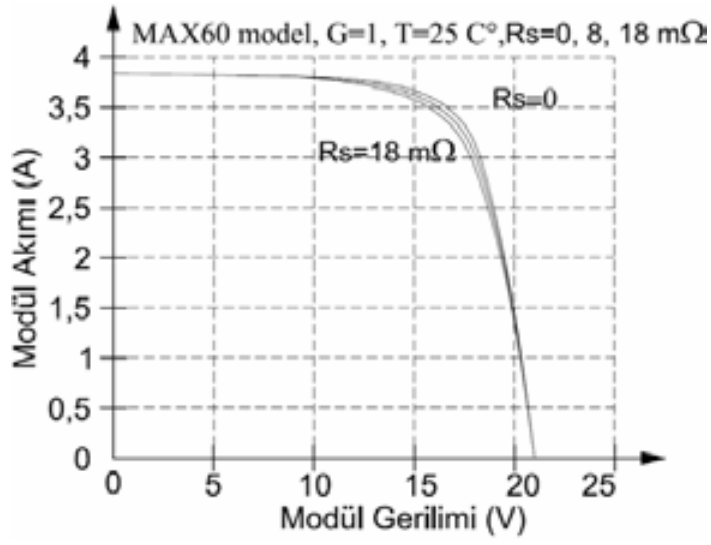
$$R_{PM} = \frac{V_{OC}}{I_{SC} - I_{MPP}} \quad (2.3)$$

PV panel üreticileri modüle ait değerleri 25 °C ve güneş ışınım şiddeti 1000 W/m² iken yapılan testler sonucunda oluştururlar. Bu şartlar altında modül açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_{SC}), MPP akımı (I_{MPP}) ve MPP gerilimi (V_{MPP}) değerleri alınarak modül bilgi yaprakları oluşturulur.

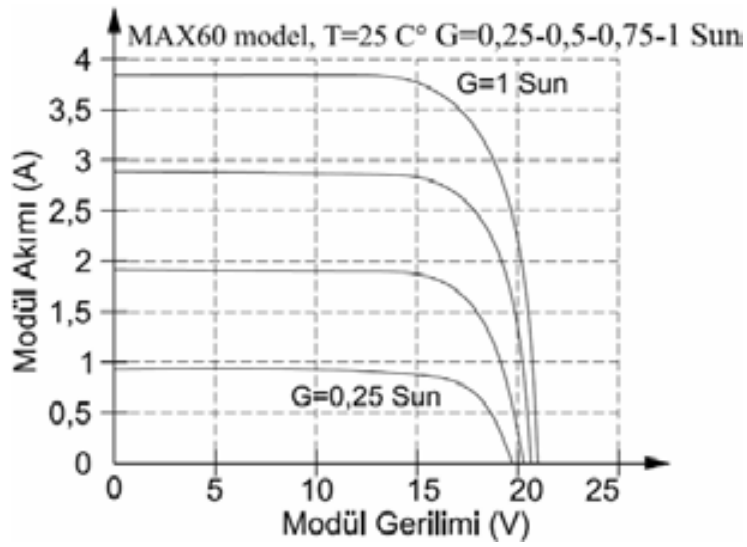
PV panellerin çıkış özelliği üretim tekniği, ışınım, sıcaklık, beslediği yük gibi değişkenlerden etkilenir. Bu değişkenlerin PV çıkış gücüne olan etkisini gösteren bilgisayar ortamında hazırlanmış bir dizi grafik Şekil 2.7 – Şekil 2.11’de verilmiştir [8].



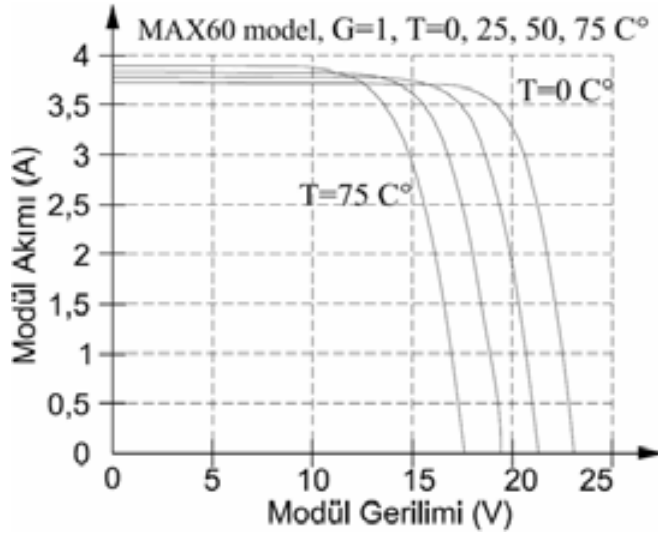
Şekil 2.7. Modül akımı geriliminin değişiminin A katsayısı ile değişimi



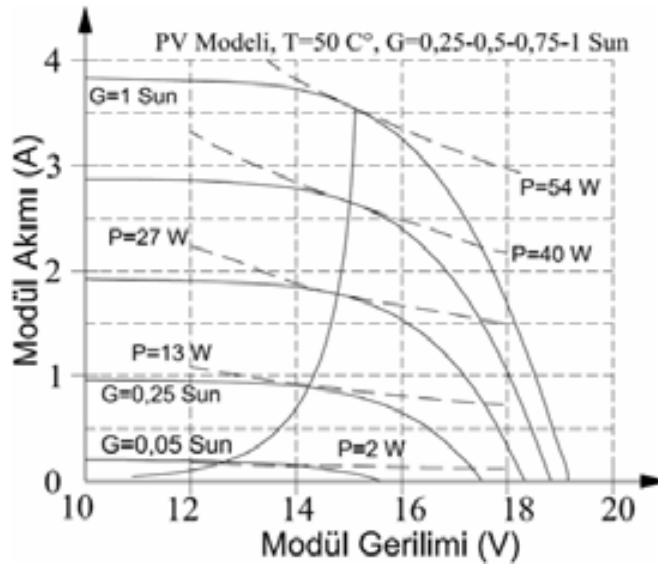
Şekil 2.8. Modül akımı ile geriliminin R_s direnci ile değişimi



Şekil 2.9. Modül akımı ve geriliminin ışıyım şiddeti ile değişimi



Şekil 2.10. Modül akımı ile geriliminin sıcaklıkla değişimi

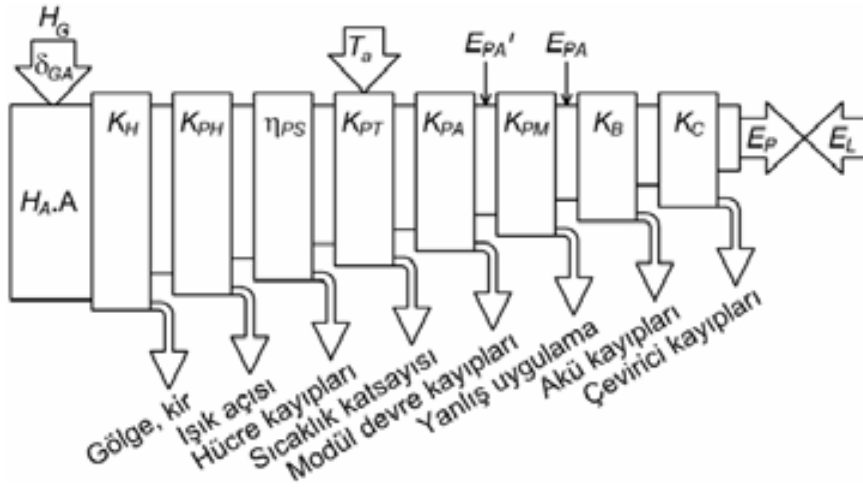


Şekil 2.11. Modül en fazla güç eğrisi

2.7. PV Sistem Verimini Etkileyen Faktörler

Güneş ışığını elektrik enerjisine çevirirken verimi etkileyen birçok etken vardır. Bu etkenlerden bir kısmı iyileştirilebilse de (örneğin panel açısı) modül özelliğine bağlı olanlar değiştirilemez.

Güneşten alınan enerjinin PV çıkışına iletilmesi esnasında meydana gelen kayıpları Şekil 2.13'de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.12. PV modül değişkenlerinin çıkışa etkisi

2.8. PV Modül Performansının Yıllara Göre Değişimi

PV sistemler temiz, sessiz, bakım gerektirmeyen, sistemler olsalar da kurulum maliyetlerinin yüksekliği ve yıllara göre performanslarında meydana gelen düşmeler olumsuz etkileri olarak sayılabilir.

Yapılan araştırmalar 11 yıl sonunda PV modül verimi ve öz değerlerinde meydana gelen değişimin modül gücünü %4,39 ve kısa devre gerilimini %6,38 oranında düşürdüğünü göstermektedir [11].

Çizelge 2.3. PV modül değişkenlerinin yıllara göre değişimi

Değişken	1990		2001		% Değişim
	Ana değer	Stand.sap.	Ana değer	Stand.sap.	
P_{MAX} (W)	39,88	0,849	38,13	1,67	-4,39
V_{OC} (V)	18,19	0,131	18,15	0,108	-0,22
I_{SC} (A)	3,29	0,044	3,08	0,120	-6,38
R_s (Ohms)	0,347	0,115	0,384	0,184	10,66
R_p (Ohms)	171	39,2	115	48,7	-32,75
ekt (V^{-1})	0,709	0,125	0,896	0,26	26,38
V_{MPP} (V)	13,9	0,20	14,2	0,33	2,16
I_{MPP} (A)	2,88	0,033	2,69	0,111	-6,60

2.9. Sonuç

Ülkemizde ve dünyada her geçen gün enerji ihtiyacı artarken günümüz enerji kaynakları yeterli gelmemeye başlamıştır. Çeşitli çevresel etkilerinden dolayı nükleer enerji tercih edilmemekte, fosil yakıtlar tükenmekte, diğer kaynaklar ise artan enerji talebini karşılayamamakta sonuçta dünya bir enerji darboğazına doğru gitmektedir.

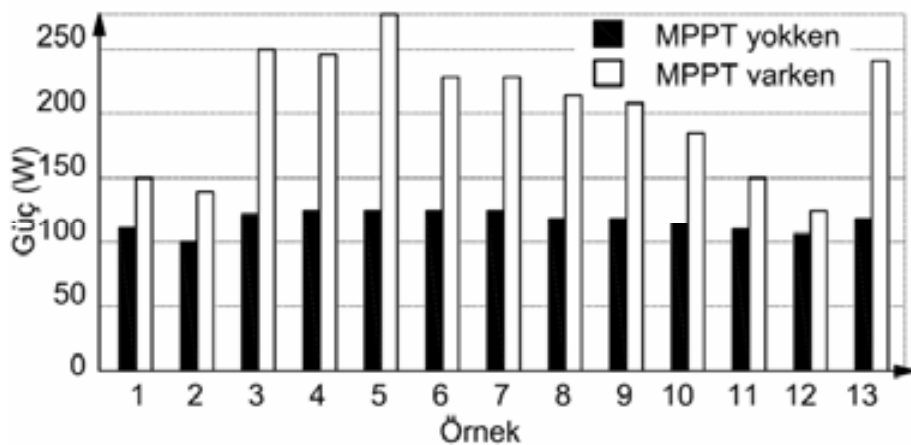
Güneş sonsuz diyebileceğimiz bir enerji kaynağıdır. Türkiye güneşlenme şiddeti ve süresi bakımından uygun coğrafi konumdadır. Bu kaynaktan yararlanmanın çeşitli yolları olmakla birlikte burada ilgilenilen kısım elektrik enerjisine çevirerek faydalanmak olmuştur. Ancak güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirme işleminin diğer faydalanma metotlarına göre verimi düşük maliyeti yüksektir. Ayrıca güneş pilleri uygun akım ve gerilimde daha kullanışlı olmaktadır. Bu amaçla genellikle PV çıkışı DA-DA çeviriciye uygulanarak uygun şartlarda en fazla güç üretilmeye çalışılmaktadır. Üçüncü bölümde PV çıkışından en yüksek düzeyde faydalanabilmek amacı ile kullanılan MPPT metotları hakkında bilgi verilecektir.

3. MPPT TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

MPPT PV panel çıkışındaki güç dönüştürücüsünün denetim yapısıdır. PV panel verimleri güneşin verebileceği enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürülebilirlik oranları ile ifade edilirler. Bu değer pil kalitesine ve yapısına bağlı olarak %16-21 arasındadır. Fakat pillerin karakteristik özelliğinden dolayı akım gerilim oranı dengelenmediğinde bu verim oranı düşmektedir. Dolayısı ile kısıtlı enerjiyi etkili bir şekilde aktarmak günümüz araştırmacılarının ilgi odağı olmuştur.

MPPT denetim tekniği PV panelleri verimlerinde kullanılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem pilin verdiği enerjinin en yüksek olduğu noktayı yakalayan bir denetim yapısıdır. Bu nokta ışıma, sıcaklık, PV panel eğimi, PV panel yaşlanması gibi değişkenlerle değişir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için denetim mekanizması denetim tekniğine bağlı olarak PV panel değişkenlerini değerlendirip güç dönüştürücüsünün referansını gücün en yüksek olduğu noktaya ulaşmayı sağlayacak şekilde değiştirir.

MPPT işlemi sayesinde elde edilen enerji kontrolsüz olarak alınan enerjiye oranla %45'ler civarında artırılabilir [12].



Şekil 3.1. MPPT ve MPPT olmadan üretilen enerjilerin karşılaştırması

Çıkış gücü ışıma ve sıcaklığa bağlı olarak yalnızca uygun akım-gerilim değerinde en yüksek değere ulaşır. Değişik atmosfer koşullarında en fazla

PV çıkış gücü noktası (MPP) sürekli olarak değişecektir. Enerji dönüşüm işleminin verimli ve etkili olabilmesi amacı ile PV çıkışında denetimli güç dönüştürücüleri kullanılmış ve bu dönüştürücüler değişik teknikler ile denetlenmiştir.

Günümüzde birçok MPPT denetim tekniği kullanılmaktadır. Bu denetim teknikleri “*dolaylı denetim*” ve “*doğrudan denetim*” olarak iki ana grupta ele alınabilir. Dolaylı denetim tekniğinde PV çıkış gerçek gücü sürekli olarak hesaplanmaz. Burada referans denetim sinyalinin oluşturulması işlemi PV hücre özelliğine bağlı olarak belirli aralıklarla yada örnekleme PV hücresi yardımı ile modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışınım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerlerinin okunması ile yapılır. Doğrudan denetim tekniği ile oluşturulan sistemler sürekli olarak PV çıkış gücünü okuyarak önceki çıkış gücü ile karşılaştırıp MPPT noktasına ulaşmayı sağlayacak dönüştürücü referans sinyalini oluşturur.

Bu kısımda günümüze kadar yapılan kullanışlı MPPT denetim teknikleri hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Dolaylı denetim

Dolaylı denetim tekniği PV karakteristiğine dayalı olarak deneysel sonuçlarla oluşturulmuş tabloları, modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışınım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerleri direkt yada matematiksel eşitlikler yardımı ile kullanarak MPPT noktasını tahmin etmeye dayalı bir yöntemdir. Bu yöntemle yaklaşık MP noktası bulunur.

3.1.1. Sabit gerilim metodu

Sabit gerilim (CV) diğer ismi ile açık devre gerilim metodu PV panel açık devre gerilimini referans alan bir metodudur. Araştırmalar V_{MPPT} geriliminin V_{OC} geriliminin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Bu değer üretim tekniği, çevresel koşullar gibi etkenlere bağlı olarak polykristal

modüllerde ortalama V_{OC} geriliminin %73-80 civarındadır [5, 13, 14]. Daha genel bir ifade ile,

$$k = V_{MPPT} / V_{OC} \cong \text{sabit} \quad (3.1)$$

olarak ifade edilebilir. Burada k sabiti değişmediğinden MPPT gerilimi (V_{MPPT}) açık devre gerilimi (V_{OC}) yardımı ile kolaylıkla bulunabilir. Örnekleme işlemi çıkış yükü devrede değilken V_{OC} geriliminin okunması ile gerçekleşir. Sık örnekleme MPPT işleminin hassas bir şekilde sürdürülmesini, dolayısı ile hata oranını azaltacaktır.

Sabit gerilim metodu oldukça basit, karmaşık devreler gerektirmeyen, ucuz ve kullanışlı bir yöntemdir. Ancak referans işareti oluşturabilmek için gereken V_{OC} gerilim bilgisini okuyabilmek için PV modülden yükü ayırma gerekliliğinin yükler için sorun teşkil etmesi, bu esnada güneş enerjisinden faydalanılamaması, gerçek MPPT işleminin sürdürülememesi olumsuz etkileridir.

Sistem güvenilirliği ve yüklerin devreden çıkarılmasını önlemek amacı ile aynı özellikte bir hücre örnekleme elemanı olarak kullanan sistemlerde mevcuttur. Bu durumda bir hücre sürekli devre dışı kalmaktadır.



Şekil 3.2. Sabit gerilim metodu akış diyagramı

3.1.2. Sabit akım metodu

Sabit akım (CC) diğer ismiyle kısa devre akım metodu sabit gerilim metoduna çok benzer. PV modül MPPT akımı (I_{MPPT}) kısa devre akımı (I_{SC}) ile orantısal bir ilişki içerisindedir. Bu değer üretim tekniği ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte %85'ler civarındadır [14].

Kısa devre akımı ile MPPT akımı arasındaki orantısal k sabiti sıcaklık ve ışınım değişikliğinde korunur. Kısa devre akımı ile MPPT akımı arasındaki bağıntı Eş. 3.2 ile ifade edilebilir [15].

$$I_{MPPT}(E) = k_2 \times I_{SC}(E) \quad (3.2)$$

Eş. 3.2 kullanılarak MPPT akımı kısa devre akımının ölçülmesi ile bulunur ve Eş. 3.3'deki akım denetimli dönüştürücünün referans işareti oluşturulur.

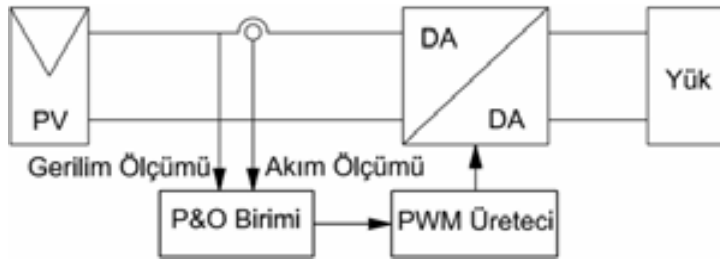
$$I_{REF} = I_{MPPT} \quad (3.3)$$

Kısa devre akım metodu basit ve karmaşık devreler gerektirmeyen yapıda olmasına rağmen kısa devre akımının ölçülmesi gerekliliği, bu esnada enerji kaybı, k_2 sabiti belirleme işlemi ve panel yüzeyinde meydana gelebilecek kirlilik v.b. sebeplerden kaynaklanan k_2 sabiti sapmaları bu yöntemin olumsuz etkilerindendir. Sistem akış diyagramı ise sabit gerilim metodunda olduğu gibidir.

3.2. Doğrudan denetim

Doğrudan (online) denetim metodu PV gerilim ve/veya akım değerlerini kullanır. Çalışma noktalarının değiştirilmesi ile en uygun nokta yakalanmaya çalışılır. Bu yöntemin en önemli avantajı PV üreteç karakteristiği, sıcaklık, ışınım şiddeti gibi değişkenlerden uygun noktanın yakalanması açısından etkilenmemesidir.

3.2.1. Değiştir-gözle metodu



Şekil 3.3. Değiştir-gözle yöntemi ile denetlenen çevirici

En sık kullanılan metotlardan biridir. Değiştir-gözle (P&O) yönteminde PV çıkış gücü sürekli olarak izlenir ve kontrol değişkeninin hareketi ile gücün hareketi arasında bir bağıntı kurularak referansın azaltılmasına ya da artırılmasına karar verilir.

P&O algoritması tepeye tırmanma (hill-climbing) algoritması adı ile de anılır. Güç hesaplanarak güç dönüştürücü darbe genişlik oranı gücü artıracak şekilde değiştirilir. P&O algoritmaları kolayca sayısal devrelerle uygulanabilir. Akım ve gerilim değerlerini okumak MP noktasını bulmak için yeterli olacaktır.

PV panelin çıkış gücü ve referans değişkeninin hareketi hakkında temel yargılar aşağıdaki çizelgede verilmiştir [16].

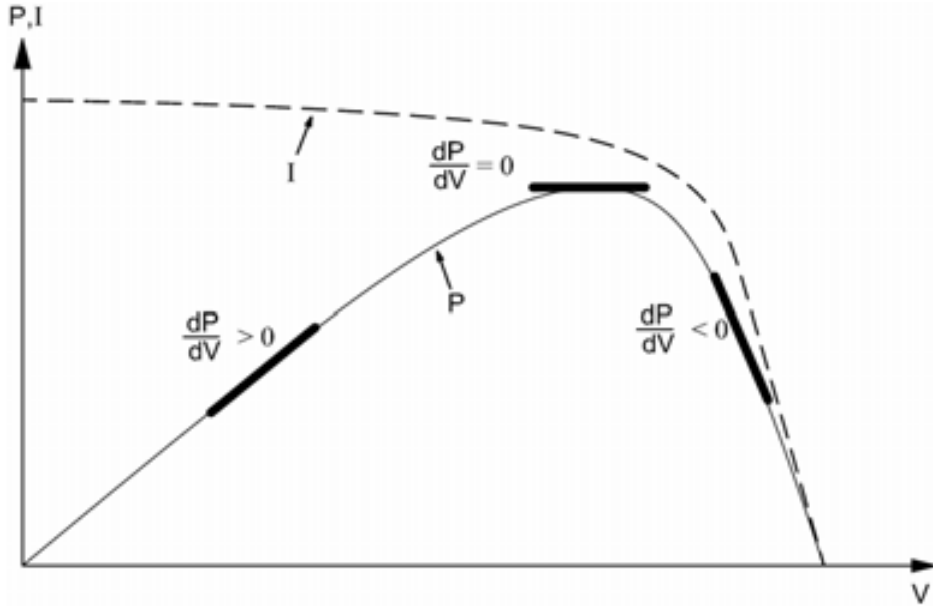
Çizelge 3.1. Değiştir-gözle değişim verileri

Referans değişimi	Güçteki değişim	Sonraki ref. Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Çizelge 3.1’de verilen tablo darbe oranına göre gücün değişimini esas alarak oluşturulmuştur. P&O MPPT algoritması güce göre gerilim ya da güce göre akım değişimi esas alınarak da uygulanabilir. Kıyaslama işlemi sonucunda MP noktasına ulaşılmayı sağlayacak bir sonraki darbe genişlik oranına karar verilir. Atmosferik koşulların hızla değişimine karşı tepkisinin yavaş olması ve ani değişimlerde MP noktasını yanlış yönde arama gibi zayıflıkları mevcuttur. Sistem sürekli olarak değiştir gözle işlemini yaptığından MP noktasına ulaştığında burada sabitlenmez. MPP civarında sürekli olarak osilasyon yapar ve sistemde bir miktar güç kaybı olur [17].

3.2.2. Artan iletkenlik metodu

Şekil 3.4’de artan iletkenlik (IC) yöntemi çalışma koşuluna ait grafik verilmiştir [18]. Artan iletkenlik metodunun temeli PV panel çıkış gücü eğiminin 0 olduğu yeri MPP, pozitif olduğu yeri MP noktasının solu, negatif olduğu yeri MP noktasının sağı olarak belirlemesine dayalıdır [16].



Şekil 3.4. Artan İletkenlik algoritması çalışma eğrisi.

Şekil 3.4'de verilen eğri artan iletkenlik algoritmasının temelini oluşturur. Bu eğriden yararlanılarak Eş. 3.4'deki eşitlikleri yazmak mümkündür,

$$\begin{aligned}
 dP/dV = 0 &\Rightarrow \text{MP noktasında,} \\
 dP/dV > 0 &\Rightarrow \text{MP noktasının solunda,} \\
 dP/dV < 0 &\Rightarrow \text{MP sağında,}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Eş. 3.4 kullanılarak Eş. 3.5 yazılabilir:

$$dP/dV = d(IV)/dV = I + VdI/dV \cong I + V\Delta I/\Delta V \tag{3.5}$$

Eş. 3.5 yeniden düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
 \Delta P/\Delta V = -I/V &\Rightarrow \text{MP noktasında,} \\
 \Delta P/\Delta V > -I/V &\Rightarrow \text{MP noktasının solunda,} \\
 \Delta P/\Delta V < -I/V &\Rightarrow \text{MP sağında,}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

eşitlikleri elde edilir [16].

IC metodunun en önemli avantajı hızlı değişen atmosferik koşullara uyum sağlayabilmesi ve MP noktasında meydana gelen osilasyonun P&O

metodundan çok daha az olmasıdır. Önceleri hesap işlemleri fazla zaman aldığından tepki hızları yavaş idi. Günümüzde ise dijital teknolojilerin hızlı gelişimi bu olumsuz etkiyi kaldırmış durumdadır. Ancak IC kontrol metodu ile denetlenen devreler biraz daha karmaşık ve pahalıdır. Verimleri ise P&O yöntemi ile yaklaşık olarak aynı fakat CV yönteminden daha yüksektir [19].

3.3. Diğer metotlar

Yukarıda en yaygın MPPT metotları sıralanmıştır. Bunlardan başka birçok MPPT metodu bulunmaktadır. Aşağıda bu metotlara kısaca değinilmiştir.

Eğri uyarlama metodu

PV hücresi eşdeğer devresi ve üretici verilerinden yararlanılarak sistem modeli matematiksel denklem ya da yakınsama metotları ile oluşturulur. Ancak oluşturulan yapı karmaşık olduğundan analog veya sıradan sayısal devrelerle gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Bir diğer sorun ise değişik ışınım ve yaşlanma etkilerinde parametrelerin doğru olarak bulunamayışından kaynaklanan sapmadır [14].

Tablodan okuma metodu

PV panelden okunan akım ve gerilim bilgisi daha önceden saklanan verilerle karşılaştırılarak MPPT noktasına ulaşılabilecek hareket hakkında bilgi edinilir. Bu bilgi ile güç dönüştürücüsünün referans işareti belirlenir. Depolama ünitesi tüm atmosferik koşullar için bilgi bulundurmalıdır. Ayrıca bu değerler farklı PV panel çeşitlerinde yeniden oluşturulmalıdır.

Parazitik kapasite metodu

Artan iletkenlik metoduna benzer yapıdadır. Fakat PV çıkış kapasitesi C_{PV} 'nin işleme dâhil edilmesi ile gerçekleştirilir. Denetim devresi yapısının karmaşık olması ve algoritmasındaki matematiksel işlemlerin fazlalığı metodun zayıf yönlerindendir.

Sadece akım metodu

Kısa devre akım metodundan farklı olarak sadece PV panel akımının ölçülmesi ile gerçek MP noktası bulunabilir. Burada I_{MPPT} Eş. 3.7'deki gibi gücün bir fonksiyonu olarak ifade edilir [20].

$$I_{MPPT} = f(P_{MPPT}) \quad (3.7)$$

Sadece akım okuyarak gerçek MP noktasını yakalaması, hızlı değişen atmosferik koşullara uyum sağlayabilmesi olumlu yönlerindendir.

Bulanık mantık ve yapay sinir ağıları metotları

Son yıllarda kullanılmaya başlayan metotlardandır. Aşırı matematiksel modellemeler gerektirmezler. Hızlı değişen atmosferik koşullara uyum sağlayabilirler. Ancak sistemin başarısı tasarımcının kabiliyeti ile sınırlıdır. Hata işareti katsayıları doğru belirlenmediğinde olumsuz sonuçlara yol açabilir [16].

Bölüm 3.1–3.3 içerisinde adı geçen metotlardan başka benzer metotlarda bulunmaktadır. Detaylar amacın dışına taşığından bu metotlara değinilmemiştir.

3.4. Denetim Metodlarının Karşılaştırılması

Dolaylı denetim metotları basit yapılı ve maliyet yönünden avantajlı olmalarına karşın genelde MP noktasını doğru bir şekilde takip edemezler. Ayrıca örnekleme esnasında yüklerin devreden çıkartılması ve bu süre zarfında enerjinin kullanılamaması gibi zayıflıkları mevcuttur. Önceleri kullanışlı yöntemler sınıfında olsalar da günümüzde sayısal elektroniğin gelişimi ve yüksek hızlı mikro denetleyicilerin üretilmesi doğrudan denetim tekniği uygulanabilen sistemleri ön plana çıkarmıştır. Dolaylı denetim metotları maliyetinin düşük olması sebebi ile halen küçük güçlü sistemler için kullanışlı yöntemler sınıfındadır.

Doğrudan denetim tekniği ile denetlenen sistemler atmosferik koşullar, yaşlanma gibi dolaylı denetim tekniğinin etkilendiği değişkenlerden etkilenmez, MP noktasını doğru bir şekilde takip ederler. Ancak sistem maliyeti ve denetim devreleri biraz daha karmaşıktır. Bu yüzden orta ve büyük güçlü sistemler için uygundur.

Çizelge 3.2’de denetim yöntemlerinin verim yönünden (η_{MPPT}) karşılaştırılmasına ait grafik verilmiştir [19].

Çizelge 3.2. MPPT verimleri

Atmosfer. Durumu	Değış. Göz. (P&O)		Artan İletken. (IC)		Sabit Voltaj (CV)	
	Gün	η_{MPPT}	Gün	η_{MPPT}	Gün	η_{MPPT}
Açık	20	98.7	17	98.7	20	90.4
Kısmen bulutlu	14	96.5	11	97.0	10	90.1
Bulutlu	9	98.1	11	96.7	6	93.1
Hepsi	43	97.8	39	97.4	36	91.2
Benzetim	99.3		99.4		93.1	

Çizelge 3.3'de ise MPPT algoritmalarının yapıları ile ilgili karşılaştırmalar verilmiştir [16].

Çizelge 3.3. MPPT tekniklerinin temel özellikleri

MPPT tekniği	PV panel bağımlılığı	Gerçek MPPT?	Analoğ & Sayısal?	Periyodik ayar ?	İzleme hızı	Karmaşık ?	Gerekli bilgi
Değiştir Gözle (P&O)	Hayır	Evet	D&A	Hayır	Değişken	Düşük	Akım, Gerilim
Artan İletkenlik (IC)	Hayır	Evet	D	Hayır	Değişken	Orta	Akım, Gerilim
Açık devre Gerilim (V_{OC})	Evet	Hayır	D&A	Evet	Orta	Düşük	Gerilim
Kısa devre Akım (I_{SC})	Evet	Hayır	D&A	Evet	Orta	Orta	Akım
Bulanık Mantık Kontrol	Evet	Evet	D	Evet	Hızlı	Yüksek	Değişken
Yapay Sinir Ağları	Evet	Evet	D	Evet	Hızlı	Yüksek	Değişken
DA Bara Kapasite Düşüm	Hayır	Hayır	D&A	Hayır	Orta	Düşük	Gerilim

3.5. Sonuç

V_{MPPT} gerilimi, V_{OC} geriliminin doğrusal bir fonksiyonu olduğu ve bir k sabiti ile bulunabileceği bölüm 3.1.1'de açıklanmıştı. Uygulanan sistem için bu sabit 0,77 olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada hibrit bir MPPT sistemi önerilmektedir. Başlangıç anında dolaylı yöntem olan CV yöntemi, MP noktasına ulaşıldığında P&O yöntemi uygulanmıştır. P&O yöntemi CV yöntemine göre daha yavaş olmasına rağmen daha yüksek verimli ve daha kararlı bir çalışma sağlar [19]. Önerilen çalışma yöntemi ile başlama anında CV yöntemi ile MP noktasına yaklaşım hızı artırılır, MP noktasına yaklaşıldığında ise P&O yöntemine geçilerek sistemin kararlılığı ve verimi artırılır.

Önerilen sistemde sabit gerilim metodu geçici durumda çalışmaktadır. CV metodu ile yaklaşık MP noktası bulunduktan sonra, P&O yöntemi ile çalışılmaya devam edilir. Okunan güç değeri bir önceki güç değeri ile karşılaştırılır. Daha sonra çeviricinin bir önceki darbe genişlik oranı (PWM) ile güncel PWM karşılaştırılarak gücün en yüksek olduğu noktaya erişmek için yapılması gereken işleme karar verilir. Bu işlem, çalışma süresince koruma durumları haricinde sürekli olarak çalışmaktadır. Yüke aktarılabilecek gücün artırılması çevirici çıkış gerilimin artırılmasıyla, gücün azaltılması ise yine çıkış gerilimin azaltılması ile sağlanmaktadır.

4. DA-DA ÇEVİRİCİLER

Girişindeki DA bir seviyeyi başka bir DA seviyeye dönüştüren sistemlerdir. İdealde pasif elemanlar bulundurup enerji dönüşüm işlemini kayıpsız olarak yaparlar. Gerçekte ise verimleri %70 ile %95 arasında değişir [21].

DA-DA dönüştürücüler yapısal olarak izoleli ve izolesiz olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Her iki grupta da değişik güçlerdeki azaltan (buck) ve artıran (boost) ya da her iki işlemi birlikte yapan azaltan-artıran (buck-boost) yapıları görmek mümkündür.

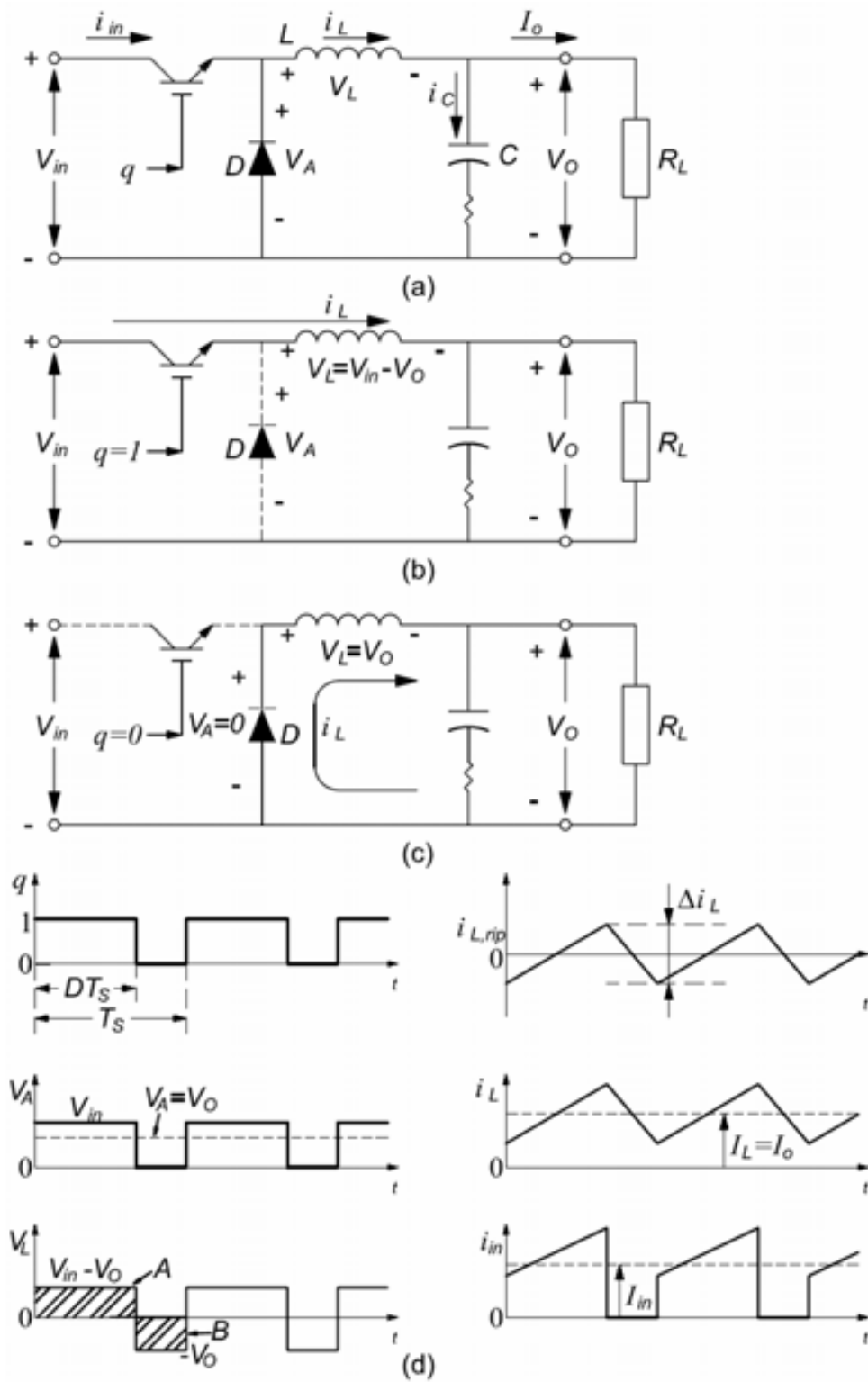
Çalışma koşullarına göre DA-DA çeviriciler sürekli kip (iki durumlu) ve kesintili kip (üç durumlu) olmak üzere iki çalışma kipinde çalışırlar. Azaltan, artıran ve azaltan-artıran çeviricinin endüktans değeri kritik değerden büyük olduğunda sürekli kip ve endüktans değeri kritik değerden küçük olduğunda kesintili kipte çalışırlar [22].

4.1. İzolesiz Çeviriciler

İzolesiz çeviriciler grubunda temelde üç yapı vardır. Bunlar azaltan, artıran, azaltan-artıran olarak sıralanır. Ayrıca SEPIC ve CUK çeviricilerde azaltan-artıran çeviriciler grubundadır.

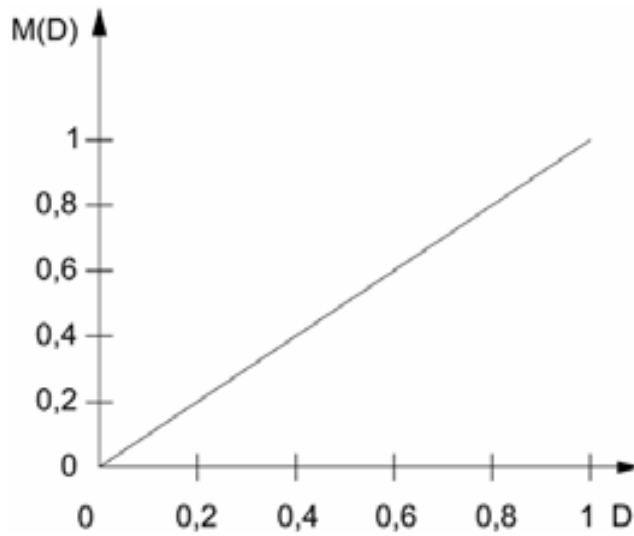
4.1.1. Azaltan çeviriciler

Azaltan çeviriciler girişindeki gerilimden daha küçük gerilimi çıkışına aktarır. Şekil 4.1'de temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre değişkenlerine ait grafikler verilmiştir [23].



Şekil 4.1. Azaltan çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a) Devre yapısı b) Anahtar iletimde c) Anahtar kesimde c) Dalga şekilleri

İzolesiz yapıdadırlar. Anahtarın iletimde olduğu anda i_L akımı L bobini üzerinden çıkışı besler. Ancak bu sırada geçen akımla orantılı olarak bobinde bir enerji depolanır. D diyotu ise ters polaritededir. Anahtar kesimde iken L bobini üzerindeki enerji yük ve D diyotu üzerinden devresini tamamlayacaktır. Böylece çıkışta enerji sürekliliği sağlanacaktır. Bobin depolama kapasitesine göre çıkış akımı sürekli ya da süresiz formda olabilir. Devredeki C kapasitesi ise çıkış gerilimini süzme görevini üstlenir. Çıkış kondansatöründen çekilen akım küçüktür. Ancak güç anahtarları bozulmalarında (kısa devre) girişteki yüksek gerilim seviyesi aynen çıkışta görülür. Buda kritik yükler için tehlikeli olabilir. Kaynaktan darbeli akım çekerler. Çıkış gerilimi Şekil 4.2'de gösterildiği gibi anahtarın iletimde ya da kesimde olma süresi ile doğrusal ilişkilidir [21].



Şekil 4.2. Azaltan çevirici çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi

D anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı (duty cycle) olmak üzere Eş. 4.1- Eş. 4.6 yazılabilir[23];

$$V_o = V_A = D \cdot V_{IN} \quad (4.1)$$

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (4.2)$$

$$V_{IN} I_{IN} = V_o \cdot I_o \quad (4.3)$$

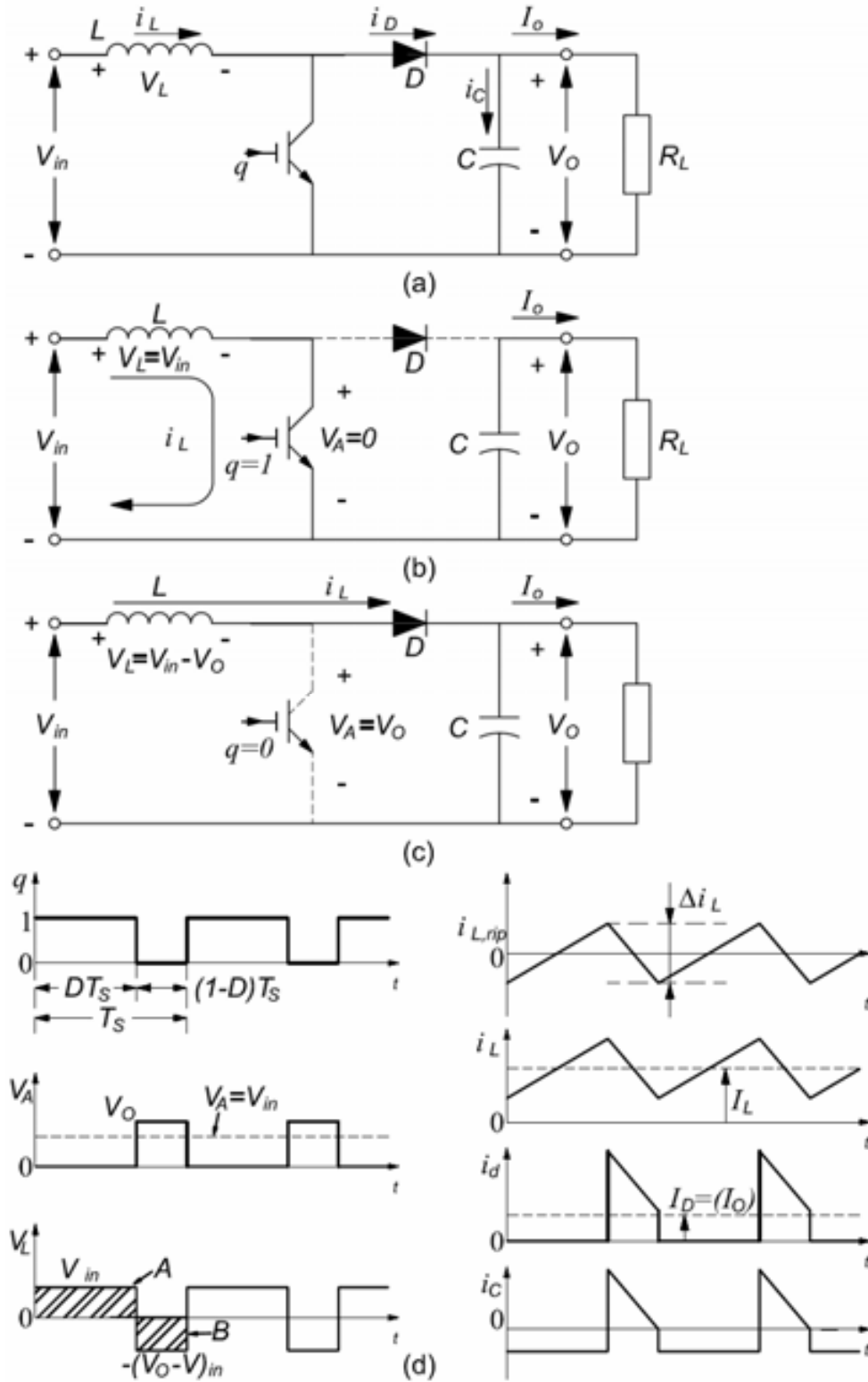
$$I_{IN} = D.I_1 = D.I_O \quad (4.4)$$

$$i_C(t) = I_{L,Dalga}(t) \quad (4.5)$$

$$I_{L,Kritik} = \frac{V_{IN}}{2Lf_s} D(1-D) \quad (4.6)$$

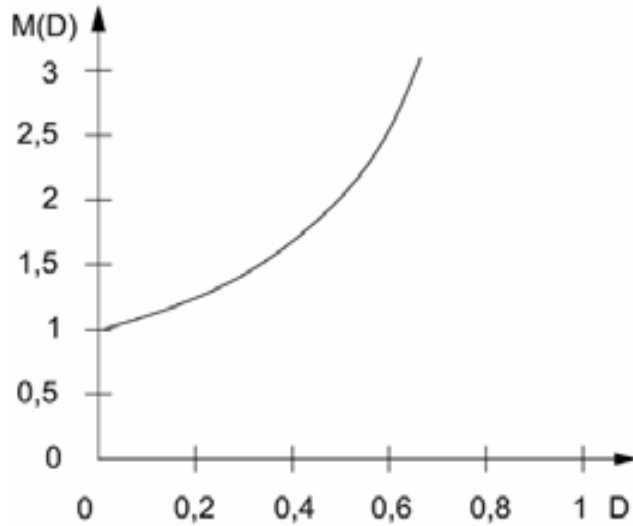
4.1.2. Artıran çeviriciler

Artıran çeviriciler giriş gerilimini çıkışa artırarak aktaran izolesiz yapılardır. Şekil 4.3'de temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir [23]. Anahtar iletime geçtiğinde kaynak gerilimi bobin ve anahtar üzerinden devresini tamamlar. Bu sırada bobin üzerinde bir miktar enerji depolar. Bu sırada D diyotu ters polaritede olup, çıkıştaki yükü C kapasitesi besler. Kondansatörün akımı yüksek değerlerdedir. Anahtar kesime geçtiği anda kaynak gerilimi ile bobin üzerindeki gerilim toplamı bir gerilim çıkışta görülür. Kaynaktan sürekli akım çekilir. Anahtar bozulmalarında (açık devre durumu) girişteki düşük gerilim seviyesi çıkışta görülür. Bu ise yükler için bir tehlike oluşturmaz.



Şekil 4.3. Artıran çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a) Devre yapısı b) Anahtar iletimde c) Anahtar kesimde c) Dalga şekilleri

Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 4.4'te verilmiştir [21].



Şekil 4.4. Artıran çevirici çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi

D anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı olmak üzere Eş. 4.7- Eş. 4.12 yazılabilir [23];

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{1}{1-D} \cdot (V_o \geq V_{IN}) \quad (4.7)$$

$$\Delta i_L = \frac{V_{IN}}{L} D T_s = \frac{V_o - V_{IN}}{L} (1-D) T_s \quad (4.8)$$

$$V_{IN} \cdot I_{IN} = V_o V_{IN} \quad (4.9)$$

$$I_L = I_{IN} = \frac{V_o}{V_{IN}} I_o = \frac{I_o}{1-D} = \frac{1}{1-D} \frac{V_o}{R} \quad (4.10)$$

$$i_C(t) \cong i_{D,dalg a}(t) = i_D - I_o \quad (4.11)$$

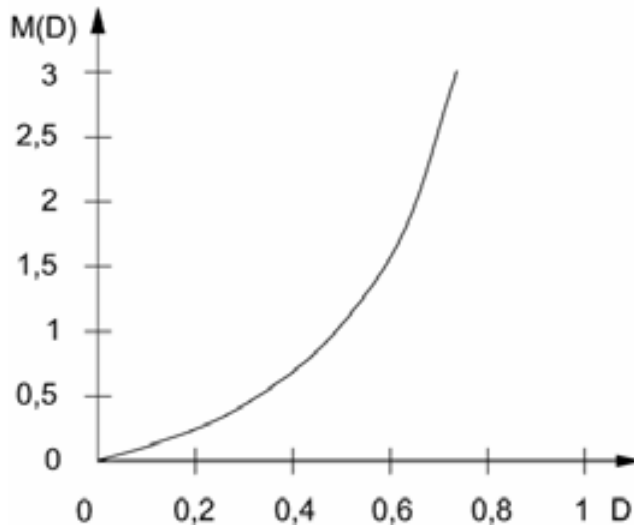
$$I_{L,Kritik} = \frac{V_{IN}}{2L f_s} D \quad (4.12)$$

Kaynaktan çekilen akımdaki dalgalanma bobinin değeri ile ilişkilidir. Arzu edilen küçüklükteki dalgacık uygun bobin değeri ile sağlanabilir.

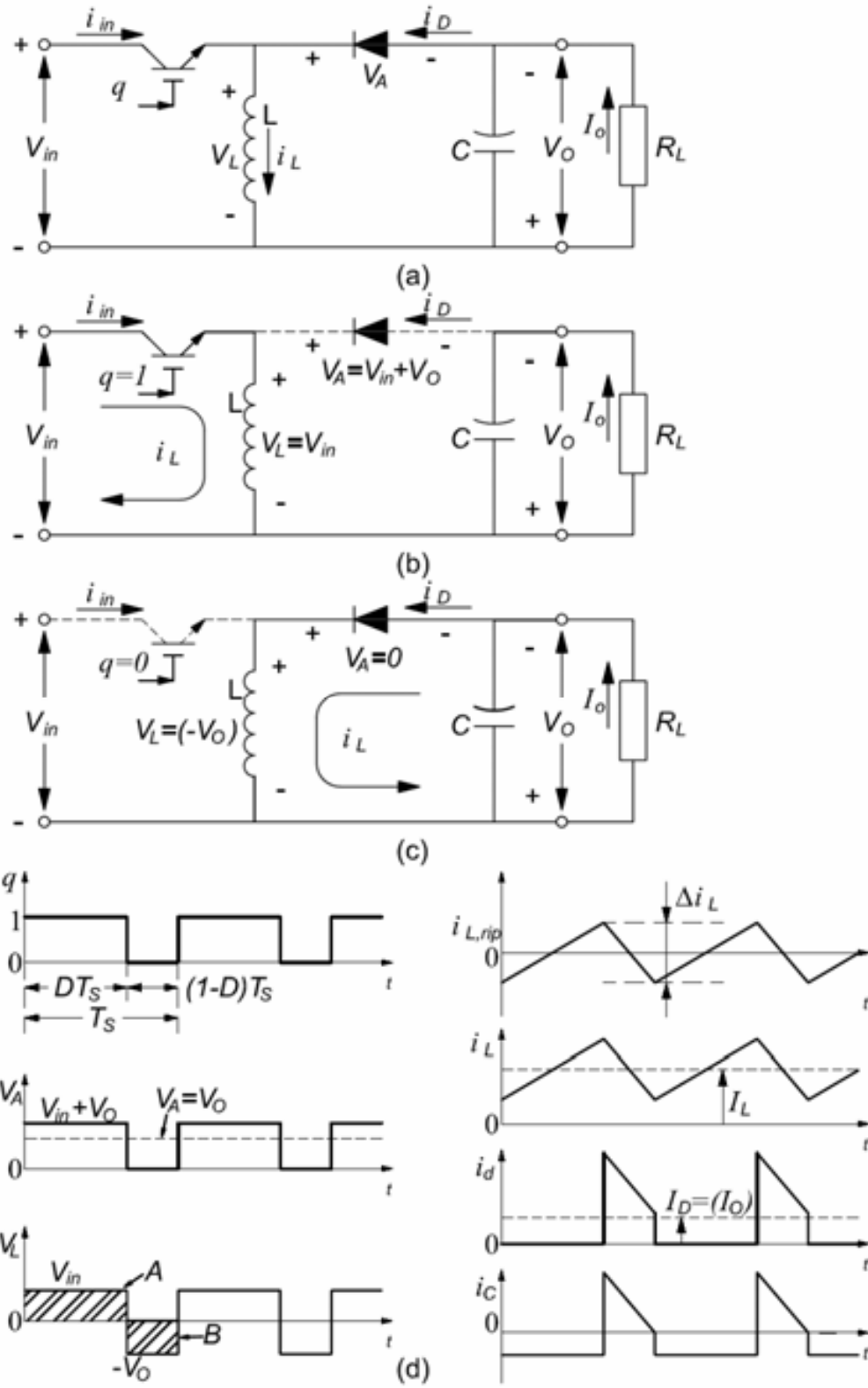
4.1.3. Azaltan-artıran çeviriciler

Azaltan ve artıran çeviricilerin işlevsel birlikteliğinden oluşur. Darbe genişlik oranının toplam periyoda oranı 0,5 değerinden küçük olduğu durumlarda azaltan çevirici kipinde, 0,5 den büyük olduğu durumlarda ise artıran çevirici kipinde çalışır.

Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 4.5’de verilmiştir [21].



Şekil 4.5. Azaltan-Artıran çevirici çıkış DA seviyesinin D’ye göre değişimi



Şekil 4.6. Azaltan-Artıran çevirici yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a) Devre yapısı b) Anahtar iletimde c) Anahtar kesimde c) Dalga şekilleri

Şekil 4.6'da temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir [23].

D anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı D olmak üzere Eş. 4.13 – Eş. 4.20 yazılabilir [23];

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{D}{1-D} \quad (4.13)$$

$$\Delta i_L = \frac{V_{IN}}{L} D.T_s = \frac{V_o}{L} (1-D).T_s \quad (4.14)$$

$$I_L = I_{IN} + I_o \quad (4.15)$$

$$V_{IN}.I_{IN} = V_o.I_o \quad (4.16)$$

$$I_{IN} = \frac{V_o}{V_{IN}} I_o = \frac{D}{1-D} I_o \quad (4.17)$$

$$I_L = I_{IN} + I_o = \frac{1}{1-D} I_o = \frac{1}{1-D} \cdot \frac{V_o}{R} \quad (4.18)$$

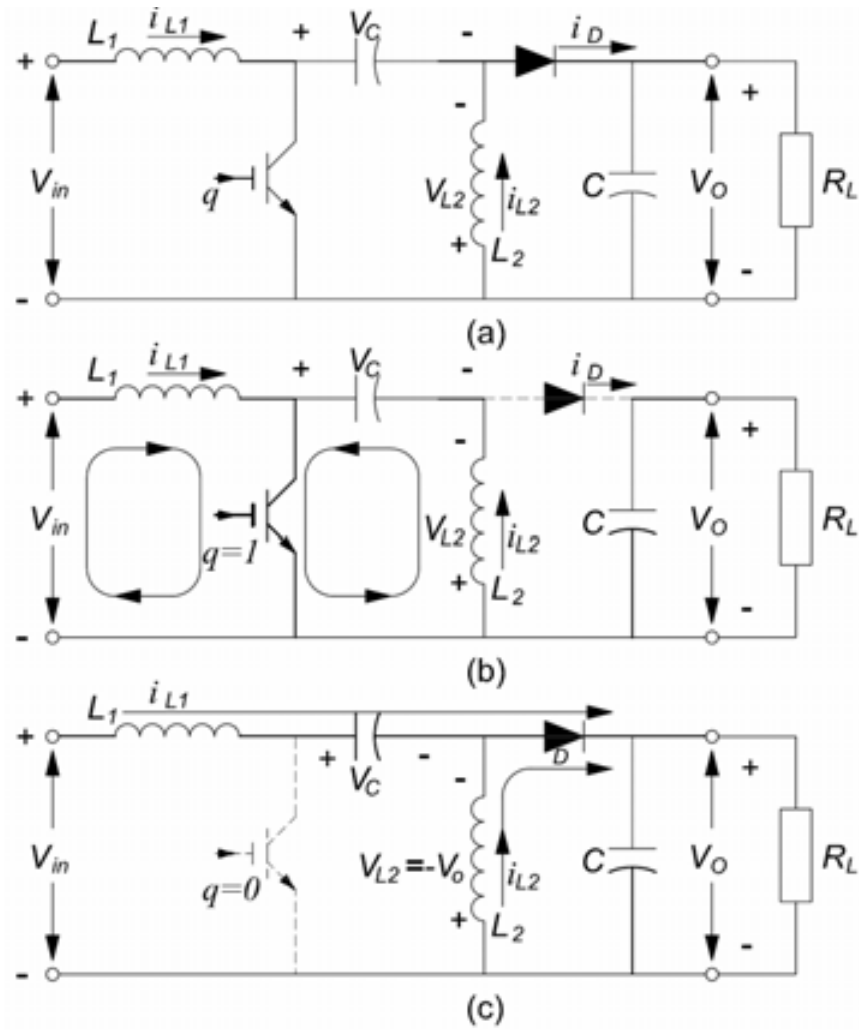
$$i_C(t) \cong i_{D,rip}(t) \quad (4.19)$$

$$I_{L,Kritik} = \frac{V_{IN}}{2Lf_s} D \quad (4.20)$$

Azaltan artıran çeviriciler kaynaktan kesintili akım çeker. Ayrıca çıkış kondansatörü akımı yüksektir. Güç anahtarı bozulmalarında (kısa devre) girişteki yüksek gerilim seviyesi aynen çıkışta görülür. Buda kritik yükler için tehlikeli olabilmektedir.

4.1.4. SEPIC çeviriciler

Azaltan-artıran çeviriciler grubundadırlar. Darbe genişlik oranının toplam periyoda oranı 0,5 değerinden küçük olduğu durumlarda azaltan çevirici kipinde, 0,5 den büyük olduğu durumlarda ise artıran çevirici kipinde çalışır. Şekil 4.7'de temel devre topolojisine ait grafikler verilmiştir [23].



Şekil 4.7. SEPIC çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a) Devre yapısı b) Anahtar iletimde c) Anahtar kesimde

Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki azaltan artıran çeviricide olduğu gibidir. Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişki Eş. 4.21- Eş. 4.22’de verilmiştir [23].

$$D \cdot V_{IN} = (1 - D) V_O \quad (4.21)$$

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{D}{1 - D} \quad (4.22)$$

4.1.5. Cuk çeviriciler

Azaltan-artıran çeviriciler grubundadırlar. Darbe genişlik oranının toplam periyoda oranı 0,5 değerinden küçük olduğu durumlarda azaltan çevirici kipinde, 0,5 den büyük olduğu durumlarda ise artıran çevirici kipinde çalışır.

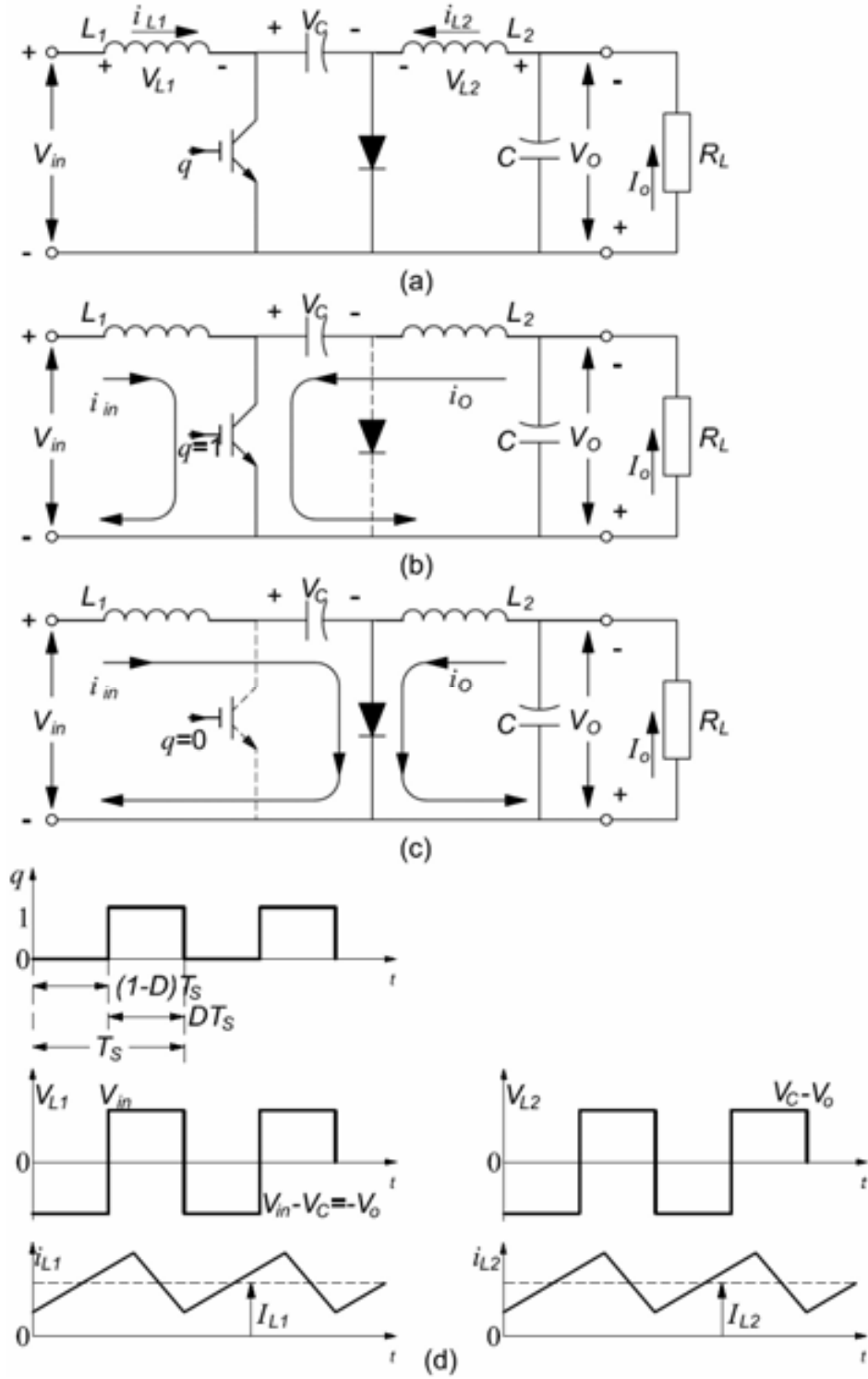
Şekil 4.8'de temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir [23,24]. Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki azaltan-artıran çeviricide olduğu gibidir.

C1 kapasitesi yükü çıkışa aktarmada ana elemandır. Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişki Eş. 4.23- Eş. 4.25 aşağıda verilmiştir [23].

$$D.I_o = (1 - D).I_{IN} \quad (4.23)$$

$$\frac{I_{IN}}{I_o} = \frac{D}{1 - D} \quad (4.24)$$

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{D}{1 - D} \quad (4.25)$$

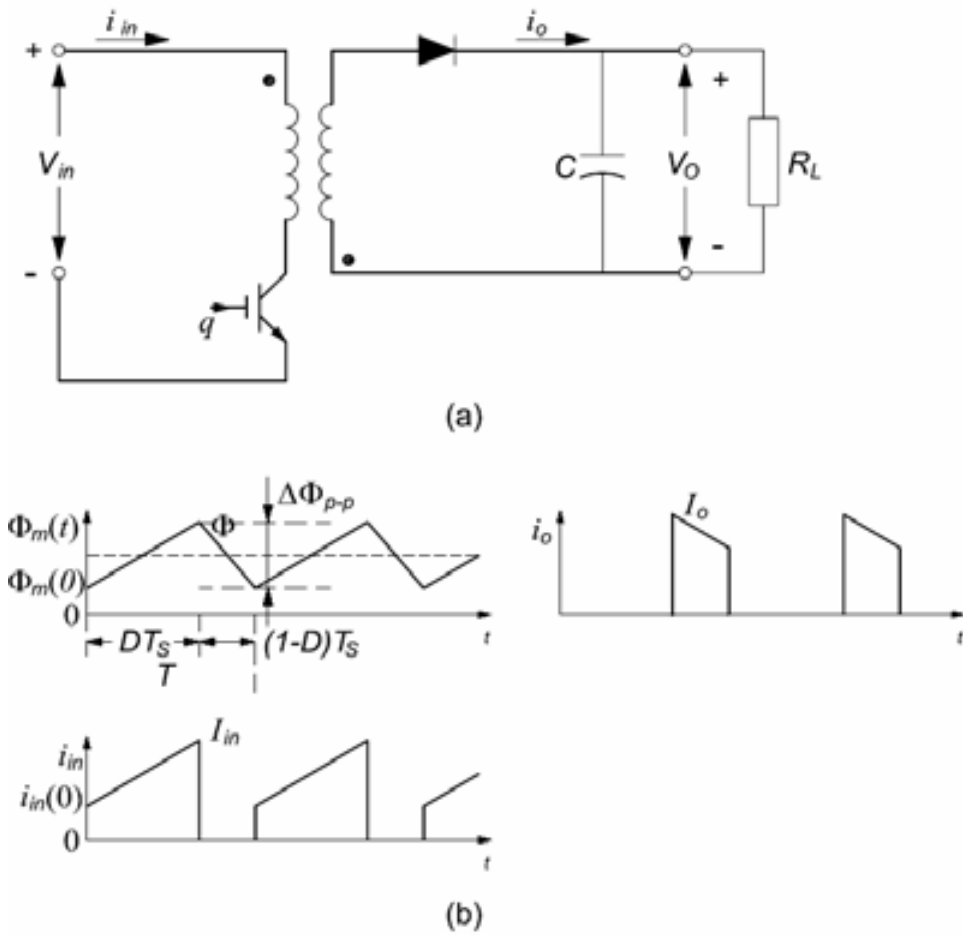


Şekil 4.8. CUK çevirici temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a) Devre yapısı b) Anahtar iletimde c) Anahtar kesimde d) Dalga şekilleri

4.2. İzoleli Çeviriciler

Elektriksel izolasyonun gerektiği ve/veya yüksek güçlerde giriş ile çıkış arasındaki dönüştürme oranının yüksek olduğu uygulamalar için kullanışlıdır. Ancak elektriksel izolasyon trafo gibi bir yapı gerektirdiğinden maliyet artışı nedeniyle elverişsizdir.

4.2.1. Çapraz (flyback) çeviriciler



Şekil 4.9. Fly-back çevirici

a) Devre yapısı b) Dalga şekilleri

Şekil 4.9'da çapraz çevirici devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir [23]. Bir veya birden çok izole çıkış gerektiğinde ve çıkışın kontrolü tek bir kanaldan yapılmak istenildiğinde bu topoloji uygun bir seçimdir. Düşük güçlerde

kullanılırlar. Giriş gerilim bandı oldukça geniş olabilmektedir. Ancak güç anahtarı seçiminde giriş geriliminin 2 katından daha büyük gerilimde çalışabilen anahtar seçilmelidir. Çıkış sayısı isteğe bağlı olarak çoğaltılabilir. Bu durumda çıkışlardan bir tanesi kontrol devresinin geri besleme işareti olarak kullanılır.

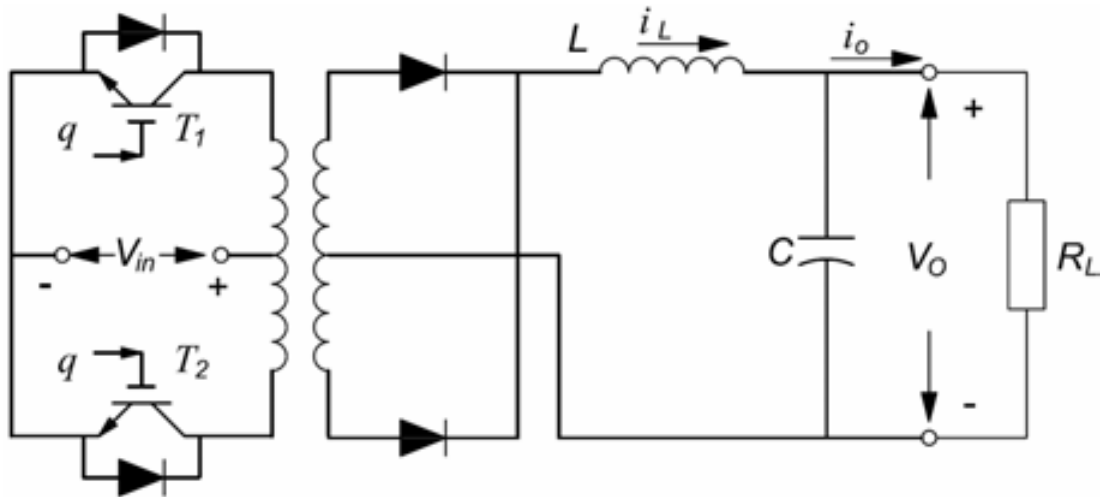
D, anahtarın iletimde kalma süresinin periyoda oranı olmak üzere giriş ve çıkış gerilimi için Eş. 4.26 yazılabilir[23];

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \frac{D}{1-D} \quad (4.26)$$

N2/N1 katsayısı dışında azaltan-artıran çeviricilerle dönüştürme oranı ile aynıdır. Ayrıca çok kanallı yapılarda gerilim regülasyonu iyi değildir.

4.2.2. İtme-çekme (push/pull) çeviriciler

İzoleli çeviriciler grubundadırlar ve genellikle yüksek güçlerde kullanılırlar. Eş. 4.20'de temel devre topolojisine ait grafikler verilmiştir [25].



Şekil 4.10. İtme-çekme çevirici

T₁ ve T₂ anahtarları sıralı olarak açılıp kapanır. Bu durumda sekonder tarafı anahtarlama frekansının iki katı bir çalışma frekansı ile çalışmış olur. İki

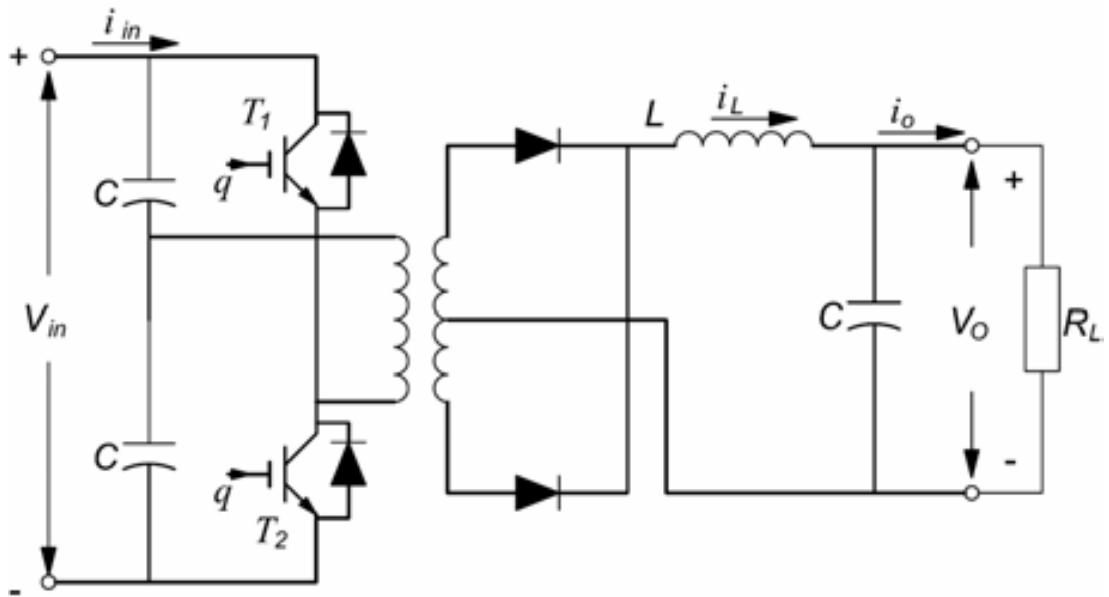
anahtarın anahtarlama zamanları arasında ölü zaman bırakılmalıdır. Giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Eş. 4.27 ile bulunabilir.

$$V_o = 2 \frac{DV_{IN}}{N} \quad (4.27)$$

Simetri problemleri ile karşılaşılabilir. Uygun PWM denetimi ile bu sorun giderilebilir. Sürme devresi tasarımı güç anahtarları aynı referansı paylaştıklarından kolayca yapılabilir.

4.2.3. Yarım köprü (half bridge) çeviriciler

İtme/Çekme yapısıdır. T_1 ve T_2 anahtarları sıralı olarak açılıp kapanır. Kapasiteler giriş gerilimini ikiye böler. Eş. 4.11'de temel devre topolojisine ait şema verilmiştir [23].



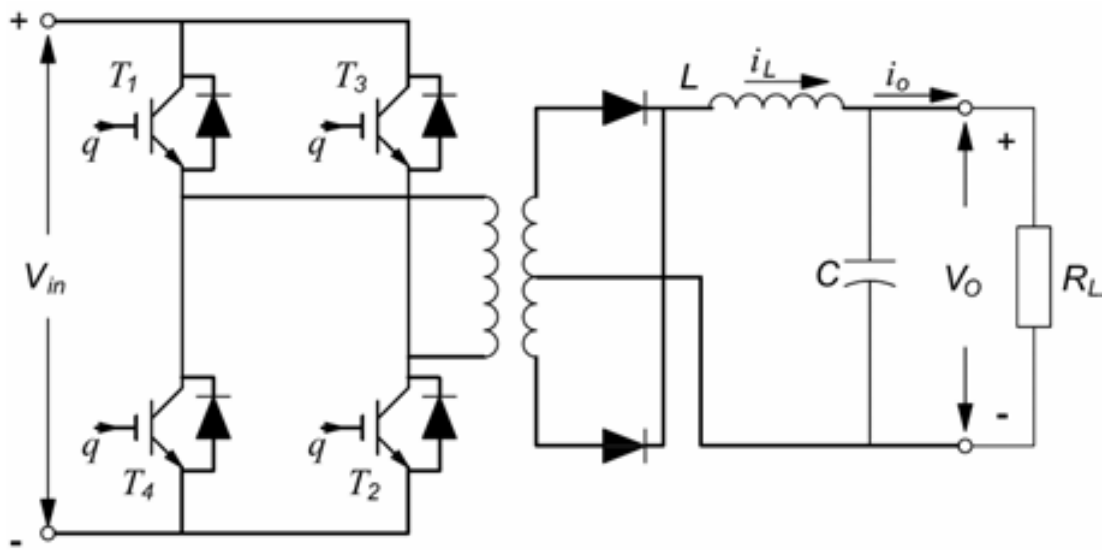
Şekil 4.11. Yarım köprü çevirici

Anahtarların ortak referans noktaları yoktur. Bu yüzden sürme devresi için ayrı kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca sürme esnasında kısa devreye mahal vermemek için asla iki anahtar aynı anda iletimde olmamalıdır. Giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Eş. 4.28 ile bulunabilir.

$$V_o = \frac{V_{IN} \cdot D}{N} \quad (4.28)$$

4.2.4. Tam köprü (full bridge) çeviriciler

İtme/Çekme yapısıdır. Birçok eleman içermesi sebebi ile küçük güçlerde kullanışlı değildir. T_1, T_2 ve T_3, T_4 anahtarları sıralı olarak açılıp kapanır. Şekil 4.12'de temel devre topolojisine ait şema verilmiştir [23].



Şekil 4.12. Tam köprü çevirici

Aynı koldaki anahtarlar aynı anda ilettime sokulmamalıdır. Giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Eş. 4.29 ile bulunabilir.

$$V_o = \frac{2V_{IN} \cdot D}{N} \quad (4.29)$$

4.3. Diğer Çeviriciler

DA-DA çevirici topolojilerinden bazıları bölüm 4.1 ve 4.2'de açıklanmıştır. Gerek yapısal farklılıklar gerekse anahtarlama tekniklerinin (sıfır akım ya da sıfır gerilim) farklılaşması ile birçok yapı ortaya çıkmaktadır. Bunlar;

- Tek ya da çift anahtarlı forward çeviriciler

- Çift anahtarlı Fly-back çeviriciler.
- Çiftli artıran (Double boost) çeviriciler.
- Sıfır akım ya da sıfır gerilim anahtarlama çeviriciler.

olarak sıralanabilir.

4.4. Çeviricilerin Karşılaştırılması

Yukarıda birçok çevirici topolojisine değinilmiştir. Güneş pillerinde kullanılacak topoloji seçiminde pil karakteristiği, kontrol kolaylığı, ebat, güvenilirlik ve sistem maliyeti gibi parametreler sistem tipini belirleyen en önemli parametrelerdir. Ayrıca gerekli bileşenlerin düşük ebat, gerilim ve akımda olması kullanışlılığı artırmaktadır. Çizelge 4.1’de çevirici kiplerine ait özellikler verilmiştir [23].

Ayrıca güvenli çalışabilme aralığının büyüklüğü, uygun elemanların temin edilebilme kolaylığı ve çevreye yaydıkları gürültü (EMI/RFI) seviyelerinin düşüklüğü çeviricilerin daha yaygın kullanılmasında çok önemli etkenlerdendir.

4.4.1. İzoleli çeviriciler

Avantajları,

- Alıcı sistem açısından daha güvenilir yapılardır.
- Güç anahtarı bozulmalarında çıkışına enerji vermez.
- Yüksek güçlerde yapılabilirler.
- Dönüştürme oranları temelde transformatör yapısında olduğu gibi sarım sayıları ile istenildiği gibi düzenlenebilir.

Olumsuzlukları,

- Aynı güç için ebatları dolayısı ile ağırlıkları daha fazladır.

- Kontrol devrelerinin daha fazla eleman içermesi ve trafo gerektirmesi sebebi ile daha pahalıdır.
- Verimleri daha düşüktür.

4.4.2. İzolesiz çeviriciler

Avantajları,

- Basit ve ucuzdurlar.
- Fazla eleman içermediklerinden kontrolleri kolaydır.
- Verimleri yüksektir.

Olumsuzlukları,

- Yüksek güçlerde kullanışlı değildir.
- Alıcı sistem ile arasında elektriksel yalıtım olmadığından güvenilirliği düşüktür.
- Teorik olarak istenilen dönüştürme oranlarında olabileceği düşünülse de çok yüksek dönüştürme oranlarında yapılamazlar.

Çizelge 4.1. Çevirici seçimi

Ölçüt		Azaltan	Arttıran	Azaltan-Arttıran
Anahtar gerilimi		V_{IN}	V_O	$(V_{IN} + V_O)$
Anahtar akımı		I_O	I_{IN}	$(I_{IN} + I_O)$
I_{RMS}	Anahtar	$\sqrt{D}.I_O$	$\sqrt{D}.I_{IN}$	$\sqrt{D}.(I_{IN} + I_O)$
I_{AVG}	Anahtar	$D.I_O$	$D.I_{IN}$	$D(I_{IN} + I_O)$
	Diyot	$(1 - D)I_O$	$(1 - D).I_{IN}$	$(1 - D).(I_O + I_{IN})$
I_L		I_O	I_{IN}	$(I_{IN} + I_O)$
L'nin C'ye etkisi		Önemli	Az	Az
Darbeli akım		Giriş	Çıkış	Her ikisi

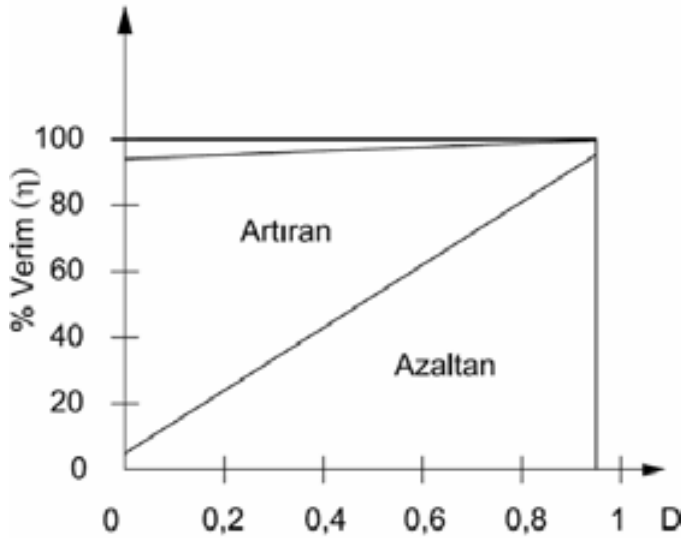
Bu bilgiler ışığında uygulanacak sistem açısından izolesiz çeviriciler basit, ucuz yapıları ve özellikle PV sistemlerinde verim en önemli etken olduğu gerçeği göz önüne alındığında verimli olması bu tip çeviricileri cazip kılmaktadır. Çizelge 4.2’de temel çeviricilerin genel özellikleri verilmiştir [25].

Çizelge 4.2. Çevirici özeti

	Azaltan	Arttıran	Azaltan-Arttıran
V_o	$V_{IN} \cdot D$	$V_{IN} / (1 - D)$	$(-V_{IN} \cdot D) / (1 - D)$
$I_{C(çıkış)}(RMS)$	Düşük	Yüksek	Yüksek
Giriş akımı	Sürekli	Sürekli	Sürekli
Sürücü	Bağımsız	Topraklanmış	Bağımsız

4.4.3. Azaltan ve artıran çeviriciler

Azaltan ve artıran izoleli veya izolesiz DA-DA çeviricilerinin tamamı PV enerji dönüşümünde kullanılabilir. Artıran çeviriciler azaltan çeviricilere göre kaynaktan daha sürekli akım çekerler [25]. Sıradan güç kaynağı uygulamalarında azaltan çeviriciler yüksek verimli olsalar da, artıran çevirici sürekli akım kipinde çalışarak PV sistemlerden mümkün olan en fazla enerjiyi çekeceğinden, MPPT işlemi yapan çeviriciler dahil olmak üzere PV uygulamaları için daha elverişli ve azaltan çeviricilere göre daha verimlidirler. [26].



Şekil 4.13. PV uygulamaları için azaltan ve artıran çeviricilerin verimi

Şekil 4.13'de PV ile beslenen azaltan ve artıran çeviricilerin verim yönünden karşılaştırılmalarına ait benzetimi Pspice programında yapılmıştır. Azaltan çevirici sadece darbe oranının %100'e yaklaştığı durumlarda daha verimli olabilmektedir. Bu bölgede ise darbe genişlik oranına bağlı olan denetlenebilir aralık oldukça kısıtlı kalmaktadır. Artıran çeviricilerin verim ve denetlenebilir aralık yönünden daha elverişli olduğu görülmektedir [26].

5. SIRALI ÇEVİRİCİLER

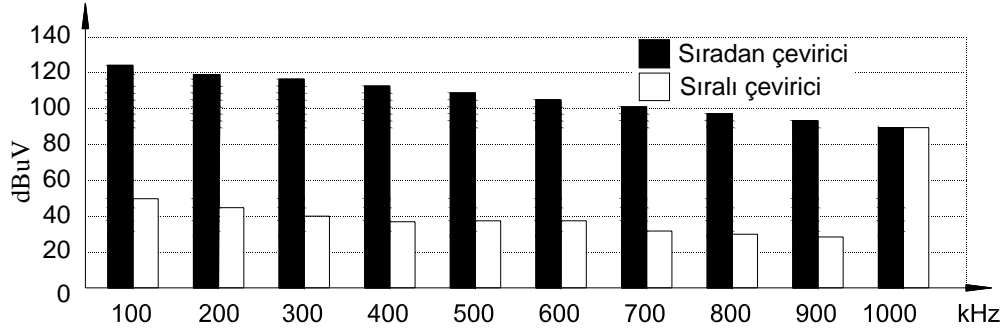
MPPT ve gerilimin uygun seviyelere getirilmesi için kullanılan güç dönüştürücüleri, zorlamalı anahtarlama ve akım ile gerilimdeki ani değişimler nedeniyle EMI/RFI oluşumuna neden olurlar. Bu durumu önlemek amacıyla birçok EMI azaltma yöntemleri geliştirilmiştir. Gürültü yalıtım ve bastırma yöntemleri ile yumuşak anahtarlama tekniklerinin kullanılması bunlardan bir kaçıdır. Yumuşak anahtarlama tekniklerinin uygulanması kontrol ve güç devresinin gerçekleştirilmesini zorlaştırdığı gibi gücün yükseltilmesine fazla bir katkı da sağlamazlar. Ayrıca bu yöntemler devre yapısında değişiklik gerektirmektedirler. Sayılan bu olumsuzlukları aşmak amacıyla faz kaydırmalı sıralı çeviriciler geliştirilmiştir. Sıralı çeviriciler ile devre yapısında değişiklik yapmadan EMI seviyesi azaltılmakta ve sürekli iletim kipinde bir enerji akışı sağlayabilmektedir. Şekil 5.1'de tek çevirici ile sıralı çeviricinin giriş akımları görülmektedir. Ayrıca DA çıkış gerilimi üzerinde görülen AA bileşenin frekansı gerçek anahtarlama frekansının çevirici sayısı ile çarpımı seviyesinde daha yüksek bir frekans değerinde, genliği ise daha küçük seviyede olmaktadır [27].



Şekil 5.1. Sıralı çevirici girişindeki enerji akışı

Sıralı çeviriciler normal çeviricilerden daha fazla sayıda anahtar ve pasif eleman gerektirirler. Bu sebeple maliyetlerinin sıradan çeviricilere göre daha fazla olduğu izlenimini vermiş olsa da gerçekte durum böyle olmayabilir [28, 29]. Sıralı çeviriciler çıkış gücünü artırırken EMI seviyesini azaltmada ekonomik bir yöntemdir [30]. Ayrıca daha hızlı sistem tepkisi ve doğruluk

sağlarlar [31]. Şekil 5.2'de sıradan ve sıralı çeviricilerin iletim yolu ile yaydıkları elektro manyetik girişim seviyelerine ait grafik verilmiştir [27].



Şekil 5.2. İletim yolu ile yayılan EMI seviyelerinin benzetimi ($f_s=100$ kHz)

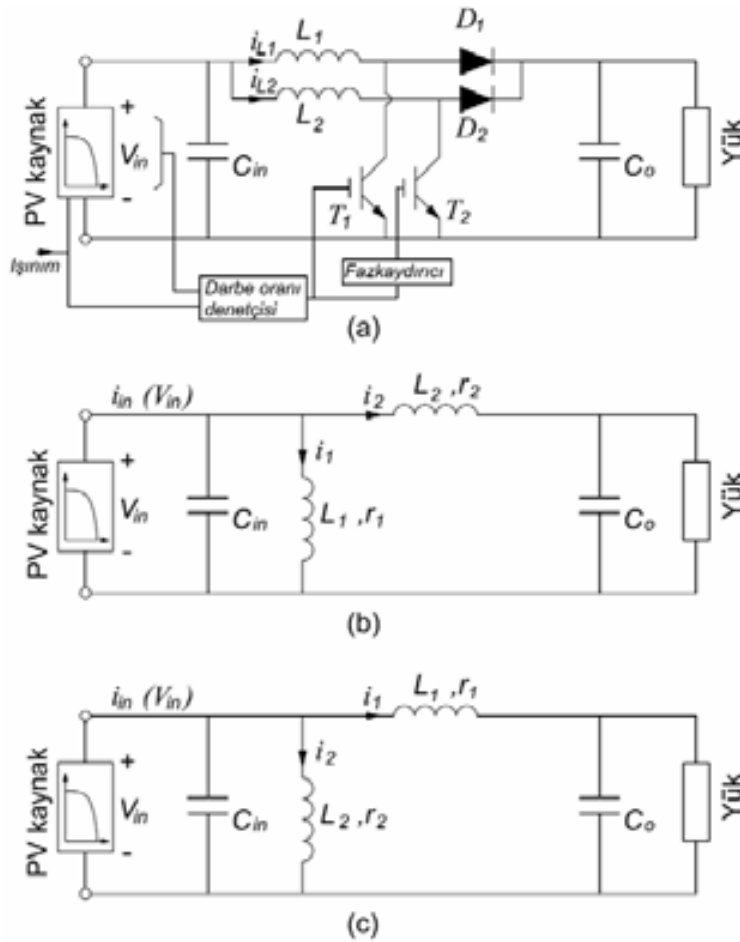
Sıralı çeviricilerin verimlerinin bütün çalışma bölgesinde artırılması amacıyla, anma gücü ihtiyacına göre çevirici katında farklı sayıda dönüştürücü kullanılabilir. Güç ihtiyacının düşük olması halinde çok katlı çeviricinin bir ya da bir kaç aynı anda çalıştırılabilir. Bu durumda sabit frekans değerinde ve faz kaydırma etkisi olmaksızın PWM anahtarlama yapılır ise çıkış DA kalitesinde düşme meydana gelir.

Daha küçük, yaygın materyallerin (anahtar ve pasif elemanlar) kullanılması, özellikle PV sistemler gibi gücü değişken olan durumlarda çeviricilerden biri ya da bir kaç kullanılarak sistem toplam veriminin yükseltilebilmesi, EMI seviyelerinin düşüklüğü nedeni ile filtre gereksiniminin azalması, bakım ve onarım kolaylığı ve yüksek güçlere erişimin daha kolay olması gibi üstün özellikleri girişik çeviricilerin kullanım alanlarını genişletmektedir.

Girişik çevirici kontrol sinyali üretme işlemi faz sayıları arttıkça zorlaşır [32]. Sıradan girişik çevirici denetim sinyalleri RC zamanlayıcı devreler ile bitişik fazın kaydırılması ile üretilir. RC elemanlarındaki değişim sonucunda fazlar arasında ayarsızlıklar kaçınılmazdır [17]. Dijital devreler bu etkileri yok ederek daha uygun sonuçlar vermektedir [32, 17].

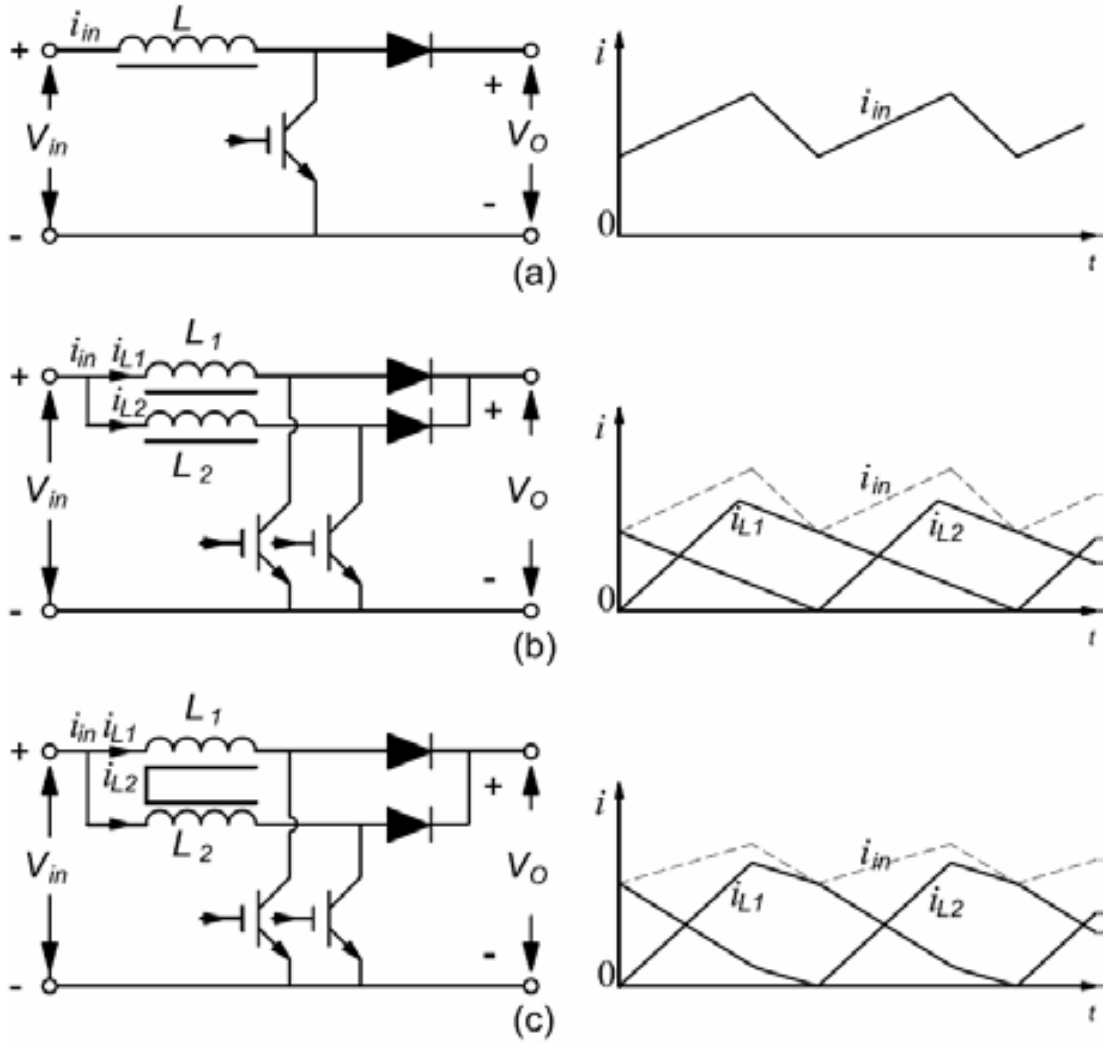
5.1. Sıralı-Artıran Çeviriciler

Sıralı-artıran çeviriciler giriş ve çıkış dalgalılık oranı ile hata oranlarının düşüklüğü, çalışma durumlarına göre düşük güçlerde kısmi olarak çalıştırılabilmesi böylece sistem verimliliğinin yükseltilebilmesi gibi üstün özelliklere sahiptirler. Şekil 5.3'de temel devre şeması ile T_1 ve T_2 'nin iletimde olduğu anlardaki eşdeğer devre şemaları verilmiştir [33].



Şekil 5.3. PV ile beslenen girişik artıran çevirici
 a) Devre yapısı b) T_1 iletimde c) T_2 iletimde

Artıran çeviriciler değişik girişik yapılarında bulunabilir. Manyetik kuplajlı ya da ayrık yapıları görmek mümkündür. Şekil 5.4'de tek kanallı, çift kanallı ve çift kanal kuplajlı artıran çevirici giriş akım dalga şekillerine ait grafikler verilmiştir [34].



Şekil 5.4. Artıran Çevirici

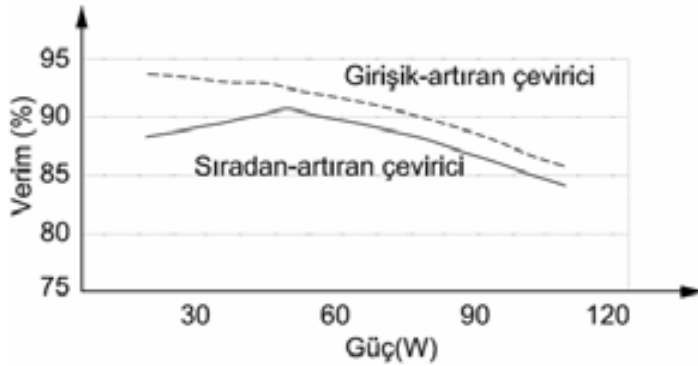
a) Sıradan b) Sıralı c) Sıralı ortak nüveli

Sıralı-artıran çevirici yapısının sıradan artıran çeviriciye göre sürekli akım bölgesinin daha geniş aralıkta olması, gerilim dalgacığının $\frac{1}{2}$ 'si kadar olması, anahtarlama kayıplarının daha az olması ve verimlerinin yüksek olması gibi avantajları bulunmaktadır [35].

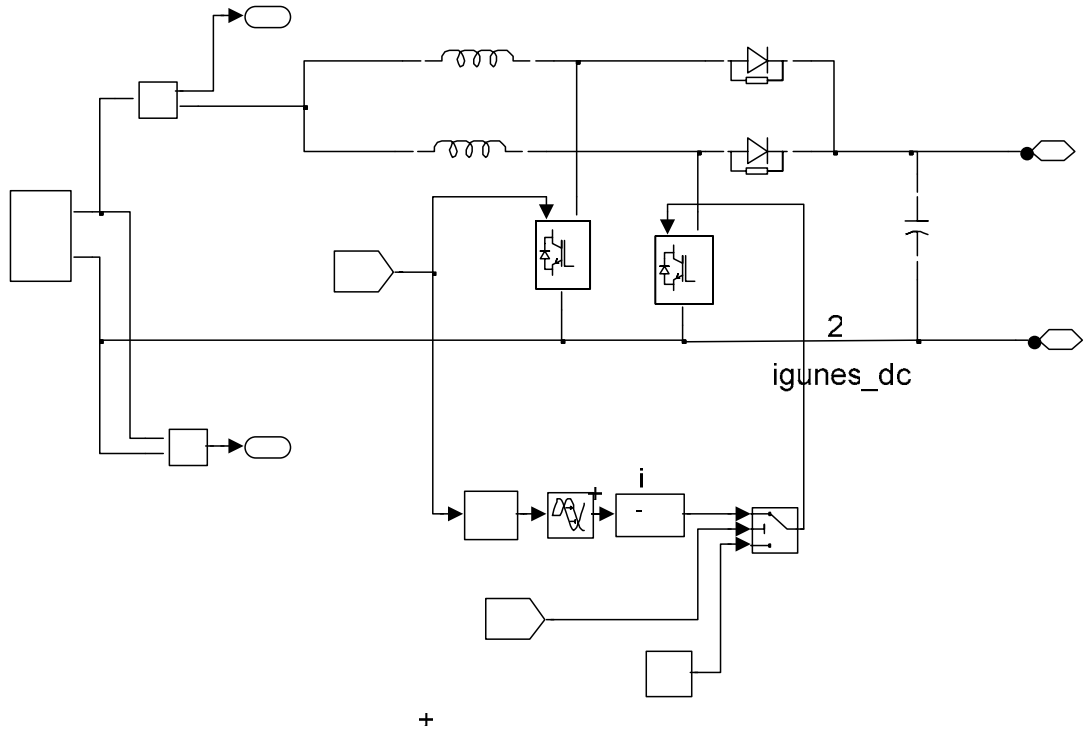
5.2. Artıran ve Sıralı-Artıran Çeviricilerin Karşılaştırılması

Sıradan artıran çeviriciler ile girişik artıran çeviricilerin karşılaştırma sonuçları aşağıda verilmiştir [35].

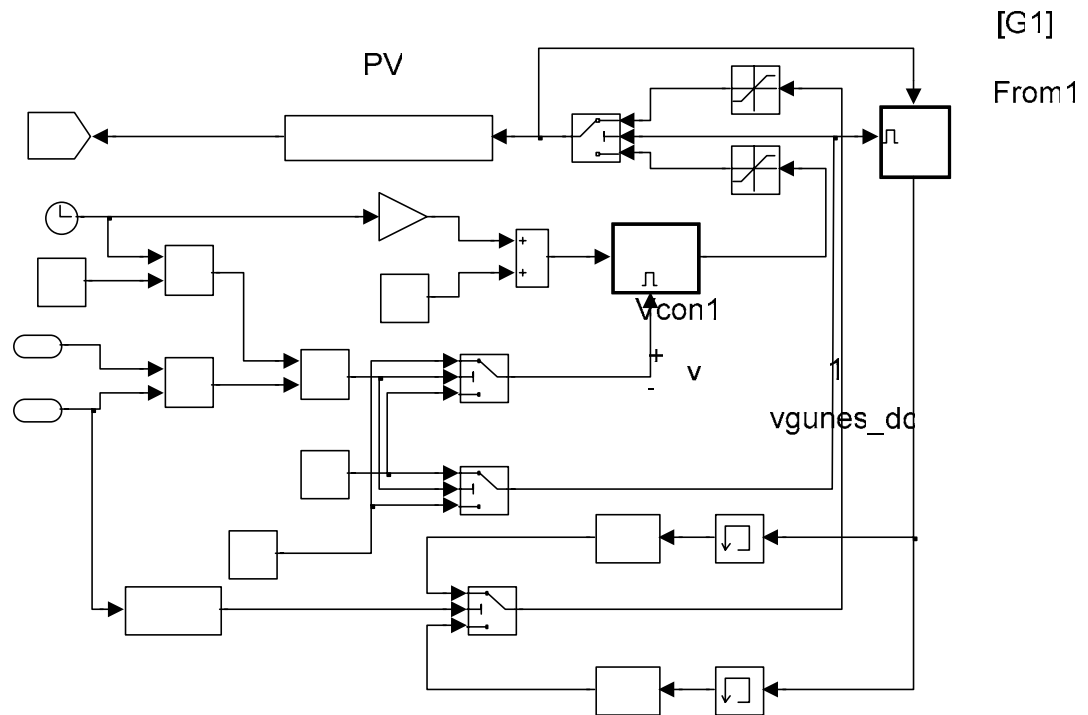
- İki çeviricinin de darbe genişlik oranının bir fonksiyonu olan durağan kazancı aynıdır,
- Sürekli iletim kipi bölgesi girişik çeviricilerde daha büyüktür,
- Akım dalgacığı sıradan çeviriciye göre daha azdır, (dolayısı ile aynı dalgacık için daha küçük endüktans değeri gereklidir),
- Girişik çeviricideki gerilim dalgacığı sıradan çeviricinin yarısı büyüklüğündedir, (dolayısı ile aynı dalgacık için daha küçük kapasite gereklidir),
- Anahtarlar üzerindeki gerilimler aynıdır. Ancak bileşik nüvede kaçak endüktans etkisinden dolayı girişik çeviricilerde gerilim sıçramaları görülebilmektedir,
- İki anahtar paralel çalışsa bile, anahtar akımları (etkin, tepe, ortalama) sıradan çeviricilerde daha büyüktür. Bu nedenle sıradan çeviricilerde anahtarlama kayıpları daha büyüktür.



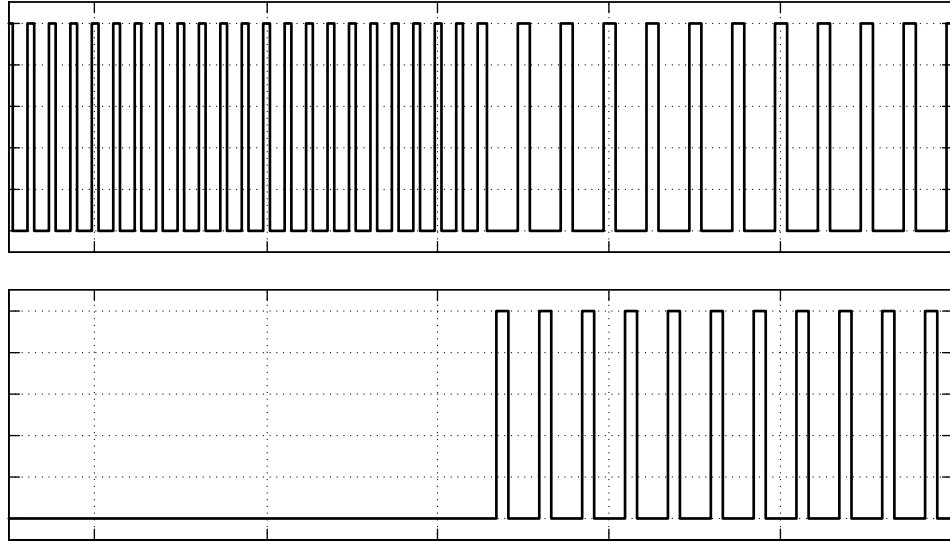
Şekil 5.5. Girişik ve sıradan çevirici verimlerinin karşılaştırılması



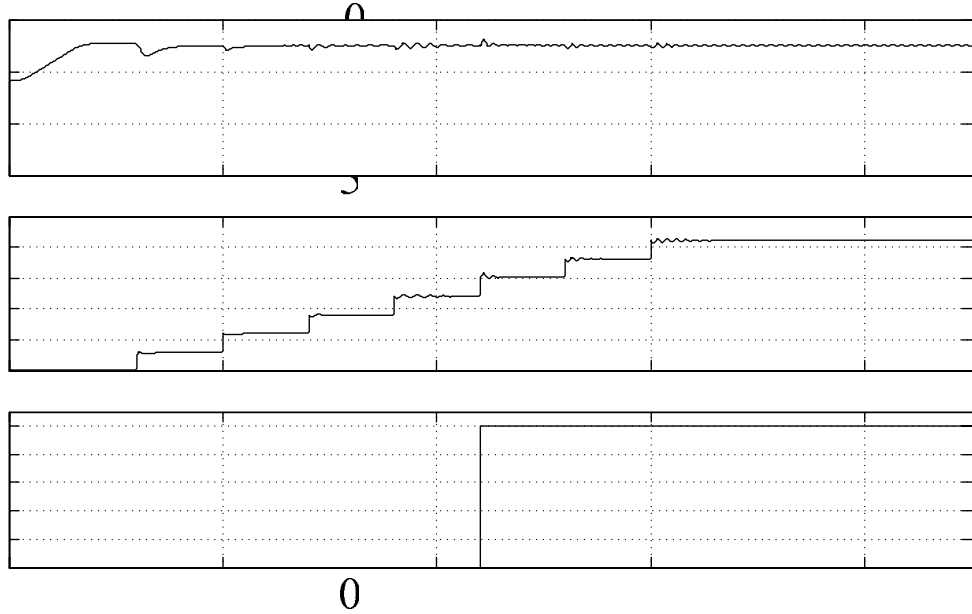
Şekil 6.2. Güç katı modeli



Şekil 6.3. MPPT yapısı



Şekil 6.4. Anahtarlara uygulanan kapı darbeleri



Şekil 6.5. Benzetim sonuçları

(a) Çevirici çıkış akımı, (b) çıkış gerilimi ve (c) ikinci çeviricinin devreye girişi

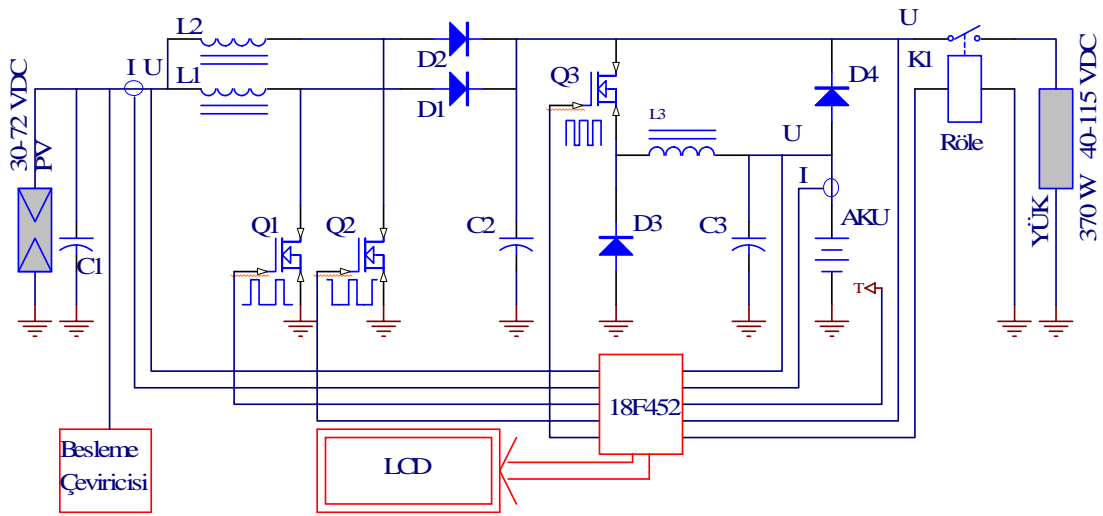
0.1096

0.1098

6.2. Uygulama

Gerçekleştirilen devrede, algılama, şartlandırma ve kontrol amaçlarıyla kullanılan tüm analog ve sayısal elemanların ihtiyaç duyduğu farklı seviyede

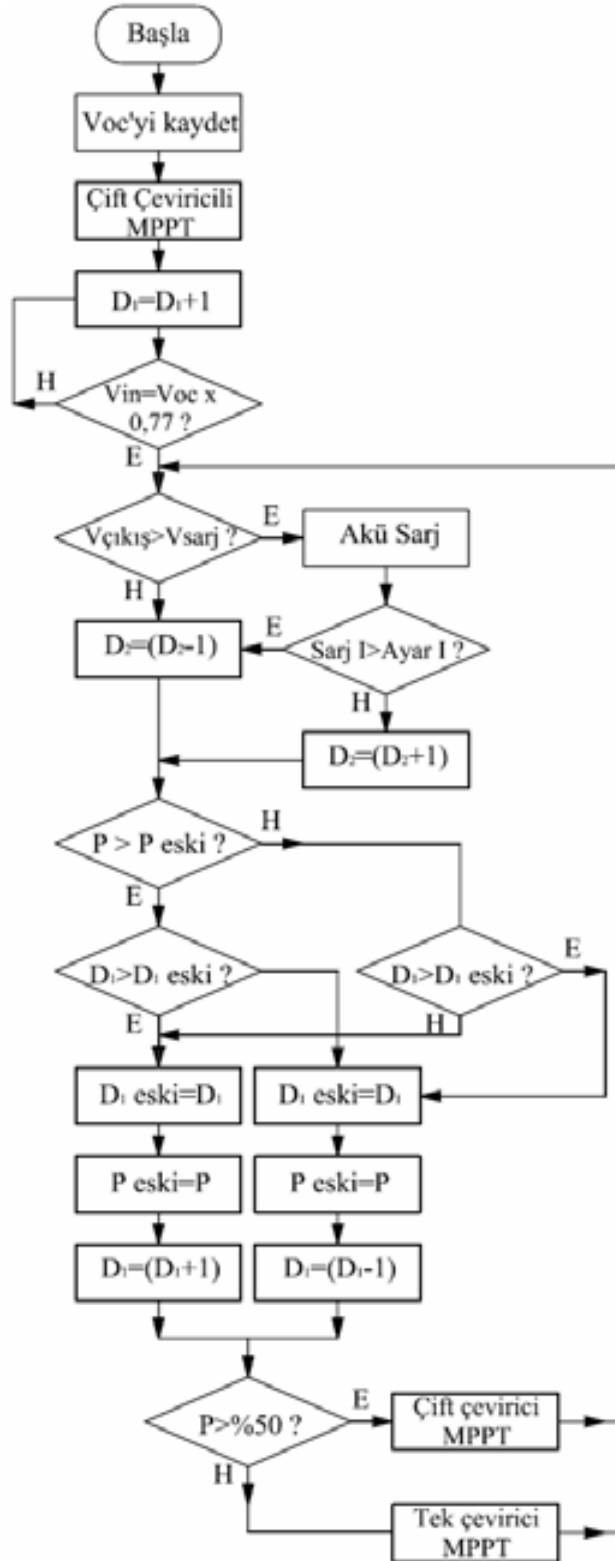
gerilimleri üreten çok çıkışlı bir adet çapraz (flyback) çevirici bulunmaktadır. Bu dönüştürücü fazladan bir kaynağa gereksinim duyulmaması amacıyla PV kaynaktan beslenmektedir. Devrenin giriş katında sıralı-artıran çevirici, çıkış katında ise ihtiyaç fazlası enerjiyi depolayabilmek amacıyla kullanılabilecek, azaltan çeviricili bir şarj ünitesi, gerektiğinde yükü devreden çıkarmak için çıkış açma/kapama birimlerinden oluşmaktadır. Devrenin güç katına ilişkin şema Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Uygulama devresi prensip şeması

Önerilen yapı ile sistem çıkışındaki yük PV kaynaktan, aküden, PV ile birlikte aküden beslenebileceği gibi istenildiği takdirde kaynaklardan ayrılabilir. Sistemdeki akım, gerilim, sıcaklık ve benzeri analog değerlerin ölçülmesi, bu bilgilerin gösterge edilmesi ile PWM ve diğer denetim sinyallerinin üretilmesi mikro denetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir.

6.2.1. Akış şeması



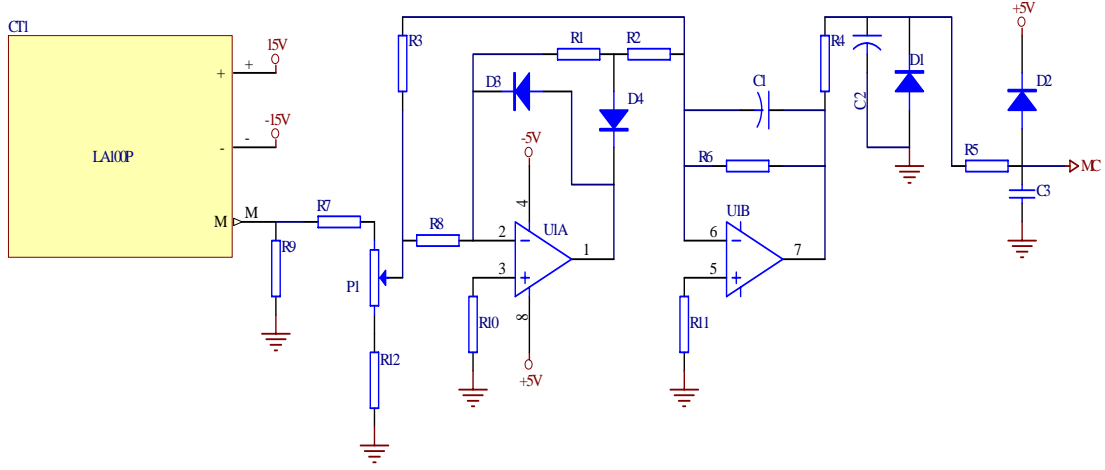
Şekil 6.7. Sistem akış diyagramı

PV'den beslenen, akü şarjı da yapabilecek şekilde MPPT işlemi yapan ikili sıralı çevirici için geliştirilen akış diyagramı Şekil 6.7'de verilmiştir. Akış diyagramından görülebileceği gibi, sistem çalışmaya başlamadan önce birinci adımda giriş gerilimi okunarak kaydedilir. İkinci adımda ise, CV yöntemi esas alınarak giriş gerilimi ilk kayıt geriliminin %77'sine düşene kadar çevirici PWM'i artırılır ve MPPT noktasına yaklaşım hızlı bir şekilde gerçekleştirilir. Üçüncü adımda ise, P&O yöntemine geçilerek sistemin kararlı durumdaki çalışmasına geçilmiş olur. Bu yöntemle CV yönteminin hızından P&O yönteminin doğruluğundan yararlanılmaktadır. Çalışma sırasında MP noktası sürekli denetlenir. Çıkışa aktarılan enerji miktarının artırılması çıkış gerilim seviyesinin yükseltilmesi ile sağlanır. Ancak çıkış gerilimi belirlenen değerden daha yüksek seviyelere çıkmaya başladığında bu durum, daha fazla enerji üretilebileceği şeklinde yorumlanır ve bu enerji gerektiğinde kullanılmak üzere akülere aktarılır. Akü şarj akımı değeri ise akü özelliği ve sıcaklığına bağlı olarak mikro denetleyici tarafından belirlenir ve aküler ısıl dengeleme tekniğine uygun olarak şarj edilir.

6.2.2. Devre elemanlarının seçimi

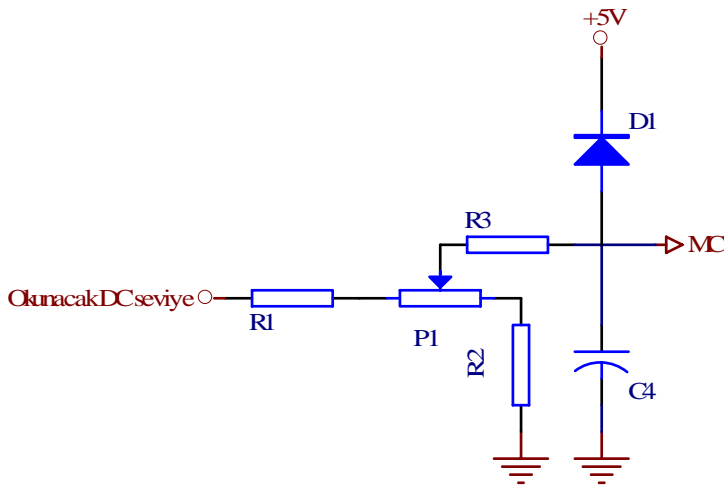
Devre elemanlarının seçiminde çok yaygın, ucuz ve kullanışlı olmaları nedeni ile PIC18F452 işlemci, IRFP450 anahtarlama elemanı, TLP350 mosfet sürücü, evirici çevrim ve depolama by-pass diyodu olarak da DSE120 seçilmiştir. Besleme çapraz çeviricisi anahtarlama elemanı olarak IRF640N mosfet ve PWM kontrolcüsü olarak çapraz çeviriciler için oldukça kullanışlı olan UC3845 PWM denetleyicisi kullanılmıştır.

6.2.3. Akım ve gerilim algılama devreleri



Şekil 6.8. Akım okuma devresi

Sistemde akım ve gerilim okumak için sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'daki devreler kullanılmıştır. Seri dirençten gerilim okuyarak akım algılamak yerine daha hassas okuma yapabilen ve gürültülerden daha az etkilenen, gerçek ortalama değer alan yükselteçli devre kullanılmıştır. Aynı zamanda bu yolla MC analog kanalına verilecek veri potansiyeli yükselteç besleme gerilimi ile sınırlandırıldığı gibi akım algılayıcının çıkışı yüklenmeden gerekli seviyeye yükseltilmiş olur. Bu sayede okuma sırasında doğrusallık sağlanır.



Şekil 6.9. Gerilim okuma devresi

Gerilim okuma devresi olarak ise yüksek doğruluk ve eleman sayısının azlığı sebebi ile gerilim bölücü devresi kullanılmıştır. MC analog girişine gidecek gerilimi sınırlandırmak için D1 diyodu eklenerek bu gerilimin +5V değerini aşmaması sağlanmış olur.

6.2.4. Çapraz çevirici tasarımı

Uygulama devresinde,

- Harici kaynak gereksinimini ortadan kaldırılması,
- Değişik seviyedeki giriş gerilimlerinde güç devresi denetim elemanlarına uygun ve yükte değişmeyen seviyede besleme geriliminin sağlanması,
- Yine denetim devresinin ihtiyacına göre farklı seviyelerde ve sabit gerilim sağlanması,
- İzole olarak sürülmesi gereken güç anahtarlarına izole çıkış sağlanması,

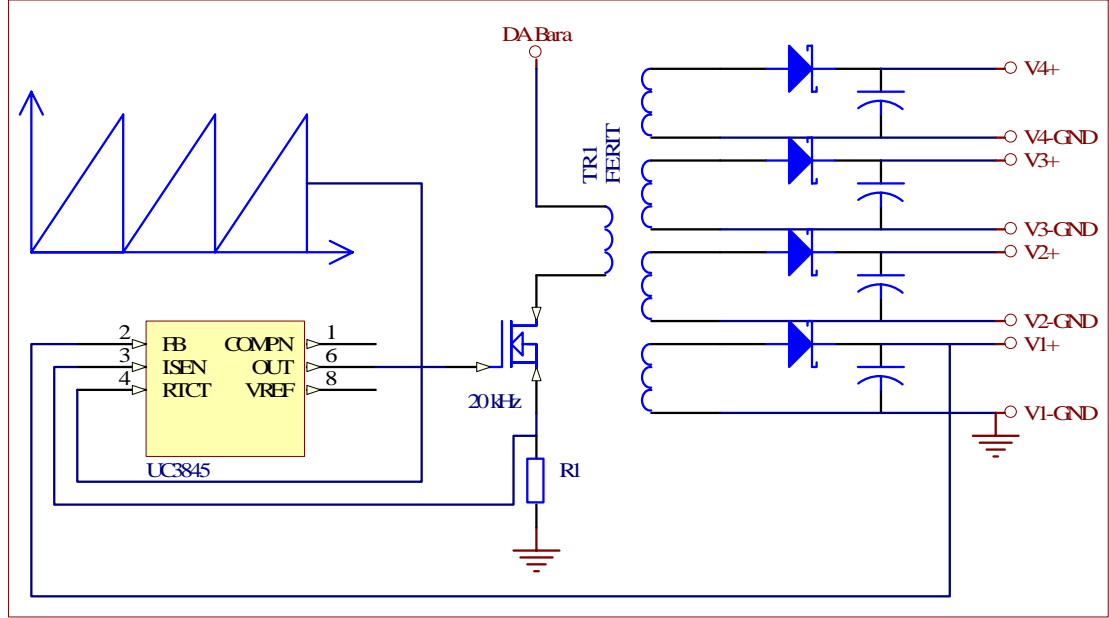
amacı ile Şekil 6.10'da devresi verilen 10 W gücünde bir SMPS (Anahtar Kipli Güç Kaynağı) tasarlanmıştır.

SMPS eleman seçimi:

PWM denetçisi olarak geniş frekans bandı, esnek çalışma gerilimi, aşırı akım algılama gibi üstünlükleri sebebi ile UC3845 yongası kullanılmıştır.

Güç anahtarı olarak düşük iç direnç, yüksek çalışma akımı, uygun çalışma gerilimi, yüksek anahtarlama hızı ve küçük boyutları sebebi ile IRF640N tipi MOSFET kullanılmıştır.

SMPS prensip şeması:

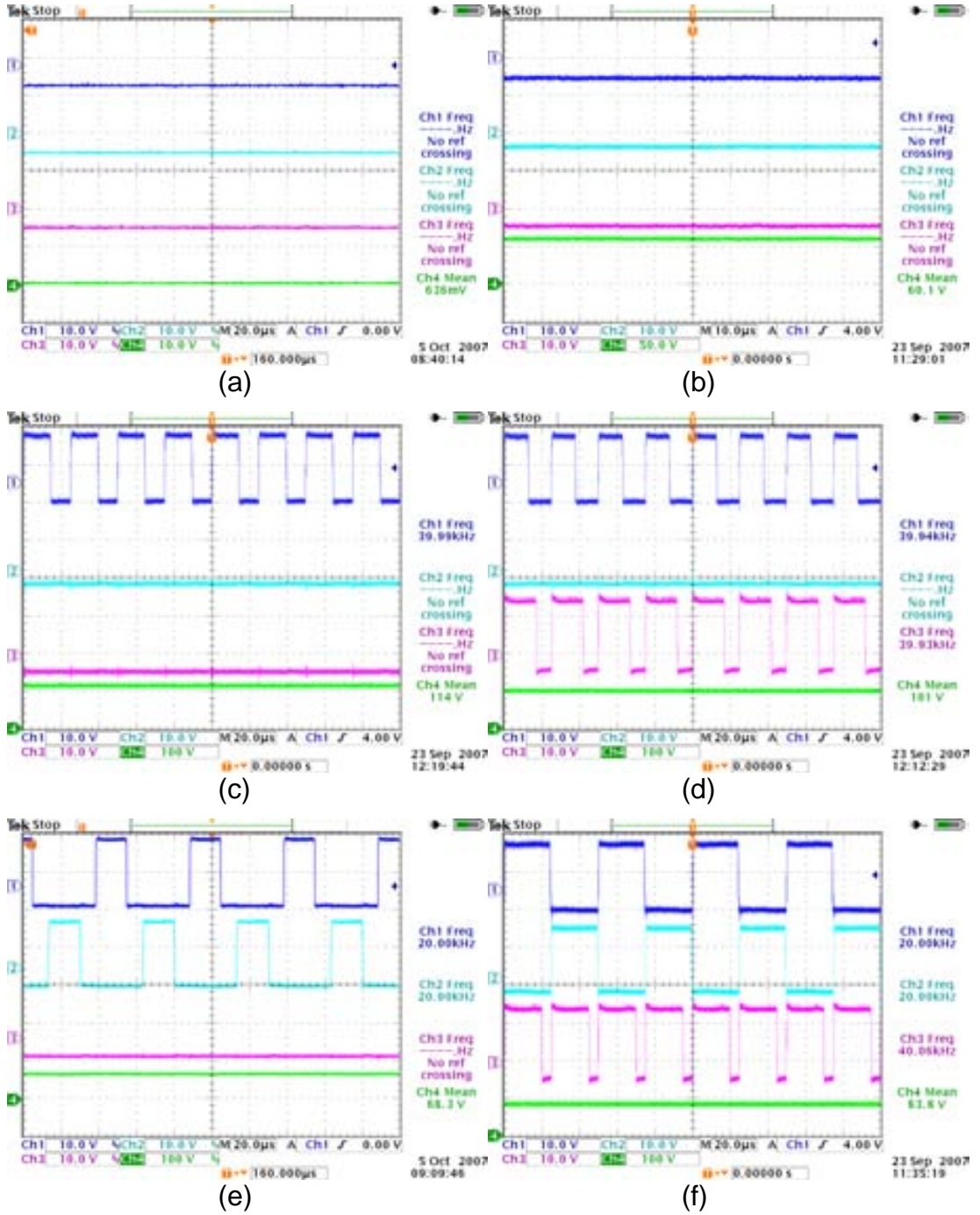


Şekil 6.10. Uygulama devresi SMPS prensip şeması.

Ferit nüveler güç aktarma kapasiteleri, çalışma frekansları, ucuzluk ve temin kolaylığı açısından incelenip, tasarlanan devre için en uygun nüvenin E42 tipi nüve olduğu tespit edilmiştir. Uygun karkas temin edilerek 4 adet 7 sipir sekonder ve 1 adet 14 sipir primer sargı uygun kesit hesaplanarak el ile sarılmıştır.

6.2.5. Uygulama sonuçları

Katalog değerleri 24 V, 185 W, 7,71 A olan 2 adet SHARP marka ve NUSOE3E ürün kodu olan paneller seri bağlanarak elde edilen DA gerilim çevirici girişine uygulanmıştır. 5 adet 12 V 9 Ah VRLA tip bakımsız akü depolama birimi olarak kullanılmış ve bu durumda deneyler gerçekleştirilmiştir. Sistem ayrıca 5 adet 12 V 26 Ah akü ile de denenmiş ve bu uygulama ile farklı kapasitedeki akülerle de uyumlu çalıştığı test edilmiştir. Çevirici anahtarlama işaretleri, giriş çıkış gerilimleri ile çıkış ve akü akımı dalga şekilleri Şekil 6.11’de verilmiştir.



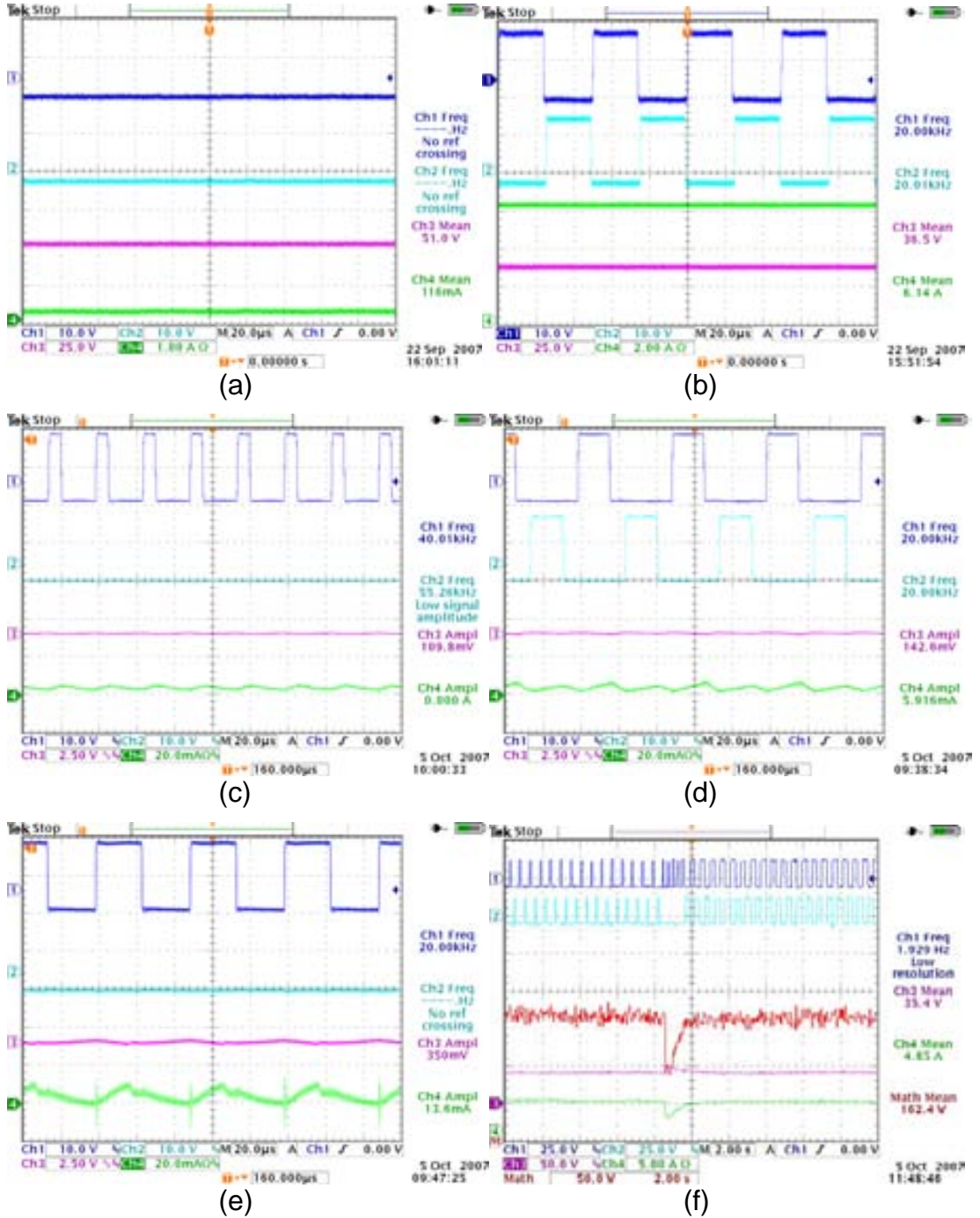
Şekil 6.11. Çevirici kapı darbelerine göre çıkış gerilimi.

Kanallar: (1) çevirici 1 kapı darbesi (2) çevirici 2 kapı darbesi (3) çevirici 3 (akü çeviricisi) kapı darbesi (4) çıkış gerilimi

Şekil 6.11 (a) sistem kapalı konumunu göstermektedir. Bu konumda çevirici 1,2,3 ve yük anahtarı kesim konumunda olup yük uçlarında herhangi bir gerilim bulunmamaktadır. PV Panel'den çapraz çeviricinin çektiği 100-120 mA dışında bir akım çekilmemektedir. Bu akımı ihmal ederek panelin açık

devre konumunda olduğu varsayımına gidilebilir. Çapraz çevirici ile beslenen mikro denetleyici sistemi sürekli denetler. Bu esnada analog ölçümler, bunlara bağlı değerlendirmeler sürekli olarak yapılmaktadır. PV'den ya da aküden başlatma işaretlerini bekleyen denetleyici aküden başlatma işareti aldığı anda akü gerilimini yüke aktarmaya başlar. Bu konumda çevirici işaretleri ile çıkış gerilimi arasındaki ilişki Şekil 6.11 (b)'de verilmektedir. Aküden çalışma işlemi 5 adet akü için belirlenmiş deşarj sonu gerilimi olan 50 V DA değerinden büyük olduğu sürece devam eder. Gerilim 50 V DA'nın altına düştüğünde ya da durdurma butonuna basıldığında sistem durumu Şekil 6.11 (a)'ya geri döner. Başlatma işareti uygulandığında ve giriş gerilimi uygun aralıkta ise açık devre gerilimi kaydedilerek, giriş gerilimi kaydedilen gerilim değerinin %77'sine düşüncüye kadar çevirici 1 ve 2'nin darbe oranları sıfırdan başlayarak sürekli olarak artırılır. Bu esnada çıkış gerilimi, yük değeri sürekli olarak denetlenir. Eğer çıkış gerilimi sınır değere ulaşmış ise ki bu değer tasarlanan sistemde 115 V DA olarak belirlenmiştir, CV yöntemi bırakılarak güce bağlı olarak tek ya da çift çeviricili çıkış gerilimi sınırlama döngüsü çalışmaya başlar. Eğer depolama birimi dolu ya da açık devre konumunda ve yük değeri %50'den daha düşük ise sistem Şekil 6.11 (c)'de gösterilen duruma gelmektedir. Depolama birimi boş ise depolama çeviricisi çalışmaya başlayarak fazla enerjiyi depolama birimine aktarır. Bu esnada yük değeri %50 den daha düşük ise tek çevirici, daha yüksek ise çift çevirici çalışır ve çıkıştaki yük beslenmeye devam eder. Depolama biriminin devreye sokulması ya da sistemin yüklenmesi ile çıkış geriliminde bir düşme meydana gelmiş ise çıkış gerilim sınırlama döngüsünden çıkılarak P&O yöntemi ile MPPT noktası bulunur. Gücün %50'den az olduğu durum için dalga şekilleri Şekil 6.11 (d)'de verildiği gibidir. Şekil 6.11 (a) konumundan çalışmaya başlayan sistem CV yöntemi sayesinde giriş gerilimine bakarak MP noktasına geldiğini algılar. Bu durumda çalışmaya P&O yöntemi ile devam edilir. Çıkış gerilimi uygun aralıkta kalmış ise güç denetimi yapılarak gerektiğinde 2. çevirici devreden çıkarılır. Çıkış yükü her iki çeviricinin de çalışmasını gerektiriyorsa ve çıkış gerilimi akü şarjı sınır değerinin altında veya aküler dolu ya da akü sistemden ayrılmış ise Şekil 6.11 (e) konumunda

MP noktası izlenerek çalışma sürdürülür. Şekil 6-11 (e) konumunda çıkış gerilimin akü şarj değerinin üzerine çıkması halinde ise çalışma durumu Şekil 6.11 (f)'de verilmektedir.



Şekil 6.12. Sıralı artıran çevirici giriş akım ve gerilimi

Kanallar: (1) çevirici 1 kapı darbesi (2) çevirici 2 kapı darbesi (3) giriş gerilimi (4) giriş akımı (Math) giriş gücü

Şekil 6.12 (a)'da ki durumda giriş gerilimi ve akımı görülmektedir. Açık devre gerilimi 51 V DA seviyesinde olup sistem hazır konumda başlama işaretini beklemektedir. Şekil 6.12 (b)'de MPPT noktasında giriş akım ve gerilimi görülmektedir. Ancak panel ile çevirici arasındaki hat direncinden kaynaklanan bir miktar gerilim düşümü söz konusudur. Hat direnci $0,5 \Omega$ olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla 36,5 VDC olarak okunan giriş gerilim değeri üzerine $0,5 \Omega \times 6,14 \text{ A} = 3,07 \text{ VDC}$ eklendiğinde doğru sonuç elde edilmiş olur.

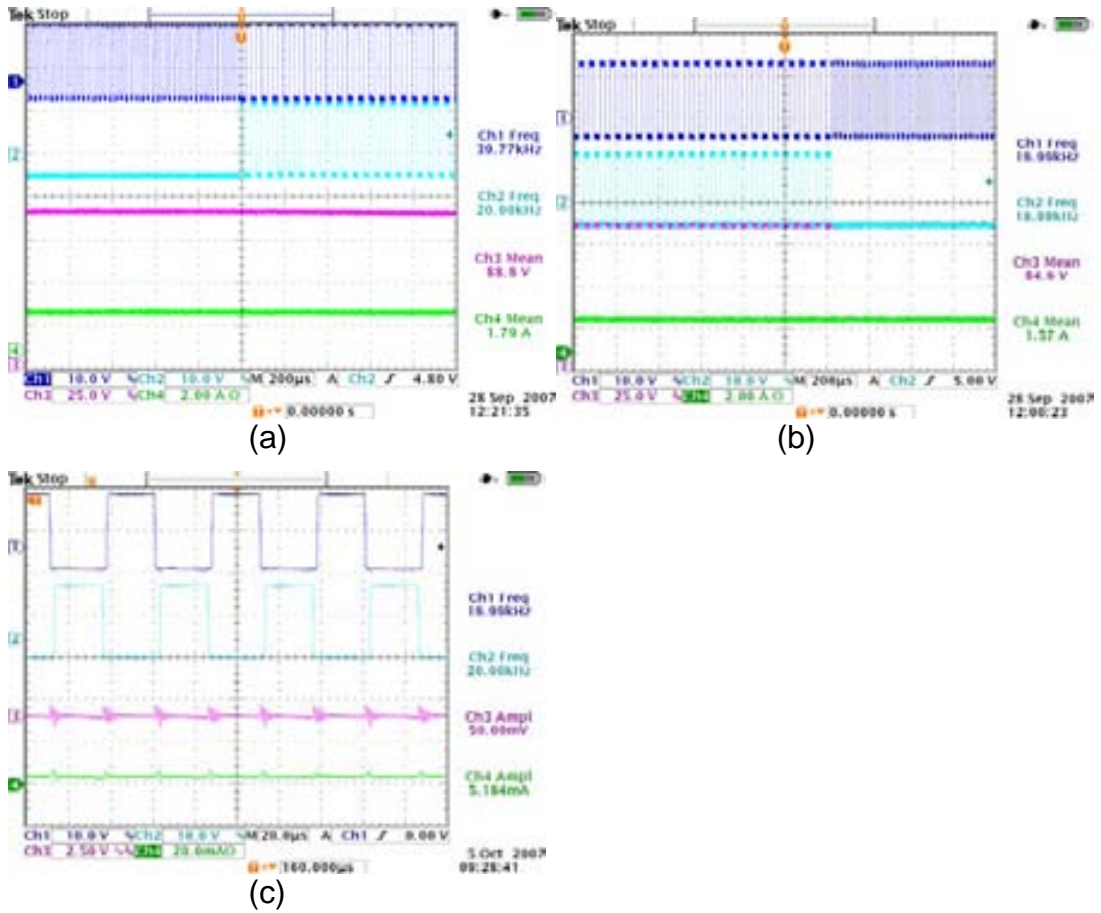
Şekil 6.12 (c)'de düşük yükte tek çevirici çalışırken giriş akım ve geriliminde meydana gelen dalgalılık görülmektedir. Burada çekilen akım çok küçük değerde olduğundan dalgalılık da göreceli olarak küçük değerdedir.

Çekilen güç artırıldığında 6 A giriş için akım dalgalılığı 5,9 mA, gerilim dalgalılık değeri ise 143 mV olarak ölçülmüştür. Bu esnada MPPT işlemine devam edilmektedir. Bu duruma ait dalga yapıları Şekil 6.12 (d)'de verilmektedir.

Çalışma koşulu Şekil 6.12 (d) iken çevirici yapısı ve denetim programı hiç değiştirilmeden çevirici 2'nin sürücü yongası sökölüp kapı darbesi yapay olarak -5 VDC'ye çekilmiş bu yolla çevirici 2'nin devre dışı kalması sağlanarak aynı değerler Şekil 6.12 (e)'deki gibi alınmıştır. MPPT işlemi yine gerçekleştirildiğinden aynı akım ve gerilim değeri tek çevirici için alınmıştır. Burada akım dalgalılığı için 13,6 mA ve gerilim dalgalılığı için ise 340 mV değeri okunmuştur. Görüldüğü üzere dalgalılık oranı aynı frekans için iki katına çıkmıştır. Dalgalılık seviyeleri arasındaki oran EMI seviyeleri arasındaki oranı dolaylı olarak vereceği düşünüldüğünde sıralı çalışmada EMI seviyesinin azalacağı görülmektedir.

Şekil 6.12 (f)'de 170 W güç varken ve çeviriciler 20+20 kHz'de çalışırken güç değeri 90 W'a düşürülmüştür. Bu durumda güç değeri çift çeviricinin çalışmasını gerektirmediğinden çevirici 2 devre dışı kalarak frekans tek çevirici için 40 kHz'e çıkmıştır. MP noktasından uzaklaşıldığı için sistem çıkış

gerilimini yükseltmiş ve böylece çıkışa aktarılan enerji miktarı artırılmıştır. Sonuç olarak aynı güç değerine yaklaşıldığında 2. çevirici devreye girmiş, anahtarlama frekansı eski konumuna gelmiş ve MP noktası olan 170 W güç değerine ulaşılmıştır. Bütün işlemler 2 saniyeden daha kısa bir süre içerisinde başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

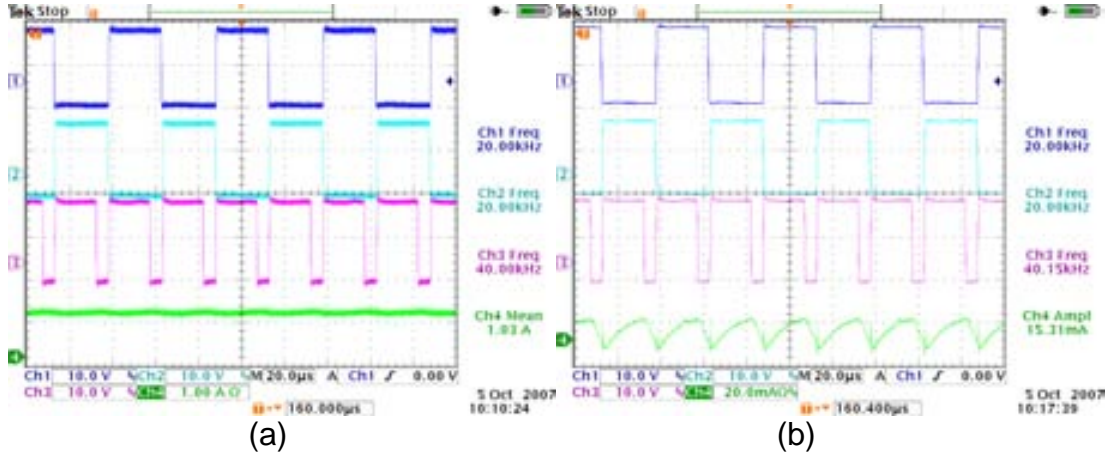


Şekil 6.13. Sıralı artıran çevirici çıkış akım ve gerilimi.

Kanallar: (1) çevirici 1 kapı darbesi (2) çevirici 2 kapı darbesi (3) çıkış gerilimi (4) çıkış akımı

Tek çeviriciden çift çeviriciye ya da tersi durumda çıkış yüküne tatbik edilen gerilim ve akımın dalga şekli Şekil 6.13 (a) ve (b)'de verilmektedir. Görüldüğü üzere çıkış gerilimi ve akımın dalga formu geçiş zamanlarında frekans ve yapı değişimine rağmen kararlılığını sürdürmektedir.

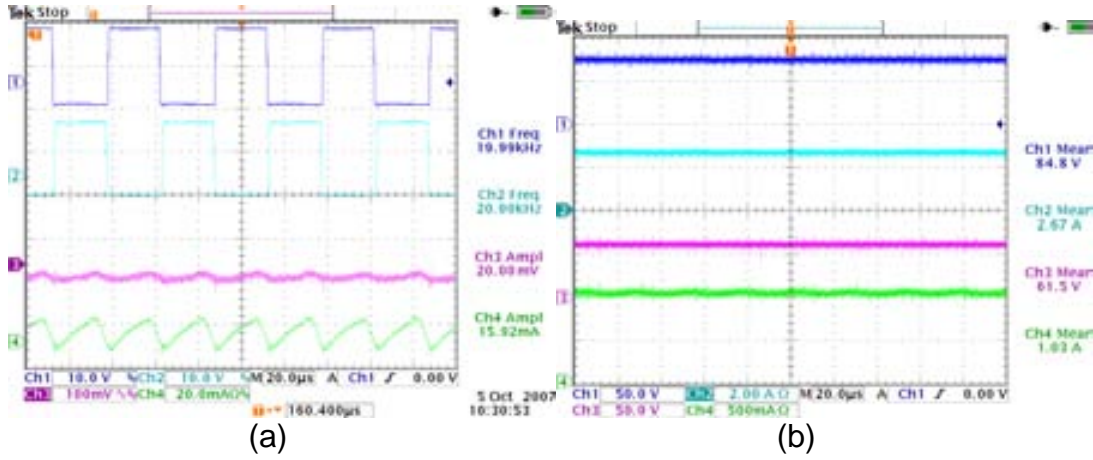
Şekil 6.13 (c)'de çevirici 1 ve 2 kapı darbeleri ile çıkış gerilim ve akımındaki dalgalılık oranı görülmektedir. Çıkış gerilimindeki dalgalılık 50 mV, akım dalgalılığı 5,2 mA seviyesinde kalmaktadır



Şekil 6.14. Akü çeviricisi kapı darbeleri ve akımı.

Kanallar: (1) çevirici 1 kapı darbeleri (2) çevirici 2 kapı darbeleri (3) çevirici 3 kapı darbeleri (4) akü akımı

Çalışma durumlarından bir diğeri olan akü şarj işleminde, ortam sıcaklığına göre şarj akımının değiştirilmesi ile akü ömrü uzatılmış olur. Şekil 6.14 (a)'da çevirici 1,2 ve 3'ün kapı darbeleri ile akü akımının genliği gösterilmiştir. Akü akımı 20 C° için 1 A olarak ayarlanmıştır. Bu değer akü özelliği dikkate alınarak sıcaklığın artışı ile azaltılıp, sıcaklığın azalması ile artırılabilir. Bu işlem için akü sıcaklık bilgisi MC aracılığı ile okunur. Olması gereken şarj akımı hesaplanır ve ilgili değerde sabit kalmasını sağlayacak PWM sinyaline karar verilir. 40 C°'nin üzerinde ise akü şarj edilmez. Şekil 6.14 (b) de Şekil 6.14 (a) konumunda iken akım dalgalılığı verilmektedir.



Şekil 6.15. Sıralı artıran çevirici akü ile çıkış akım ve gerilimleri

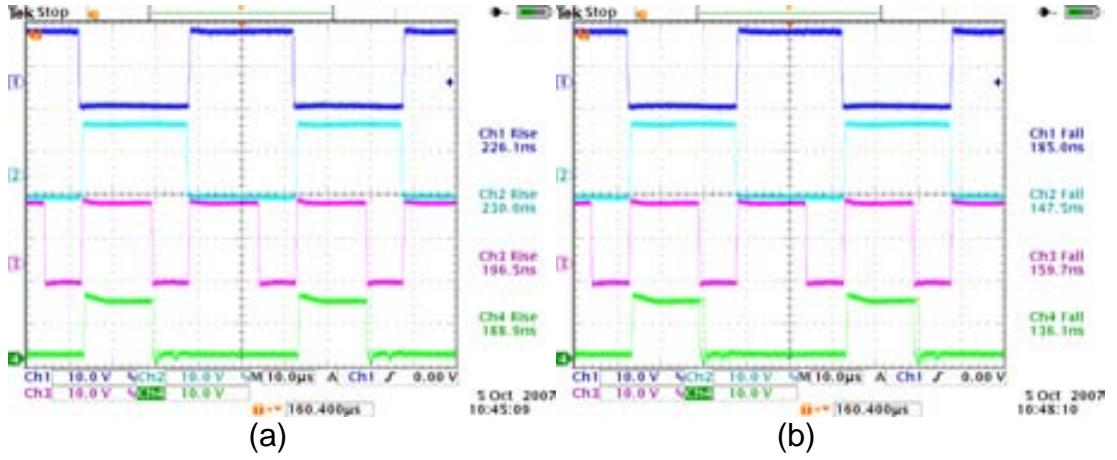
(a) Sıralı artıran çevirici çalışma durumlarına göre akü akım ve gerilimindeki dalgalılık.

Kanallar: (1) çevirici 1 kapı darbesi (2) çevirici 2 kapı darbesi (3) akü gerilimi (4) akü akımı

(b) Sıralı artıran çevirici akü akım ve gerilimi ile çıkış akım ve gerilimi dalga şekilleri

Kanallar: (1) çıkış gerilimi (2) çıkış akımı (3) akü gerilimi (4) akü akımı

Şekil 6.15 (a)'da Şekil 6.15 (b) konumunda akü akım ve gerilim oranındaki dalgalılık gösterilmiştir. Akü akımındaki dalgalılık 16 mA, geriliminde ise 20 mV olarak ölçülmüştür. Deşarj işlemi akü ile DA bara arasındaki seri diyod ile sağlanmaktadır. Bu diyod çıkış gerilimin akü gerilimin altına düştüğü durumda iletme geçerek, çıkışın kesintisiz beslenmesini sağlamaktadır. DA seviye akü gerilimden daha yüksek ise diyod kesime gitmekte ve akülerin kontrolsüz şarj akımı çekmesini engellemektedir. Akü akımı algılama devresi çift yönlü olarak akımın okunabilmesine olanak sağlamaktadır. Şarj konumunda akımı sabitleme işlemi yapılırken, deşarj durumunda da akü akımı okunarak olası aşırı akım durumunda çıkış anahtarı yükü devreden ayrılabilir. Böylece aküler ve yük çekilebilecek aşırı akımlara karşı korunmuş olmaktadır.



Şekil 6.16. Tüm anahtarlama işaretlerinin eş zamanlı gösterimi
Kanal: (1) çevirici 1 (2) çevirici 2 (3) çevirici 3 (4) besleme çeviricisi kapı darbeleri

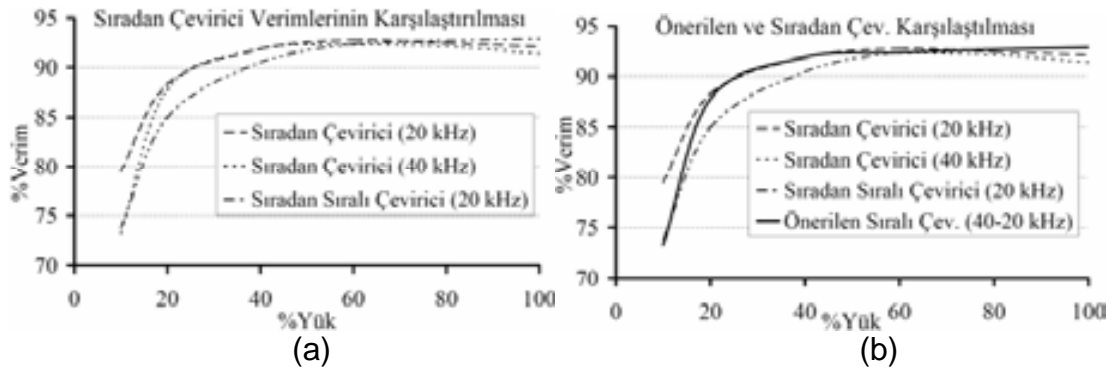
Şekil 6.16 (a) ve (b) çevirici 1, 2, 3 ve besleme çapraz çeviricisi kapı darbelerinin yükselme ve düşme zamanlarını ile birlikte çalışma konumlarını göstermektedir. Uygulama devresi görünüşü Resim 6.1’de verilmiştir.



Resim 6.1. Uygulama devresi

6.2.6. Çevirici verimlerinin karşılaştırılması

Sıradan-artıran 20 kHz ve 40 kHz, sıradan sıralı-artıran 20 kHz, önerilen sıralı-artıran çevirici %50 yüke kadar tek çeviricili 40 kHz daha yüksek güçlerde çift çeviricili 20 kHz anahtarlama frekansında çalıştırılıp 37-370 W aralığında verimleri karşılaştırılmış sonuçlar Şekil 6.17’de verilmiştir.



Şekil 6.17. Çevirici verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.17 (a)'da çalışma bölgesi %0-%50 ve %50-%100 olarak incelendiğinde 20 kHz'de çalışan sıradan çevirici ilk aralıkta, sıradan sıralı çevirici ikinci aralıkta daha verimli olduğu görülmektedir. Ancak birinci aralıkta sıradan-artıran çevirici ile 20 kHz'de çalışma çevirici giriş ve çıkış kalitesini düşürmektedir. Bu yüzden birinci aralıkta kıyaslama 40 kHz'de çalışan sıradan-artıran çevirici ile toplamda aynı frekansta çalışan sıralı-artıran çevirici ile yapılmalıdır. Bu aralıkta 40 kHz'de çalışan sıradan artıran çevirici sıralı artıran çeviriciye göre daha verimli olduğu görülmektedir. Şekil 6.18. (b)'de çalışma koşulunu birinci aralıkta 40 kHz'de çalışan sıradan-artıran çeviriciden, ikinci aralıkta ise sıradan sıralı-artıran çeviriciden alan önerilen sıralı-artıran çevirici yapısı verilmiştir. Önerilen yapı ile tüm çalışma aralığında giriş ve çıkış kalitesi düşürülmeden verimli bir şekilde çalışılmıştır.

6.2.7. Uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu çalışma ile MPPT işlemi yapan girişik çeviricilerin sıradan çeviricilere göre üstünlükleri ve zayıflıkları incelenmiştir. Ayrıca PV sistemlerde verimliliğin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

PV sistem ile çalışan MPPT'li artıran çevirici yapıları çıkıştaki yüke doğrudan bağlanmaktadır. Yükün sistemden ayrılması ancak terminallerin sökülmesi ile ya da harici sigorta ve anahtarlarla ile mümkün olmaktadır. Ayrıca bu yapılarda MPPT işlemi ancak yükün uygun değerinde sağlanabilmektedir.

Fazla enerji kullanılamamaktadır. Yapısında akü bulunduran sistemler ise akü yapısı dikkate alınmadan yapılmakta dolayısıyla akü ömrü kısalmaktadır.

Sıradan artıran çeviriciler ile yüksek güçlere erişim uygulamada bazı sıkıntıları da beraberinde getirmektedir. Yüksek güçlerde anahtarlama elemanı, ferit nüve, sürücü gibi elamanların temininde sıkıntılar yaşanmasının yanı sıra bakım ve servis hizmetlerinde de zorluklar yaşanmaktadır. Yüksek güçlere erişimde bir diğer sorun ise çeviricilerin iletim ya da hava yolu ile etrafa yaydıkları gürültüler ile ilgilidir. EMI seviyesi anahtarlama akımı seviyesine bağlı olarak artmaktadır.

Önerilen yapı ile çıkıştaki yük PV'den aküden yada PV ve aküden beslenebileceği gibi enerjisizde bırakılabilmektedir. Çalışma koşulu tek çevirici, çift çevirici ve bunların akü şarj ve deşarjlı halleri dahil olmak üzere tüm koşullarda MP noktası takip edilmekte MPPT işlemi yapılmayan tek durum ise akülerin dolu olduğu durumda çıkış yük seviyesinin düşük olması durumudur. Aküler akım ve sıcaklık dikkate alınarak şarj edilmekte dolayısıyla akü kapasitesi istenildiği kadar hem artırılabilenkte hem de kullanım ömrü uzatılmaktadır.

Girişik çevirici kullanımı ile EMI ve RFI seviyeleri azaltılmakta ayrıca düşük güç konumunda çeviricilerden biri devre dışı bırakılarak çift çeviricilerin zayıflıklarından olan düşük güçlerde verim kaybı da ortadan kaldırılmış olmaktadır. Ayrıca girişik çevirici yapısı ile yaygın olarak kullanılan malzemelerle yüksek güçlere erişim sağlanırken çeviricilerden birinin devre dışı kalması ya da servis verilmesi gibi durumlarda diğeri kapasitesi oranında yükü beslemeye devam edebilmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada PV sistemlerde enerji dönüşüm işleminin etkili bir biçimde uygulanabilmesi için MPPT yapabilen sıralı-artıran çevirici tasarlanarak uygulanmıştır. MPPT tekniği olarak açık devre gerilim metodu ve değiştir gözle metodu birlikte kullanılmıştır. Sunulan çevirici yapısı ile çıkış gerilim dalgalılık oranı ve EMI seviyesi azaltılmıştır. Ayrıca PV'den elde edilen enerjinin verimli kullanılabilmesi için ihtiyaç fazlası enerji akım ve sıcaklık denetimli çevirici ile depolama birimine aktarılmıştır. Depolanan enerji talep durumunda yüke aktarılarak sistemin çalışma kararlılığı artırılmıştır.

PV sistemlerden elde edilen enerji maliyetinin diğer kaynaklardan elde edilen enerjilerden daha yüksek olması sistem verimi ve güvenilirliğini ön plana çıkarmaktadır. Uygulanan sistem ile depolanabilecek enerji miktarının akü kapasitesi ile sınırlı olması, sadece DC yüklerin beslenebilmesi bir eksiklik olarak görülmektedir. PV sistemlerden enerji elde etme işleminin en etkili bir biçimde yapılabilmesi, ayrıca AC sistemlerin enerji ihtiyacını karşılayabilmek, aküler şarjlı iken ihtiyaç fazlası enerjinin kullanılabilmesine imkan sağlamak için şebeke etkileşimli çevirici ile birlikte kullanılması önerilmektedir. Bu sayede yerel yükler için fazla gelen enerji şebekeye gönderilebilecek, PV sistemin yeterli gelmediği ya da çalışmadığı durumlarda alıcıya şebekeden enerji verilebilecektir.

KAYNAKLAR

1. Enslin, J. H. R., "Maximum Power Point Tracking: A Cost Saving Necessity In Solar Energy Systems", **16th IEEE Annual Industrial Electronics Society Conference**, Pacific Grove, CA, USA, 1073-1077 (1990).
2. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi "Türkiye'de Güneş Enerjisi" <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html> (2007).
3. Dimroth F., Baur C., Bett A.W., Mausel M., Strobal G., "3-6 Junction Photovoltaic Cells For Space And Terrestrial Concentrator Applications", **31st IEEE Photovoltaic Specialist Conference**, Orlando, Florida, USA, 525-529 (2005).
4. Mulligan, W. P., Rose, D. H., Cudzinovic, M. J., Ceuster, D. M. D., McIntosh, K. R., Smith, D. D., Swanson, R. M., "Manufacture Of Solar Cells With 21% Efficiency", **19th European Photovoltaic Solar Energy Conference**, France, 462-465 (2004).
5. Enslin, J. H. R., Wolf, M. S., Snyman, D. B., Swiegers, W., "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter", **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, 44(6): 769-773 (1997).
6. Mulligan, B., "Cost Reduction of Silicon Photovoltaics", **2th Annual IEEE Nanotech Symposium**, San Jose, California, USA, 2:1-44 (2006).
7. İnternet: Research Institute for Sustainable Energy "The World Solar Energy Map" <http://www.rise.org.au/info/Applic/Solarpump/index.html> (2007).
8. Walker, G., "Evaluating MPPT Converter Topologies Using A Matlab PV Model", **Journal of Electrical & Electronics Engineering**, 21(1): 49-56 (2001).
9. Mineiro, S. J. E., Daher, S., Antunes, F. L. M., Cruz, C. M. T., "Photovoltaic System For Supply Public Illumination In Eletrical Energy Demand Peak", **19th IEEE Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition Conference**, Anaheim, California, USA, 3: 1501-1506 (2004).
10. Kurokawa, K., "Realistic Values Of Various Parameters For PV System Design", **Renewable Energy**, 15(1): 157-164 (1998).

11. Reis, A.M., Coleman, N. T., Marshall, M. W., Lehman, Chamberlin, P. A., C. E., "Comparison Of PV Module Performance Before And After 11-Years Of Field Exposure", **29th IEEE Photovoltaic Specialist Conference**, New Orleans, Louisiana, USA, 1432-1435 (2002).
12. Santos, J. L., Antunes, F., Chehab, A., Cruz, C., "A maximum power point tracker for PV systems using a high performance boost converter", **Solar Energy**, 80(7): 772-778 (2006).
13. Teulings, W. J. A., Marpinard, J.C., Capel, A., O'Sullivan, D., "A new Maximum Power Point Tracking system", **24th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference**, Toulouse , France, 833-838 (1993).
14. Salas, V., Olías, E., Barrado, A., Lázaro, A., "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 90(11): 1555–1578 (2006).
15. Noguchi, T., Togashi, S., Nakamoto, R., "Short-Current Pulse-Based Maximum-Power-Point Tracking Method for Multiple Photovoltaic-and-Converter Module System", **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, 49(1): 217-223 (2002).
16. Esmar, T., Chapman, P. L., "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques" **IEEE Transactions On Energy Conversion**, 22(2): 439-449 (2007).
17. Liu, C., Johnson, A., Lai, J. S., "A Novel Phase-shifting Circuit Using Digital First-In First-Out (FIFO) for Multiphase Power Converter Interleaved Control", **IEEE Workshop on Computers in Power Electronics, 2004**, Urbana, Illinois, USA, 80-84 (2004).
18. Vechiu, I., Camblong, H., Tapia, G., Dakyo, B., Nichita, C., "Dynamic Simulation Model of a Hybrid Power System: Performance Analysis", **2004 EWEC Conference**, UK, 1-9 (2004).
19. Hohm, D. P., Ropp, M. E., "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms", **Progress In Photovoltaics: Reserch and Applications**, 11(1): 47–62 (2002).
20. Duru, H. T., "A maximum power tracking algorithm based on $I_{mpp}=f(P_{max})$ function for matching passive and active loads to a photovoltaic generator", **Solar Energy**, 80(7): 812–822 (2006).

21. Erickson, R. W., "DC-DC Power Converters", **Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering**, 5:53-63 (1999).
22. Ho, H., Lu, C., "Study of Nonlinear Phenomena in Switching DC/DC Converters", Degree of Doctor, **Department of Electronic and Information Engineering The Hong Kong Polytechnic University**, Hong Kong SAR, China, 1-166 (2000).
23. Internet: University of Minnesota "Internet-Based Short Course, Power Electronics Principles for Practicing Engineers", http://www.ece.umn.edu/groups/power/PE_ShortCourse_Aug04/CourseOutline_PE_Aug_2004.pdf (2004).
24. Mohan, N., Unlead, T.M. and Robbins, W. P., "Power Electronics, Converters, Applications and Design", **Joe Wiley and Sons Inc.**, London, 173-210, 323-370 (1989).
25. Wuidart, L., "Topologies For Switched Mode Power Supplies", **ST Microelectronics**, AN513/0393:1-18 (1999).
26. Glasner, I., Appelbaum, J., "Advantage Of Boost vs. Buck Topology For Maximum Power Point Tracker In Photovoltaic Systems", **19th IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers**, Jerusalem, Israel, 355-358 (1996).
27. Zumel, P., García, O., Cobos, J. A., Uceda, J., "EMI Reduction by Interleaving of Power Converters", **19th IEEE Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition Conference**, Anaheim, California, USA, 2:688-694 (2004).
28. Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K., "Maximum power point tracking of coupled inductor interleaved boost converter supplied PV system", **IEE Proc.-Electr.Power Appl.**, 150(1):71-80 (2003).
29. Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K., "Neural-Network-Based Maximum-Power-Point Tracking of Coupled-Inductor Interleaved-Boost-Converter-Supplied PV System Using Fuzzy Controller", **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, 50(4):749-758 (2003).
30. Haddad, K. A., Rajagopalan, V., "Analysis and Simulation of Multiple Converter Operation to Reduce Losses and EMI", **IEEE Workshop on Computers in Power Electronics, 2004**, Urbana, Illinois, USA, 183-188 (2004).
31. Batchvarov, J. S., Valchev, V. C., Yudov, D. D., Duarte, J. L., "Investigation of Chaos in Interleaved Power Converters", **First IEEE Intelligent Systems Symposium**, USA, 1:79-83 (2002).

32. Zumel, P., García, O., Cobos, J. A., Uceda, J., "Exploring Interleaved Converters as an EMI Reduction Technique in Power Converters", **28th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference**, St. Louis, USA, 2:1219-1224 (2002).
33. Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K., "Analytical Investigations for Maximum Power Tracking of PV Supplied IDB Converter", **32th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference**, Vancouver, BC, 1:205-209 (2001).
34. Wei Wen Yim-Shu Lee "A Two-Channel Interleaved Boost Converter with Reduced Core Loss and Copper Loss", **35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference**, Aachen, Germany, 2:1003-1009 (2004).
35. Petry, C. A., Barbi I., "A Comparison Between The Boost And The Double Boost Converters With Inductive Coupling", **Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência COBEP 2003**, Fortaleza, BRASIL, 1-6 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZDEMİR, Şaban
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 13.05.1978 Kayseri
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 506 371 49 46
Faks :
e-mail : sabanozdemir@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	M. tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ TEF Elektrik Eğitimi Bölümü	2004
Önlisans	Erciyes Üniversitesi/ KYMO Elektrik Bölümü	1998
Lise	Kayseri Merkez E.M.L./ Elektrik Bölümü	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1996-1999	ELİN Mühendislik (KAYSERİ)	Elk. proje, taahhüt
2004-2006	ÖZEL Elektronik (ANKARA)	Ar-ge

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler