



Hibrid Güç Sistemleri İçin Evirici Tasarımı

Mustafa Engin^{1*}, Tevfik Gülersoy

¹ Ege Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Ege Meslek Yüksekokulu, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 1 Haziran 2018 ve Kabul Tarihi 24 Kasım 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.429365)

Öz

Bu çalışmada, bir rüzgâr türbini ve fotovoltaikten oluşan hibrid güç sistemi için, hem şebekeye paralel ve hem de şebekeden bağımsız olarak çalışabilen bir evirici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan tek fazlı evirici için, darbe genişlik modülasyonu kullanarak bir mikrodenetleyici yardımı ile PWM darbeleri üretilmiştir. Tek fazlı evirici devrenin tasarımı yapılmış olup, evirici devreyi kontrol etmek için C32 dilinde, bir kaynak kodu yazılmıştır. Tasarımda, DSP tabanlı bir mikrodenetleyici kullanmanın ana amacı, darbe genişlik modüleli işaretler üretmektir. DSP tabanlı bir mikrodenetleyici kullanımı, devrenin ucuz, boyutlarının küçük olmasını ve donanımda bir değişiklik yapmaksızın kontrol algoritmasında değişiklik yapmaya olanak vermektedir. Evirici çıkışı yüksek verimli olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Microchip firmasının, dsPIC32MX795F512L mikrodenetleyicisi kullanılarak, bir laboratuvar tipi evirici tasarlanmış ve sonuçlar sunulmuştur. Sistemin simülasyonu, Matlab Simulink kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hibrid Enerji Sistemi, Rüzgâr Türbini, Fotovoltaik, Evirici, Yenilenebilir Enerji, gömülü sistem.

Design an Inverter for Hybrid System

Abstract

In this paper, performance assesment was planned to be carried out by making inverter design which can be operated as grid – connected and stand – alone mode for hybrid energy systems. This paper describes the use of a general purpose microcontroller to generate the pulse width modulation (PWM) pulses for single phase inverter. A single phase inverter circuit is implemented with hardware setup and software program in C32 code. The main feature used in DSP and microcontroller is their peripherals to realize Pulse Width Modulation (PWM). This brings low cost, small size and flexibility to change the control algorithm without changes in hardware. Inverter output has been designed to be highly efficient. A laboratory inverter prototype using dsPIC32MX795F512L microcontroller is developed and results are presented. Simulations were carried out using Matlab Simulink software package.

Key words: Hybrid Energy System, Wind Turbine, Photovoltaic, Inverter, Renewable Energy, embedded system.

1. Giriş

İki farklı enerji kaynağının, birbirini tamamlamasıyla oluşan sistemler hibrid güç sistemleri veya dağıtılmış güç sistemleri olarak adlandırılır. Rüzgâr ve Güneş enerjilerini birlikte kullanan sistemler, bu tür sistemlerin en güzel örneklerindedir. Rüzgâr ve güneş, gün içinde çeşitlilik gösteren ve bir anlamda birbirini tamamlayan enerji kaynaklarıdır.

Son yıllarda fosil yakıt fiyatlarının yükselmesi, çevre bilincinin artması sonucunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik ilgi artmıştır. Güneş-rüzgâr hibrid enerji üretim sistemleri özellikle şebeden uzak yerlerde elektrik üretimi için ekonomik bir seçenek haline gelmiştir. Güneş pili ve rüzgâr türbini üretim teknolojisinde kaydedilen gelişmelerin yanı sıra birçok devletin yürürlüğe koyduğu teşvik programları

rüzgâr çiflikleri ve güneş tarlalarının sayısını belirgein bir şekilde artmasına neden olmuştur [1, 2].

Güneş ve rüzgâr ayrı kullanıldıklarında gün içerisinde ve yıl boyunca süreklilik göstermezler. Bu kesikli iki yenilenebilir enerji kaynağı birlikte kullanıldığında seçimi doğru yapılan bölgelerde enerji üretim süresi artar, böylece depolama kapasitesi düşer. Kapasite ihtiyacındaki düşmesi sistem maliyetini düşürürken sistem güvenilirliğini ve verimini artırır [3 - 5].

Hibrid yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı, aynı zamanda her bir yenilenebilir enerji sisteminin performansına bağlıdır. Bir başka deyişle, hibrid yenilenebilir enerji sisteminin performansını tahmin edebilmek için, her bir bileşenin modellenmesi ve bunların birlikte çalışan modelinin güvenilir olması gerekir. Eğer her bir bileşenin modellerindeki çıkış güçleri yeterince hassas ise, hibrid yenilenebilir enerji

¹ Sorumlu Yazar: Ege Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Ege Meslek Yüksekokulu, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye, mustafa.engin@ege.edu.tr

sisteminde çıkış gücü güvenilir olacaktır. Bu çalışmada fotovoltaik ve rüzgâr enerjisinden oluşan hibrid yenilenebilir enerji sisteminin modeli geliştirilmiş olup, hibrid enerji sistemi için geliştirilen modelin Matlab Simulink'de simülasyonu yapılmıştır [6].

Sanayinin olduğu kadar insan yaşamının da vazgeçilmez girdilerinden olan enerjinin yeterli, zamanında, kaliteli, ekonomik, güvenilir ve temiz olarak sunumu, ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen önemli göstergelerden biri olup, toplumsal refahın artmasında vazgeçilmez bir etkidir. Enerjiye talep sürekli olarak artarken, özellikle fosil yakıt kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu durum, enerji konusunu dünya gündeminde devamlı olarak tartışılan bir konuma getirmektedir. Sürdürülebilir bir doğa dengesinin sağlanması için, enerji kaynak çeşitliliğinin sağlanması büyük önem kazanmıştır.

Güneş fotovoltaik panelleri ve küçük rüzgâr türbinleri, atmosferik şartlara bağlı olarak çalışırlar ve elektrik enerjisi üretirler Güneş ve rüzgâr enerjisinden birlikte kullanıldığı bu tip sistemlere, hibrid sistemler veya dağıtılmış güç sistemleri adı verilir. Şekil 1'de rüzgâr türbini ve fotovoltaik panellerin birlikte kullanıldığı bir hibrid sistem görülmektedir.



Şekil 1. Hibrid enerji sistemi

2. Fotovoltaik ve Rüzgâr Türbininden Oluşan Hibrid Sistem

Hibrid enerji sistemleri veya bir başka deyişle, dağıtılmış güç sistemleri, evlerin güç ihtiyacının karşılanmasında, kırsal alandaki köylerin elektrifikasyonunda gerekli elektriksel gücü sağlayabilirler. Hibrid enerji sistemleri ile elektrik gücü üretimi güvenilirdir, bakım ve işletmeleri kolay ve ucuzdur. Hibrid enerji sistemleri sessiz çalışırlar ve atmosferi kirletmezler. Bu sistemlerin ayrıca, dünyada diğer elektrik kaynaklarının kullanışlı olmadığı kırsal alanlarda önemli ekonomik ve sosyal faydaları vardır. Hibrid enerji sistemlerinin en önemli dezavantajı, ilk kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek oluşudur. Eğer, geleneksel yöntemler ile çalışan güç tesislerinin çevreye ve sosyal hayata verdikleri zararın miktarı düşünülürse, hibrid sistemler ile elektrik enerjisi üretme yöntemi oldukça etkili ve ucuzdur. Bu yüzden hibrid enerji güç sistemlerinin kurulumuna önem verilmekte ve buna vurgu yapılmaktadır [7].

Fotovoltaik panellerin çıkışına bir evirici bağlayarak, sistemi şebekeye paralel çalıştırmak mümkündür. Sistemde MPPT (maximum power point tracker) kontrolü yapılmalıdır. Bu durumda, şebekeye maksimum güç aktarmak mümkündür [8-10].

Rüzgâr enerjisi, rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Bu enerjinin belli bir bölümü, yararlı

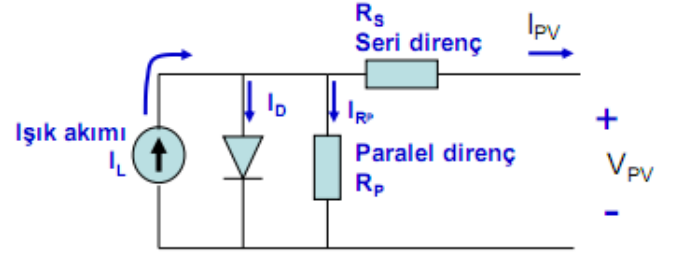
enerjiye (elektrik vb.) dönüştürülebilir. Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgârdan sağlanacak enerjinin miktarı, rüzgârın hızına bağlıdır. Rüzgârın hızı yükseklikle, gücü ise, hızın kübü ile orantılı olarak artar. Dünya yüzeyinin %27'sinde yıllık ortalama rüzgâr hızının, yerden 10 m yükseklikte 5,1 m/s'den büyük olduğu saptanmıştır. Bu alan, rüzgâr enerjisi bakımından zengin olan bölgelerin toplamıdır. [11, 12]

3. Fotovoltaik Hücre Modeli

Türkiye'de güneş ile ilgili ölçümler, başta Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü ve araştırma amaçlı olarak sınırlı sayıda bazı üniversiteler tarafından yapılmaktadır. Güneş enerjisi uygulamalarında ve sistemlerin analiz ve tasarımında güneş ışınımı ile ilgili modeller sıklıkla kullanılmaktadır. Güneş ışınımı tahmini için geliştirilen modellerin çoğu güneşlenme süresi, bulutluluk, bağıl nem, minimum ve maksimum sıcaklıklar gibi mevcut iklim parametrelerine dayanmaktadır [1].

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken yapılardır. Fotovoltaik sistemler hücre şeklindedirler ve güneş pili olarak adlandırılırlar. Güneş pilleri, güneş enerjisindeki fotonları termodinamik bir işleme veya bir akışkana gerek duymadan doğrudan elektrığe çevirirler. Güneş pilleri yalnız başlarına düşük gerilim ürettikleri için birbirleriyle seri bağlanarak modüller oluşturulurlar ve istenilen gerilim seviyesine bu sayede ulaştırılırlar. Sistemde akım düzeyinin ayarlanması istenirse, modüller paralel bağlanarak akım değeri yükseltilebilir [13].

Bir güneş pilinin eşdeğer devresi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Bir güneş pili eşdeğer devresi

Devrede terminal akımı aşağıdaki bağıntı ile verilebilir;

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{R_p} \quad (1)$$

Bu eşdeğer devrede güneş pilinin çıkış akımı aşağıdaki denklem ile bulunabilir:

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{R_p} = I_L - I_S \left(e^{\frac{e(V_{PV} + I_{PV}R_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_s}{R_p} \quad (2)$$

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{R_p} = I_L - I_S \left(\exp\left(\frac{q(V_{PV} + I_{PV}R_s)}{nkT}\right) - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_s}{R_p} \quad (3)$$

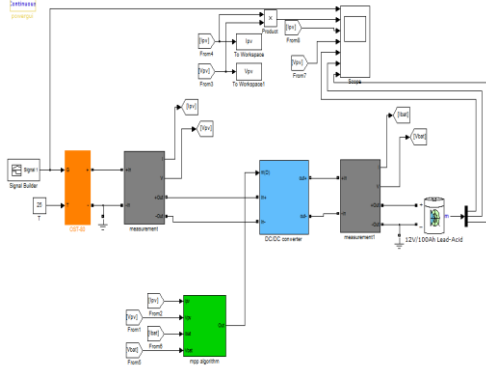
Bu çalışmada güneş pili olarak OST80 kullanılmaktadır. OST80'e ait veriler kullanılarak geliştirilen bir güneş piline ait simülasyon Şekil 3'de görülmektedir.

Simülasyon, Matlab Simulink programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda MPPT kontrolü yapılmaktadır.

Bu nedenle OST80 güneş pili Maksimum Güç Noktasında çalıştırılmaktadır. Ayrıca devre şarj regülatöründe içermektedir. Böylece hibrid enerji sisteminde bulunan aküler şarj edilmektedir.

4. Maksimum Güç Noktası İzleme

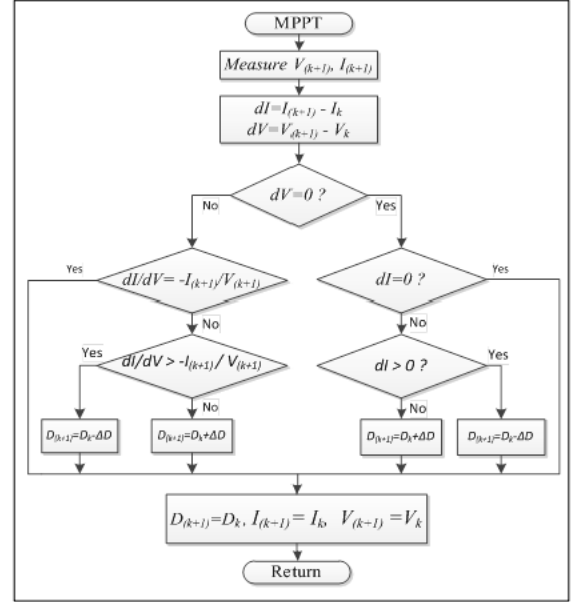
Bir güneş hücresinin verimi oldukça düşüktür. Verimi arttırmanın yolu, kaynak ile yükü birbirine uyumlu kılmaktır. Bu yöntemlerden biride, maksimum güç noktası izleme yöntemidir. Bu teknik, kaynaktan maksimum güç elde etmek için kullanılır. Fotovoltaik sistemlerin V-I karakteristikleri doğrusal olmadığı için, yük üzerindeki gücü belirlemek zor olmaktadır.



Şekil 3. Bir güneş pilinin Matlab Simulink modeli

Bu da ancak, bir MPPT algoritması kullanarak, DC-DC dönüştürücünün işaret-boşluk oranını değiştirerek yapılabilir. Uygulamada pek çok MPPT algoritması mevcuttur. Bu çalışmada, dürt ve gözlemlerle (P&O) metodu seçilmiştir [1].

Uygulamada en çok kullanılan kontrol algoritması, dürt ve gözlemlerle kontrol algoritmasıdır. Çünkü, bu kontrol algoritmasını gerçekleştirmek oldukça basittir. Fotovoltaik dizinin çalışma gerilimi verilen yöndedir ve $dP/dV > 0$ 'dir. Buradan, fotovoltaik dizinin çalışma geriliminin MPP noktasına doğru hareket ettiği anlaşılır. Şekil 4'de, P&O kontrol yönteminin akış diyagramı görülmektedir. P&O algoritmasının avantajı, bu kontrol yöntemini gerçekleştirmenin kolay olmasıdır. Bununla birlikte, MPP noktası civarında osilasyonlar, düşük hız cevabı ve hızla değişen atmosferik koşullar gibi, bazı sınırlamalarda mevcuttur.



Şekil 4. P&O Metodu akış diyagramı

5. Rüzgâr Türbini Modeli

Herhangi bir bölgenin, rüzgar enerjisi potansiyelinin analizi için, o bölgede, saatlik rüzgar hızı ve yön bilgilerinin en az bir yıl boyunca ölçülmesi gerekmektedir. Ayrıca, daha doğru ve hassas sonuçlara ulaşmak için, ölçüm yapılan istasyon etrafında, bu ölçümlerde elde edilecek verileri etkileyecek yakın çevre engellerinin olmamasına dikkat edilmelidir [14].

2012 yılı sonunda, dünyadaki toplam kurulu rüzgar gücü potansiyeli 282,587 MW'dır. Bu kurulu gücün toplam 109,236 MW'ı Avrupa kıtasına aittir. Türkiye'de ise, toplam kurulu güç 2,312 MW değerindedir. Oysa Türkiye, Avrupa'da rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 83.000 MW ile en iyi olan ülke durumundadır.

Bu anlamda, özellikle Marmara ve Ege bölgesinin kıyılarında rüzgar santralleri kurulması için çalışmalar ve projeler yapılmakta ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından, uygun yerlerden rüzgar verileri elde edilerek istatistiksel analizler yapılmaktadır

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla, rüzgar enerjisi santrallerinin kurulması için son derece uygun bir durumdadır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi, özellikle Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz Bölgesinin bazı kısımları, oldukça zengin rüzgar potansiyeline sahiptir. Bu bölgeler, rüzgar santrali kurulmasına uygun bölgelerdir [11, 12].

V hızına sahip m kütledeki havanın kinetik enerjisi;

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4)$$

İle ifade edilmektedir. Hareketli havanın kinetik enerjisini gösteren denklemler ve kütleli debi, birim zamanda A kesitinden geçen enerji miktarıdır. Bu enerji fiziksel olarak güç (P)'ye eşittir;

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A \quad (5)$$

Rüzgar pervanesinin, pervane göbeğinden r uzaklıktaki bir kanat elamanının çevresel hızı (V_c), ω açılmal hız ve n pervane milinin dakikadaki devir sayısı olmak üzere,

$$V_c = \omega r = \frac{\pi}{30} nr \quad (m/s) \quad (6)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Pervane yarıçapı, r olmak üzere λ devirlilik sayısı veya uç hız oranı;

$$\lambda_A = \frac{V_c}{V_r} = \frac{\pi rn}{30V_r} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Güç faktörü C_p ise P_p pervane milindeki gücün, pervane düzlemi öncesindeki rüzgarın kinetik enerjisinden kaynaklanan P_r gücüne oranı şeklinde tanımlanmaktadır;

$$C_p = \frac{P_p}{P_r} \quad (8)$$

Pervane düzlemi öncesinde r yarıçaplı çemberden geçen hava akımındaki kinetik enerjiden kaynaklanan güç;

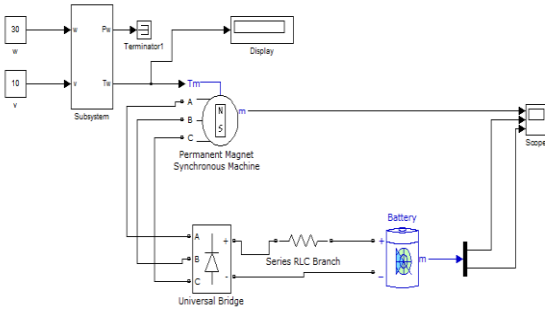
$$P_r = \frac{1}{2} \rho \mu r^2 V_r^2 \quad (9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Güç faktörü, en çok $C_{p,max} = 0,5926$ olabilmekte ve bu değer Betz limiti olarak adlandırılmaktadır. Türbin rotoru tarafından üretilecek torkta, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$T = \frac{P_r}{\omega} \quad (10)$$

Yukarıda belirtilen rüzgar türbini denklemleri yardımıyla küçük güçlü bir rüzgar türbini için bir Matlab Simulink modeli geliştirilmiştir. Şekil 5’de, küçük güçlü bir rüzgar türbininin Matlab Simulink modeli görülmektedir.



Şekil 5. Rüzgar türbini Simulink modeli

6. Eviriciler

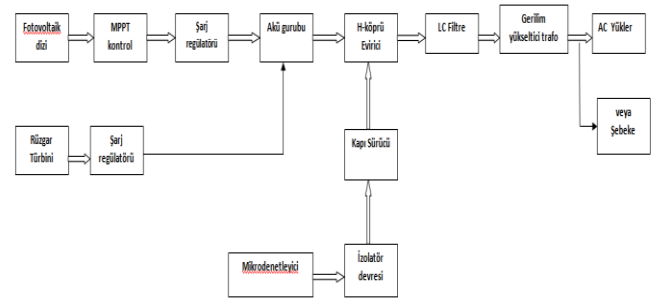
Tam sinüs bir evirici transformator, köprü devre, çıkış filtresi ve gerilim regülasyonu için bir geri besleme devresinden oluşmaktadır. PWM işaretlerini üretmek için, pek çok yöntem ve teknik vardır. Bunlardan en çok kullanılanı bir üçgen dalgayı, bir sinüs dalga ile karşılaştırmaktır. Bu yöntem literatürde, daha çok analog yöntem olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, dijital (sayısal) kontrol tekniğinin kullanımı tercih edilmiştir. Sayısal kontrol tekniği kullanılarak, mikrodenetleyici tabanlı bir güç eviricisi tasarlanmıştır.

Mikrodenetleyici, 10kHz frekans değerinde SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) işaretleri üretmektedir.

Bu çalışmada olduğu gibi, rüzgar türbini ve fotovoltaik panellerden oluşan hibrid sistemler, uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. ADUC812 mikrodenetleyici kullanarak yapılan bir çalışmada, MPPT kontrolüde yapılmıştır. Sistem şebekeden bağımsız olarak çalıştırılmıştır [9]. Rüzgar türbini ve fotovoltaik panelden oluşan bir hibrid enerji sisteminde, rüzgar ve güneş pili için ayrı ayrı MPPT kontrol yapılabilir. Bir DC-DC dönüştürücü kullanılarak, akü grupları şarj edilebileceği gibi, doğrudan dc yüklerde beslenebilir [15-17].

Son yıllarda pek çok evirici uygulamasında DSP (Digital Signal Processor) tabanlı mikrodenetleyiciler tercih edilmiştir. DSP tabanlı mikrodenetleyiciler içerisinde analog sayısal dönüştürücü (ADC), dijital analog dönüştürücü (DAC) ve sayıcı gibi evirici tasarımını kolaylaştıran çevre birimleri içermektedirler. DSP kullanımı tasarlanan baskı devre boyutunu küçültürken komut setlerinde kayan noktalı sayılar ile aritmetiği izin veren komutların yer alması nedeniyle daha etkin program yazmayı mümkün kılmaktadır. DSP TMS320F241’in kullanıldığı bir çalışmada, çıkış gerilimi ve frekansını ayarlamak için diğerlerinden farklı olarak unipolar PWM tekniği tercih edilmiştir [18, 19].

DSP tabanlı mikrodenetleyici çıkış değişkenleri gerilim ve frekansını ayarlama işleminin yanı sıra bu denetimi yaparken sistemin sağlıklı çalışması için eviricinin giriş gerilimi, akımı, batarya kapasitesi gibi giriş değişkenlerini ölçer ve bu değerlere göre eviricinin çalışıp çalışmayacağını karar verir. Bu değerlere ek olarak anahtarlar elemanları MOSFET’lerin sıcaklıkları da ölçülerek aşırı sıcaklık artışından zarar görmeden eviriciyi korumaya alır. Bu değerlere ek olarak çıkış değişkenleri çıkış gerilimi ve çıkış frekansı da DSP tarafından ölçülür ve bu ölçüm sonuçlarına göre denetim görevini yerine getirir. Giriş değişkenlerini ölçmesinin diğer bir nedeni, eviriciyi maksimum güç noktasında çalıştırma gerekliliğidir. Geleneksel analog yöntemlerle karşılaştırıldığında, 32-bit DSP işlemcilerle kontrol edilen dc-ac eviriciler, devrenin boyutlarını küçültürken, evirici verimini arttırmakta ve evirici çıkışında toplam harmonik distorsiyonunu azaltmaktadır. [20, 21]. Tasarlanan eviricinin blok şeması şekil 6’da verilmiştir.

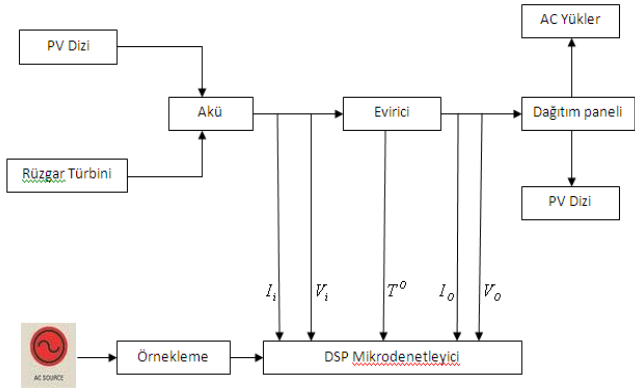


Şekil 6. Sistemin blok diyagramı

Bir evirici devresi basitçe, bir doğru akımı, alternatif akıma çeviren elektronik bir devredir. Bir DC-AC evirici yapmanın amacı, DC olarak üretilen veya depolanmış enerjiyi AC’ye dönüştürmektir. DC-AC eviriciler, UPS (Uninterruptable Power Supply), AC motor sürücü gibi endüstriyel uygulama alanlarında çok geniş biçimde kullanılırlar. Günümüzde eviriciler, rüzgar enerjisi sistemleri ve fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlanması gibi çok çeşitli yenilenebilir enerji kaynağı uygulamalarında, önemli bir rol oynamaktadırlar.

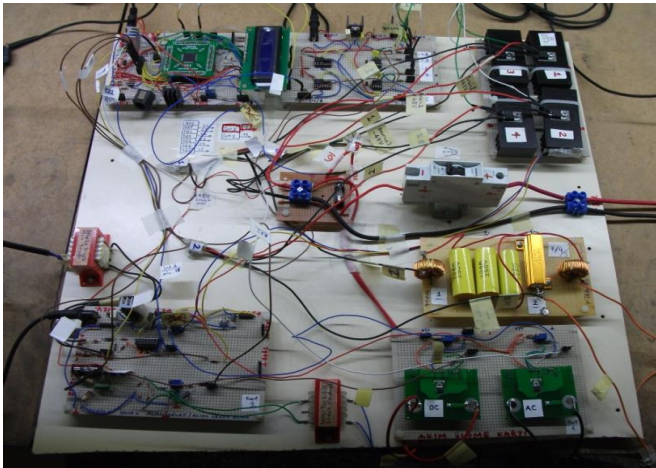
SPWM modülasyon tekniği, güç elektroniğinde geniş bir biçimde kullanılır. SPWM tekniği, her periyotta, işaretin genliğini sabit tutarak, sinyalin işaret boşluk oranını değiştirme tekniğine dayanmaktadır. Bu SPWM darbelerinin genişliği, evirici çıkış gerilimini denetlemeye ve çıkıştaki harmoniklerin azaltılmasını sağlamaktadır. SPWM tekniği çoğunlukla, motor kontrol uygulamaları ve evirici uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamada, bipolar SPWM modülasyonu seçilmiştir. Çünkü bu teknik, evirici gerilimini anahtarlama frekansını çiftlemeye ve çıkış filtresinin küçük, ucuz ve kolayca tasarımına imkan sağlamaktadır.

Tasarlanan evirici, hem şebekeye paralel hem de şebekeden bağımsız modda çalışacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu tasarlanan evirici, şebeke gerilimi kesilse dahi, eğer hibrid sistemde yeteri kadar enerji varsa, kolaylıkla şebekeden bağımsız çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Eviricinin güneş-rüzgar üretim sistemine bağlantısı şekil 7'deki blok şema üzerinde gösterilmiştir.



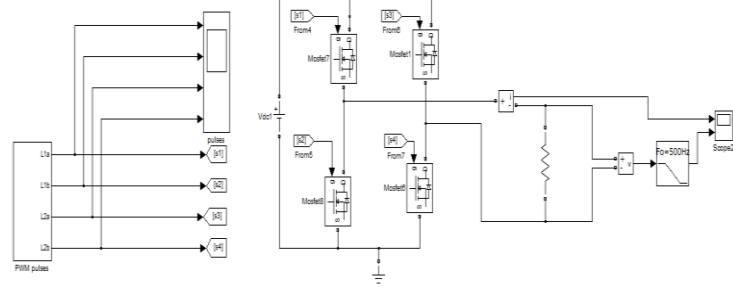
Şekil 7. Evirici blok şeması

Tasarlanan evirici devresinin tamamlanmış hali Şekil 8'de görülmektedir. Şekilde, mikrodnetleyici kartı, izolasyon devresi, gate sürücü devresi, H-köprü devresi, L-C çıkış filtresi, AC ve DC akım ve gerilim ölçme devreleri, MOSFET'lerin sıcaklıklarını ölçen devre ve şebeke geriliminden örnek alan devre görülmektedir.



Şekil 8. Montajı tamamlanmış evirici devresinin son görünümü. Evirici çıkışına

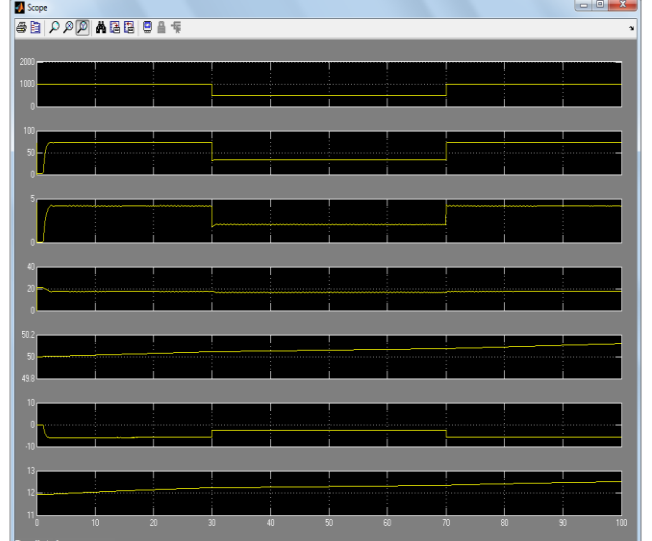
LC filtresi bağlandıktan sonra devre Matlab Simulink ile simüle edilmiştir ve kullanılan modelin çizimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Çıkışına LC filtre bağlanmış bir evirici devresinin Matlab Simulink modeli

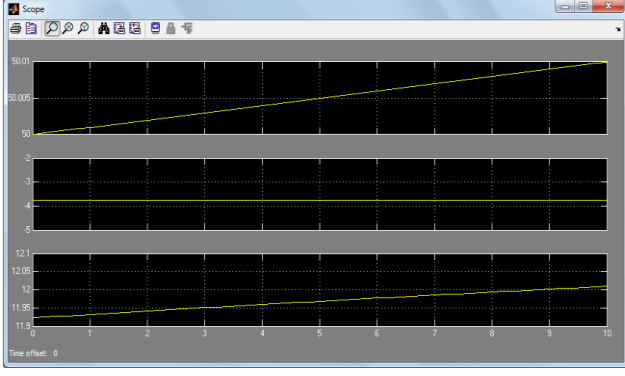
7. Bulgular

Bu çalışmada OST-80 fotovoltaik panel ile küçük güçlü bir rüzgar türbininden oluşan hibrid enerji sistemi için bir Matlab Simulink modeli geliştirilmiştir. Fotovoltaik panel için geliştirilen Matlab Simulink modelin simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 10'da görülmektedir. Bu simülasyon modeli güneş pilinin eşdeğer devresi, MPP algoritması, bir dc-dc dönüştürücü ve bir akü grubundan oluşmaktadır. Simülasyon sayesinde MPP kontrol algoritması gerçekleştirilmekte ve bir dc-dc dönüştürücü devrede yer almaktadır. Devrenin çıkışında ise güneş panellerinden elde edilen enerji bir kurşun-asit akü grubunun şarj edilmesinde kullanılmaktadır. Simülasyonda Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde ölçülen saatlik ortalama güneş ışınım ve çevre sıcaklığı verileri kullanılmıştır [24].



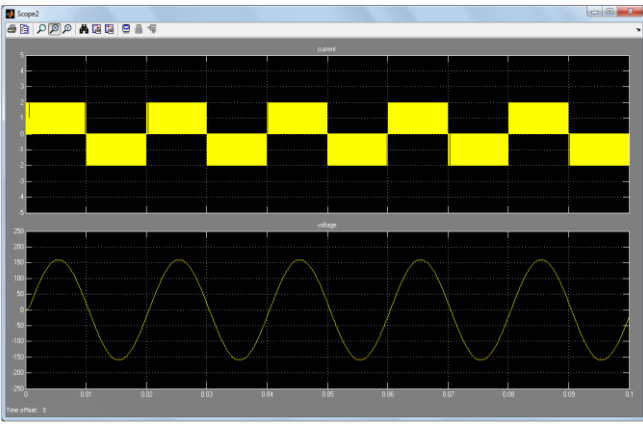
Şekil 10. PV sistemin simülasyon sonuçları. a) güneş ışığı şiddeti b) pv panel çıkış gücü c) pv panel çıkış akımı d) pv çıkış gerilimi e) batarya şarj olma yüzdesi f) batarya akımı g) batarya şarj gerilimi

Rüzgar türbini için geliştirilen Matlab Simulink modeli kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları şekil 11'de verilmiştir. Simülasyonda Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızı verileri kullanılmıştır [24].



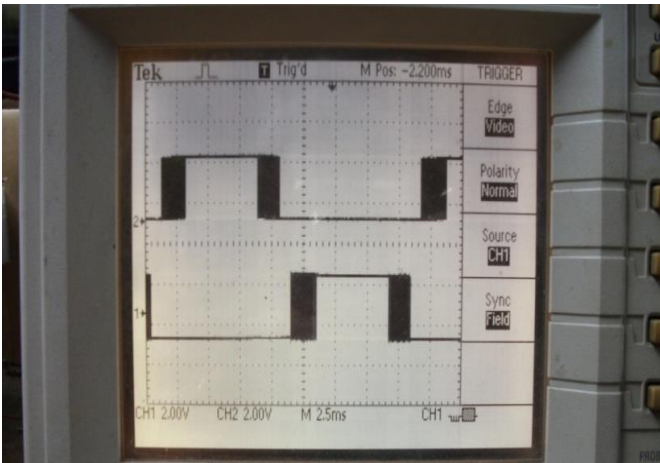
Şekil 11. Rüzgar türbini simulasyon sonuçları a) batarya şarj olma yüzdesi b) batarya akımı c) batarya şarj gerilimi

Şekil 12'de ise çıkışına bir LC filtresi bağlanmış olan evirici devresinin Matlab Simulink modelinde devre çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir.

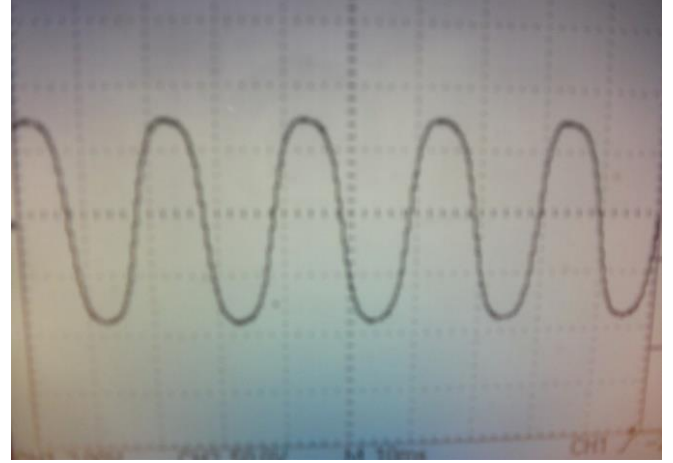


Şekil 12. LC filtre bağlı evirici çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekilleri

Bu çalışmada bir, tek fazlı laboratuvar tipi evirici kontrol uygulaması için DSP tabanlı dsPIC795F512L mikrodnetleyicisi kullanılarak tasarlanmış ve başarıyla test edilmiştir. Evirici devresi dört adet MOSFET yarı iletken anahtarlama elemanı, optik izolatör ve kapı sürücülerini içermektedir. H-köprü devresindeki uygulama için STP75NF75 MOSFET tranzistörler kullanılmıştır. Ayrıca çok hızlı optokuplörler ve TTL kapı devreler kullanılmıştır. Güç MOSFET'lerini anahtarlama frekansı 10kHz ve evirici çıkış frekansı 50Hz'dir. Tektronix marka, bir dijital osiloskop, deney sonuçlarını ölçmek ve gözlemlemek için kullanılmıştır. DSP tabanlı mikrodnetleyicinin çıkış portlarında görülen SPWM modüleri işaretleri Şekil 13'de görülmektedir.



Tasarlanan evirici devresinin çıkışına bir L-C filtre devresi bağlanmıştır. Evirici çıkışına bağlı L-C filtre devresi çıkışında elde edilen işaretler Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14. LC filtre devresi çıkışında elde edilen işaretler

Bu çalışmada ana amaç, dsPIC tabanlı mikrodnetleyicisi kullanarak, hem şebekeye bağlı, hem de şebekeden bağımsız olarak çalışabilen bir tek fazlı tam köprü evirici için kontrol devresi geliştirmektir. Simulasyon sonuçları ile deneysel sonuçların birbiri ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Eviriciyi kontrol etmek için SPWM kontrol metodu kullanılmıştır. Kontrol devresinde Microchip firmasının dsPIC795F512L mikrodnetleyicisi kullanıldığından, evirici kontrol devresinde minimum sayıda devre elemanı kullanılmıştır. Mikrodnetleyicisi devresi yardımı ile, donanımda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın frekans modülasyon oranı, ölü zaman periyodu kolaylıkla yazılım ile denetlenebilmektedir.

8. Sonuç

Bu çalışmada, güneş-rüzgâr hibrid güç üretim sistemi ile birlikte şebekeye bağlı ve bağımsız çalışabilen tek fazlı evirici tasarlanmıştır. Öncelikle sistemin Simulink modeli oluşturulmuş ve geliştirilen denetim algoritması simulasyon ile doğrulanmıştır. Daha sonra Microchip firmasının dsPIC32MX795F512L mikrodnetleyicisi kullanılarak eviricinin prototipi üretilerek laboratuvar ortamında gerçek güneş rüzgâr hibrid güç üretim sistemine bağlanarak test edilmiştir. Test sonuçları ve simulasyon sonuçları karşılaştırıldığında hedeflenen çıkış gerilimi, frekansı ve harmonik değerlerine ulaşıldığı görülmüştür.

Kaynaklar

1. Gülersoy T., Engin M., "PV-Wind hybrid power system performance simulation and sizing", 6.th International Ege Energy Symposium & Exhibition, 28-30 June, İzmir, pg.993-1005, 2012
2. Deshmukh M.K., Deshmukh S.S., "Modeling of Hybrid Renewable Energy Systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, No.12, pg.235-249, 2008
3. Blaabjerg F., Chen Z., "Power Electronics for Modern Wind Turbines", Morgan & Claypool Publishers, 2006
4. Blanchi F.D., Battista H.D., Mantz R.J., "Wind Turbine Control Systems", Springer, 2007

5. Chang L., Guo G., Shao R., “ Development of a 10 kW Single-Phase IGBT Inverter for grid-connected PV applications “, 2.nd Canadian Solar Buildings Conference, Calgary, June 10-14, 2007
6. Palm W.J., “Introduction to Matlab for Engineers”, Mc Graw Hill, 2011
7. Akkaya R.,Kulaksız A.A.,” A microcontroller-based stand-alone photovoltaic power system for residential appliances “, Applied Energy,78,2004,pp.419-431, 2004
8. Chang Y.H., Wu M.Z., “ High Conversion Ratio Switched Capacitor Boost DC-AC Inverter Using Sinusoidal PWM Control “, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, vol.2, IMECS 2010, March 17-19, 2010,Hong Kong, 2010
9. Ilango G. S., Rao P. S., Karthikeyan A., Nagamani C., “ Single-stage sine-wave inverter for an autonomous operation of solar photovoltaic energy conversion system “, Renewable Energy, 35, pp. 274-282, 2010
10. Kerekes T., Teodorescu R., Rodriguez P., “A New High-Efficiency Single Phase Transformless PV Inverter Topology”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.58, No.1, 2011
11. Gülersoy T., Çetin N. S., “Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri İçin Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması”, Politeknik Dergisi, Cilt.13, Sayı.3, s.209-213, 2010
12. Ülgen K.,Hepbasli A., “ Determination of Weibull parameters for Wind Energy Analysis of Izmir,Turkey “, International Journal of Energy Research,26:495-506,2002
13. Masters G.M., “Renewable and Efficient Electric Power Systems”, Wiley-Interscience, 2004
14. Bilgili M., Şahin B., Şimşek E., “ Türkiye'nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli “, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30,pp.01-12, 2010
15. Apniratsakun N., Bhaganagarapu S.R., Techakittiroj K., “ Implementation of a Single-Phase Unipolar Inverter Using DSPTMS320F241 “, AU J.T. 8(4):PP.191-195, April,2005
16. Bascope R.P.T., Alcazar Y.J.A., Lenz E.C., Branco C.G.C., Bezerra L.D.,“A DC-AC Converter for Stand-Alone Systems”, POCOSDE CALDAS, Brasil, 2008
17. Buso S., Mattavelli P.,“Digital Control in Power Electronics”, Morgan & Claypool Publishers, 2006
18. Dewan S.B., Straughen A., “Power Semiconductor Circuits “, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley&Sons Inc., Canada, 1975
19. Draghiciu N., Albu D., “ Control Strategy for a Single-Phase Uninterruptible Power Supply “, University of Oradea, Department of Electronics, Volume 45, Number 6, 2004
20. Prasad S.A.H., Nagaraj R, “ An Efficient Method of Controlling AC Power Using DSP2407-A Controller “, IJCSNS International Journal of Cömputer Science and Network Security, Vol.8, No.9, 2008
21. Rashid H.M., “Power Electronics Handbook”, Academic Press, 2001
22. Hassaine L., Olias E., Haddadi M., Malek A., “Asymmetric SPWM used in Inverter Grid Connected”, Revue des Energies Renouvelables, Vol.10, No.3, pg.421-429, 2007
23. Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P., “Power Electronics”, John Wiley and Sons,Inc, 1989
24. Selek M. B., İşler Y., Çolak M. “Fotovoltaik Sistemlerin Denetlenmesi İçin yeni Bir Kontrol Kartı ve Bilgisayar Yazılımı Tasarımı” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 14(2),161-8, 2008