

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN DSP TEMELLİ
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ TASARIM VE
UYGULAMASI**

MURAT ULUĞ

**Danışman
Doç. Dr. Okan BİNGÖL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2014**

© 2014 [Murat ULUĞ]

TEZ ONAYI

Murat ULUĞ tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Sistemler İçin DSP Temelli Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarım ve Uygulaması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Okan BİNGÖL
Süleyman Demirel Üniversitesi



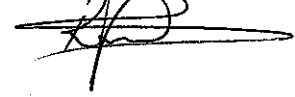
Jüri Üyesi

Yrd.Doç. Dr. İsmail Serkan ÜNCÜ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ramazan ŞENOL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Murat ULUĞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Fotovoltaik Güneş Hücreleri	5
3.1.1. Fotovoltaik hücrelerin fiziksel yapısı	5
3.1.2. Fotovoltaik hücrelerin çalışma ilkesi	6
3.1.3. Fotovoltaik hücre karakteristiği	6
3.1.4. Güneş ışınımı	8
3.1.5. Işımanın I-V karakteristiğine etkisi.....	9
3.1.6. Sıcaklığın I-V karakteristiğine etkisi	9
3.1.7. Fotovoltaik hücrelerin üretim teknolojileri	10
3.2. DA-DA Dönüştürücüler	13
3.2.1. Düşüren (Buck) dönüştürücü Topolojisi.....	14
3.2.2. Yükselten (Boost) dönüştürücü Topolojisi	15
3.2.3. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücü topolojisi.....	16
3.3. Maksimum Güç Noktası Takipçisi algoritmaları.....	17
3.3.1. Değiştir ve Gözetle (Perturb&Observe) algoritması.....	17
3.3.2. Artan iletkenlik (Incremental Conductance) algoritması.....	20
3.3.3. Sabit gerilim (Fixed Voltage) algoritması	21
3.4. Mikroişlemci	22
3.4.1. TMS320F2812 DSP İşlemcisi hakkında genel bilgi.....	22
3.4.2. eZdsp F2812 geliştirme kartının özellikleri	23
3.4.3. Yazılım geliştirme ortamı	25
3.4.4. C/C++ header dosyaları	25
3.4.5. Bir yazılımın F2812 üzerinde çalıştırılması.....	26
3.5. Sensörler.....	27
3.5.1. Sıcaklık sensörü	27
3.5.2. Gerilim sensörü	28
3.5.3. Akım sensörü	29
3.6. Akü.....	29
3.7. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	33
4.1. Güç Katının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi.....	33
4.2. Ölçüm Katının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi.....	35
4.3. Kontrol Sisteminin DSP Üzerinde Gerçekleştirilmesi.....	37
4.4. MGNI İzleyicisi İçin Deneysel Sonuçlar	42
5. SONUÇ	47

KAYNAKLAR	49
EKLER.....	53
ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN DSP TEMELLİ MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ TASARIM VE UYGULAMASI

Murat ULUĞ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı

Fotovoltaik kaynaklı enerji üretim sistemlerden mümkün olan en yüksek gücü elde edebilmek için maksimum güç noktası izleyicileri kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada fotovoltaik sistemlerin verimliliğini artıran çözümlerden Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin (MGNI) farklı sıcaklık ve ışınım ortamlarındaki üstünlükleri açıklanmıştır.

Maksimum güç noktası izleyici fotovoltaik panellerden alınabilecek olan elektriksel gücün, yük veya çevresel şartlardan dolayı alınamaması durumunun minimal seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır. DSP ailesine ait TMS320F2812 işlemcisi kullanılarak gerçekleştirilen sistem ile değişen giriş gerilimi ve çekilen akım miktarını izleyecek kontrollü bir DA-DA dönüştürücü olan Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI) oluşturulmuştur. Bu çalışmada maksimum güç noktalarını bulmak için kullanılan algoritmalarından Değiştir&Gözetle (Perturb&Observe) algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan fotovoltaik sistemin test edilmesi için güneş enerjisi ile çalışan bir sulama sistemi prototipi kullanılmıştır.

Yapılan deney sonucunda elde edilen değerler, MGNI kullanılmadan elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında MGNI'nin DSP işlemciler üzerinde uygulamanın fotovoltaik panellerden üretilen enerji verimliliğini arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: MGNI, DA-DA dönüştürücü, enerji verimliliği, Fotovoltaik sistemler, DSP

2014, 62 Sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF DSP BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Murat ULUĞ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Physics**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Maximum Power Point Trackers are used to can get potential maximum power from Photovoltaic Source Energy Production Systems. In this study, From one of the solutions which increase productivity of Photovoltaic Systems, Maximum Power Point Tracker's advantages at different temprature and radiation atmospheres are explained.

By using Maximum Power Point Trackers it is aimed to reduce minimal levels the situation of not able to take electric energy which is taken from Photovoltaic panels because of load and environmental conditions. To be able to observe unstable input voltage and amount of drawn electric current Maximum Power Point Tracker (MPPT) which is a controlled DA-DA converter is created with the system created by using TMS320F2812 processor belongs to DSP family. In this study, Perturb&Observe algorithm which is used to find Maximum Power Point was used. An irrigation system which works with solar energy was used to test created Photovoltaic system.

As a result of the experiment, When the values obtained compared with values obtained without using MPPT, It was seen that Applying MPPT on DSP processors increased energy obtained from the Photovoltaic Panels.

Keywords: MPPT, DC-DC Converters, Energy Efficiency, Photovoltaic Systems, DSP

2014, 62 Pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlemdiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Do. Dr. Okan BİNGÖL'e teőekkürlerimi sunarım. Araştırmalarımda yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ramazan ŞENOL'a teşekkür ederim.

3114-YL1-12 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşime ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Murat ULUĞ
ISPARTA, 2014

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Fotovoltaik hücre iç yapısı.....	5
Şekil 3.2. Fotovoltaik hücre yapısı.....	6
Şekil 3.3. İdeal bir güneş panelinin tipik I-V ve P-V karakteristikleri	7
Şekil 3.4. Işınımın I-V ve P-V eğrisine etkisi	9
Şekil 3.5. V_{oc} ve I_{sc} nin sıcaklıkla değişimi	10
Şekil 3.6. Gücün sıcaklıkla değişimi.....	10
Şekil 3.7. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi	11
Şekil 3.8. Darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali.....	14
Şekil 3.9. Düşürücü dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması	15
Şekil 3.10. Yükseltici dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması	16
Şekil 3.11. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü basitleştirilmiş devre şeması	17
Şekil 3.12. Değiştir ve Gözetle algoritmasının akış şeması	18
Şekil 3.13. Değiştir ve gözetle algoritması sonucunda bulunan güç noktaları ...	19
Şekil 3.14. Artan iletkenlik algoritması çalışma eğrisi	20
Şekil 3.15. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı.....	21
Şekil 3.16. Artan ışınım altında maksimum güç noktasının konumu	22
Şekil 3.17. F2812 işlemcisinin iç mimarisi.....	23
Şekil 3.18. eZdsp geliştirme kartı	24
Şekil 3.19. eZdsp F2812 işlemcisinin blok diyagramı	24
Şekil 3.20. Yazılım geliştirme ortamından bir ekran görüntüsü	25
Şekil 3.21. MCP9700 sıcaklık sensörü	28
Şekil 3.22. Gerilim sensörü.....	28
Şekil 3.23. ACS712 akım sensörü.....	29
Şekil 3.24. Kullanılan akünün dıştan görünümü	30
Şekil 3.25. Fotovoltaik sulama sistemi	31
Şekil 4.1. Güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemi blok diyagramı	34
Şekil 4.2. Güç devresi	34
Şekil 4.3. Ölçüm devresi	36
Şekil 4.4. Akü şarj kontrol devresi.....	37
Şekil 4.5. MCP3208 kontrol verisi formatı.....	38
Şekil 4.6. Çevrim işleminin zaman diyagramı	38
Şekil 4.7. Analog-dijital çevrim sonucunu okuyan fonksiyon	39
Şekil 4.8. Init_evb fonksiyonu	40
Şekil 4.9. %1 çalışma oranına sahip PWM sinyali	41
Şekil 4.10. %50 çalışma oranına sahip PWM sinyali	41
Şekil 4.11. %90 çalışma oranına sahip PWM sinyali	41
Şekil 4.12. Yazılımın akış diyagramı	42
Şekil 4.13. Kontrol fonksiyonu	42
Şekil 4.14. Güneş panelinin sisteme MGNI ile bağlı olduğu deney düzeneği....	42
Şekil 4.15. Güneş panelinin sisteme direk bağlı olduğu deney düzeneği	43
Şekil 4.16. Güneş ışınımı değerleri.	44
Şekil 4.17. Deneyler esnasındaki hava sıcaklığı değerleri.....	44
Şekil 4.18. Sistemlerden elde edilen güç noktaları	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Güç devresine ait konektörlerinin açıklamaları	35
Çizelge 4.2. Ölçüm devresine ait konektörlerinin açıklamaları	36
Çizelge 4.3. Akü şarj kontrol devresine ait konektörlerinin açıklamaları.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
Cm	Santimetre
e	Elektron
D	Çevrim içi süre
Hz	Hertz
N	Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı
Ni	Nikel
nm	Nanometre
P	Güç
V	Volt
W	Watt
Ω	Ohm
μ	Mikro
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad derece
ADC	Analog Digital Converter
DA	Doğru Akımı
DAQ	Data Acquisition (Veri Toplama)
DMA	Direct Memory Access
DSP	Digital Signal Processing
FV	Fotovoltaik
I	Akım
IEEE	International Electric Electronic Engineering
I/O	Input/Output
LED	Light Emitting Diode
LSB	Least Significant Bit
MCU	Mikrocontroller Unit
MGN	Maksimum Güç Noktası
MGNI	Maksimum Güç Noktası İzleyici
MOSFET	Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistors
MPP	Maksimum Power Point
MPPT	Maksimum Power Point Tracking
PWM	Pulse Width Modulation
PV	Photovoltaic
TEP	Ton Eşdeğer Petrol

1. GİRİŞ

Dünyada sürekli olarak artan enerji ihtiyacına paralel olarak ihtiyaç duyulan enerjiyi üretmek için yeni teknolojiler ve üretim metotları araştırmaları artarak devam etmektedir. Son yıllarda çevre dostu olması ve toplam maliyet düşüklüğü bakımından güneş panellerinden elektrik üretimine kamu ve özel sektörden yatırımlar artmıştır. Gelişen teknolojiye paralel olarak fotovoltaik panel üreten firmalarda diğer enerji kaynağı üreticileri ile rekabet edebilecek ürünler üretebilmektedir. Bu projenin öncelikli amacı fotovoltaik sistemlerden üretilen enerjiden daha fazla verim alabilmek için maksimum güç noktalarından (MGN) faydalanmaktır. Şarj esnasında üretilen gerilim ve çekilen akımı sürekli izleyerek değişken hava koşullarından etkilenmeyen yüksek verimlilikli bir şarj kontrolcüsü yapmak amaçlanmaktadır. Son çalışmalara göre MGNI özellikli bir şarj kontrolcüsünün bu özelliğe sahip olmayan bir şarj kontrolcüsüne göre %10 kadar daha verimli olduğu tahmin edilmektedir (Ersuel vd, 2012).

Günümüz modern toplumlarında enerjiye olan ihtiyaç, özellikle teknoloji ve endüstriyel üretim süreçlerinde yaşanan hızlı gelişme, hızlı nüfus artışı ve Bunlara bağlı olarak değişen yaşam standartlarının bir sonucu olarak, son 20–30 yıl içinde büyük bir artış göstermiştir. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı kapsamında Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu tarafından hazırlanan raporda, 2001 yılında 77,044,000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) olan enerji tüketiminin 2020 yılında 217,000,000 TEP değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Yümsek, 2010).

Fotovoltaik enerji; temiz, çevreye ve canlılara zararı olmayan ve hiçbir atık içermeyen bir enerji üretim türüdür. Petrol doğalgaz, kömür vb. fosil ve nükleer yakıtlara dayalı enerji üretim sistemlerinin çevreye verdiği zarar oldukça fazladır. Çevre dostu olmalarının yanı sıra fotovoltaik sistemler aynı zamanda modülerdir. Yani ihtiyaca göre istenilen yere monte edilebilirler. İhtiyacın artması durumunda, sisteme yeni fotovoltaik modeller kolaylıkla çok kısa sürede ilave edilebilir. Diğer enerji üretim sistemleri için bu durum söz konusu değildir. Özellikle son kullanıcıların yakınına kurulan fotovoltaik sistemler, iletim ve dağıtım cihazları

gereksinimini azaltır ve yerel elektrik hizmetinin güvenilirliğini artırır (Özgöçmen, 2007).

Elektrik hattı bulunmayan bir yerde fotovoltaik bir sistem kurup bir su pompasını çalıştırabilmek için gerekli olan donanım birimleri şunlardır. Öncelikle enerji kaynağı olarak güneş paneli, üretilen elektriği düzenlemek için bir şarj kontrolcüsü, üretilen elektriği depolamak için bir jel akü ve suyu istenilen yere pompalamak için su pompası. Bunlara ek olarak depolanan enerji alternatif akım kullanan bir cihaz tarafından kullanılacaksa evirici gerekmektedir.

Fotovoltaik sistemlerde maliyeti arttıran en önemli donanımlardan biri akülerdir. Düzensiz ve standart dışı yapılan şarj işlemi akünün kullanım ömrünü azaltmakta ve sistemin maliyeti artmaktadır. Tasarlanan sistem ile üretilen elektrik düzenlenerek standartlara uygun şarj yapıp akünün kullanım ömrünün artırılması amaçlanmaktadır. Değişen hava koşullarına bağlı olarak panelden üretilen gerilim sürekli dalgalanmaktadır. Şarj esnasında akım ve gerilim değerleri sürekli kontrol edilerek maksimum güç noktaları (MGN) bulunmuş ve ayarlanan gerilim değeri ile şarj yapılmıştır. Bir MGN algoritmasının temel amacı fotovoltaik panelden elde edilen gerilim, akü tarafından çekilen akım gibi sensörlerden gelen verileri kullanarak aküyü şarj etmek için gerekli olan en verimli gücü elde etmektir (Ersuel vd., 2012).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ersuel vd. (2012), maksimum güç noktası takibi sistemini ATmega328P işlemcisi kullanarak yapmışlardır. Çalışmalarında maksimum güç noktalarını bulmak için değiştir&gözetle (Perturb&Observe) metodunun kullanmışlardır. Fotovoltaik paneller, aküler, akım, gerilim, sıcaklık sensörleri gibi komponentlerin basitleştirilmiş şekillerle çalışma mantığını anlatmışlardır. Ayrıca bu konuda yapılan çalışmaların avantaj ve dezavantajlarından bahsedilerek maksimum güç noktalarının değişken hava koşullarında tespitinde verimliliğin ve hızın önemli bir unsur olduğunu ifade etmişlerdir.

Yümsek (2010), fotovoltaik hücrelerin karakteristikleri, I-V ve P-V eğrileri ve ışınımın elektrik üretimine etkisi gibi konular hakkında bilgi vermiştir. Güneş panelinden istenilen güç ile üretilen güç arasındaki uyumsuzluğun nasıl giderileceği, bu uyumsuzluğun giderilmesi için kullanılan düşürücü (Buck), yükseltici (Boost) ve düşürücü-yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücüler hakkında bilgi vermiştir.

Ying (2009), fotovoltaik panel simülatörü hazırlamıştır. Farklı ışınım şiddetlerinde fotovoltaik panelden elde edilen P-V karakteristikleri üzerinde çalışmıştır. Farklı ışınım koşullarında elde edilen P-V karakteristiklerini simüle etmek için kullanılacak en uygun maksimum güç noktası takibi algoritmaları üzerinde araştırmalar yapmıştır. Oluşturduğu sistemi DSP işlemcisi kullanmıştır.

Özgöçmen (2007), fotovoltaik panellerinden elektrik üretimi, üretilen elektriğin depolanması ve aküdeki enerjiyi AA kaynaklarda kullanabilmek için bir çevirici tasarımı üzerinde çalışmıştır. Ayrıca fotovoltaik hücreler hakkında detaylı bilgilere yer vermiştir.

Kangal (2008), değiştir&gözetle algoritması, artımlı geçiş (incremental conductance) algoritması ve bu metotların kombinasyonu ile farklı sıcaklık ve ışık şiddetindeki fotovoltaik panel güç üretimini arttırmak için araştırmalar yaparak ve iki algoritmanın simülasyonlarını gerçekleştirmiştir

Sallem vd. (2009), PV su pompalama sistemlerinin verimi, üretilen elektrik miktarı ve pompalanan su hacmi arasındaki uyuma bağlı olduğunu belirtmişlerdir. PV panel, su pompası ve aküden oluşan bir PV su pompalama sisteminin kontrolü için yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. PV sistemin günlük çalışma süresi ile pompalanan su hacmi arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

Katan vd. (1996), güneş enerjisinden beslenen sulama sistemlerinin performansını arttırmak için maksimum güç noktası izleyicisi ve güneş takip sistemi yapmışlardır. Fotovoltaik panelden elde edilen bilgileri Pspice simülasyon programını kullanılarak değerlendirmişlerdir.

Moghany (2011), fotovoltaik panellerden elde edilen gücün verimliliğini arttırmak için maksimum güç noktası izleyici ve güneş takip sistemini kullanmıştır. Maksimum güç noktalarını ve güneş pozisyonunu bulurken bulanık mantık ve yapay sinir ağlarından faydalanmıştır. Sistemin kontrolünü gerçekleştirmek için FPGA işlemcisinden yararlanmıştır.

Yeşilata ve Fıratoğlu (2003), güneş ışınım şiddetine ilişkin bazı değerler kullanılarak, PV su pompalama sisteminden elde edilen güç miktarının değişimini incelemişlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen bulgular, uzun dönemlik güneş ışınım şiddeti ölçümleri ile karşılaştırmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

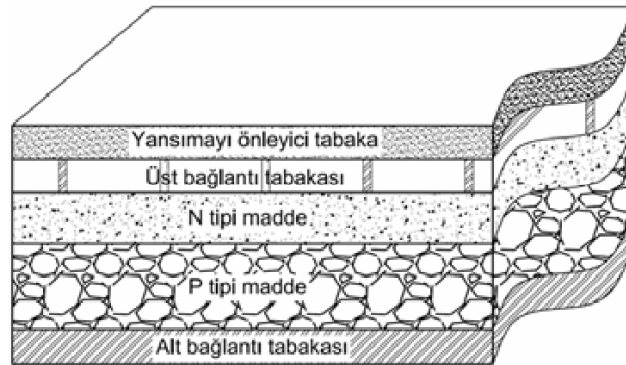
3.1. Fotovoltaik Güneş Hücreleri

Fotovoltaik güneş hücreleri güneşten aldıkları enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Güneşten aldıkları enerjinin küçük bir kısmını elektriğe çevirebilmelerine rağmen atık madde oluşturmamaları ve maliyetsiz bir kaynaktan beslenmeleri elektrik üretiminde önemli bir alternatiftir.

3.1.1. Fotovoltaik hücrelerin fiziksel yapısı

Son teknolojik gelişmeler sayesinde fotovoltaik hücrelerin yapımında birçok madde kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de fotovoltaik hücrenin iç yapısı görülmektedir. Fotovoltaik hücre yapımında yaygın olarak kullanılan üç tip malzeme şunlardır.

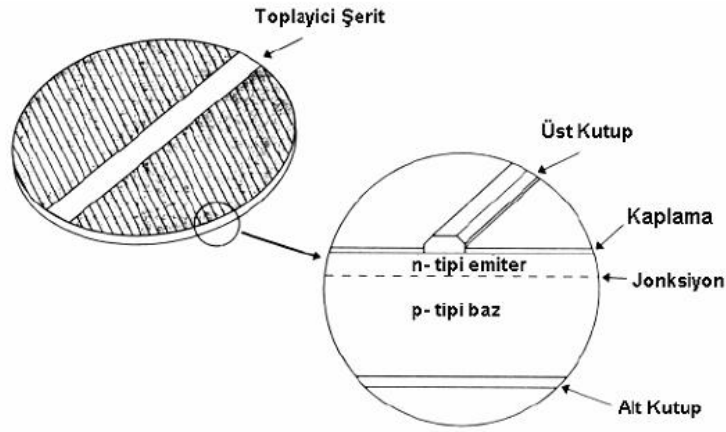
- Tekli Kristal Silikon (Mono-Crystalline Silicon)
- Çoklu Kristal Silikon (Poly-Crystalline Silicon)
- İnce Film Teknolojisi (Thin Film Technology)



Şekil 3.1. Fotovoltaik hücre iç yapısı

3.1.2. Fotovoltaik hücrelerin çalışma ilkesi

Fotovoltaik hücreler tıpkı piller gibi pozitif ve negatif kutuplara sahiptir. Her bir kutup son yörüngesinde 4 elektron bulunduran silisyum ve germanyum gibi yarı iletken malzemelerden yapılmıştır. Yarı iletken maddeler diyot, transistör, diyak vb. gibi birçok devre elemanın yapı taşlarıdır. Fotovoltaik hücreler P ve N tipi olmak üzere iki maddeden oluşur. P tipi maddenin son yörüngesinde 3 elektron N tipi maddenin son yörüngesinde 5 elektrona sahiptir. Her iki tarafta elektron alış verişine elverişlidir. Şekil 3.2’de fotovoltaik hücrenin yapısı görülmektedir.



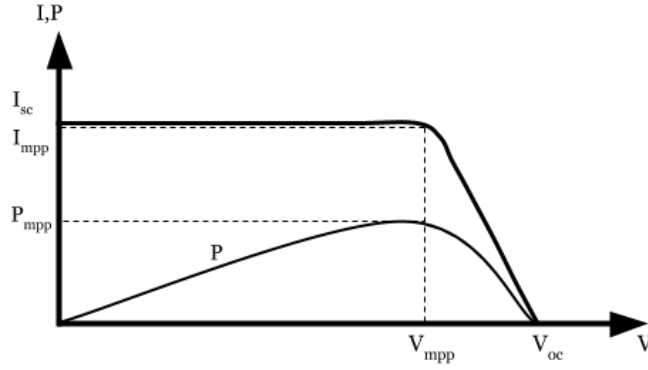
Şekil 3.2. Fotovoltaik hücre yapısı

P ve N tipi maddelerin bir birine bağlandığı noktaya jonksiyon noktası denir. Bu noktalar güneş ışınımı altında elektron alış verişine izin verir böylece elektrik akımı oluşturulmuş olur. Her bir fotovoltaik hücre güneş ışınlarını geçiren ve yansımalarını önleyen bir kaplama ile kaplanmıştır (Batman, 2001).

3.1.3. Fotovoltaik hücre karakteristiği

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren özel hazırlanmış yapılara fotovoltaik hücre denir. Fotovoltaik hücre içerisindeki elektron hareketleri pillere benzemektedir. Farkları elektrik akımın kaynağıdır. Pillerde akım kaynağı kutuplar arasındaki kimyasal olaylar iken fotovoltaik pillerde ise hücreler üzerine düşen

fotonlar ile akım oluştururlar. Fotovoltaik sistemlerin yapı taşları olan piller bir araya gelerek modüller, modüller bir araya gelerek panelleri oluştururlar. Şekil 3.3'de ideal bir güneş panelinin tipik I-V ve P-V karakteristiği gsterilmektedir. Birbirine seri veya paralel bağlanmış birden fazla güneş panelinden oluşan sistemlerin karakteristikleri de sırasıyla V_{oc} ve V_{mpp} ya da I_{mpp} ve I_{sc} değerlerinin katlanmış olması dışında benzerdir.



Şekil 3.3. İdeal bir güneş panelinin tipik I-V ve P-V karakteristikleri

Şekil 3.3'de görülebildiği gibi ideal bir güneş panelinin çıkış gerilimi, çıkış akımı belli bir değere ulaşana kadar sabitken, bu değeri aştığında hızla azalmaya başlamaktadır. Gerçek bir güneş panelinde ise çıkış gerilimi panelden çekilen akım sıfırdan farklı olduğu anda düşmeye başlar. Ancak gerilimin düşme hızı akım belli bir değere ulaşana kadar yavaşken, bu değeri aştıktan sonra hızlanır. Güneş panellerinin Şekil 3.3'de gsterilmiş beş temel parametresi vardır. Bu parametreler ve sembolleri aşağıda liste halinde verilmiştir (Tek, 2008):

- V_{oc} : Açık devre gerilimi
- I_{sc} : Kısa devre akımı
- P_{mpp} : Maksimum güç değeri
- V_{mpp} : Maksimum güç noktası gerilimi
- I_{mpp} : Maksimum güç noktası akımı

Gerçek bir güneş panelinin I-V karakteristiği sıcaklığa ve ışımaya bağlı olarak değişir. Bu yüzden Şekil 3.3'deki gibi bir eğri ancak tek bir sıcaklık ve ışınım değeri için geçerlidir. Yine Şekil 3.3'deki eğri, panel yüzeyinin tamamen ve homojen bir

şekilde aydınlanmış olduğu, gölgeler ve kir nedeniyle gerçekte sağlanması oldukça zor olan bir koşul altında geçerlidir (Tek, 2008). Kısacası, bir güneş paneli için her koşulda doğru I-V eğrisinin elde edilebilmesi için ortam koşullarının hesaba katılması gerekmektedir.

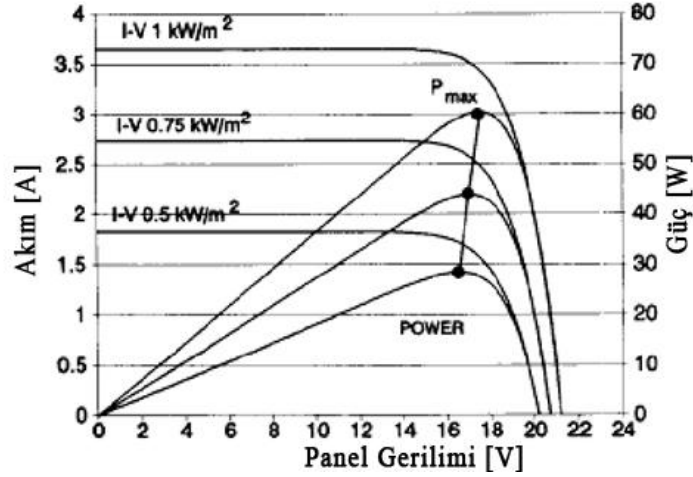
3.1.4. Güneş ışınımı

Fotovoltaik panellerin enerji kaynağını güneş oluşturmaktadır. Güneş, çekirdeğinde yer alan hidrojen'in helyum'a dönüşmesiyle oluşan füzyon sürecinden elde ettiği enerjiyi fotonlar aracılığıyla dünyaya kadar iletmektedir. Bu enerji, atmosferde ve dünya üzerinde farklı değerlerde olmaktadır. Güneşin ışınımı değerlendirilirken, atmosfer dışında seçilen bir nokta referans olarak kabul edilir ve AM0 (Air-Mass0 veya Hava-Kütle0) olarak adlandırılır. AM0 değeri, yapılan ölçümler sonucunda $1,357 \text{ kW/m}^2$ olarak bulunmuştur. Ancak güneş ışınları atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşmaya kadar fiziksel engellerden dolayı zayıflar ve yaklaşık olarak enerjisinin %30' unu kaybeder. Bu sebeple fotovoltaik sistemler için yapılan ölçümlerde AM0 değeri yerine AM1,5 değeri normal koşul olarak kabul edilir (Partain, 1995). Ayrıca 1 kW/m^2 güneş ışığı seviyesi ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığı standart koşul olarak kabul edilmektedir. Günümüzde üretici firmalar tarafından yapılan testler bu ortam koşulları referans alınarak yapılır.

Güneş ışığı, farklı enerji seviyelerinde ve dalga boylarında olan fotonlardan oluşur. Güneş ışınlarının büyük bölümü 1 eV altında bir enerjiye veya 1240 nm dalga boyundan büyük dalga boyuna sahiptir. Ancak güneşin bu enerji spektrumunun tamamı fotovoltaik hücre tarafından kullanılamaz. Fotovoltaik hücre yapı malzemesi olarak kullanılan yarı-iletkenin yasak enerji bandından daha fazla enerjiye sahip fotonlar ($E > E_G$), buradaki elektronları iletkenlik bandına çıkarabilirler. Dolayısıyla güneş enerji spektrumunun yalnızca belirli bir kısmı fotovoltaik hücrelerde enerji çevrimine katılabilir (Temiz Enerji Vakfı, 2001).

3.1.5. Işımanın I-V eğrisine etkisi

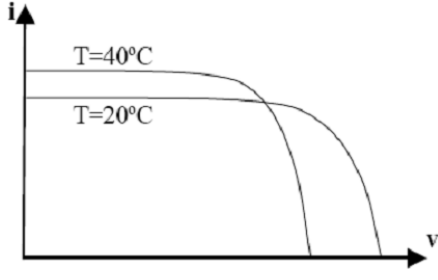
Şekil 3.4’de 60W’lık bir fotovoltaik panelin 500, 750, 1000 W/m²’lik ışınımdaki I-V eğrisi görülmektedir. Işınımın artması ile akımında arttığı görülmektedir. Panelin maksimum güç noktası, ışınım ile orantılı olarak dik bir artış göstermektedir. Hücre sıcaklığı sabit tutulduğunda, ışınımın artmasıyla güç artmakta, ayrıca maksimum gücün elde edildiği voltaj değeri (V_{mpp}) de artmaktadır. Bu durum ışınımın 1 güneş değerinden (1 güneş değeri= 1 kW/m²) daha büyük değerlere kadar sürmektedir. Işınım derecesini etkileyen faktörlerden bazıları: Günlük ve sezonluk güneş yolu, güneş ve dünya arasındaki sis, bulut vs.’dir (Patel vd., 2008).



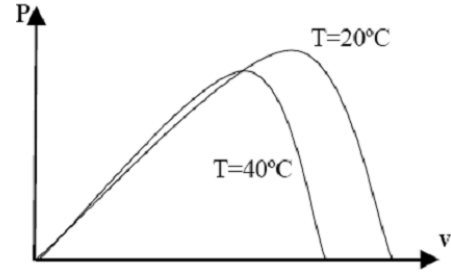
Şekil 3.4. Işımanın I-V ve P-V eğrisine etkisi

3.1.6. Sıcaklığın I-V eğrisine etkisi

Fotovoltaik paneller çok sayıda küçük fotovoltaik hücreden oluşur. Her hücre en basit haliyle yüzeyi büyütülmüş bir P-N jonksiyonu olduğundan, parametreleri bir diyotunki gibi sıcaklık ile değişir. Sıcaklık arttıkça V_{oc} azalır ve I_{sc} artar. V_{oc} ’deki azalma miktarı I_{sc} ’deki artış miktarından çok daha fazla olduğu için sıcaklık arttıkça panelden elde edilebilecek olan maksimum güç azalır. Bu etkiler Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. V_{oc} ve I_{sc} 'nin sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.6. Gücün sıcaklıkla değişimi

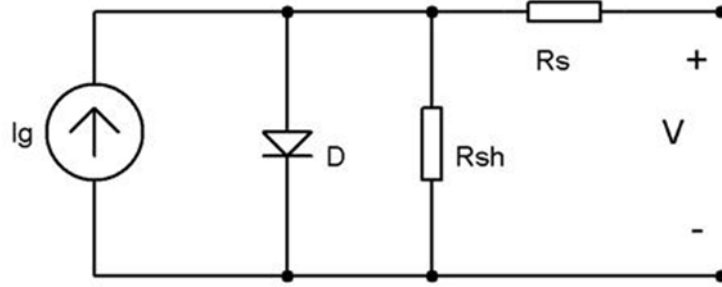
Sıcaklıktaki 1 °C 'lik değişime karşılık V_{oc} ve I_{sc} 'deki değişim miktarı genellikle fotovoltaik panellerinin teknik dokümanlarında $T=25^{\circ}\text{C}$ 'deki değerleri referans alan sıcaklık katsayıları olarak verilir.

3.1.7. Fotovoltaik hücrelerin üretim teknolojileri

Fotovoltaik hücreler birçok tip malzemeden üretilmektedir. Üretim metotlarına göre 1. ve 2. nesil olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Her iki teknolojiye kullanılan ham madde mono-kristal ve poly-kristal olmak üzere ikiye ayrılır. Güneş panellerinin yapımında galyumarsenit, amorpussilicon maddeleri kullanılmaktadır (Ersuel vd., 2012).

Güneş panelleri fotovoltaik hücrelerden oluşmaktadır, Fotovoltaik hücreler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen fotovoltaik hücrelerin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Fotovoltaik hücrelerin üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Fotovoltaik hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş ışığıdır. Fotovoltaik hücrede mekanik olarak elektrik üreten cihazların aksine hareketli parçalar olmadığından teorik ömürleri sonsuzdur. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda fotovoltaik hücreler birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya fotovoltaik panel adı verilir. Güç talebine bağlı olarak birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan Megawatt'lara kadar sistem oluşturulur (Özgöçmen, 2007).

Fotovoltaik hücreler, hali hazırda elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir. Bu nedenle ve istenen güçte kurulabilmeleri nedeniyle genellikle sinyalizasyon, kırsal kesimin elektrik ihtiyacının karşılanması vb. uygulamalarda kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücrelerin eşdeğer devresi Şekil 3.7’de gösterilmiştir (Katan vd., 1996).



Şekil 3.7. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi

Fotovoltaik hücrelerin I-V karakteristiğini açıklayan denklem aşağıda verilmiştir (Azab, 2008).

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+R_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

Burada;

I	Hücre akımı(A)
I_L, I_g	Işık kaynaklı akım(A)
I_0	Diyot doyma akımı
q	Elektron yükü (1.6×10^{-19} Coulomb)
k	Boltzman Sabiti (J/K)
T	Hücre sıcaklığı (K)
R_s	Hücrenin seri direnci
R_{sh}	Hücrenin shunt direnci
V	Hücre çıkış voltajıdır

Fotovoltaik hücrelerin yapımında birçok malzeme tipi kullanılmaktadır ve halen daha verimli hammadde arayışları devam etmektedir. Belli başlı fotovoltaik hücre türleri aşağıdaki gibidir.

Kristal silisyum fotovoltaik hücreler, Silisyum yarı iletken özellikleri tipik olarak gösteren ve fotovoltaik hücrelerin yapımında en çok kullanılan bir maddedir ve uzun yıllarda bu konumunu koruyacak gibi görünmektedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojisinin üstünlüğü hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir (Partain, 1995).

Ribbon silisyum fotovoltaik hücreler, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Dendritik ağ gibi çeşitli yöntemlerle elde edilen bu hücreler, halen geliştirme aşamasındadır. Verimleri laboratuvar şartlarında %13 - 14 arasındadır (Partain, 1995).

Poliskristal silisyum fotovoltaik hücreler, Bu hücreler de ribbon silisyum teknolojisiyle yapılıp, yapıları polikristal özellik gösterir. Halen laboratuvar aşamasındaki bu hücrelerin verimleri %10'dur (Partain, 1995).

İnce film fotovoltaik hücreler, Bu teknikte, absorban özelliği daha iyi olan maddeler kullanılarak daha ince (tek kristalin 1/500'ü kalınlığında) fotovoltaik hücreler yapılıp. Örneğin amorf silisyum fotovoltaik hücrelerinin absorpsiyon katsayısı kristal silisyum fotovoltaik hücrelerin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile emilebilirken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu emmek için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapıli fotovoltaik hücrelerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı nedeniyle bir avantaj sağlar (Partain, 1995).

Amorf silisyum fotovoltaik hücreler, Amorf silisyum fotovoltaik hücreleri (a-Si), ince filmler fotovoltaik hücre teknolojisinin en önde gelen örneğidir. İlk yapılan a-Si hücreler Schottky bariyer yapısında iken, daha sonraları p-n yapıları geliştirilmiştir. P-n yapısındaki hücrelerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır, bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Verimleri %5 - 8 arasındadır. Ancak bu hücreler, kısa zamanda bozulmaya uğrayarak çıkışları azalır (Partain, 1995).

Diğer yapıdaki fotovoltaik hücreler, Bakır indiyum diselenit (CuInSe) maddesinden yapılan ve verimleri %13 civarında olan hücreler halen gelişme aşamasındadır ve daha kararlı çıkışa sahip olduğu için emme özelliği yüksek, verimleri de %12 civarındadır. Bu güne kadar elde edilen en yüksek verime (%24) galyum arsenit'ten yapılan hücreler ulaşmıştır. Bu madde ile çeşitli türde hücreler elde edilebilmekle birlikte, pahalı olduğu için hücrelerin, güneş spektrumunun daha büyük bir bölümünden yararlanabilmesi amacı ile denenen bir yöntem ise, birden fazla ince film yapısının üst üste konmasıyla elde edilen çok eklemlerli film yapılarıdır (Yümsek, 2010).

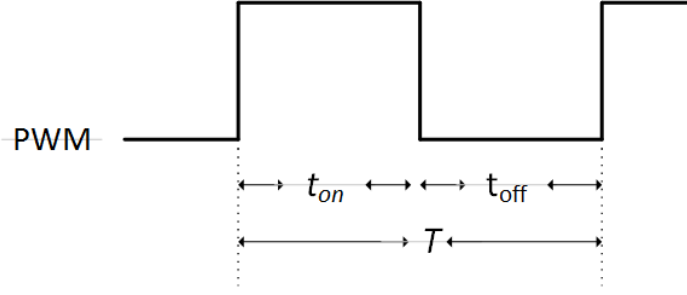
Bunların dışında, güneş ışınımının yüksek verimli hücrelerin üzerine optik olarak yoğunlaştıran sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde güneşin hareketini izleyen düzeneklerin yanı sıra, güneş ışığını kıran (mercek) ya da yansıtan (ayna) eleman kullanılır (Miloseviç vd., 2006)

3.2. DA-DA Dönüştürücüler

Maksimum güç noktası izleyicisi düşürücü veya yükseltici topolojileri üzerine kurulabilir. Yükseltici dönüştürücü genelde düşük çıkış gerilimlerinde, düşürücü dönüştürücü ise daha yüksek çıkış gerilimlerinde kullanılmaktadır. Çoğu durumlarda düşürücü dönüştürücü daha yüksek verim sağlamaktadır. (Yümsek, 2010). MGNI çıkıştaki gerilim seviyesini DA-DA dönüştürücüler aracılığıyla değiştirip maksimum gücü elde etmeye yararlar. Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı N,

$$N = \frac{V_c}{V_p} = \frac{I_p}{I_c} \quad (3.2)$$

Burada V_c çıkış gerilimini, V_p panel gerilimini, I_p panel akımını ve I_c çıkış gerilimini temsil etmektedir. Dönüştürücülerde N oranı mosfetin iletim süresinin değiştirilmesiyle sağlanır. Buna darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM) denmektedir. Şekil 3.8'de PWM sinyaline ait bir periyotluk dalga gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali

Çalışma saykılı, mosfet'in iletimde olduğu sürenin PWM sinyalinin periyoduna bölümüyle bulunur. İletim süresinin hesaplanması aşağıdaki gibidir (Batcheller, 1993).

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (3.3)$$

Burada

D : Çalışma saykılı

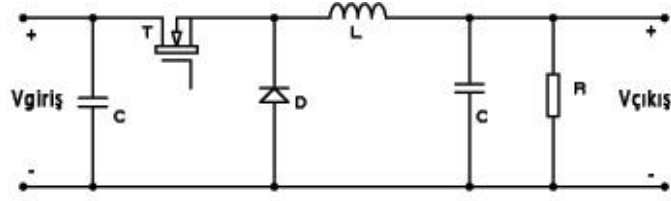
t_{on} : Mosfet iletimde olduğu süre

T : Mosfetin iletimde ve kesimde kaldığı toplam süredir.

PWM sinyalleri mosfeti iletime ve kesime getirmek için kullanılan kapı (gate) bacağına uygulanır

3.2.1. Düşüren (Buck) dönüştürücü

Düşüren yapıdaki dönüştürücüler gerilimi alçaltan, dolayısıyla akımı yükselten devrelerdir. Bu yönleriyle ele alınırsa “akım yükselteçler” de denilebilir. Buck dönüştürücülere ait basitleştirilmiş devre şeması Şekil 3.9’da verilmiştir Bu devreler fotovoltajik sistemlerle kullanıldığında $V_{giriş}$ giriş gerilimi, fotovoltajik panelin gerilimi olmaktadır (Nakir, 2007).



Şekil 3.9. Düşürücü dönüştürücünün basitleştirilmiş devre şeması

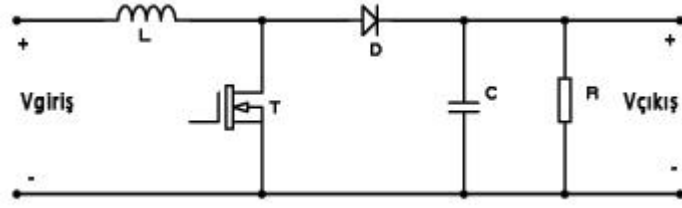
Bu dönüştürücünün çalışması temel olarak, anahtarlama elemanı iletimde iken fotovoltaik panelden alınan enerji hem yükü besler hem de akım yolu üzerinde bulunan endüktansta enerji depolanmasını sağlar. Anahtarlama elemanının devreden çıkmasıyla diyot elemanı iletime geçerek endüktansta birikmiş olan enerjiyle yükü beslemeye devam eder. Bu devrelerde yükün direkt olarak fotovoltaik panelden beslenmediği anahtarlama elemanını kesimde olduğu aralıkta endüktansta birikmiş olan enerji yüke aktarıldığı için çıkış gerilimindeki dalgalanma çok küçüktür. Dolayısıyla çıkış gerilimini filtrelemek oldukça kolaydır.

Düşürücü dönüştürücüler ile çıkış gerilimi, 0 ile giriş gerilimi arasında bir değere ayarlanabilmektedir. Bu tür dönüştürücülerde çıkış gerilimi giriş geriliminden düşük olduğundan N dönüştürme oranı birden küçüktür.

Böyle bir dönüştürücü ile motorlara verilebilecek akım miktarı artırılarak motordan elde miktarı artırılabilir. Dolayısıyla yüksek moment gerektiren ilk kalkış durumları için etkin olarak kullanılabilirler. Bu yönüyle düşürücü anahtarlama dönüştürücüler genelde PV sistemli su pompalama istasyonlarında kullanılmaktadır (Dagher, 1989).

3.2.2. Yükseltici (Boost) dönüştürücü

Yükseltici dönüştürücüler gerilimi yükselten yapılardır. Basitleştirilmiş devre şeması Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu devreler fotovoltaik sistemlerle kullanıldığında V_{giris} giriş gerilimi, PV panelin gerilimi olmakta ve bu giriş gerilimini $V_{çıkış}$ gerilimine, yani sistemdeki akü veya yük gerilimine dönüştürme işlevini üstlenmektedirler. Bu tür devrelerde çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olduğundan N dönüştürme oranı birden büyüktür

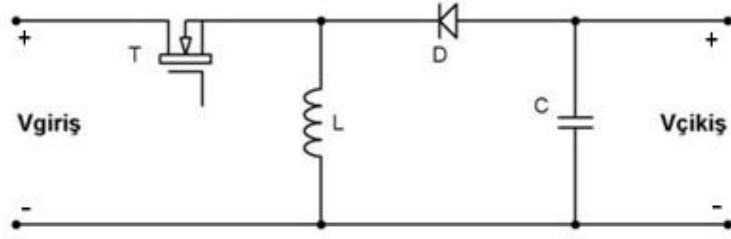


Şekil 3.10. Yükseltici dönüştürücüsün basitleştirilmiş devre şeması

Bu dönüştürücüde dönüşüm, anahtarlama elemanı (T) iletimde iken fotovoltaik yapı endüktans (L) üzerinden akım geçirmek suretiyle endüktansa ilave enerji enjekte etmesi, ardından da anahtarlama elemanının kesime geçmesiyle endüktansta oluşan ters emk'nın diyot üzerinden kapasite elemanını şarj etmesi suretiyle gerçekleşir. Ters emk değeri giriş geriliminden daha yüksek bir gerilime çıkabiliyor oluşundan $V_{\text{çıkış}}$ gerilimi bu devre yapısıyla yükseltilebilmektedir. Çıkış gerilimi, anahtarlama elemanı iletim durumunda iken çıkışta bulunan kondansatörün (C) enerjisiyle sağlandığından, çıkış geriliminde dalgalanmalar söz konusudur. Bu dalgalanmaları filtre etmek üzere konulan paralel kapasitenin çıkış gerilimini sabit kılacak şekilde büyük olduğu kabul edilmektedir (Mohan, 2003). Normalde çıkış gücü, devre elemanlarındaki kayıplardan dolayı fotovoltaik panelden alınan güce eşit olmaz. Ancak iyi bir tasarım ile bu devrelerden çok yüksek seviyelerde verim alınabilmektedir. Yükseltici dönüştürücüler daha çok kendi başına yeten sistemlerde (stand-alone systems) ve maksimum güç noktasındaki gerilim değeri akü geriliminden düşük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

3.2.3. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücü

Düşürücü-Yükseltici yapıdaki dönüştürücüler tüm çalışma durumlarına uygun bir biçimde gerilimi hem alçaltabilen hem de yükseltebilen devrelerdir. Düşürücü-yükseltici anahtarlama dönüştürücülere ait basitleştirilmiş devre şeması Şekil 3.11'de verilmiştir. Bu dönüştürücünün diğer dönüştürücülerden farklı olarak gerilimi tersleyen bir yapısı vardır. Dolayısıyla çıkış geriliminin yönü, giriş gerilim yönünün tersidir. Bundan ötürü “ters çıkışlı dönüştürücü” olarak da bilinmektedir.



Şekil 3.11. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü basitleştirilmiş devre şeması

Bu tür dönüştürücüde temel olarak, anahtarlama elemanı iletimde iken devre endüktans üzerinden akım geçirmek suretiyle endüktansa enerji enjekte eder ve daha sonra anahtarlama elemanı kesime geçince endüktansta oluşan ters emk nedeniyle daha önce enjekte edilmiş olan enerji yük tarafına verilir (Nakir, 2007).

Bu devrelerin verimi diğer dönüştürücüler kadar yüksek değildir. Dolayısıyla genelde MGNI’de kullanılmazlar. Ancak daima yükseltici gibi çalıştırılma durumları için aynı durum söz konusu değildir (Batcheller, 1993). Ayrıca bu tür dönüştürücü sistemlerde giriş ve çıkış geriliminde dalgalanmalar oldukça fazladır ve bu devrelerde, dönüştürücünün yüksüz durumda çalışmasını engellemek üzere koruma yapılarına ihtiyaç vardır.

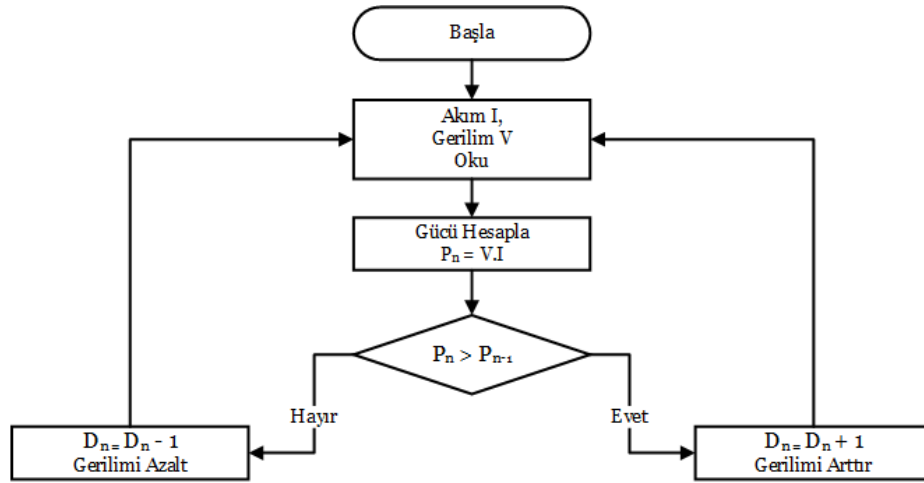
3.3. Maksimum Güç Noktası Takipçisi Algoritmaları

PV panelden yüke aktarılan güç miktarını maksimum yapmak üzere geliştirilmiş birçok analog, dijital devreler ve algoritmalar oluşturulmuştur. Aşağıda maksimum güç noktalarını bulmak için kullanılan algoritmalarından birkaçı verilmiştir.

3.3.1. Değiştir ve Gözetle (Perturb & Observe) algoritması

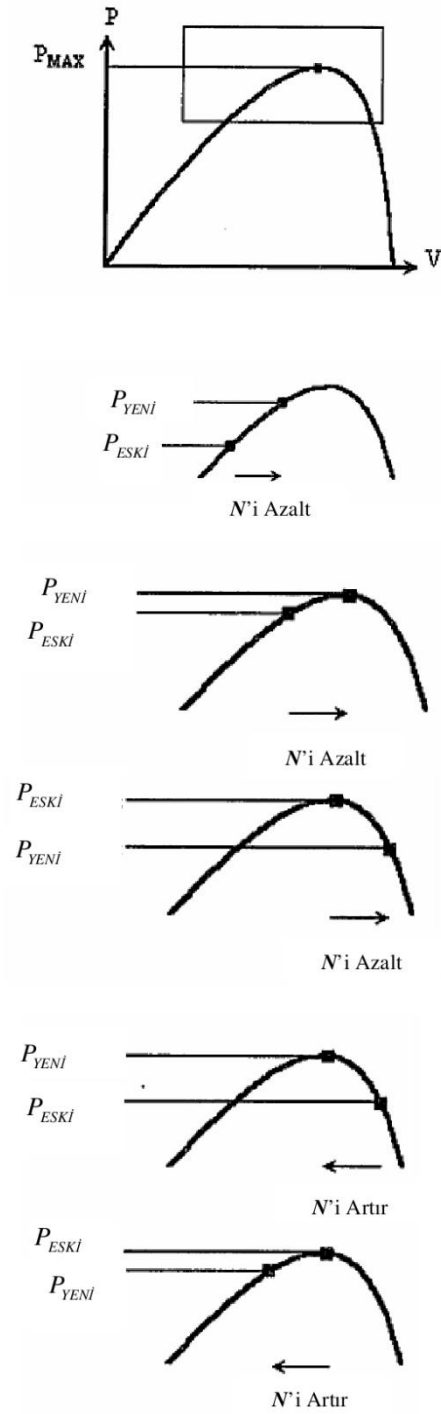
PV sisteme deneme amaçlı gerilim artırımı ve azaltımı yapılarak çıkış gücünde oluşan değişime bakılarak karar verilmesini sağlayan bir algoritmadır. Bu algoritmaya aynı zamanda tepe tırmanma (Hill Climbing) algoritması da denilir. Şekil 3.12’de bu algoritmanın akış şeması görülmektedir. Bu algoritmada bir döngü süresinde aşağıdaki basamaklar adım adım uygulanır.

- I. Çevrim içi süreyi değiştirerek N dönüştürme oranını değiştir.
- II. Bir önceki çevrimde fotovoltaik panelden alınan güç ile yeni çevrimde alınan güç değerini karşılaştır.
- III. Eğer bir önceki çevrimde alınan güç değeri yeni güç değerinden büyükse gerilimin artım veya azalım yönünü değiştir.
- IV. Başa dönerek döngüyü tekrarla



Şekil 3.12. Değiştir ve Gözetle algoritmasının akış şeması

Şekil 3.12’de uygulanan algoritma doğrultusunda yapılan iterasyon sonucu güç noktasındaki değişim gösterilmiştir (Batcheller, 1993).

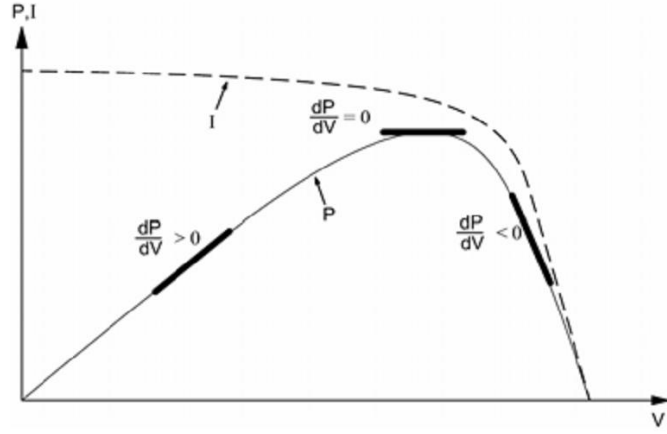


Şekil 3.13. Değiştir ve gözetle algoritması sonucunda bulunan güç noktaları

Şekil 3.13’de görüldüğü gibi sistem, maksimum noktada çalışıyorsa dahi bu nokta etrafında salınım yaptırılarak maksimum güç izlenmesi yapılan bir metottur. Yapı olarak basit olduğu için çokça kullanılan yöntemdir. Bu metot güneş ışınımları değişiminin az olduğu sistemlerde avantajlı bir algoritmadır (Hua ve Shen, 1997).

3.3.2. Artan iletkenlik (Incremental Conductance) algoritması

Artan iletkenlik algoritmasının temeli fotovoltaik panel çıkış gücü eğiminin 0 olduğu yeri MGN, pozitif olduğu yeri maksimum güç noktasının solu, negatif olduğu yeri ise maksimum güç noktasının sağı olarak belirlenmesi ilkesine dayanarak çalışır.



Şekil 3.14. Artan iletkenlik algoritması çalışma eğrisi

Şekil 3.14'de verilen eğri artan iletkenlik algoritmasının temelini oluşturur. Bu eğriden yararlanarak Denklem 3.4'deki eşitlikler yazılabilir (Esrām ve Chapman, 2007).

$$dP/dV = 0 \rightarrow \text{MG noktasında}$$

$$dP/dV > 0 \rightarrow \text{MG solunda}$$

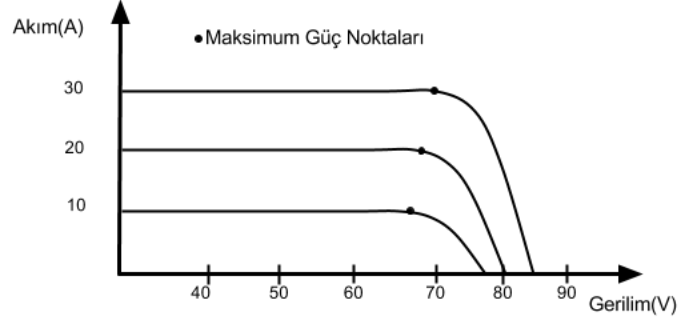
$$dP/dV < 0 \rightarrow \text{MG sağında}$$

(3.4)

eşitliği elde edilir.

Şekil 3.15'de artan iletkenlik algoritmasının akış diyagramı görülmektedir.

Bu algoritmada, MGNI açık devre geriliminin ölçümü amacıyla, PV dizisi akımı anlık olarak sıfıra çeker. Dizinin çalışma gerilimi ölçülen bu değerin %76'sına çekilir. Bu çalışma noktası belirlenen süre miktarınca kullanılır ve sonrasında döngü tekrarlanır (Enslin vd., 1998).



Şekil 3.16. Artan ışınım altında maksimum güç noktasının konumu

Bu karakteristik sayesinde sabit gerilim bazen diğer MGNI teknikleriyle birleştirilmektedir. Bu metot, dizi üzerindeki birbirinden ayrı ışınım ve sıcaklık varyasyonlarının önemsiz ve sabit referans geriliminin doğru MGN için yeterli olduğu yaklaşımını varsaymaktadır. Bu nedenle işlem hiçbir zaman tam olarak MGN'de çalışmayacak ve farklı coğrafik alanlarda farklı bilgi toplanması gerekecektir (Faranda ve Leva, 2008).

Sabit gerilim algoritması MGNI tekniği olmasa bile, DSP veya mikroişlemci gerektirmedikinden uygulanması çok kolay ve basittir.

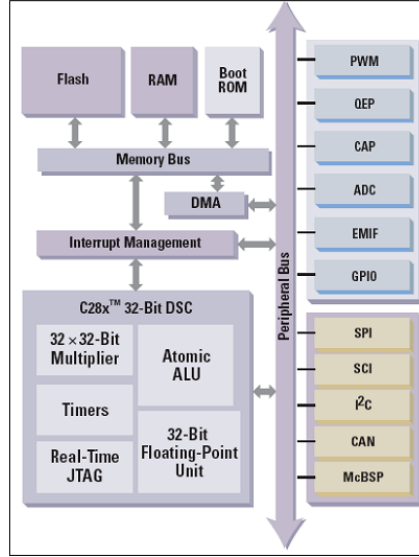
3.4. Mikroişlemci

3.4.1. TMS320F2812 DSP işlemcisi hakkında genel bilgi

Texas Instruments firmasının TMS320DSP ailesinin bir üyesi olan TMS320F2812, bir mikrodenetleyicinin (MCU) çevre birimleri entegrasyonu ve kullanım kolaylığı ile bir DSP'nin işlem gücünü kendi bünyesinde birleştirmiş olan bir mikroişlemcidir. En önemli özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- 150MHz çalışma frekansında 150MIPS'e kadar işlem gücü
- 128k x 16 dahili Flash bellek
- 18k x 16 dahili RAM
- 32 bit kayar noktalı aritmetik birimi
- 150ps çözünürlük ile PWM sinyali üretebilme
- SCI, SPI, I2C ve CAN 2.0b arayüzleri
- 100ns'den daha az kesme gecikmesi
- Kullanıma hazır C/C++ header dosyaları ve hızlı bir C/C++ derleyicisi

Şekil 3.17'de F2812'nin iç mimarisini göstermektedir.



Şekil 3.17. F2812 işlemcisinin iç mimarisi

3.4.2. eZdsp F2812 geliştirme kartının özellikleri

Bu projede kullanılan geliştirme kartı, Spectrum Digital Inc. Firması tarafından üretilmiş olan eZdspF2812'dir. Kart aşağıdaki özelliklere sahiptir:

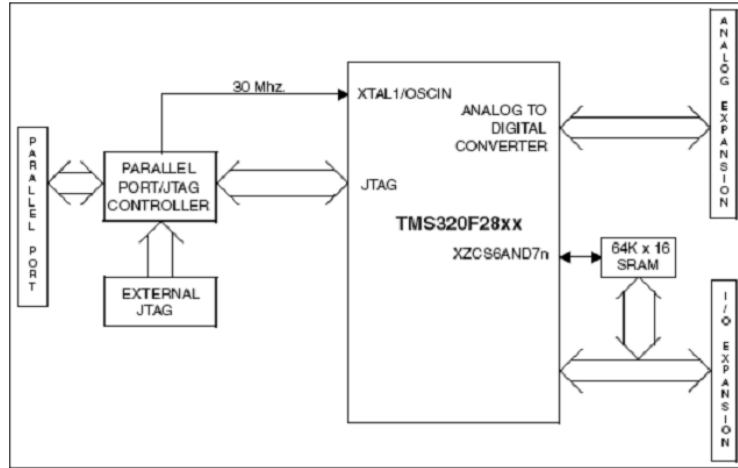
- Soket içerisinde bulunan bir TMS320F2812 DSP
- 30 MHz saat işareti ile 150MHz'ye kadar çalışabilme
- 64k harici SRAM bellek
- 2 genişletme konektörü (analog, I/O)

- IEEE 1149.1 JTAG kontrolörü
- IEEE 1149.1 JTAG emülasyon konektörü
- PC'ye bağlanabilmek için paralel port konektörü

Şekil 3.18'de kartın tepeden görünümünü, Şekil 3.19'da ise kartın blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.18. eZdsp geliştirme kartı

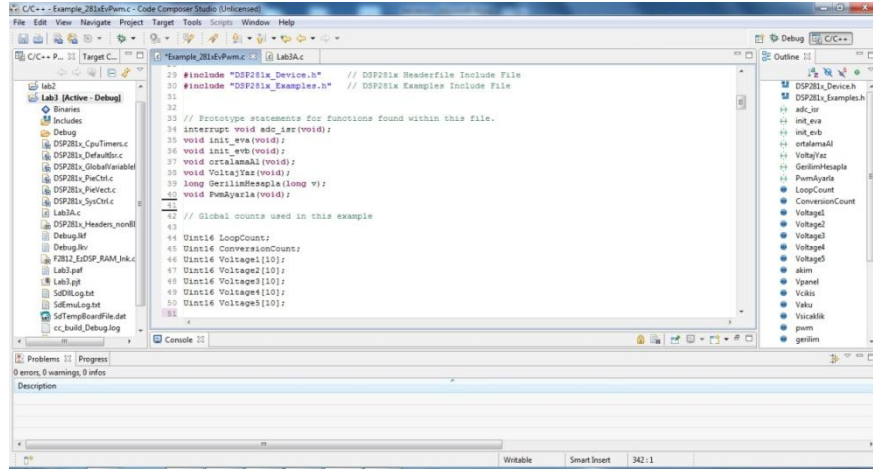


Şekil 3.19. eZdsp F2812 işlemcisinin blok diyagramı

Kart üzerinde, F2812'nin çeşitli özelliklerinin nasıl kullanılacağını belirleyen 8 adet jumper bulunmaktadır.

3.4.3. Yazılım geliştirme ortamı

Simülâtörün gömülü yazılımının geliştirilmesinde Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu Code Composer Studio (CCS) adlı yazılım geliştirme ortamı kullanılmıştır. CCS, içerisinde C/C++ derleyicisi, assembler, linker, debugger, gerçek zamanlı analiz araçları, optimizasyon araçları, çeşitli simülâtörler ve emülasyon sürücülerini barındıran entegre bir geliştirme ortamıdır (IDE). Şekil 3.20’de CCS’nin bir ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.20. Yazılım geliştirme ortamından bir ekran görüntüsü

3.4.4. C/C++ header dosyaları

Texas Instruments firması ürettiği DSP’ler için verimli ve yönetilebilirliği kolay gömülü C/C++ kodu yazılmasını kolaylaştırmak için, bellekteki çeşitli bellek adreslerinde bulunan çevre birimleri yazmaçlarına donanımdan soyutlanmış bir şekilde ulaşmayı sağlayacak bir katman yaratma yoluna gitmiştir. Bu yöntem “Bit alanları ve yazmaç yapıları yöntemi” adı verilmektedir. Bu yöntemi kullanmak, yazmaçlara #define makroları ile erişmekten çok daha kolay, esnek ve verimlidir.

3.4.5. Bir yazılımın F2812 üzerinde çalıştırılması

Çalıştırılmak istenen yazılım, F2812'nin içerisinde bulunan RAM veya EPROM FLASH bellekte depolanabilmektedir. DSP'nin çalıştıracığı kod için hangi belleğe bakacağını seçilmiş olan boot modu belirlemektedir. eZdsp F2812 üzerinde bulunan jumperlar yardımı ile 6 farklı boot modundan birini seçmek mümkündür (Tek, 2008).

“BootFrom H0” modu, işlemcinin boot işlemini içerisinde bulunan H0SARAM üzerinden yapmasını sağlamaktadır. Bu mod, DSP kartının bilgisayara bağlı olduğu ve bütün kodun RAM'e yüklenilmesinin istendiği zaman kullanılmaktadır. Yazılımın DSP'ye anında yüklenmesine ve yazılım içerisinde kullanılmış olan değişkenlerin Code Composer Studio üzerinden gerçek zamanlı olarak izlenmesine (debugging) imkân verdiği için, sistemin geliştirilme aşamasında hep bu boot modu kullanılmıştır. Bu modun kötü tarafı yazılımın uçucu bir belleğe yükleniyor olması ve bu yüzden sistemin her kapatılıp tekrar açıldığında kodu kendisine yeniden yükleyecek olan bir bilgisayara bağlı olarak çalışmaya ihtiyaç duymasındır.

“Boot From Flash” modu, DSP'nin ROM bootloader'ını aktif hale getirerek, DSP resetlendiğinde kod çalıştırma işlemini uçucu olmayan Flash belleğe aktarmaktadır. Bu mod seçili iken ROM bootloader, FLASH bellekte 0x3F7FF6 adresinde bulunan 32 bitlik bir longbranch komutuna (assembly'de LB) dallanmaktadır. Genellikle bu adreste bulunan komut, C derleyicisinin kütüphanesinde bulunan C-ortamı giriş fonksiyonunun (_c_int00) başlangıcına dallanacak şekilde yazılmaktadır. Bu fonksiyon çalışana kadar herhangi bir C kodunun çalışması mümkün değildir. Bu projedeki dallanma komutu ise, _c_int00 fonksiyonuna dallanmadan önce Watchdog zamanlayıcısını kapatmak gibi bazı hazırlık işlemleri yapan bir .asm dosyasına dallanacak şekilde değiştirilmiştir.

Bu boot modunun problemi de FLASH belleğin bekleme zamanlarının sıfırdan farklı olması ve bu sebeple erişim süresinin RAM'e erişim süresinden daha uzun olmasıdır. Texas Instruments'a göre, TMS320F281X serisi işlemcilerindeki dâhili Flash bellekler 90-100 MIPS işlem performansı sunabiliyorken, dahili RAM'ler

150 MIPS'e kadar işlem performansı sunabilmektedir. Bu sorunun çözümü ise hızlı çalışması gereken ve yoğun işlemler içeren vakit alıcı kodların RAM üzerinden çalıştırılmasıdır. Ancak gömülü bir sistemde tüm kodun başlangıçta uçucu olmayan bir bellekte bulunması gerekmektedir. Bu yüzden linker komut dosyasında RAM'den çalışması gereken bu kod blokları için farklı yükleme ve çalışma adreslerinin tanımlanmış olması ve sistem açıldıktan sonra bu kod bloklarının Flash bellekten RAM'e kopyalanmaları gerekmektedir (Tek, 2008).

3.5. Sensörler

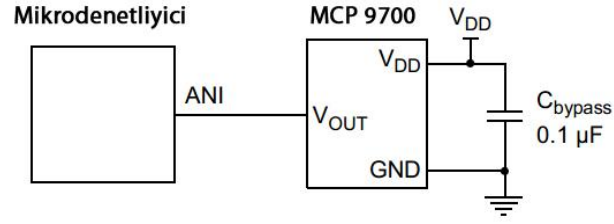
Sistemin istenen fonksiyonları getirebilmesi için ihtiyaç duyduğu gerilim, akım ve sıcaklık bilgilerini almak için aşağıdaki sensörlerden faydalanılmıştır.

- Akünün gerilim seviyesini ölçmek için gerilim sensörü
- Akü sıcaklığını kontrol etmek için sıcaklık sensörü
- Panel ve şarj kontrolcüsünün çıkış gerilimini kontrol etmek için gerilim sensörü
- Yük tarafından çekilen akım kontrol etmek için akım sensörü

Maksimum güç noktalarını takip edebilmek için akım ve gerilim sensörlerinden gelen bilgileri doğru bir şekilde işlemciye aktarmak gerekmektedir. Akünün şarj işlemi sırasında sıcaklığını kontrol etmek için sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Aküden gelen sıcaklık bilgisi algoritmanın işleyişini direkt olarak etkilememektedir fakat akünün standartlara uygun şekilde şarj edildiğini kontrol etmek için gereklidir.

3.5.1. Sıcaklık sensörü

Akünün sıcaklığını takip etmek amacıyla sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Kullanım kolaylığı, kolay bulunabilirliği, pahalı olmaması gibi sebeplerle MCP9700 sıcaklık sensörü tercih edilmiştir.

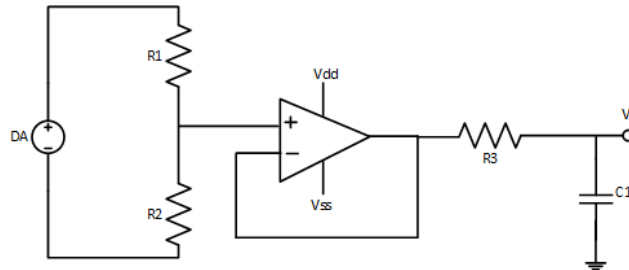


Şekil 3.21. MCP9700 sıcaklık sensörü

MCP9700 MicroChip firması tarafından üretilen ve termistörlere göre daha verimli bir şekilde sıcaklık ölçebilen bir sensördür. Şekil 3.21’de MCP9700 entegresi görülmektedir. MCP9700 -40 ile 150 °C arasında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Bu sıcaklık sensörü ortam sıcaklığıyla orantılı olarak değişen bir çıkış gerilimi üretmektedir. Çıkış gerilimi 0 °C’de 500mV’dur ve her 1 °C artışında çıkış gerilimi 10 mV artmaktadır. Aşağıdaki denklemde MCP9700 entegresi ile sıcaklık ölçmede kullanılan formül görülmektedir. Sensörü doğru çalıştırmak için ek olarak başka bir donanım birimine ihtiyaç duymaz. MCP9700 entegresi -40 ile 150 °C arasındaki sıcaklığı $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle ölçebilmektedir.

3.5.2. Gerilim sensörü

Gerilim sensörü temel olarak giriş ve çıkış gerilimlerini ölçmek için dirençlerle oluşturulan gerilim bölücülerdir. Seri bağlı R_1 ve R_2 dirençleri ölçülme istenen gerilime paralel bağlanarak ölçüm işlemi yapılmıştır. Şekil 3.22’de kullanılan gerilim sensörü görülmektedir.

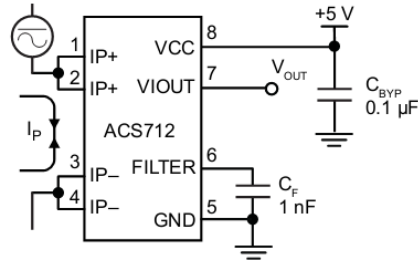


Şekil 3.22. Gerilim sensörü

Bu devrede R_1 direnci ve R_2 trimpotu ile gerilim bölünmüştür. R_2 trimpotu ile çıkış gerilimi mikroişlemcinin analog girişlerine uygulanabilecek seviyeye ayarlanmıştır.

3.5.3. Akım sensörü

Maksimum güç noktası takibi algoritmasında güç hesabını yapabilmek için sistemden çekilen akım bilinmelidir bu yüzden sistemden doğru ve hassas bir akım okuma işlemi yapılmalıdır. Bu amaçla piyasada kullanılabilir birçok akım sensörü bulunmaktadır. Bunlar arasında fiyat uygunluğu ve hassas bir ölçüm yapabilmesi sebebiyle Allegro Microsystem tarafından üretilen ACS712 akım sensörü kullanılmıştır. Şekil 3.23’de kullanılan ACS712 akım sensörü görülmektedir.



Şekil 3.23. ACS712 akım sensörü

ACS712 akım sensörü AA ve DA sinyallerde 5A’ye kadar hassas bir şekilde akım ölçümü yapabilmektedir. Entegre 5V gerilimle çalışmaktadır.

3.6. Akü

Fotovoltaik sistemlerde aküler, geceleri kullanım için veya gündüzleri fotovoltaik paneller yük ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli gücü üretmediği zamanlar için elektrik depolarlar. Akünün sistem içinde doğru işletilmesi aydınlatma sisteminin güvenilir çalışmasının en önemli yönüdür. Akü hücrelerinin kapasiteleri amper saat cinsinden verilir. Tam şarjlı bir aküden belirli bir deşarj oranı ve elektrolit sıcaklığı altında, belirli bir gerilime kadar çekilebilen elektrik miktarıdır. Şekil 3.24’de kullanılan akü görülmektedir.



Şekil 3.24. Kullanılan akünün dıştan görünümü

Kullanılan akünün genel özellikleri;

- Tam olarak kapalı bakımsız tiptir.
- Geniş ısı yelpazesinde çalışabilir.
- Özel alçak basınçlı emniyet valfleri ile teçhiz edilmiştir.
- İç direnci düşük olup, bekleme kayıpları son derece azdır.
- Yatay ve dikey herhangi bir pozisyonda çalıştırılabilir.
- Uzun ömürlü ve yüksek performanslıdır.

Kullanım alanları;

- Yedek aydınlatma sistemleri
- Yangın emniyet sistemleri
- Kesintisiz güç kaynakları
- Haberleşme cihazları
- Kontrol cihazları
- Alarm sistemleri

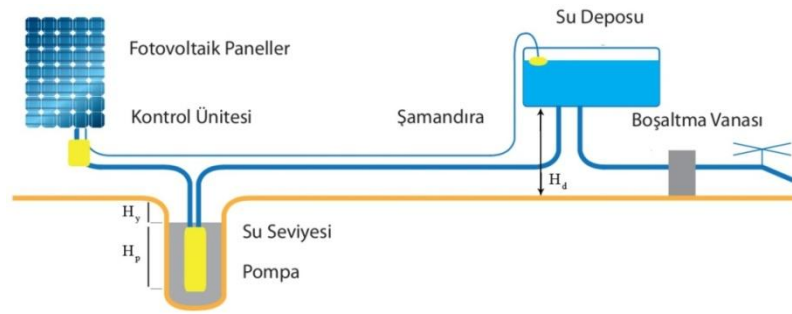
Akünün verimliliğini belirlemede kullanılan başlıca parametreler şunlardır. Akü tipleri, kapasiteleri, maksimum şarj akımları, gaz hali voltaj değerleri, sıcaklık, üretici toleransları, akünün dinamik zaman sabiti, akünün yaşı ve gaz haline etki eden diğer parametreler gibi. Bu parametrelerin birbirine bağlı olması da söz konusudur (Özgöçmen, 2007).

3.7. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri

Fotovoltaik sulama sistemleri sulama yapılacak alanın veya su tüketimi yapılacak bölgenin ihtiyacını karşılayacak suyu pompanın enerji ihtiyacını güneş enerjisinden

sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerde yük pompanın harcayacağı enerji miktarıdır ve bu miktar pompalanacak suya bağlıdır. Bu yüzden sistem tasarımı yapılırken öncelikle ihtiyaç duyulan su miktarının belirlenmesi ile başlanır. Sonraki aşamada ihtiyacı karşılayacak pompa seçilir son olarak da sistemi besleyebilecek fotovoltaik panel seçimi yapılır. Sulama yapılacak alanda ekilen bitkinin tükettiği su miktarının hesaplanması, doğru ve ihtiyaca net cevap veren verimli bir sulama sistemi için vazgeçilmez bir unsurdur (Ertürk, 2007).

Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemleri temel olarak derin kuyu ve yüzey sulama olarak iki bölüme ayrılır. Her iki sulama yönteminde de suya daldırılabilir (dalgıç tipi) ya da daldırılmaz (yüzey tipi) pompalar kullanılabilir. Şekil 3.25’de güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemi görülmektedir.



Şekil 3.25. Fotovoltaik sulama sistemi (Gessolar, 2012)

Sulama sistemini tasarımı yapılırken aşağıdaki üç faktörün bilinmesi gerekmektedir.

1. Suyun pompalanacağı toplam yükseklik
2. Günlük su gereksinimi
3. Bölgedeki ortalama güneş ışınım yoğunluğu

Suyun pompalanacağı toplam yükseklik, pompanın kuyu içerisindeki derinliğine, su yüzeyinin derinliğine ve deponun yüksekliğine bağlıdır. Su yüzeyinin derinliği suyun çekilme miktarına ve mevsim yağışlarına göre değişiklik göstermektedir. Eğer su yüksekliğinde büyük değişimler gözleniyorsa ortalama yükseklik alınmalıdır. Toplam yükseklik aşağıdaki formülle hesaplanmalıdır.

$$H = H_d + H_y + H_s \quad (3.6)$$

Burada H toplam yüksekliği, H_d depomun yerden yüksekliğini, H_y su yüzeyinin derinliğini H_p pompanın su içerisindeki derinliğini göstermektedir. Kuyudan su çekmek için gerekli olan enerji aşağıdaki formülle bulunabilir.

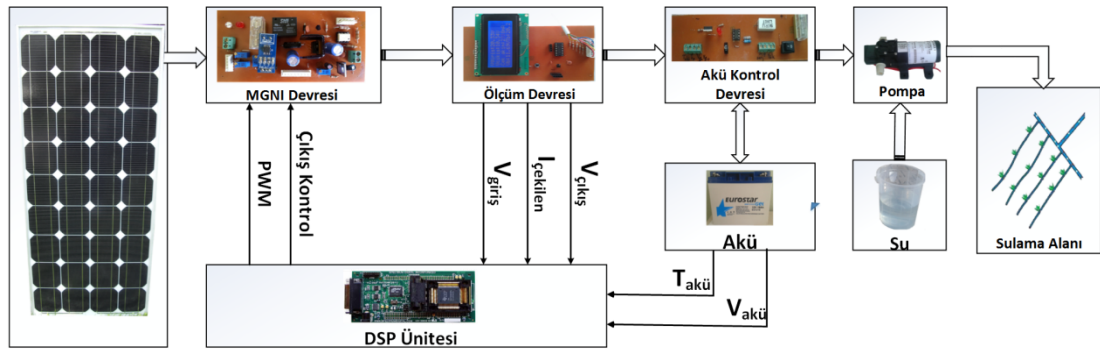
$$E = \rho g V H \quad (3.7)$$

Burada, E gerekli olan hidrolik enerji (watt-saat/gün), ρ su yoğunluğu (1001 kg/m^3 , $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta), g yerçekimi sabiti ($9,8066 \text{ m/s}^2$) ve H su pompaladığımız yüksekliktir (Yeşilata ve Gençoğlu, 2011).

Tarımsal sulamada su ihtiyacı; ekili alanın büyüklüğü, ekinin günlük su ihtiyacı, mevsim ve hava durumu, toprağın özellikleri gibi değişkenlere bağlıdır. Gerekli olan fotovoltaik pil ihtiyacını belirlemek için sistemi kuracağımız bölgedeki ortalama güneş enerjisi dağılımını bilmek gerekir. Gerekli olan bu bilgi en yakın meteoroloji istasyonundan alınabilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Fotovoltaik sistemler ile yük veya akü arasındaki güç aktarımını uyumsuzluğu gidermek için DA-DA çeviriciler gibi devrelere kullanılmaktadır. DA-DA çeviriciler düşürücü, yükseltici ve düşürücü-yükseltici yapıda olabilir. Temelde bir MGNI'de belirli bir gerilim seviyesindeki gücü farklı bir gerilim seviyesindeki güce dönüştüren DA-DA dönüştürücüdür. Şekil 4.1'de hazırlanan fotovoltaik sistem ait blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.1. Güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemi blok diyagramı

4.1. Güç Katının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Gerilim azaltma işlemi yapan çeviricinin ihtiyaç duyduğu PWM sinyali, devredeki parazitik indüktansların etkilerini azaltacak kadar düşük, aşırı boyutlarda filtre elemanlarına gerek duymadan düşük gerilim dalgalanması sağlayacak kadar da yüksek bir değer olmalıdır. Yapılan deneyler sonucunda 50 kHz'lik anahtarlama frekansının yeterli olduğu görülmüştür. Bobinin endüktans değerinin ve akım dalgalığının hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$L = \frac{V_{dc}}{2.f.lb} D(1 - D) \quad (4.1)$$

Çıkış gerilimindeki dalgalanma, filtre kondansatörünün eşdeğer seri direnci (ESR), eşdeğer seri endüktansı (ESL) ve kapasitesi (C) tarafından belirlenmektedir (Tek, 2008). Tasarlanan güç devresinin çalışma frekansı düşük olduğu için ESL'nin etkisi

ihmal edilebilmektedir. Çıkış gerilimindeki dalgalanmanın sadece kapasiteye bağlı olduğu varsayılırsa, 50mV'luk bir dalgalanma için gereken kapasite değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$ESR \leq \frac{\Delta V_o}{\Delta I_L} \rightarrow \frac{70\mu F \cdot \Omega}{C} \leq \frac{50 \text{ mV}}{100 \text{ mA}} \rightarrow C \geq 140 \mu F \quad (4.2)$$

Burada;

ESR : Eşdeğer seri direnç

V_o : Çıkış gerilimi

I_L : Bobin akımı

Bu hesaplardan sonra, çıkıştaki gerilim dalgalanmasının düşük kaliteli, yüksek ESR'li bir kondansatör kullanılması durumunda bile 50mV'dan daha düşük olacağından emin olmak için 570 μF değerinde bir kondansatör kullanılmasına karar verilmiştir.

Tasarımın sonraki adımında uygun bir anahtarlama elemanı seçilmiştir. Anahtarlama elemanı olarak mosfetler arasında piyasada kolaylıkla bulunabilen, 500V maks. gerilim ve 8A maks. akım değerine sahip IRF840 kullanılmıştır. Seçilmesi gereken son eleman serbest geçiş diyotudur. Bu elemanın seçimi sırasında dikkat edilmesi gereken özellikleri, hızı, delinme gerilimi ve akım kapasitesidir. Bu çalışmada kullanılan diyot, 100V gerilim ve 4A akım değerine sahip, çok hızlı bir diyot olan MRB2110'dur.

Devrede, DA-DA dönüştürücünün ana elemanları dışında, mosfet'in sürülmesi, çıkış gerilim ve akımının ölçülmesini sağlayacak birkaç eleman daha kullanılmıştır. Bu devredeki mosfeti sürmek için TLP 250 adlı optokuplör kullanılmıştır. Ayrıca çıkışa aktarılan gerilim kontrol için bir röle kullanılmıştır. Güç devresi ve DSP kartının toprakları ölçüm devresinde birbirine bağlanarak gürültü oluşumu engellenmiştir.

Maksimum güç noktası takibi yapan güç devresi ve ölçüm devresi en az sayıda devre elemanı kullanarak baskı devre üzerine yapılmıştır. Şekil 4.2'de hazırlanan güç

devresi görülmektedir. Hazırlanan devreye ait baskı devre şeması EK A.1’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Güç devresi

Çizelge 4.1. Güç devresine ait konektörlerinin açıklamaları

Konektör	Açıklaması
+ -	Besleme konektörleri
J _g	Panel çıkış sinyali konektörü
J _I	Çekilen akım konektörü
J _ç	MGNI çıkış gerilimi konektörü
J _a	Akü gerilimi konektörü
J _t	Akü sıcaklık konektörü
J _{pwm}	PWM sinyali girişi
J _{kont}	MGNI çıkış gerilimi kontrol kon.
J _{aku}	Akü gerilimi konektörü
J _t	Akü sıcaklık konektörü

4.2. Ölçüm Katının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Kontrol devresi çıkış gerilimini ayarlarken giriş gerilimi, çekilen akımı ve çıkış gerilimini sürekli kontrol etmektedir. Bu bilgilerin DSP işlemcisine eş zamanlı olarak aktarılması gerekmektedir. Kontrol sistemin Akü sıcaklığı 32°C’yi aştığı zaman şarj işlemini kesilmelidir.

Güç devresindeki bilgileri DSP’ye aktarmak için analog-dijital çevrime (ADC) ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı karşılama için önce DSP üzerinde bulunan 12-Bit analog-dijital çevirici kullanılmaya karar verilmiştir. Fakat yapılan ölçümler sonunda DSP

üzerindeki tümleşik ADC'nin ölçtüğü değerlerin sürekli salınım yaptığı ve dolayısıyla yanlış ölçümler yaptığı görülmüştür. Bu sebeple analog-dijital çevrim ihtiyacını harici bir ADC entegresi kullanılmıştır. Ölçüm devresinde analog-dijital çevrimi yapmak için Microchip firmasının ürettiği MCP3208 entegresi kullanılmıştır. MCP3208 entegresinin başlıca özellikleri aşağıdaki gibidir.

- 12-Bit çözünürlük
- 8 kanal ölçüm kapasitesi
- SPI üzerinde 2MHz'e kadar veri aktarım hızı
- 3.3V besleme ile 75 kbps örnekleme hızı

Yukarıdaki özellikler hassas bir ölçüm için tüm şartları sağladığından analog-dijital çevrim için bu entegre seçilmiştir.

Devrede giriş ve çıkışlarda yüksek frekans sebebiyle oluşan gürültüyü azaltmak için RC filtreler kullanılmıştır. RC filtreler $1k\Omega$ direnç ve 100 nF kondansatör ile oluşturulmuştur. Tasarım tamamlandıktan sonra devrenin EK 2'de verilmiş olan baskı devre şeması Proteus programı kullanılarak çizilmiştir. Hazırlanan ölçüm devresi Şekil 4.3'de görülmektedir.

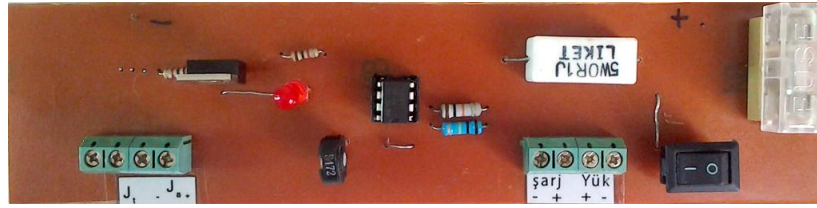


Şekil 4.3. Ölçüm devresi

Çizelge 4.2. Ölçüm devresine ait konektörlerinin açıklamaları

Konektör	Açıklaması
+ -	Besleme konektörleri
J _g	Panel çıkış sinyali konektörü
J _I	Çekilen akım konektörü
J _ç	MGNI çıkış gerilimi konektörü
J _a	Akü gerilimi konektörü
J _t	Akü sıcaklık konektörü
Cs	MCP320 Chip select konektörü
D _{in}	MCP3208 Entegresine ait veri giriş konektörü
D _{out}	MCP3208 Entegresine ait veri çıkış konektörü
Clk	MCP3208 saat sinyali giriş konektörü

Şekil 4.4'de akü üzerinde şarj kontrolünü ve sisteme bağlanan yükün kontrolünü yapan devre görülmektedir.



Şekil 4.4. Akü şarj kontrol devresi

Çizelge 4.3. Akü kontrol devresine ait konektörlerinin açıklamaları

Konektör	Açıklaması
J _t	Akü sıcaklığı
J _a	Akü gerilimi ölçüm sinyali
Şarj	Akü şarj portu
Yük	Yük portu

4.3. Kontrol Sisteminin DSP Üzerinde Gerçekleştirilmesi

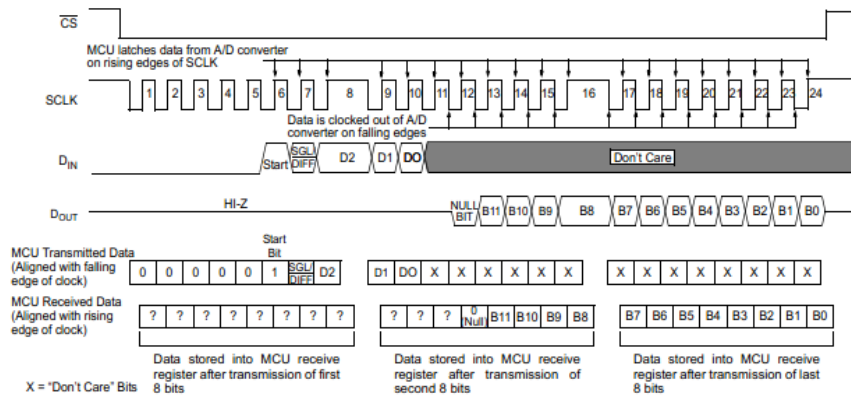
Sistemdeki bilgilerin dijital bilgiye çevirerek DSP'ye aktarmak için SPI portu üzerinden haberleşebilen MCP3208 entegresi kullanılmıştır. İletişimin sorunsuz yapılabilmesi için ADC entegresi slave modunda ve en fazla 2 Mhz'lik hızda çalıştırılması gerekmektedir. Çevrim işleminin başlatılabilmesi için MCP3208'e 1byte boyutunda bir kontrol verisinin gönderilmesi gerekmektedir. Bu kontrol

verisinin içerisinde hangi kanalın çevrim işlemine alınacağı entegreye bildirilmektedir. MCP3208'in veri sayfasından alınan kontrol verisi formatı Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Control Bit Selections				Input Configuration	Channel Selection
Single /Diff	D2	D1	D0		
1	0	0	0	single-ended	CH0
1	0	0	1	single-ended	CH1
1	0	1	0	single-ended	CH2
1	0	1	1	single-ended	CH3
1	1	0	0	single-ended	CH4
1	1	0	1	single-ended	CH5
1	1	1	0	single-ended	CH6
1	1	1	1	single-ended	CH7

Şekil 4.5. MCP3208 Entegresine ait kontrol verisi

Kontrol verisinde görüldüğü gibi çevrim işlemi toprağa referanslı (single ended) olarak ayarlanmıştır. Hangi kanalda çevrim yapılacaksa ilgili kanalın numarası seçiler ve başına start biti eklenerek MCP3208'e gönderilmelidir. DSP veri sayfasına göre gönderilecek veriler 16 bit uzunluğunda ve sola dayalı olmalıdır. Bu durumda işlemciye gönderilecek kontrol verileri sırasıyla 0x1800, 0x1900, 0x1A00, 0x1B00, 0x1C00 ve 0x1D00 dır. Kontrol verisi gönderildikten sonra 12 bitlik çevrim sonucunu okumak için MCP3208'e 0 gönderilir buna karşılık entegre ilk 4 biti gönderir tekrar entegreye 0 gönderilir buna karşılık son 8 bitlik bilgiyi işlemciye gönderir bu iki bilgi birleştirilerek ADC çevrim sonucu elde edilmiş olur. Şekil 4.6'da çevrim işleminin zaman diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.6. Çevrim işleminin zaman diyagramı.

Analog-dijital çevirme işleminin başlatılıp çevrim sonucunun okunabilmesi için yazılan fonksiyon Şekil 4.7’de görülmektedir.

```
void ADC_Oku()
{
    GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIOD0 = 0;
    SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1800 ;
    while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ;
    RBT = SpiaRegs.SPIRXBUF;
    SpiaRegs.SPITXBUF = 0x00;
    while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ;
    RBO = SpiaRegs.SPIRXBUF;
    SpiaRegs.SPITXBUF = 0x00;
    while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ;
    RB1 = SpiaRegs.SPIRXBUF;
    GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIOD0 = 1;
    Volt = (long)( ( ( RBO<<8) | RB1>>4) );
}
```

Şekil 4.7. Analog-dijital çevrim sonucunu okuyan fonksiyon.

Event maneger B modülü ile Timer 3’ü 50 kHz PWM sinyali oluşturacak şekilde ayarlayan init_evb adında bir fonksiyon yazılmıştır. PWM sinyali oluşturmak için kullanılan event maneger modülü saat işareti olarak DSP’nin bir alt saat işaretçisi olan yüksek hızlı saat işaretçisini (HSPCLK) kullanmaktadır. Projede kullanılan HSPCLK frekansı 150 MHz’lik ana osilatör frekansının 4’e bölümüdür. F_{osc} 150MHz olduğundan HSPCLK Denklem 4.3’de gibi hesaplanır.

$$T_{HSPCL} = \frac{1}{F_{osc}/4} = \frac{1}{150MHz/4} = 6,667ns \quad (4.3)$$

Timer 3’ün 50 kHz PWM üretebilmesi için ayarlanması gereken değer Denklem 4.4’de gibi hesaplanmıştır.

$$T3PR = \frac{20us}{6,667ns} = 3000 \quad (4.4)$$

DA-DA dönüştürücün ihtiyaç duyduğu PWM sinyalini oluşturmak için kullanılan init_evb fonksiyonu Şekil 4.8’de verilmiştir.

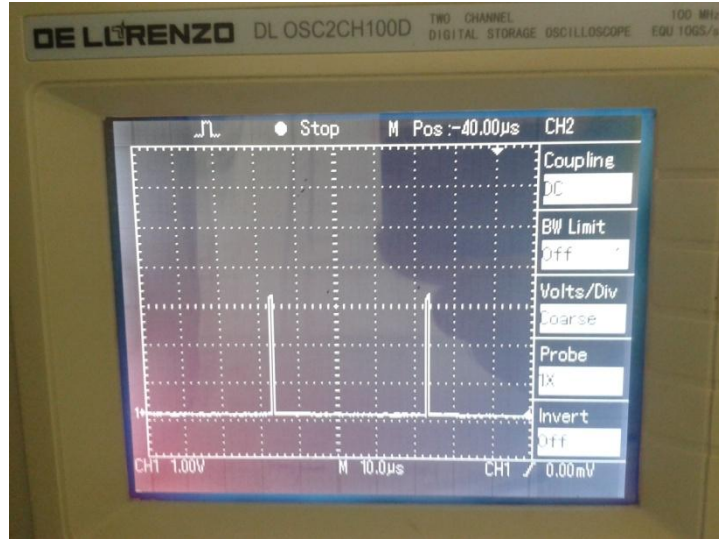
```

void init_evb()
{
    EvbRegs.T3PR = 3000;
    EvbRegs.T3CMPR = 0x3C00;
    EvbRegs.T3CNT = 0x0000;
    EvbRegs.T3CON.all = 0x1042;
    EvbRegs.T4PR = 0x00FF;
    EvbRegs.T4CMPR = 0x0030;
    EvbRegs.T4CNT = 0x0000;
    EvbRegs.T4CON.all = 0x1042;
    EvbRegs.GPTCONB.bit.TCMPOE = 1;
    EvbRegs.GPTCONB.bit.T3PIN = 1;
    EvbRegs.GPTCONB.bit.T4PIN = 2;
    EvbRegs.CMPR4 = 100;
    EvbRegs.CMPR5 = 0x3C00;
    EvbRegs.CMPR6 = 0xFC00;
    EvbRegs.ACTRB.all = 0x0666;
    EvbRegs.DBTCONB.all = 0x0000;
    EvbRegs.COMCONB.all = 0xA600;
}

```

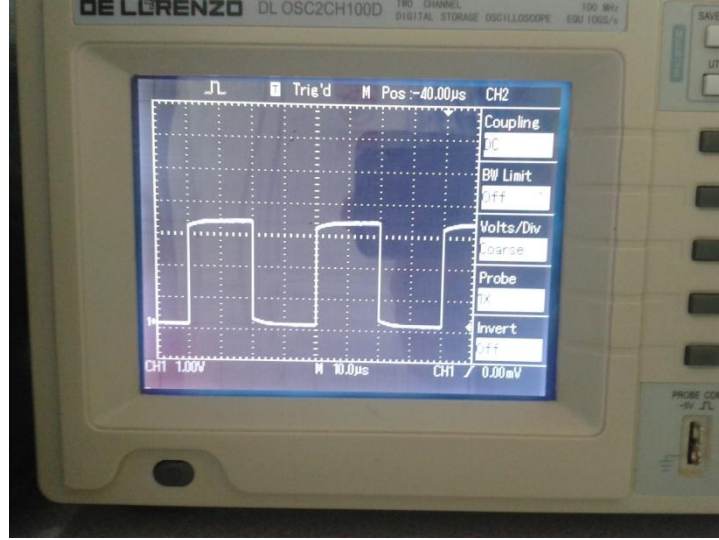
Şekil 4.8. Init_evb fonksiyonu

MGNI'da DSP tarafından oluşturulan %1 çalışma oranına sahip PWM sinyali De LLRenzo marka osiloskoptaki görüntüsü Şekil 4.9'daki gibi izlenmiştir.



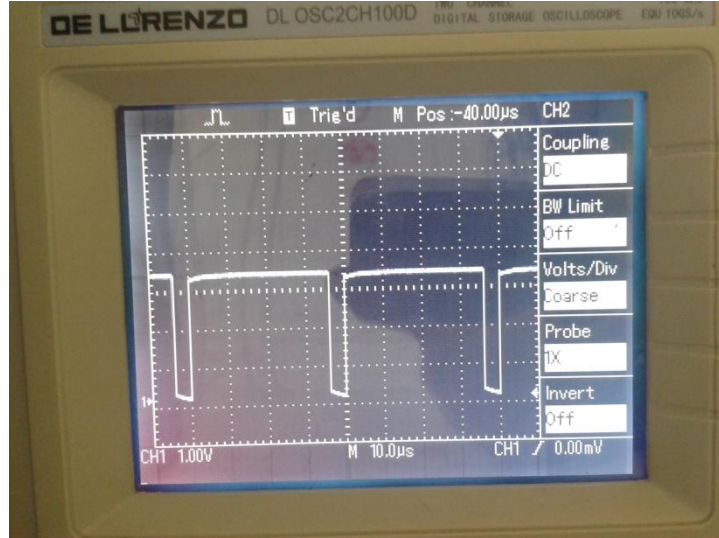
Şekil 4.9. %1 çalışma oranına sahip PWM sinyali

Şekil 4.10'da DSP tarafından oluşturulan %50 çalışma oranına sahip PWM sinyali görülmektedir.



Şekil 4.10. %50 çalışma oranına sahip PWM sinyali

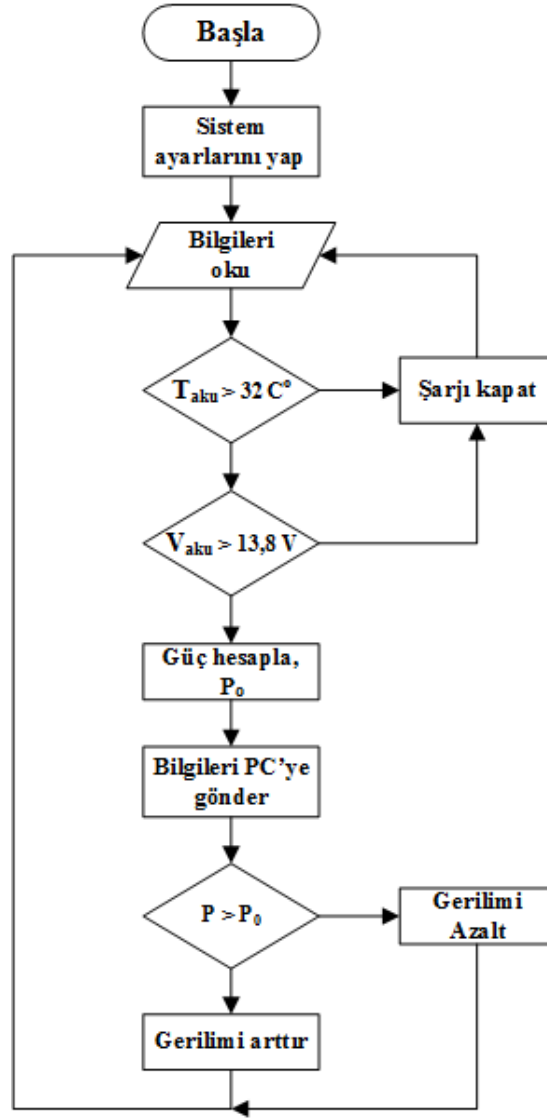
Şekil 4.11’de DSP tarafından oluşturulan %90 çalışma oranına sahip PWM sinyali görülmektedir.



Şekil 4.11. %90 çalışma oranına sahip PWM sinyali

MGNI yazılımı, öncelikle değişken tanımları ve işlemci kayıtlarının ayarlanması ile başlamaktadır. Sonra DSP çevre birimleri, SPI, PWM ve SCI modüllerinin ayarlanması yer almaktadır. Yazılım her 50 μ s’de bir çekilen gücü hesaplayıp bir önceki çekilen güçle karşılaştırmaktadır. Çekilen gücün durumuna göre PWM sinyalini ayarlayarak gerilimi arttırıp azaltmakta ve maksimum güç noktalarını

bulmaktadır. DSP üzerinde çalışan yazılımın blok şeması Şekil 4.12’de görülmektedir



Şekil 4.12. Yazılımın akış diyagramı

Çıkış için referans gerilimi akü üretici firma tarafından belirlenen 14,0-14,5V olarak seçilmiştir. Maksimum güç noktalarını bulan D&G algoritmasının kodları Şekil 4.13’de verilmiştir. Bu kodlar ile sistemin çıkış gücü sürekli hesaplanmakta ve buna göre PWM sinyali oluşturulmaktadır.

```
sonraki_Guc = GucHesapla(adc_gerilim, adc_akim);  
  
if (sonraki_Guc > onceki_Guc){DutyArttir();}  
else if (sonraki_Guc <= onceki_Guc){ DutyAzalt();}  
  
if(sonraki_Guc >= onceki_Guc){DutyAzalt();}  
else if (sonraki_Guc < onceki_Guc){ DutyArttir(); }  
  
onceki_Guc = sonraki_Guc;
```

Şekil 4.13. Kontrol fonksiyonu

4.4. MGNI İzleyici İçin Deneysel Sonuçlar

Tasarlanan sistemin çalışmasını gözlemlemek için aşağıdaki deney düzenekleri kurulmuştur. Şekil 4.14’de 03.05.2014 tarihinde yapılan MGNI’li deney düzeneği görülmektedir. Deney düzeneğinde fotovoltaiik panel çıkışı güç devresine bağlanmıştır. Güç devresinin çıkışına yük ve akü bağlanmıştır. Gerilim, akım, güneş ışınım gücü, sıcaklık değerleri seri port ile bilgisayardaki veritabanına aktarılmıştır.



Şekil 4.14. Güneş panelinin sisteme MGNI ile bağlı olduğu deney düzeneği

Deney düzeneğinde,

- 1 Güneş ışınım gücü ölçüm cihazı
- 2 Ölçüm devresi
- 3 TMS320F2812
- 4 Güç Devresi
- 5 Akü şarj kontrol devresi
- 6 DA su pompası motoru

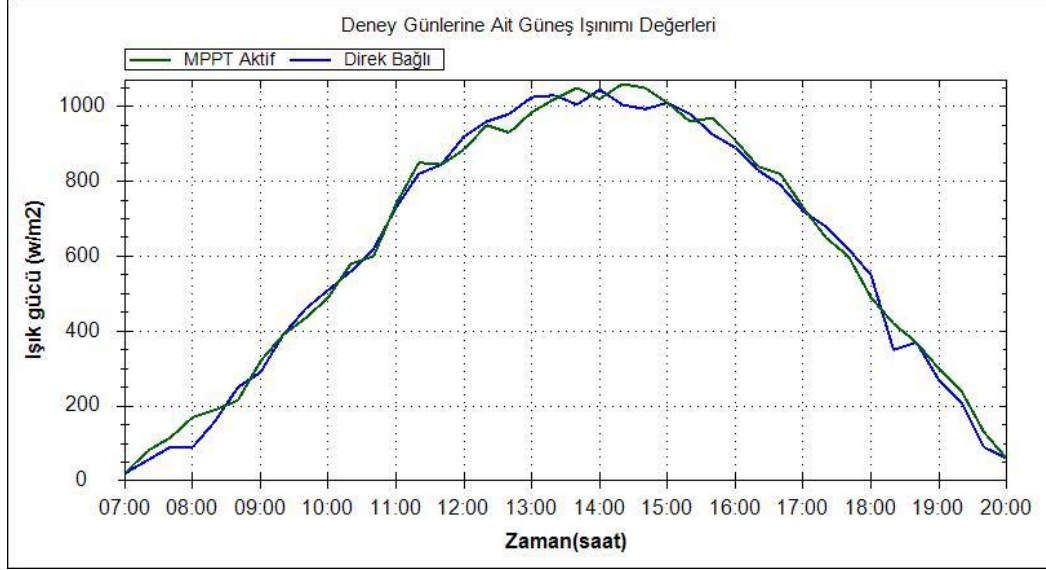
Şekil 4.15’de direk bağlı sistem görülmektedir. Bu deney 04.05.2014 tarihinde yapılmıştır. Deneyde fotovoltaik panel direk yük ve aküye bağlanmıştır. Gerilim, akım, güneş ışınım gücü, sıcaklık manuel olarak ölçülmüş ve veritabanına kaydedilmiştir.



Şekil 4.15. Güneş panelinin sisteme direk bağlı olduğu deney düzeneği

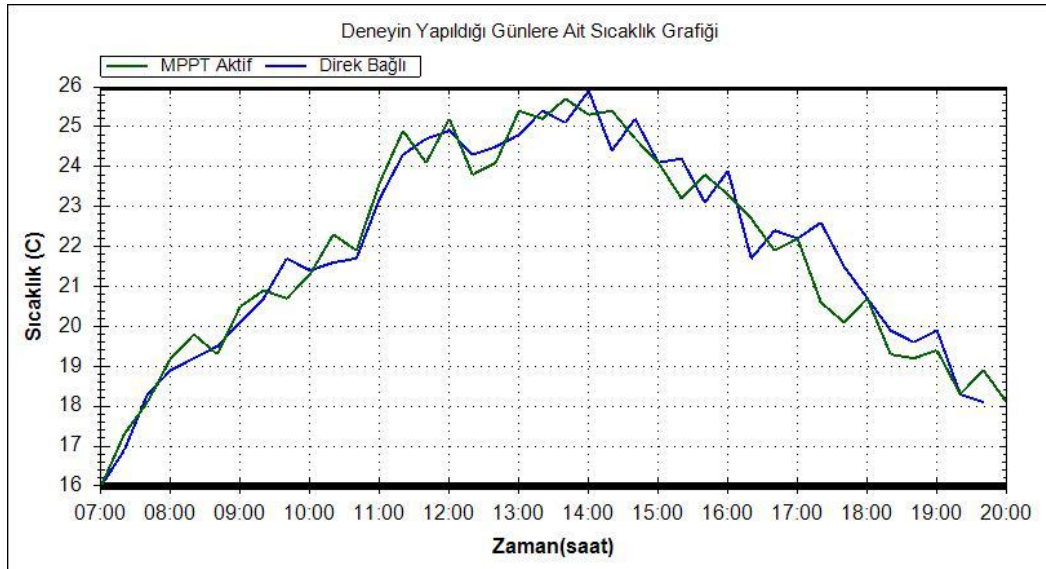
Her iki deney düzeneğinde $37^{\circ}27'$ kuzey enleminde $30^{\circ}34'$ güney boylamında yer alan Bucak/Burdur’da yapılmıştır. Deneyde kullanılan panel 1000 W/m^2 güneş ışınımı ve 25°C sıcaklıkta maksimum 100 W güç üretebilmektedir. Panelin açık devre gerilim değeri 22.3 V , kısa devre akım değeri 5.17 A ’dir.

Deneyler esnasındaki panel yüzeyine dik gelen güneş ışınımına ait değerler Şekil 4.16'daki grafikte görülmektedir.



Şekil 4.16. Güneş ışınımı değerleri (w/m²).

Deney günlerine ait sıcaklık değerleri ise 4.17'de görülmektedir.

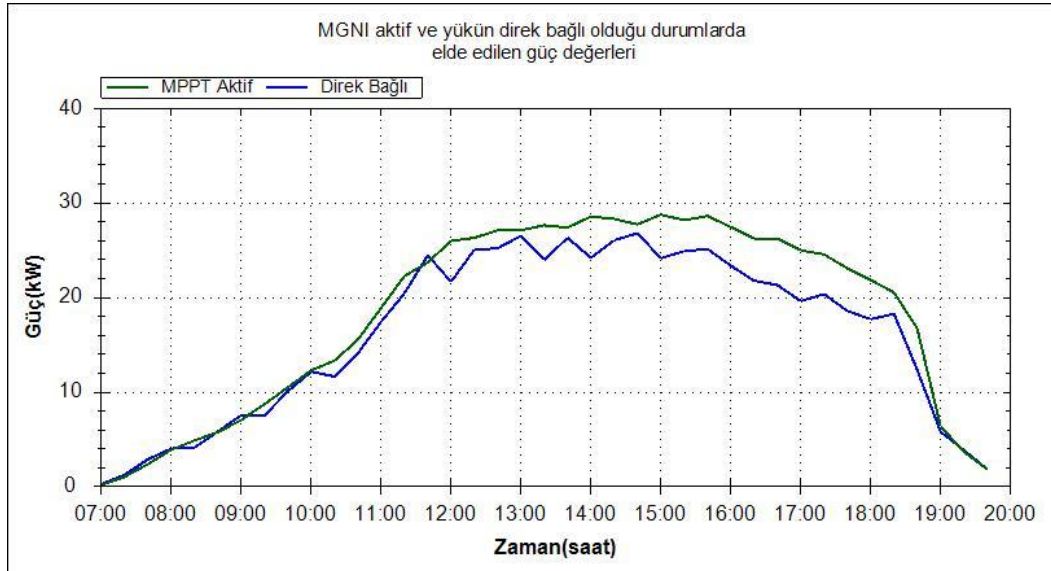


Şekil 4.17. Deneyler esnasındaki hava sıcaklığı değerleri

3-4/5/2014 tarihlerinde yapılan deneyler yapılırken şartların birbirine yakın olması için deneyler aynı saatlerde yapılmıştır. Harcanan gücün sabit tutulması için toplam herbir günde toplam 250 lt su basılmıştır. Deneyde kullanılan aküler deneyden önce 11V seviyesine kadar boşaltılmıştır. Su deposu ile sulanacak alan arasındaki mesafe sabit tutulmuş, pompa maksimum kapasitesi olan dakikada 4,2 lt/dk su basma kapasitesi ile çalıştırılmıştır.

03/05/2014 tarihinde yapılan deneyde elde edilen panel gerilimi şarj kontrolcüsü ile 14-14,5 V arasında çıkış verecek şekilde ayarlanmıştır. 04/05/2014 tarihinde yapılan deneyde MGNI ve şarj kontrolcüsü devreden çıkartılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde fotovoltaik panelden elde edilen gerilim direk yüke ve aküye bağlanmıştır. Her iki deneyde veriler 10 dakikalık aralarla ölçülüp saatlik ortalamaları alınarak grafikleri veritabanına kaydedilmiş ve grafikleri çizdirilmiştir.

Deneyler sonucunda MGNI bağlı sistem ile ve fotovoltaik panelin pompaya direk bağlı olduğu sistemlerden elde edilen güç noktalarına ait grafik Şekil 4.18'de görülmektedir



Şekil 4.18. Sistemlerden elde edilen güç noktaları.

Şekil 4.18'de görüldüğü gibi MGNI'lı sistemde salınım daha azdır. Fotovoltaik panelin yüke direk bağlı sistemde meydana gelen salınım hem pompanın çalışma

verimini hemde ömrünü kısaltmaktadır. Sistemlerin verimliliğini bulabilmek için elde edilen toplam güçlerin oranına bakılmıştır. Buna göre sistemin verimliliğini bulmak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Verimlilik} = [(P_{\text{MGNI}} - P_{\text{D}}) \times 100 / P_{\text{D}}] \quad (4.5)$$

Burada P_{MGNI} MGNI kullanılarak elde edilen toplam gücü, P_{D} direk bağlı sistemden elde edilen toplam gücü temsil etmektedir.

Denklem 4.5 ile MGNI'den elde edilen gücün direk bağlı sisteme göre %12,17 daha verimli olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu değer, güneş panellerinde güneş takip sistemi veya güneş ışığını odaklayan camlar kullanılarak arttırılabilir.

5. SONUÇ

Hazırlanan tez ile fotovoltaik sistemlerde enerji dönüşümün etkili bir biçimde uygulanabilmesi için MGNI özellikli çevirici tasarlanarak uygulanmıştır. Ayrıca MGNI özellikli sistem ile direk bağlı sistem karşılaştırılmıştır. MGNI'li sistem direk bağlı sisteme göre %12,17 daha fazla güç üretmiştir. Bunun yanında MGNI kullanmanın diğer bir avantajıda çıkış gerilimindeki dalgalanmaları engelleyerek sisteme bağlı yükün kullanım ömrünü arttırmasıdır. Fotovoltaik sistemlerde MGNI kullanmanın maliyeti elde edilen verim ve yüklerin kullanım ömrünün arttırmasının getirdiği kârın yanında çok düşüktür. Şekil 4.18 incelendiğinde fotovoltaik sistemlerde MGNI kullanmanın uzun vadede sistem maliyetini düşüreceği anlaşılabilir.

Sistemde MGNI algoritmalarından değiştir&gözetle algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma gerek hızı gerekse basitliği sebebi ile birçok çalışmada kullanıldığı görülmüştür. Tasarlanan sistemde algoritmayı daha hızlı işleyebilmek için 150 MHz işlem gücüne sahip bir mikrodnetliyiçi olan DSP ailesinden TMS320F2812 kullanılmıştır. Yapılan benzer çalışmalarda 8 Bit lik mikrodnetliyiçiler ve bilgileri mikrodnetliyiçiye aktarmak için 10-Bit çözünürlüğe sahip dahili bir ADC kullanıldığı görülmüştür. Dahili ADC ile hassas bir ölçüm yapmak mümkün değildir çünkü çevresel etmenlerden ve gerilim dalgalanmalarından etkilenen mikrodnetliyiçi ADC ölçüm sonuçlarını olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden Sensörler aracılığıyla alınan gerilim, akım ve sıcaklık bilgilerini daha hassas ve hızlı bir şekilde mikrodnetliyiçiye aktarmak için 12-Bit çözünürlükteki MCP3208 ADC entegresi harici olarak kullanılmıştır.

Dönüştürücünün çıkış gerilimi 12V'luk akünün şarj gerilimi aralığı olan 14-14,5V olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu değer Şekil 3.3'deki fotovoltaik panellere ait I-V grafiğinde de görüldüğü gibi panelin en yüksek akım verdiği gerilim aralığındadır. Ayrıca akü sıcaklığı sürekli kontrol edilerek şarj esnasına akünün fazla ısınması durumunda şarjı kesecek kontrol algoritmaya eklenmiştir. Böylece akünün kullanım ömrü arttırmak amaçlanmıştır.

Deney sırasında panelden elde edilen gücün en yüksek olduğu zamanın güneş ışınımının daha yoğun olduğu öğle saatleri olduğu görülmüştür. Öğle saatlerinde üretilen gücün daha stabil olduğu izlenmiştir. Güneş panellerinden daha çok verim alabilmek için MGNI yanına güneş takip sistemi eklenerek sistemin verimliliği artırılabilir. Ayrıca güneş takip sistemi yanında güneş ışığını odaklayan özel kaplamalar kullanılarak verimlilik daha fazla artırılabilir. Daha hızlı mikrogenetleyiciler ve MGNI algoritmaları kullanarak maksimum güç noktaları daha hızlı bulunabilir. Sisteme güneş ışınımı ve sıcaklığını izleyen ve kaydeden bir modül eklenerek maksimum güç noktalarını tahmin eden bir sistem eklenebilir. Maksimum güç noktalarını daha hızlı bir şekilde bulabilmek için bulunan güç noktaları, hava sıcaklığı, panel sıcaklığı, güneş ışınımı gibi bilgiler kaydedilerek yapay zekâ teknikleri kullanılabilir.

Depolanabilecek enerji miktarının akünün kapasitesine bağlı olması, fotovoltaik sistemlerin ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve sadece DA yüklerin kullanılabilir olması fotovoltaik sistemlerin bir dezavantajıdır. AA sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak için şebeke etkileşimli bir evirici kullanılması sistemin maliyetini arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

- Azab M., 2008. A new Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems, Control Automation and Systems, 2, 470-471.
- Batcheller P., 1993. Microprocessor Controlled Maximum Power Point Tracker For Photovoltaic System, Devry Institute of Technology, M.Sc. Thesis. 73p, Toronto.
- Batman, M. A., 2001. Elektrik Üretimi İçin Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni Bir Yöntem, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 143s, İstanbul.
- Dagher R. E., 1989. Optimization Techniques for a Photovoltaic Powered Positive Displacement Water Pump. University of Lowell, Chemical and Nuclear Department, M.Sc. Thesis, 135p, Mass Lowell.
- Düzenli A., 2010. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. YL. Tezi, 235s, İstanbul.
- Enslin J. H. R., Wolf M. S., Snyman D. B., Swiegers W., 1998. Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 44 (6), 769-773.
- Ersuel A., Juan S. H., Steven K., Amber S. 2012. Photovoltaic MPPT Charge Controller. University of Central Florida, M.Sc. Thesis, 139p, Orlando.
- Esrn T., Chapman, P. L., 2007. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, 22(2), 439-449.
- Faranda R., Leva S., 2008. Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems, Power and Energy Society General Meeting Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 24(3), 1-6.
- Gençoğlu M. T., Cebeci M., Güneş M., 2011. Güneş Enerjisi ile Çalışan PLC Kontrollü Su Pompalama Sistemi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2011(3), 24-27.
- Gessolar Co, 2012. Erişim Tarihi: 12.11.2013.
http://www.gessolar.com.tr/solar_pompalar.html
- Hohm, D. P., Ropp, M. E., (2002). Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 11(1), 47-62.

- Hua C., ve Shen C., 1997. Control of DC/DC Converters for Solar Energy System with Maximum Power Tracking, IEEE IECON, 97(2) 827-832.
- Kangal H., 2008. Fotovoltaik Sistem Analizi ve Labview Tabanlı MPPT Simülasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.L. Tezi, 138s, Ankara.
- Katan, R.E., Agelidis V., Nayer C., 1996. Performans Analysis of a Solar Water Pumping System, Power Electronics, 21(2), 81-87.
- Koner, P.K., 1995. Optimization Techniques for a Photovoltaic Water Pumping System, Renewable Energy, 6(1), 53-62.
- Nakir İ. 2007. Fotovoltaik Güneş Panellerinde Gts ve Mgts Kullanarak Verimliliğin Arttırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.L. Tezi, 86s, Ankara.
- Milosević M., Andersson G., Grabic S. 2006., Decoupling Current Control and Maximum Power Point Control in Small Power Network With Photovoltaic Source, Power System Conference and Exposition, 26(1), 1005-1011.
- Moghany M. S., 2011. Sun and Maximum Power Point Tracking in Solar Array Systems Using Fuzzy Controllers via FPGA, Islamic University, Gaza Deanery of Graduate Studies Faculty of Engineering, M.Sc. Thesis, 128p, Gaza.
- Mohan, N., Undeland M. T, Robbins P. W, 2003. Güç Elektroniği, Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım, Yılmaz T., Boğosyan S., Gökaşan M., Literatür Yayıncılık, 800s, İstanbul.
- Özdemir Ş., 2007. Fotovoltaik Sistemler İçin Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktası İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.L. Tezi, 98s, Ankara. .
- Özgöçmen A., 2007. Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Y.L. Tezi, 112s, Ankara.
- Partain L. D., 1995. Solar Cells and Their Applications, A Wiley Interscience Publication. 644p, New Jersey.
- Patel H., Ve Agarwal V., 2008. Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55(4) 1689-1698.
- Salas, V., Olías, E., Barrado, A., Lázaro, A., 2006. Review of the Maximum Powerpoint Tracking Algorithms for Stand-Alone Photovoltaic Systems, Solar Energy Materials and Solar Cells, 90(11), 1555–1578.

- Sallem S., Chaabene M., Kamoun M.B.A., 2009. Energy Management Algorithm For An Optimum Control of a Photovoltaic Water Pumping System. Elsevier Applied Energy 86, 2671-2680.
- Temiz Enerji Vakfı, 2001. Güneş Elektrik Dönüşümleri, Fotovoltaik Güneş Güzelleri ve Güç Sistemleri, 9-13s.
- Tek S. C., 2008. Güneş Paneli Simulatörü. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 64s, İstanbul.
- Ying L., 2009. Advanced Control of Fotovoltaic Converters, University of Leicester, Department of Engineering, M. Sc. Thesis. 177p, Leicester.
- Yeşilata B., Fıratoğlu Z. A., 2003. Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve Çalışma Koşullarının Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(1), 147-158.
- Yümsek Ö, 2010. Güneş Pillerinde Maksimum Güç Noktası Takip Sistemleri. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 162s, Ankara.

EKLER

EK A. Devrelerin PCB çizimleri

EK B. Kodlar

EK A. Kodlar

```
#include"DSP281x_Device.h"
#include"DSP281x_Examples.h"// DSP281x Examples Include File
#include"stdio.h"
#include"string.h"
#include"stdlib.h"
// Prototype statements for functions found within this file.
#define VGiris 0
#define CekilenAkim 1
#define VCikis 2
#define Vaku 3
#define AkuSicaklik 4
#define AkuSarjAkimi 5

Long
RB0=0,RB1=0,RBT,Vgiris=0,cekilenAkim=0,vcikis=0,vaku=0,akuSicaklik=0
,akuSarjAkimi=0,k=0,i;
char OrnekSayisi=15,str[20],istek;
long Volt,TVolt,alınan;
int index =0;

void Gpio_select(void);
void InitSystem(void);
void SPI_Init(void);
void ADC_Oku(Uint16 kanal);
void init_evb();
long GerilimDonustur(long V);
void SCI_Init(void);
void DataIsteginiGozetle();
void VeriGonder(long V);
void SicaklikHesapla();

interrupt void cpu_timer0_isr(void);
void main(void)
{
    InitSystem();
    Gpio_select();
    InitPieCtrl();
    InitPieVectTable();
    EALLOW;
    PieVectTable.TINT0 = &cpu_timer0_isr;
    EDIS;
    InitCpuTimers();
    ConfigCpuTimer(&CpuTimer0, 150, 50000);
    PieCtrlRegs.PIEIER1.bit.INTx7 = 1;
    IER = 1;
    EINT;
    ERTM;

    CpuTimer0Regs.TCR.bit.TSS = 0;

    SPI_Init();
    init_evb();
    SCI_Init();
```

```

while(1)
{
    ADC_Oku(VGiris);
    ADC_Oku(CekilenAkim);
    ADC_Oku(VCikis);
    ADC_Oku(VAku);
    ADC_Oku(AkuSicaklik);
    ADC_Oku(AkuSarjAkimi);
    AkimHesapla();

    if(sicaklikHesapla()>320)
    {
        GpioDataRegs.GPBTOGGLE.bit.GPIOB0 = 1;
    }

    sonraki_guc=gucHesapla();

    if(sonraki_guc>onceki_guc)
        DutyArttir();
    elseif(sonraki_guc<=onceki_guc)
        DutyAzalt();
    if(sonraki_guc >=onceki_guc)
        DutyAzalt();
    elseif(sonraki_guc<onceki_guc)
        DutyAzalt();

    onceki_guc = sonraki_guc;

    DataIsteginiGozetle();

    EALLOW;
    SysCtrlRegs.WDKEY = 0xAA;
    EDIS;
}

void Gpio_select(void)
{
    EALLOW;
    GpioMuxRegs.GPAMUX.all = 0x0; // all GPIO port Pin's to I/O
    GpioMuxRegs.GPBMUX.all = 0xF;
    GpioMuxRegs.GPDMUX.all = 0x0;

    GpioMuxRegs.GPFMUX.all = 0xF;
    GpioMuxRegs.GPFMUX.bit.SCIRXDA_GPIOF5 = 1; //SCI-RX
    GpioMuxRegs.GPFMUX.bit.SCITXDA_GPIOF4 = 1; //SCI-TX
    GpioMuxRegs.GPEMUX.all = 0x0;
    GpioMuxRegs.GPGMUX.all = 0x0;

    GpioMuxRegs.GPDDIR.all = 0x0; // GPIO PORT as input
    GpioMuxRegs.GPDDIR.bit.GPIOD0 = 1; // /CS for DAC
    GpioMuxRegs.GPDDIR.bit.GPIOD5 = 0; // /CS for EEPROM
    GpioMuxRegs.GPEDIR.all = 0x0; // GPIO PORT as input
    GpioMuxRegs.GPFDIR.all = 0x0; // GPIO PORT as input
    GpioMuxRegs.GPGDIR.all = 0x0; // GPIO PORT as input
    GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIOD0 =
    GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIOD5 = 0;
    GpioMuxRegs.GPBQUAL.all = 0x0;
    GpioMuxRegs.GPDQUAL.all = 0x0;
}

```

```

GpioMuxRegs.GPEQUAL.all = 0x0;
EDIS;
}

void InitSystem(void)
{
    EALLOW;
    SysCtrlRegs.WDCR= 0x00AF;
    SysCtrlRegs.SCSR = 0;
    SysCtrlRegs.PLLCR.bit.DIV = 10;
    SysCtrlRegs.HISPCP.all = 0x1;
    SysCtrlRegs.LOSPCP.all = 0x2;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.EVAENCLK=1;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.EVBENCLK=1;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.SCIAENCLK=1;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.SCIBENCLK=0;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.MCBSPENCLK=0;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.SPIENCLK=1;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.ECANENCLK=0;
    SysCtrlRegs.PCLKCR.bit.ADCENCLK=0;
    EDIS;
}

void SCI_Init(void)
{
    SciaRegs.SCICCR.all =0x0007;
    SciaRegs.SCICTL1.all =0x0003;
    SciaRegs.SCIHBAUD = 487 >> 8 ;
    SciaRegs.SCILBAUD = 487 & 0x00FF;
    SciaRegs.SCICTL1.all =0x0023;
}

void SPI_Init(void)
{
    SpiaRegs.SPICCR.all = 0x0047;
    SpiaRegs.SPICTL.all =0x0006;
    SpiaRegs.SPIBRR = 100;
    SpiaRegs.SPICCR.bit.SPISWRESET = 1;
}

long GerilimDonustur(long V)
{
    return (V * 3300 / 16153);
}

void ADC_Oku(Uint16 kanal)
{
    k=kanal;
    GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIOD0 = 0;
    switch (kanal) {
        case VGiris:
            {
                SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1800 ;
                break;
            }
        case CekilenAkim:
            {
                SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1900 ;
                break;
            }
    }
}

```

```

    }
    case VCikis:
    {
        SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1A00 ;
        break;
    }
    case Vaku:
    {
        SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1B00 ;
        break;
    }
    case AkuSicaklik:
    {
        SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1C00 ;
        break;
    }
    case AkuSarjAkimi:
    {
        SpiaRegs.SPITXBUF = 0x1D00 ;
        break;
    }
}

while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ;
RBT = SpiaRegs.SPIRXBUF;

SpiaRegs.SPITXBUF = 0x00;
while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1)
RB0 = SpiaRegs.SPIRXBUF;

SpiaRegs.SPITXBUF = 0x00
while (SpiaRegs.SPISTS.bit.INT_FLAG != 1) ;
RB1 = SpiaRegs.SPIRXBUF;

GpioDataRegs.GPDDAT.bit.GPIOD0 = 1;
Volt = (long) ( ( ( RB0<<8) | RB1>>4) );
TVolt = Volt * 3300 /16153 ;
if(Volt<17000)
{
    switch (kanal) {
    case VGiris:
    {
        Vgiris =GerilimDonustur(Volt) ;
        break;
    }
    case 1:
    {
        cekilenAkim = GerilimDonustur(Volt) ;
        break;
    }
    case VCikis:
    {
        Vcikis = GerilimDonustur(Volt) ;
        break;
    }
    case Vaku:
    {
        Vaku= GerilimDonustur(Volt) ;
        break;
    }
}

```

```

    }
    case AkuSicaklik:
    {
        akuSicaklik = GerilimDonustur(Volt) ;
        break;
    }
    case AkuSarjAkimi:
    {
        akuSarjAkimi = GerilimDonustur(Volt) ;
        break;
    }
} //swtich

} //if
}

void init_evb()
{
    EvbRegs.T3PR = 3000;          // Timer3 period
    EvbRegs.T3CMPR = 0x3C00;     // Timer3 compare
    EvbRegs.T3CNT = 0x0000;     // Timer3 counter
    EvbRegs.T3CON.all = 0x1042;

    EvbRegs.T4PR = 0x00FF;      // Timer4 period
    EvbRegs.T4CMPR = 0x0030;    // Timer4 compare
    EvbRegs.T4CNT = 0x0000;    // Timer4 counter
    EvbRegs.T4CON.all = 0x1042;

    EvbRegs.GPTCONB.bit.TCMPOE = 1;
    EvbRegs.GPTCONB.bit.T3PIN = 1;
    EvbRegs.GPTCONB.bit.T4PIN = 2;
    EvbRegs.CMPR4 = 100;
    EvbRegs.CMPR5 = 0x3C00;
    EvbRegs.CMPR6 = 0xFC00;

    EvbRegs.DBTCONB.all = 0x0000; // Disable deadband
    EvbRegs.COMCONB.all = 0xA600;
}

interrupt void cpu_timer0_isr(void)
{
    CpuTimer0.InterruptCount++;

    EALLOW;
    SysCtrlRegs.WDKEY = 0x55;          // Serve watchdog #1
    EDIS;

    PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP1;
}

void VeriGonder(long V)
{
    ltoa(V, str);
    for(bas=0; bas<=strlen(str); bas++)
    {
        SciaRegs.SCITXBUF=str[index++];
    }
}

```

```

while ( SciaRegs.SCICTL2.bit.TXEMPTY == 0);
if (index > strlen(str) )
{
    index =0;
    for(i=0;i<7500000;i++)
    {
        EALLOW;
        SysCtrlRegs.WDKEY = 0x55;
        SysCtrlRegs.WDKEY = 0xAA;
        EDIS;
    }
}
}

void DataIsteginiGozetle()
{
    alinan = SciaRegs.SCIRXBUF.all;
    istek=(char)alinan;

    if(istek=='1')
    {
        //Vgiris
        VeriGonder(Vgiris);
        istek=0;
    }
    if(istek=='2')
    {
        VeriGonder(cekilenAkim);
        istek=0;
    }
    if(istek=='3')
    {
        VeriGonder(Vcikis);
        istek=0;
    }
    if(istek=='4')
    {
        VeriGonder(Vaku);
        istek=0;
    }
    if(istek=='5')
    {
        VeriGonder((akuSicaklik+1000));
        istek=0;
    }
    if(istek=='6')
    {
        VeriGonder(((duty*100)/3000)+1000);
        istek=0;
    }
}

long SicaklikHesapla()
{
    return (akusicaklik-500);
}

```

```

void AkimHesapla()
{
long a= ((cekilenAkim *2)-2510);
if(a>0)
HesaplananAkim=a;
}

long gucHesapla()
{
long g = Vcikis * HesaplananAkim / 1000;
return g;
}

void DutyArttir()
{
if(duty>3000)
duty=3000;

duty++;
EvbRegs.CMPR4 = duty;
}

void DutyAzalt()
{
if(duty<2)
duty= 3000;

duty--;
EvbRegs.CMPR4 = duty;
}

```

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Murat ULUĞ

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta / 1984

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Isparta Anadolu Ticaret Meslek Lisesi (1998 - 2002)

Üniversite : Süleyman Demirel Üniversitesi
Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği (2002 - 2006)

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik – Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

Milli Eğitim Bakanlığı (2006 - ...)