

## 300 W İNVERTER DEVRESİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

### DESIGN AND IMPLEMENTATION OF 300 W INVERTER

*Ahmet TOPRAK<sup>1</sup>, Ayşegül TOPRAK<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Bozkır MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Kadınhanı Faik İçil MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü

atoprak@selcuk.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışmada, rüzgâr türbininden elde edilen DC gücü AC güce dönüştürmek için tek fazlı köprü tipi gerilim beslemeli 300 W gücünde bir inverter tasarlanmış ve yapımı gerçekleştirilmiştir. Sistem, kontrol devresi, MOSFET sürücü katı ve köprü inverter katından oluşmaktadır. Kontrol devresinde bulunan PIC16F877 mikrodenetleyicisi ile inverter çıkış gerilimi ve frekansı, 220 V 50 Hz olacak şekilde darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyalleri üretilmiştir. Sürücü katında ise MOSFET'leri sürmek için IR2113 sürücü entegresi kullanılmıştır. IR2113, kontrol sinyalini MOSFET'i sürecektir şekilde yükseltir, aynı zamanda MOSFET kontrol devresini yüksek gerilim seviyesinde bulunan köprü inverter katından elektriksel olarak yalıtır. Köprü inverter katı ise IRFP064N serisi MOSFET'lerin birbirine bağlanması ile oluşmaktadır. Yapılan bu çalışmada düşük güç ihtiyacı olan uygulamalar için bir inverter tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnverter, Mikrodenetleyici, PWM, MOSFET

#### ABSTRACT

In this study, a single phase bridge type voltage biased 300 W inverter was design and implemented to convert DC power to AC power obtained from a wind turbine. The system consists of a control unit, a MOSFET drive unit and a bridge inverter unit. Inverter output voltage and frequency is to be 220 V 50 Hz, pulse width modulation (PWM) signal was produced with PIC16F877 microcontroller in the control circuit. IR2113 was used to drive the MOSFET in driver unit. IR2113 increases the controlling signal in a way that it will drive the MOSFET, at the same time it electrically insulate the MOSFET control unit from the bridge inverter unit which is at the high voltage level. Bridge inverter unit consists of a connection of IRFP064N series MOSFETs. In this study an inverter was designed and implemented for low power applications.

**Keywords:** Inverter, Microcontroller, PWM, MOSFET

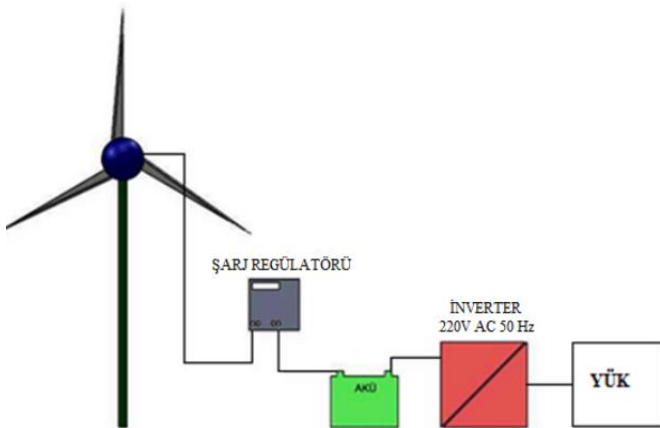
## 1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının sürekli artması, buna karşılık mevcut kaynakların kısıtlı ve tükenbilir olması, insanoğlunu alternatif enerji kaynakları bulma ve geliştirme yoluna itmiştir [1].

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekliliği olan kaynaklardır. Rüzgâr enerjisi yaygın olarak kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgâr kaynaklı enerji üretimi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında en umut verici ve ticari olarak mevcut olanı, aynı zamanda en hızlı gelişenidir [2]. Rüzgâr türbininde üretilen enerjinin tüketiciler tarafından kullanılabilmesi için arabirim olarak güç elektroniği dönüştürücüleri kullanılır. Güç elektroniğindeki son gelişmelerle birlikte düşük fiyatlı ve yüksek güvenilirlikte ve verimli çeşitli dönüştürücüler rüzgâr enerji sistemlerinde kullanılmaktadır. Günümüz rüzgâr türbinleri bünyelerinde şarj kontrol üniteleri (şarj regülatörü) bulundurlar. Bu sayede rüzgâr türbininden elde edilen enerjinin, kullanılmadığı zamanlarda depolandığı akülerin zarar görmesi de engellenmiş olur. Özellikle, rüzgâr türbinlerinden elde edilen ve akülerde depolanan DC enerjinin tüketiciler tarafından kullanılabilmesi için uygun frekans ve genlikte AC gerilime dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla AC gücü DC güce dönüştüren çeşitli inverter devre şemaları ve kontrol teknikleri kullanılmaktadır. Düşük güçlü sistemlerde genellikle tek fazlı sinüzoidal PWM inverterler tercih edilmiş ve bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır [3][4][5].

Inverterler günümüzde birçok endüstriyel uygulama için vazgeçilemez bir unsur haline gelmiştir. Çeşitli motor tiplerinin denetiminde ve güç sistemlerinde inverterler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı inverterler üzerinde yapılan çalışmalar giderek artmakta ve buna bağlı olarak inverter teknolojisi hızlı bir şekilde gelişmektedir. Tüm yapılan çalışmalarda asıl hedeflenen çıkış gücünün ve yük akımının daha kaliteli olarak elde edilmesidir. Bu yüzden çalışmaların sonucu olarak birçok yeni yapı elde edilmiş ve bu yapılar üzerinde yeni anahtarlama teknikleri geliştirilmiştir [6].

Bu çalışmada, blok diyagramı Şekil 1’de verilen rüzgâr enerji sistemi için PWM tekniği ile kontrol edilen bir inverter tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de gerçekleştirilen sistemin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Tasarlanan ve Gerçekleştirilen Sistem

## 2. TEORİK BİLGİ

### 2.1. İnverter

Doğru akımdan (DC) alternatif akıma (AC) tek faz veya 3 faz biçimine dönüştürülebilen, frekansı ve gerilimi ayarlanabilen devrelerdir. Tek fazlı inverterler genellikle indüksiyon ısıtma, standby güç kaynakları ve kesintisiz güç kaynakları gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır [7]. İnverterlerin üreteceği dalga şekilleri ve frekansları kullanılan yarıiletken elemanların (Tristör, BJT, IGBT, MOSFET) karakteristiklerine, iletim ve tıkama sürelerine bağlıdır. İnverterler, uygulamada besleme özelliklerine göre “Akım beslemeli” ve “Gerilim beslemeli” olmak üzere iki grupta incelenirler. Akım veya gerilim beslemeli inverterler arasında yapılacak seçim, yükün özelliklerine göre değişir. Eğer yük, harmonik akımlara karşı yüksek empedans gösteriyorsa gerilim beslemeli inverter, yük harmonik akımlara karşı düşük empedans gösteriyorsa akım beslemeli inverterler tercih edilmelidir [8].

### 2.2. Akü

Aküler üretilen elektrik enerjisini depolamaya yararlar. Genel olarak üç tiptir, bunlar; Kuru (Flooded Lead Acid), AGM (Absorbed Glass Mat Sealed Lead Acid) ve GEL (Gelled Electrolyte Sealed Lead Acid). Akülerin kapasiteleri amper-saat (Ah) olarak ifade edilir [9]. Ayrıca üretildikleri materyale göre kurşun asit aküler ve nikel kadmiyum (Ni-Cd) aküler olmak üzere iki tip aküden bahsedilebilir. Kurşun asit aküler, 6 hücreden oluşmakta ve her hücre kurşun elektrolitler içermektedir. Bu tür aküler, sabit gerilim ve sabit akım metodu ile şarj olmaktadır [8].

### 2.3. MOSFET

Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör (MOSFET), gate (G), drain (D) ve source (S) olmak üzere üç terminalli bir anahtarlama elemanıdır. Gate terminaline uygulanan gerilim ile drain terminalinden source terminaline doğru akan akım akışı kontrol edilir. MOSFET kanal bölgelerinde kullanılan materyallere göre n-tipi MOSFET ve p-tipi MOSFET olarak isimlendirilirler.

### 2.4. Mikrodenetleyici

Mikrodenetleyici; mikroişlemci, giriş-çıkışlar, kristal osilatör, zamanlayıcı, seri ve analog giriş çıkışlar, programlanabilir hafıza gibi bileşenlerle üretilmiş entegre devredir. Mikrodenetleyiciler elektronik saatlerde, beyaz eşyalarda, robotlarda, biyomedikal cihazlarda, endüstriyel otomasyonda ve daha birçok elektronik uygulamada kullanılmaktadır. Tercih edilmesinin nedeni düşük maliyetli olması, işlev bakımından gelişmiş olması ve az yer kaplamasıdır. Tasarlanan cihazlarda istenen işlemlere cevap verecek nitelikte özellikleri bulunduran mikrodenetleyici seçimi yapılır [10].

### 2.5. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

İnverterlerde çıkış işaretinin genliğinin ve frekansının ayarlanabilmesi istenir. Ayrıca çıkışın harmoniksiz olması yani sinüzoidal olması istenir. Ancak inverter çıkışında ana harmoniğe çok yakın ve genlikleri büyük harmonikler oluşmaktadır. Yükü bu harmonikler çok etkilemektedir. İnverterlerde çıkış harmonik bileşenlerinin büyüklüğünü azaltmak ve çıkış genliğini ayarlamak amacı ile PWM kullanılır.

PWM, temel elektronik devre elemanlarıyla gerçekleştirildiği gibi özel PWM entegre devreleri ve mikroişlemciler yardımıyla da gerçekleştirilmektedir.

Genel olarak PWM sinyalleri yüksek frekanslı bir üçgen taşıyıcı dalga ile istenen çıkış frekansındaki bir referans sinüs dalganın karşılaştırılmasından elde edilir. Referans dalganın tepe değerinin ( $V_R$ ) üçgen taşıyıcı dalganın tepe değerine ( $V_c$ ) oranına Modülasyon İndeksi denir ve  $M_a$  ile gösterilir.

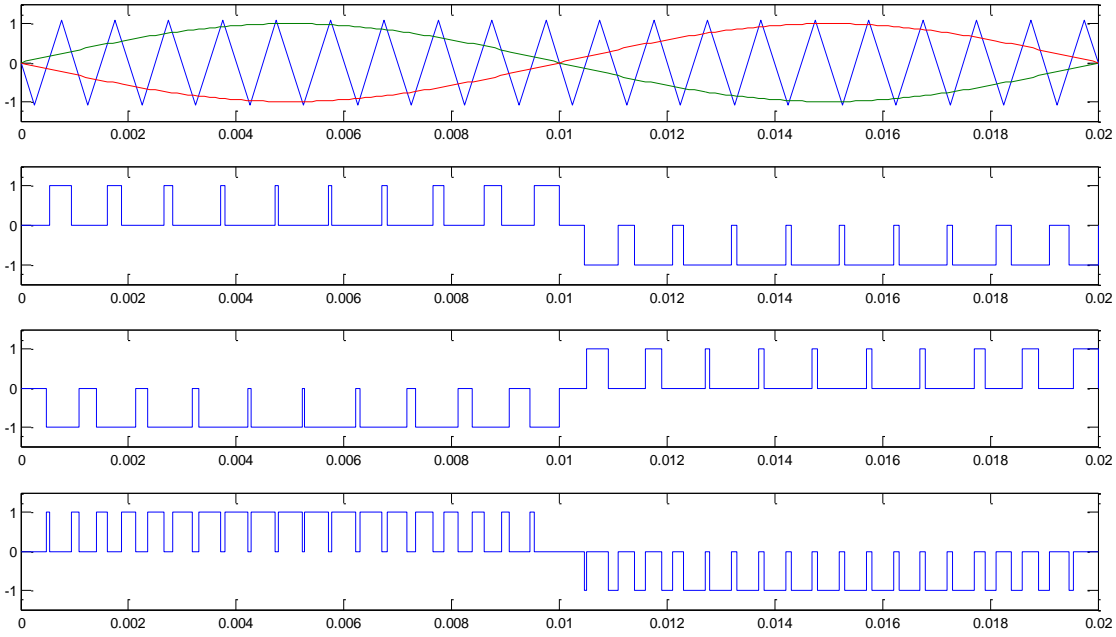
$$M_a = \frac{V_R}{V_c} \quad (1)$$

Modülasyon indeksinin değiştirilmesi çıkış gerilimi ana harmonik genliğini ayarlar.

$$m_f = \frac{f_s}{f_m} \quad (2)$$

Üçgen taşıyıcı dalga frekansının ( $f_s$ ) referans dalga frekansına ( $f_m$ ) oranı frekans modülasyon oranıdır ve  $m_f$  ile gösterilir.  $m_f$ 'nin en az 9 olması istenir.  $m_f$  ne kadar büyük olursa harmonik bileşenler ana harmonikten o derece uzaklaşır.

Şekil 2'de PWM dalga şekillerinin elde edilmesi için referans dalga olarak sinüs ve taşıyıcı dalga olarak üçgen dalgalar kullanılmıştır. Üçgen dalganın frekansı PWM anahtarlama frekansını belirlerken sinüzoidal referans dalganın frekansı çıkış frekansını belirler.



Şekil 2. Sinüs PWM

PWM için değiştirilebilen üç kontrol girişi vardır. Bunlar; modülasyon indeksi  $M_a$ , frekans modülasyon oranı  $m_f$  ve sinüs referans dalgasının frekansı  $f_m$ 'dir. PWM de kullanılan dalgaların özelliklerini ve bu dalgaların frekans ve genliklerinde yapılacak değişikliklerin inverterin çıkışına etkileri aşağıdaki gibi açıklanabilir.

### 2.5.1. Referans sinüs dalga

- Referans işareti olarak kullanılan sinüs dalgası, kontrol işareti olarak ta adlandırılır. Genliği  $V_R$  ve frekansı  $f_m$ 'dir. Bu  $f_m$  frekansına modülasyon frekansı da denir.
- Sinüs işaretinin frekansı  $f_m$ , inverterin çıkış frekansıdır. Dolayısı ile inverterin çıkış frekansı sinüs işaretinin frekansı değiştirilerek ayarlanabilir.
- İverterin çıkış gerilimindeki ana harmoniğin genliğini azaltmak ya da arttırmak için üçgen dalganın genliği  $V_c$  sabit tutularak sinüs dalgasının genliği yani modülasyon indeksi  $M_a$  azaltılır veya artırılır.

### 2.5.2. Taşıyıcı üçgen dalga

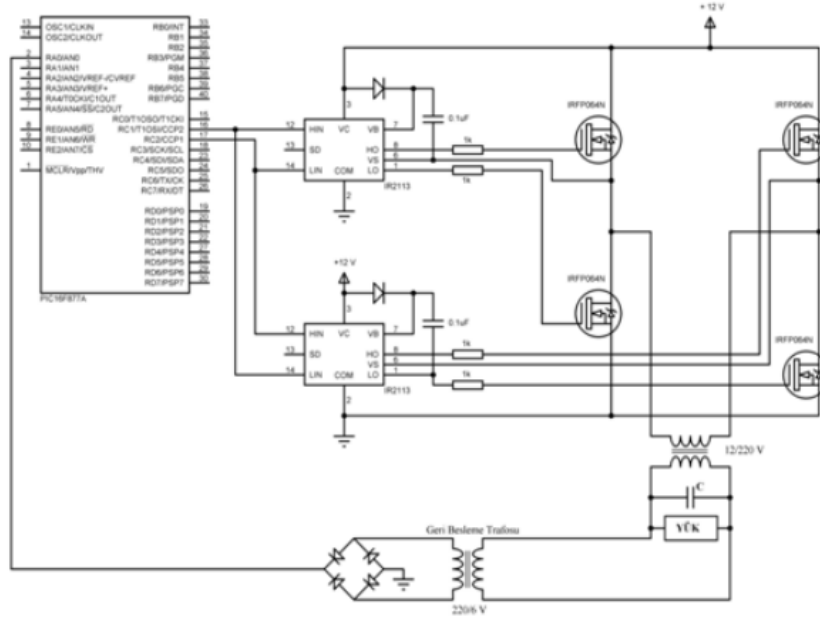
- Taşıyıcı olarak kullanılan üçgen dalganın genliği  $V_c$  ve frekansı  $f_s$  dir. Bu  $f_s$  frekansına inverterin anahtarlama frekansı da denir.
- Taşıyıcı dalganın frekansı referans işaretin frekansına göre çok büyüktür ve inverterin anahtarlama frekansını belirler.
- Üçgen dalganın genliği ve frekansı genellikle sabit tutulur.

## 3. GERÇEKLEŞTİRİLEN İNVERTER DEVRESİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu çalışmada, dahili şarj birimine sahip PM senkron generatörlü rüzgar türbininden elde edilen ve 12 V/200 A'lık jel akü biriminde depolanan DC enerjinin AC'ye dönüştürülmesi için tasarlanan ve gerçekleştirilen tek fazlı inverter devresi gerçekleştirilmiştir. İverter devresinin üstten görüntüsü Şekil 3'de ve devre şeması da Şekil 4'de görülmektedir. Sistemimiz kontrol devresi, MOSFET sürme katı ve köprü inverter katı olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. İverter çalışma frekansı 1 kHz'dir. Anahtarlama yöntemi olarak sinüzoidal PWM yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca inverter ile alternatif gerilime dönüştürülen akü gerilimini yükün ihtiyaç duyduğu seviyeye yükseltmek için dönüştürme oranı 12/220 olan 500 W'lık bir transformatör kullanılmıştır. Bu inverter, aküden beslenen uygun güçteki sistemlerde kullanılabilir [11].



Şekil 3. Gerçekleştirilen İverter Devresi

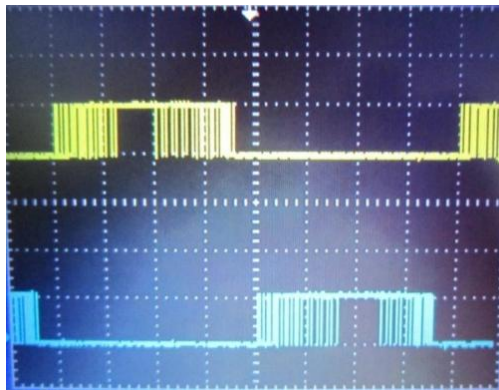


Şekil 4. İverter Devre Şeması

### 3.1. Kontrol Devresi

Kontrol işlemi, bu devrede bulunan PIC16F877 mikrodeneleyicisi ile yapılmaktadır. Bu kısım köprü inverter devresindeki MOSFET'lerin uygun şekilde anahtarlanmasını kontrol eder.

PIC mikrodeneleyici ile inverter çıkış gerilimi ve frekansı, 220 V 50 Hz olacak şekilde PWM sinyalleri üretilmiştir. Çalışma frekansları ve ilgili anahtarlama zamanları, MOSFET kontrol devresindeki mikrodeneleyiciye kaydedilerek bir çevrim tablosu oluşturulmuştur. Mikrodeneleyici, çevrim tablosundan ilgili frekans değeri için anahtarlama sürelerini alır ve MOSFET sürme devresine uygun anahtarlama sinyallerini çıkışa gönderir. Şekil 5'de PIC mikrodeneleyici çıkışlarında üretilen sinüzoidal PWM anahtarlama sinyalleri görülmektedir.



Şekil 5. PIC mikrodeneleyici tarafından üretilen PWM anahtarlama sinyalleri (5V/div).

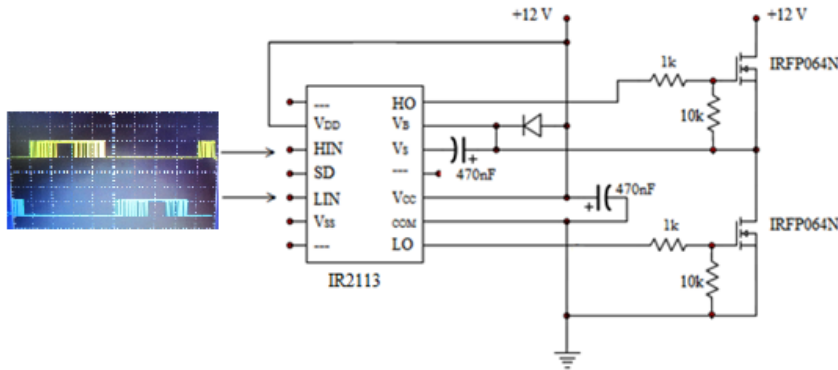
Çıkışta elde edilen gerilimden gerilim düşürücü bir trafo ile alınan geri besleme sinyali PIC

mikrodenetleyicinin iki numaralı girişine bağlanarak değişik yük durumları için çıkış gerilimi 220 V 50 Hz'de sabit tutulması sağlanmıştır.

### 3.2. MOSFET Sürme Katı

Tasarımda, güç elektroniği yarıiletken anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılmıştır. Güç elektroniği dönüştürücülerinde kullanılan yarıiletken elemanlar anahtarlama elemanı olarak kullanıldığından lineer bölgede yerine doyum bölgesinde çalıştırılırlar. Bu işlemi gerçekleştirmek için MOSFET'in kapı-emiter arasına, üretici firma tarafından belirlenen iletme ve kesime geçmesini sağlayan gerilim uygulanır. N-kanal bir MOSFET, kapı-emiter arasına pozitif gerilim uygulandığında iletme geçerek kollektör-emiter arasında akım akmasına izin verir. Kapı-emiter arasına negatif gerilim uygulandığında ise kesime gider ve kollektör-emiter arasındaki akım akışını durdurur.

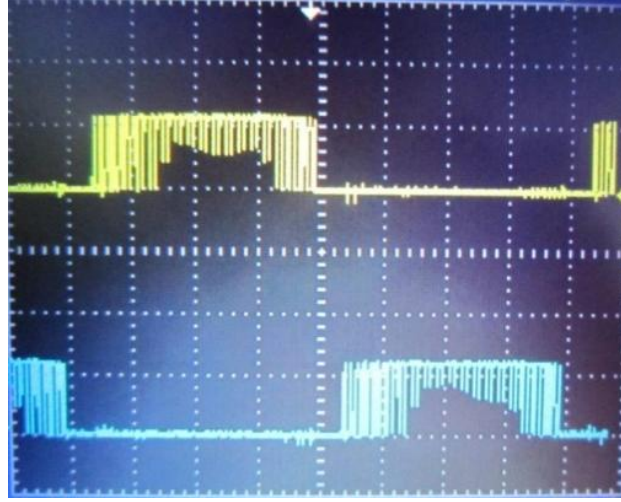
Genel olarak MOSFET'ler -20 V ile +20 V kapı gerilimi aralığında çalışırlar. Tasarımda kullanılan IRFP064N serisi MOSFET'ler için kapı gerilimi çalışma aralığı -12 V +12 V olarak üretici firma tarafından belirlenmiştir. Bu MOSFET'leri iletme sokmak için kapı-emiter arasına +12 V ve kesime sokmak için 0 V uygulanmıştır. Tasarımda kullanılan MOSFET sürme devresi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Tasarımda Kullanılan MOSFET Sürme Devresi

MOSFET sürme devresi, MOSFET kontrol devresinden gelen anahtarlama sinyallerine göre köprü inverter katında bulunan MOSFET'lerin iletme ya da kesime gitme işlemini yapar. MOSFET sürme devresinin çalışması Şekil 6'da gösterilen sürme devresi üzerinden açıklanabilir. Kontrol devresinde üretilen PWM sinyalleri şekilde görüldüğü gibi IR2113'e uygulanır. IR2113, kontrol sinyalini MOSFET'i sürecektir, aynı zamanda MOSFET kontrol devresini yüksek gerilim seviyesinde bulunan köprü inverter katından elektrikselsel olarak yalıtır. IR2113 girişine lojik 1 uygulandığında, MOSFET kapı-emiter girişine +12 V gerilim uygulanır, böylece MOSFET iletme geçirilir. IR2113'ün girişine lojik 0 uygulandığında, kapı-emiter girişine 0 V uygulanarak MOSFET'in iletme geçmesi sağlanır. Şekil 7'de MOSFET'lerin kapı sürme sinyalleri görülmektedir.

Kollektör-emiter arası gerilim altında olan MOSFET'in kapı devresinin boşa kalması MOSFET'e zarar verir. Her ne kadar tasarımda kapı devresi boşa değilse de, herhangi bir problemten dolayı kapı devresinin boşa kalma ihtimalini engellemek için, kapı-emiter arasına paralel 10k'lık bir direnç bağlanmıştır.



Şekil 7. MOSFET'lerin Kapı Sürme Sinyallerinin Değişimi (10 V/div).

### 3.3. Köprü İverter Katı

Köprü inverter katı, Şekil 4'de gösterilen devrede IRFP064N serisi MOSFET'lerin birbirine bağlanarak ve bu bağlantının uygun noktalarından yüke çıkarılan uçlarından oluşmaktadır. Laboratuvar ortamında oluşturulan deney düzeneğinde köprü inverter katı Şekil 3'de gösterilmiştir. Köprü inverter katı, tasarımın amacının olduğu asıl kısımdır. Amaçlanan çıkış gerilim dalga şekli bu blokta oluşturulur ve yüke uygulanır.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, DC gücü AC güce dönüştürmek PIC16F877 mikrodenetleyicisi tarafından üretilen PWM sinyalleri ile kontrol edilen tek fazlı 300 W gücünde bir inverter tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sitemde DC enerjinin sağlandığı aküleri şarj etmek için dâhili şarj birimine sahip bir rüzgâr türbini kullanılmıştır. İverter çıkış gerilimi geri besleme kullanılarak sabit tutulmuştur.

Burada gerçekleştirilen inverter devresi düşük güçlü olmakla birlikte daha yüksek güçlerde de gerçekleştirilebilir. Mevcut devre bu haliyle düşük güç ihtiyacı olan uygulamalarda rahatça kullanılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] M. G. Özkaya, H. İ. Variyenli ve S. Uçar, «Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kayseri İli İçin Çevresel Etkilerin değerlendirilmesi,» *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 29, no. 1, pp. 1-20, 2008.
- [2] H. G. Park, S. H. Jang, D. C. Lee ve H. G. Kim, «Low-Cost Converters for Micro wind Turbine Systems using PMSG,» *The 7th Int. Conf. On power Electronics*, pp. 483-487, 2007
- [3] R. Akkaya ve A. A. Kulaksız, «Solar and Wind Energy Applications of Power Electronics,» *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, cilt 1, pp. 329-336, 2000.



- [4] T. Boutot ve L. Chang, «Development of a Single-Phase Inverter for Small Wind Turbines,» *IEEE Canadian Conf. on Elect. and Comp. Eng.*, pp. 305-308, 1998.
- [5] R. Bharanikumar ve A. N. Kumar, «Analysis of Wind Turbine Driven PM Generator with Power Converters,» *Int. Journal of Comp. and Elect. Eng.*, cilt 2, no. 4, pp. 766-769, 2010.
- [6] S. Çamur, B. Arifoğlu, E. Beşer ve E. K. Beşer, «Bir Faz Beş Seviyeli İverter Tasarımı ve Uygulaması,» *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2006.
- [7] N. Apheratsakun, S. R. Bhaganagarapu ve K. Techakittiroj, «Implementation of a Single-phase Unipolar Inverter Using DSP TMS320F241,» *AU J.T.*, cilt 8, no. 4, pp. 191-195, 2005.
- [8] M. Sarıtaş, M. T. Aydemir ve A. Dalbaz, «700 VA Kesintisiz Güç Kaynağı Devresinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi,» *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, cilt 17, no. 1, pp. 33-42, 2002.
- [9] T. Köroğlu, A. Teke, K. Ç. Bayındır ve M. Tümay, «Güneş paneli Sistemlerinin Tasarımı,» *elektrik mühendisliği*, cilt 439, 2010.
- [10] E. Erdem, «5 kW Trafolu Tek Faz Kısa Devre Korumalı İverter Tasarımı,» *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Yüksek Lisans Tezi*, 2014.
- [11] A. Toprak, «Elektrik Üretimi için Düşük Güçlü Rüzgar Enerji Sistemi Tasarımı,» *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Yüksek Lisans Tezi*, 2011.