

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN DENETLENMESİ İÇİN YENİ BİR KONTROL KARTI VE BİLGİSAYAR YAZILIMI

Mustafa Berkant SELEK*, Yalçın İŞLER, Metin ÇOLAK*****

*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik Haberleşme Bölümü, 35100, Bornova, İzmir

**Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 35160, Buca, İzmir

***Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 35100, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi : 23.10.2007

Kabul Tarihi : 07.04.2008

ÖZET

Bu çalışmada, İzmir ili Bornova ilçesindeki Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü bünyesinde kurulan bir yenilenebilir enerji sisteminin elektrik akışını kontrol eden bir mikroişlemci kartı tasarlanmış ve bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bu amaçla, anahtarlama görevi yapan güç elektroniği devre elemanlarının bulunduğu ayrı bir elektronik kartın kontrol işlemini üstlenen PIC18F452 mikrodenetleyicisi kullanan bir elektronik devre gerçekleştirilmiştir. Piyasadaki standart kontrol kartları tek seviyeli eviricilerin anahtarlama görevine olanak sağlamaktadır. Geliştirilen kontrol kartı ise çok seviyeli eviricilerle çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra, güneş enerjisi panellerinin verimleri oldukça düşük olduğundan, güneş panellerinin maksimum güç noktasında (MPP) çalıştırmak çok önemlidir. Bu yüzden, tasarlanan kontrol kartı üzerinde MPP algoritması da bulunmaktadır. Ayrıca, tasarlanan kontrol kartının üzerinde RS232 seri haberleşme arabirimi mevcuttur. Böylece, kontrol kartı üzerinde gerçekleştirilen tüm fonksiyonların kullanıcının isteğine göre bir bilgisayar yazılımı aracılığı ile seçilebilmesine ve istenirse kullanıcıya rapor olarak verilebilmesine olanak tanınmıştır. Son olarak, geliştirilen kontrol kartının, geliştirdiğimiz yazılım ile haberleşebilmesi için bir komut seti oluşturulmuştur. Böylece, kendi kontrol kartını geliştirmek isteyen veya daha görsel bir yazılım geliştirmek isteyen diğer araştırmacılar için ortak bir taban oluşturulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler : *Yenilenebilir enerji, Mikrodenetleyici, Denetleyici sistemleri.*

A NEW CONTROL CIRCUIT AND COMPUTER SOFTWARE FOR CONTROLLING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

ABSTRACT

In this study, a new microcontroller circuit was designed and new computer software was implemented to control power flow currents of renewable energy system, which is established in Solar Energy Institute, Ege University, Bornova, Izmir, Turkey. PIC18F452 microcontroller based electronic circuit was designed to control another electronic circuit that includes power electronic switching components. Readily available standard control circuits are designed for switching single level inverters. In contrary, implemented circuit allows to switch multilevel inverters. In addition, because the efficiency of solar energy panels is considerably low, solar panels should be operated under the maximum power point (MPP). Therefore, MPP algorithm is included in the designed control circuit. Next, the control circuit also includes a serial communication interface based on RS232 standard. Using this interface enables the user to choose all functions available in the control circuit and take status report via computer software. Last, a general purpose command set was designed to establish communication between the computer software and the microcontroller-based control circuit. As a result, it is aimed that this study supply a basis for the researchers who want to develop own control circuits or more visual software.

Key Words : *Renewable energy, Microcontroller, Control systems.*

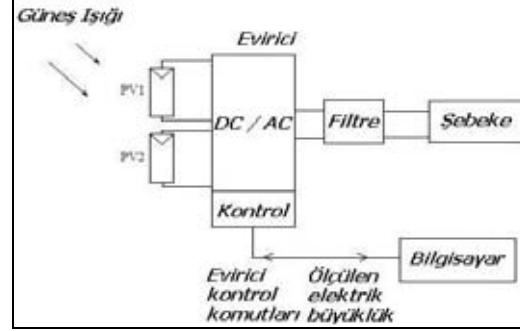
1. GİRİŞ

Dünyada birçok uygulamada tipik bir evin enerji ihtiyacı olan 1-5kWp fotovoltaik (PV) sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Strong ve Scheller, 1987). Bu ülkelerin başında Almanya, Japonya, ABD ve diğer Avrupa ülkeleri gelmektedir. Evlerin çatılarına kurulan PV sistemler yardımı ile güneş enerjisinden elektrik üretilmekte, kullanılmayan elektrik şebekeye aktarılmaktadır. Bu tür sistemlerin avantajları şöyle sıralanabilir; dağıtılmış enerji sistemleri olup konvansiyonel sistemlere göre daha güvenlidirler. Enerji nakil hatlarında oluşan gerilim düşümü kayıpları ve aşırı yüklenmeyi azaltma açısından dağıtılmış sistemler daha avantajlıdır. Özellikle yaz aylarında kalabalıklaşan bölgelerde enerji sistemi değiştirilmeden enerji ihtiyacının fazlası yenilebilir enerji kaynaklarından sağlanabilir. PV sistemler statik sistemler hareketli parçalar olmadığından gürültülü çalışma gibi sorunlar olmaz. Sistem güneş enerjisinden elektrik üreten temiz enerji sistemi olduğundan çalıştığı sürece CO₂ emisyonu açısından diğer enerji üretim sistemlerine göre daha avantajlıdır. Fosil yakıtların ömürleri tükenmekte olduğundan, sürekli bir enerji kaynağı olan güneşin kullanılması zorunludur (ICCI2002 Sonuç Bildirgesi, 2002).

Bu avantajlardan dolayı ülkeler temiz enerji yasaları çıkararak temiz ve yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir. ABD 1milyon çatı projesi, Japonya 70bin+ çatı projesi (Kurokawa ve İkki, 2001) ve Almanya'nın 1 Ocak 1999'da duyurduğu 100bin çatı programı (Erge v.d., 2001), Avrupa için 1 milyon çatı projeleri sürerken, 1995 yılında Almanya'da 5MWp PV kurulu gücü 1996'da 10MWp'e, 2000'de 40MWp'in üstüne çıkmıştır. Japonya'da yalnızca 1999'da 72MWp PV sistem kurulmuştur. Devlet teşviki olarak Almanya Nisan 2000'de çıkardığı enerji yasası ile PV sistemlerde üretilen elektrik enerjisini satın alırken yüksek geri ödeme (0,51Euro/kWh = 0,9YTL/kWh) desteği sağlamıştır. Bu da halkın çatısına PV sistem kurma isteğini arttırmıştır. Hollanda, Avustralya, İsviçre ve Amerika gibi ülkeler de benzer destekler sağlamışlardır (Gabler, 2001).

Şekil 1'de genel bir şebekeye bağlı çalışan multilevel PV sistemin çalışması görülmektedir. PV hücreler yapıları gereği doğru akım üretirler. Yaygın olarak kullanılmakta olan cihazlar ise alternatif akımla çalıştıklarından, üretilen doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi gereklidir. Bu amaçla kullanılan cihazlara evirici (invertör) denir. Eviriciler PV sistemler içerisinde en fazla kesintiye (arızaya) yol açan elemanlardır (Kurokawa ve İkki, 2001). Arızaların çoğu yüksek gerilimde

anahtarlama sebebiyle oluşmaktadır. Bu nedenle, daha düşük gerilim seviyelerini anahtarlayan elemanlarla çalıştırılmak üzere tasarlanan çok seviyeli eviriciler daha yüksek bir güvenilirlikle çalışacaktır.



Şekil 1. Genel olarak PV sistemlerin gösterimi.

Günümüzde çok seviyeli eviricilerin içinde kullanılan anahtarlama elemanlarının kontrol sinyallerini üreten birçok elektronik devre mevcuttur. Bu elektronik devrelerin PV sistemlerde kullanılabilmesi için sağlamaları gereken bazı koşullar vardır. Birincisi, darbe genlikli modülasyon (PWM) yöntemini kullanması gerekmektedir. Böylece sinüs işaretine daha çok yaklaşılabilmektedir. Bunun yanı sıra, şebekeye bağlı olarak çalışacak bir sistem için şebekedeki elektrik sinyali ile PV sistemden üretilen sinyali arasındaki faz kaymasını engelleyecek fazladan donanıma sahip olmalıdır. Ayrıca, bilgisayarlarla haberleşme için bir arabirime sahip olması ve böylece kullanıcı etkileşiminin bulunması önemlidir. Son olarak, ticari PV panellerin verimliliği ortalama % 12-16 civarında olduğundan bu tür sistemlerde PV panelin maksimum güç transferi yapacak şekilde çalıştırılması da çok önemlidir. Piyasadan satın alınabilecek böyle bir devrenin ortalama olarak 3-7\$/Watt maliyeti nedeniyle PV sistemlerin kurulmasına engel teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, piyasadaki emsallerinden işlev yönünden aşağı kalmayan yeni bir kontrol kartı tasarımı ve bu kontrol kartında kullanılan mikrodenetleyici ile bilgisayar arasında haberleşmeyi sağlamak için geliştirilen yazılım tanıtılmıştır. Böylece, benzer çalışmaları yürütmek isteyen kişiler için daha ucuz ve ihtiyaca yönelik geliştirmelere izin veren bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrol kartı içinde maksimum güç transferi özelliğinin sağlanabilmesi için MPP algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile düşük verimli PV panelleri en yüksek gücün elde edildiği akım gerilim değerlerinde sistemin çalışması mümkün olmaktadır. Ayrıca, geliştirilen kontrol kartının seri port üzerinden herhangi bir cihaz

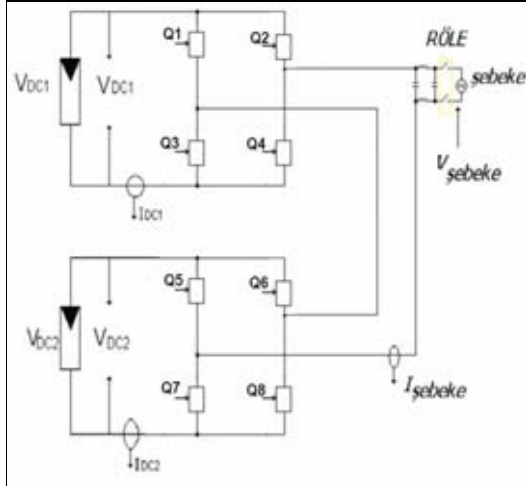
(Bilgisayar, kontrol kartı, SCADA vb.) ile haberleşebilmesi ve çeşitli işlevlerini kapatıp açması veya rapor etmesi için bir komut seti geliştirilmiştir. Standart bir komut seti literatürde ilk kez bu çalışmada önerilmiştir.

Çalışma genel olarak şu şekilde sunulmuştur. Takip eden bölümde sistemin tasarlanması sırasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Bu başlık altında evirici kontrolü, maksimum güç noktası bulma yöntemi, kontrol sinyallerinin nasıl üretildiği, hangi anahtarlama elemanlarının kullanıldığı, mikrodenetleyici seçiminin nasıl yapıldığı ve bilgisayarda çalıştırılmak üzere gerçekleştirilen yazılımda kullanılan programlama dilinin seçimi verilmiştir. Ardından gelen bölümde gerçekleştirilen kontrol kartı ve yazılımla ilgili bilgiler verilmiştir. Son olarak, çalışma ile ilgili tartışma bölümü verilmiş ve çalışmanın devamında yapılması düşünülenler verilmiştir.

2. YÖNTEM

2. 1. Evirici Kontrolü

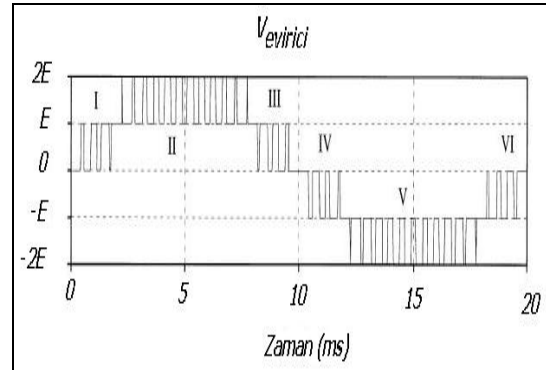
Çok seviyeli eviriciler genel olarak farklı DC gerilim seviyelerinden AC gerilim elde edilmesi prensibine göre çalışan ve birden fazla DC kaynaktan beslenen eviricilerdir. Literatürde basit yapıları ile en çok kullanılan evirici çeşidi tam köprü eviricilerdir. Bu eviricilerin iki seviyeli yapıya uyarlanmış hali aşağıdaki Şekil 2'de verilmiştir (Calais v.d., 2001; Brando v.d., 2007).



Şekil 2. Tam köprü doğrultuculu iki seviyeli evirici bağlantısı. Q ile gösterilen devre elemanları anahtarlama elemanlarıdır.

İlgili akım yolu anahtarlama elemanları sayesinde sağlanarak yük üzerinde (çalışmamızda yük olarak şebeke kullanılmıştır) çift yönlü bir elektrik akımı oluşturulması mantığı ile çalışır. Tam köprüde çapraz anahtarlar aynı anda iletme geçerek akım geçişi sağlar. Üst üste olan anahtarların aynı anda iletme olmaması kontrol devreleri ile sağlanır.

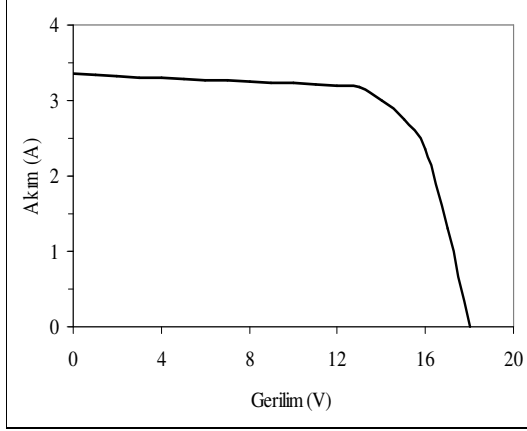
Çok seviyeli PWM eviricilerin akım kontrolünde histerezis kontrol, oransal toplamsal (PI) kontrol ve oransal toplamsal fark (PID) kontrol algoritmaları bulunmaktadır. Bunlardan ilk ikisi tasarımda kullanılmıştır. Birincisi kapalı devre döngüsü olarak çalışır ve gerçek çıkış seviyesi ile istenilen çıkış seviyesini karşılaştırılır. Bu yöntem ile düşük gürültü sağlanır ve kolay uygulanabilir. Buna rağmen, çıkış filtresi uygulanması güçleşmekte ve şebekeye verilecek AC işaretin sinüse benzemesi zorlaşacaktır. İkincisinde ise, uygulama zorluğuna ve yazılım destekli bir kontrol kartı gerektirmesine rağmen her türlü yapıya uygulanabilir ve üretilen işaret sinüse daha çok benzer. Literatürde en çok tercih edilen kontrol yöntemidir. Şekil 3'de iki seviyeli bir evirici için PWM işareti görülmektedir. Bu şekle sahip evirici çıkış voltajı, filtreden geçirildiğinde çok daha kolay bir şekilde sinüse dönüşmektedir.



Şekil 3. İki seviyeli evirici çıkış gerilimi. I-VI periyotları eviricinin farklı çalışma durumlarını göstermektedir.

2. 2. Maksimum Güç Noktası (MPP) Bulma Yöntemi

Çalışmada kullanılan M-65 güneş pillerinin akım-gerilim eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Dönüşüm verimleri çok düşük olduğundan güneş pillerinin MPP'de çalıştırılması çok önemlidir.



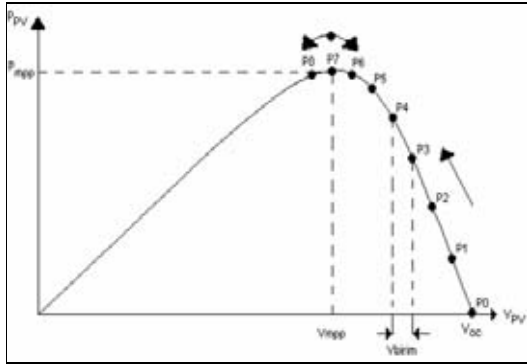
Şekil 4. M-65 Fotovoltaik modülüne ait akım-gerilim eğrisi.

Şekil 5'te MPP algoritmasının çalışması PV gerilim/güç (V/P) eğrisi üzerinde gösterilmektedir. MPP'de gücün gerilime göre kısmi türevinin sıfır olduğu görülür. Bu türev analitik olarak;

$$P = I.V \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dV} = V \cdot \frac{dI}{dV} + I \Rightarrow dP = V \cdot dI + I \cdot dV \quad (2)$$

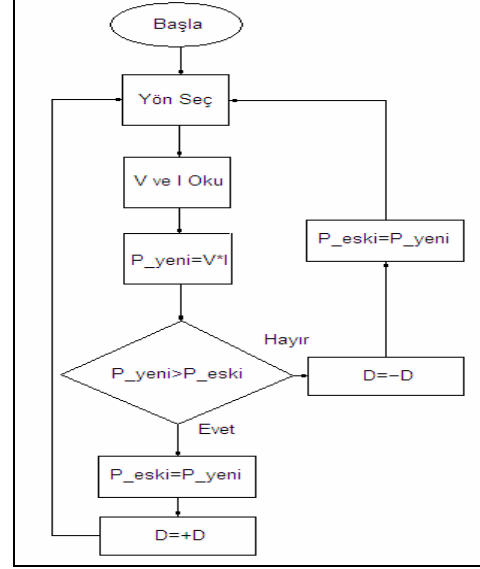
şeklinde ifade edilebilir. MPP'nda çalışıldığı zaman $dP=0$ olur. Eğer $dP>0$ ise MPP daha düşük bir gerilim değerinde, $dP<0$ ise daha büyük bir gerilim değerindedir (Cocconi v.d., 1983).



Şekil 5. MPP Algoritmasının grafik gösterimi.

MPP çalışması için gerilim V_{birim} (gerilimdeki yapılan en küçük değişiklik miktarı) kadar artırılıp akım ve gerilim değerlerinden güç hesaplanır. Bir önceki değerle karşılaştırılarak doğru yönde mi yoksa yanlış yönde mi ilerlediği tespit edilir. Doğru olan tarafa doğru ilerleyecek şekilde akım değeri değiştirilerek MPP noktası bulunur (Lindgren, 1998). Bu algoritma Şekil 6'da verilmiştir.

Algoritma sonucunda MPP noktasındaki PV örgü gerilimi tespit edilmektedir.



Şekil 6. MPP bulma algoritması (D= yön).

Algoritmada D (yön) değeri çalışma gerilimine eklenecek birim voltaj değerinin (V_{birim}) işaretidir. Çalışma voltajı D'ye göre V_{birim} kadar artar veya azalır. Şekil 5'de görüldüğü gibi çalışma voltajı V_{oc} 'den başlatılıp azaltılarak P değerleri hesaplanır. Burada, P değerleri arttığı sürece D yönü doğrudur. P7'den sonra P8'e geçilince P'de azalma görülür ve D yönü değiştirilerek V değeri bir birim artırılır. Yeni P değeri (P_{yeni}) olarak P7 ve eski P değeri (P_{eski}) olarak P8 değerleri atanır. Böylece, V_{mpp} ve I_{mpp} değerleri tespit edilmiş olur. Burada elde edilen I_{mpp} değeri kontrol sinyallerinin elde edilirken PWM sinyalinin genişliğinin ayarlanmasında referans sinyali olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, kontrol algoritması olarak kullanılan PI yapısının katsayılarının bulunmasında Ziegler ve Nichols tarafından geliştirilen titreşim yöntemi kullanılmıştır (Yüksel, 2006).

2. 3. Kontrol Sinyallerinin Üretilmesi

Mikro-kontrol kartının 8 çıkışı kullanmamak ve yavaşlatmamak için, kontrol kartında üretilen 4 kontrol çıkışı (EN1-EN2-PWM-P/N) bir dijital dönüştürücü kartına gönderilmiştir. Bu kartın giriş çıkış değerleri Tablo-1'de görülmektedir. Burada EN1 EN2; birinci ve ikinci eviriciler için izin sinyalleri, Pos/Neg; sinüs sinyalin pozitif alternansta mı, negatif alternansta mı olduğunu gösteren kontrol sinyalleri, PWM ise gerekli akım değerini sağlamak için referans akıma göre üretilen PWM sinyali ve ç değerleri ise anahtarlama elemanlarına gidecek kontrol sinyali çıkışlarıdır. Bu anahtarlama sinyalleri

ile (optik bağlaştırmalar ve transistorlu sürme devrelerinden geçtikten sonra) anahtarlama elemanları (IGBT'ler) sürülür. Yapılan çalışmada IGBT olarak GT60M301 kullanılmıştır. Şekil 7'de kontrol kartı görülmektedir.

Tablo 1. Kontrol sinyallerinden, anahtarlama sinyallerinin elde edilmesi için doğruluk tablosu.

A (POS/NEG)	B (EN1)	C (EN2)	D (PWM)	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0



Şekil 7. Geliştirilen çok seviyeli PWM kontrol kartı

2. 4. Mikrodenetleyici Seçimi

PIC 18F452; yüksek performanslı, içinde 10bit ADC'si olan, elektriksel olarak tekrar programlanabilir (Flash), C derleyicisi temin edilebilen, PWM çıkış verebilen, çok kullanışlı bir kontrolcüdür. Teknik özelliklerine bakıldığında, 32 kByte flash bellek lineer program adreslemesi yapabildiği, 1.5 kByte lineer veri belleği adreslemesi yapabildiği, 1536 byte RAM ve 256 Byte EEPROM'a sahip olması, 8 bitlik çarpma işlemini tek çevrimde yapabildiği ve en önemlisi 39 kHz çözünürlüklü 10 bit PWM desteğinin bulunması göze çarpmaktadır. Bu çalışmada, PIC 18F452 tercih edilmesinin en önemli nedenleri arasında ucuz, yeterince hızlı, dahili ADC ve PWM çıkışının olması sayılabilir.

2. 5. Programlama Dili Seçimi

Günümüzde kullanılmakta olan birçok kişisel bilgisayarda Microsoft Windows ürünü işletim sistemleri tercih edilmektedir. Bu nedenle, görsel programlama dilleri arasında kullanım kolaylığı ve işletim sistemine tam uyumluluğu nedeniyle Microsoft firmasına ait Visual Basic 6 programlama dili tercih edilmiştir.

3. SONUÇ

Geliştirilen mikrodenetleyici kartı Şekil 7'de verilmiştir. Kartın işlevlerini yürütebilmesi için PIC18F452 denetleyicisi kullanılmıştır. Tüm kontrol yazılımı gerçekleştirilmiş, böylece PI ve histerezis kontrol algoritmalarından hangisinin kullanılacağı manüel olarak sisteme komutla girilebilmektedir. Ayrıca kontrol sabitleri de bilgisayardan değiştirilebilmektedir. Şekil 8'de gerçekleştirilen kontrol sisteminin blok şeması görülmektedir. LEM marka akım ve gerilim sensörlerinden alınan bilgiler kontrol kartında PWM, P/N, EN1 ve EN2 sinyallerinin oluşturulması için kullanılır. Bu sinyalleri anahtarlama sinyallerine çeviren bir sayısal dönüştürücü kartı ve optik bağlaştırmacı kartı ile güç katı sürülür.

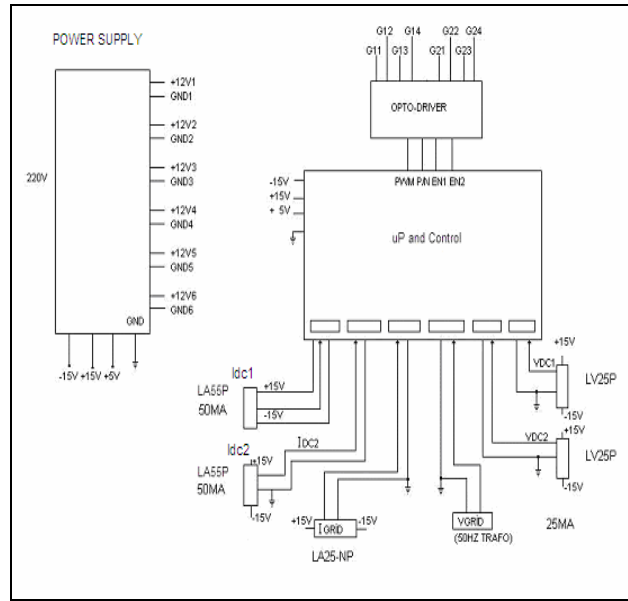
Kontrol kartının çok basit ve sistemin kontrol algoritmasının istenildiğinde yazılımla değiştirilebilir olması, devreye büyük bir üstünlük sağlamaktadır. RS232 bağlantısı elektriksel değerleri bilgisayara ve bilgisayardan da manüel olarak bazı parametreleri PIC18F452'ye aktarmak için kullanılmaktadır. İçinde ADC bulunması algılayıcı çıkışlarının kolayca mikrodenetleyiciye girilmesini sağlar. Böylece akım ve gerilim değerleri başka bir data logger kullanmadan kayıt edilebilir.

Mikrodenetleyicide oluşturulan EN1 ve EN2 izin sinyalleri o anda hangi PV gruptan güç çekileceğini yani hangi eviricinin çalışacağını belirtmektedir. P/N ise pozitif ya da negatif çalışmayı işaret etmektedir. PWM çıkışı çalışan eviricinin PWM olarak anahtarlama için kullanılmıştır. Mikrodenetleyicinin seri port üzerinden kabul ettiği komutlar Tablo 2'de verilmiştir. Bu komutlar yardımı ile mikrodenetleyicinin histerezis veya PWM kontrol tekniklerini kullanıp kullanmayacağı, hangi parametrelerin kullanılacağı, şebekeye bağlanarak AC çıkış verilip verilmeyeceği, MPP algoritmasının uygulanıp uygulanmayacağı, çeşitli akım ve gerilim değerlerinin okunarak bilgisayara aktarılması sağlanmaktadır.

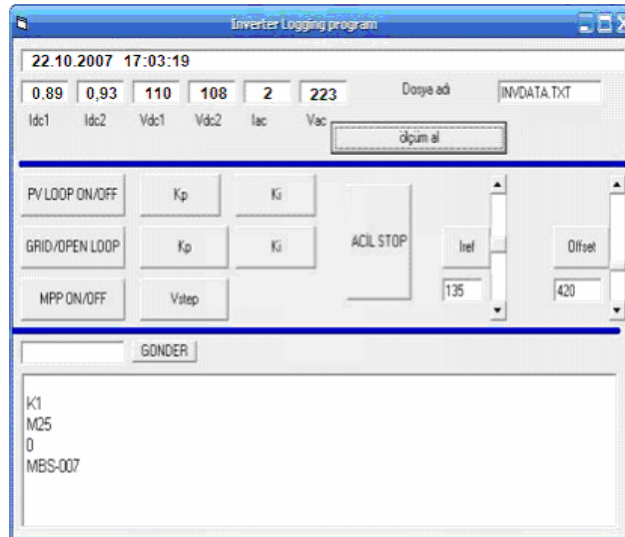
Tablo 2. Geliştirilen komut seti.

Komut	Açıklama
0	ID göster.
A	Voltaaj kontrolü için oransal kontrol katsayısı
B	Voltaaj kontrolü için entegral kontrol katsayısı
C	Iref referans yük akımı
D	Ioffset
E	Mpp offset
G	Şebeke (grid) açma/kapama
H	PV referans voltaajı
I	Adım voltaajı
J	Histerezis aralığı
K	Mpp on/off
L	PV Döngü (loop) on/off
M	Akım kontrolü için oransal kontrol katsayısı
N	Akım kontrolü için entegral kontrol katsayısı

Bu komut setinde belirlenen komutların mikrodnetleyici kartına gönderilmesi ve sonuçların mikrodnetleyici kartından bilgisayara aktarılması için Visual Basic 6 programlama dili kullanılarak basit bir arabirim ekranından oluşan bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım toplam 625 satırdan oluşmaktadır. Kullanım kolaylığı sağlanması için sadece bir sayfadan oluşan bir ara yüz geliştirilmiştir. Bu ara yüz üç kısımdan oluşmaktadır: Veri Toplama, Komut Verme ve Rapor Ekranı. Tüm ara yüz ekranı Şekil 9'da program çalıştırıldığında ekranda görülen haliyle verilmiştir.



Şekil 8. Geliştirilen kontrol kartının blok şeması.



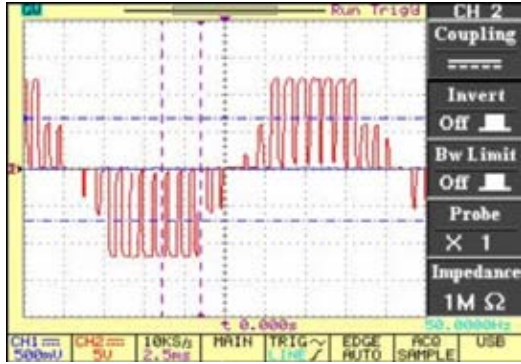
Şekil 9. Geliştirilen yazılımın ara yüz ekranı.

Birinci kısımda elektriksel ölçümlerin alındığı pencere görülmektedir. Bu kısımda I_{dc1} , I_{dc2} , V_{dc1} , V_{dc2} , I_{ac} ve V_{ac} alanları ise kontrol kartından okunacak olan ve Şekil 2’de ayrıntılı olarak gösterilen evirici noktaların değerlerini vermektedirler. Bu elektriksel veriler 1 saniye aralıklarla sistemden okunmaktadır. Ayrıca, “ölçüm al” komutu kullanılarak anlık ölçümlerin alınması sağlanmaktadır. Elde edilen değerler akımlar için amper ve gerilimler için voltur. Okunan tüm değerler bir raporlama dosyasına otomatik olarak kayıt edilmektedir. Dosya adı “invdata.txt” olarak atanmıştır, istenirse farklı isimde dosyalara da veriler kayıt edilebilmektedir. Bu dosya isteğe bağlı olarak harici bir metin editöründe incelenebilir.

İkinci kısım evirici kontrolü için ayrılmıştır. Burada PV voltajı kontrol döngüsü çalıştırılıp durdurulabilir, şebeke bağlantılı ve bağlantısız çalışma durumları seçilebilir, MPP kontrolü açılıp kapatılarak maksimum güç kontrolü döngüsü çalıştırılıp durdurulabilir, MPP algoritmasında kontrol için kullandığımız “voltaj adımı” değiştirilerek daha kısa sürede maksimum güç yakalanabilir, kontrol sabitleri değiştirilebilir. Yük akımı manuel olarak ayarlanabilir, akımın DC ofseti varsa ayarlanıp sıfırlanabilir.

Son kısımda ise bu komutların işlemciye gönderilmesi ve geri gelmesi sırasında oluşan veri paketlerinin tamamı izlenmektedir. Ayrıca, tam olarak komut yazılarak “GÖNDER” komutu aracılığı ile kontrol kartına elle yazılmış bir komutun gönderilmesi sağlanabilir.

Bu çalışmada üretilen kontrol devresi ve geliştirilen yazılım Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü çatısına kurulan düzenele denenmiş ve örnek gerilim ölçümleri Şekil 10’daki gibi elde edilmiştir. Ölçümler için “Instek GDS 820 150Mhz” osiloskobu kullanılmıştır.



Şekil 10. Çok seviyeli eviricinin açık devre filtresiz çıkış voltajı (1/22 prob zayıflatması ile). Şekil 2’deki filtre devresi girişinden elde edilmiştir.

4. TARTIŞMA

Yapılan çalışma sonucu geliştirilen mikrodenetleyicili kontrol kartı ve bilgisayar yazılımı başarı ile uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar tatminkâr seviyede olup, geliştirilen kontrol kartının profesyonel amaçlar için de kullanılabileceği görülmüştür. Geliştirilen yazılım kontrol işlevini yerine getirmekte ve basit ara yüzü sayesinde her seviyeden kullanıcının zorlanmadan kullanılabileceği bir yazılım görünümündedir. İleride yapılması muhtemel her türlü geliştirme için yapılacak değişikliklerin hem kontrol kartındaki mikro denetleyici içinden hem de bilgisayar programından yapılmak zorunda olması bir dezavantaj olmasına rağmen, bu tür hem mikro denetleyicili elektronik kart hem de bilgisayar yazılımı kullanımını birlikte gerektiren uygulamalar için bu dezavantaj kaçınılmaz görünmektedir. Ayrıca, Şekil 10’da görülen sıfır geçişlerindeki bozulmaların kullanılan IGBT’ye bağlı sönümlenme devrelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Takip eden çalışmalarımızda daha uygun sönümlenme devreleri kullanılarak bu geçişlerin düzeltilmesi planlanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Brando, G., Dannier, A. and Rizzo, R. 2007. A sensorless control of h-bridge multilevel converter for maximum power point tracking in grid connected photovoltaic systems, International Conference on Clean Electrical Power, 2007. ICCEP '07. 21-23 May 2007.
- Calais, M., Agelidis, V. G. and Dymond, M. S. 2001. A cascaded inverter for transformerless single phase grid-connected photovoltaic systems, Renewable Energy 22, 255–262.
- Cocconi, A., Cuk, S. and Middlebrook, R. D. 1983. High-frequency isolated 4 kW photovoltaic inverter for utility interface, Proceedings of the 7th International PCI’83 Conference, Switzerland.
- Erge, T., Hoffmann, U. and Kiefer, K. 2001. The German Experience with Grid-Connected PV systems, Solar Energy 70, 479–487.
- Gabler, H. 2001. Guest editorial: grid connected photovoltaics, Solar Energy 70, 455–456.

ICCI'2002 Sonuç Bildirgesi, 2002. 8. Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı ve Sergisi 23–24 Mayıs 2002, İstanbul.

Kurokawa, K. and Ikki, O. 2001. The Japanese experiences with national PV system programmes, *Solar Energy* 70, 457–466.

Lindgren, B. 1998. Power-Generation, Power-Electronics and Power-Systems issues of Power

convertors for photovoltaic applications, department of electric power. Engineering Chalmers University of Technology, Doktora tezi.

Strong, S. J. and Scheller, W. G. 1987. The Solar Electric House, Sustainability Press, USA.

Yüksel, İ. 2006. Otomatik Kontrol-Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri. 5. Baskı, Ders Kitabı, Nobel Yayın ve Dağıtım, Eylül 2006.