



# 5kW, Trafolu Tek Faz Kısa Devre Korunmalı İnverter Tasarımı

## 5kW, Short Circuit Protected Single Phase Inverter Design With Transformer

Esra Erdem<sup>1</sup>, Sinan KIVRAK<sup>2</sup>, Selami KESLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Pamukkale Üniversitesi

Esraerdem90@hotmail.com, selamikesler@gmail.com

<sup>2</sup>Enerji sistemleri Mühendisliği

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Sinan.kivrak@hotmail.com

### Özet

Güncel hayatta kullanılan elektrikli cihazların büyük bölümü şebeke gerilimi AC 220V ile beslenmektedir. Enerjinin bataryalarda depolandığı güneş enerjili elektrik sistemlerinde ya da direk DC gerilim sağlayan sistemlerde AC cihazların çalıştırılabilmesi için DC gerilimden AC gerilime dönüşüm yapan inverterlerden faydalanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan modifiye sinüs inverterlerde meydana gelen aşırı arızalanmalar ve yüksek güç talebinden kaynaklanan aşırı fiyatlar, çalışmamızın esas nedenini oluşturmaktadır. Bu çalışmada şebeke frekansında çıkış üretecek, sürücü devresi ve trafodan oluşan kısa devre korunmalı, 5kW gücünde bir inverter tasarlanmıştır. İnverter; sürücü, güç ve kontrol kısmından oluşmaktadır. Yüksek frekans trafolu inverterlerin arıza ve kısa devre dezavantajlarını ortadan kaldırmak için tasarlanan inverterde; mikrodenetleyici ile Sinüzoidal PWM metodu kullanılmıştır. İletim anındaki akımın ve anahtar voltajının gerçek zamanlı okunması sayesinde sistem kısa devre ve aşırı akım durumuna karşı iki şekilde korunmuştur. Kullanılan trafonun alüminyum sargılı olması nedeniyle bu çalışmada yurt dışından ithal edilen pahalı inverterlere alternatif, ucuz, yerli, arıza kaldırılabir inverter üretimi amaçlanmıştır.

### Abstract

The majority of electrical appliances are supplied with 220V AC grid voltage in daily life. The supplied energy, which is stored in batteries at solar electrical system or in systems that provide direct DC voltage, is utilized to AC devices, which is supported from the inverter that converts DC voltage to AC voltage. At modified sinus inverters, which is used for this purpose, occurring extreme breakdown and excessive prices caused by high power demand constitutes the main reason for our work. In this study, composed of driver circuit and transformer that produce output at grid frequency, short circuit protected, at 5kW power inverter is designed. The inverter composed of driver, power and control section. To eliminate high frequency transformers of the inverter's disadvantages of breakdown and short circuit, Sinusoidal PWM control is made with microcontroller which is used in

control section. The system is protected against short circuit and over current condition at the time of transmission by reading current and turn on switch voltage in a real time. In this study can be alternative to the expensive inverters which are imported from abroad and cheap, local and robust inverter production is aimed because of using aluminum windings of the transformer.

### 1. Giriş

İnverterler batarya, güneş paneli ya da farklı bir kaynaktan aldıkları DC gerilimi, AC gerilime çevirerek kesintisiz güç kaynakları, AC gerilim kaynakları, endüksiyonlu ısıtma, anahtarlamalı güç kaynakları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Maliyeti azaltılmış, yerel olarak tasarlanmış ve üretilmiş inverter, çeşitli AC güç kaynağı uygulamaları için gelecek vaat eden bir çalışmadır. Ayrıca son tasarlanan inverter sistemlerinde eğilim yalnız düşük maliyet üzerine değil, aynı zamanda yüksek güvenilirlik, esneklik ve verimlilik faaliyetlerini de yerine getirmesi üzerinedir. [1]

İnverterler, DC giriş gerilimi yüke, ilk yarım periyotta pozitif yönde, ikinci yarım periyotta negatif yönde uygulanarak çalıştırılır, pozitif yarım periyot ve negatif yarım periyodun toplamı ile devrenin çalışma periyodu belirlenir. BJT, MOSFET, IGBT gibi yarıiletken cihazlara uygulanacak kontrol yöntemi, istenen frekans ve faz sayısında kare dalga ya da sinüs dalgasının alternatif bir taşıyıcı gerilim ile karşılaştırılmasıyla elde edilir ve bu kontrol yöntemi Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) olarak adlandırılır. [2]

İnverterlerde yaygın olarak PWM kontrol tekniği uygulanır ve günümüzde kullanılan inverterlerin büyük bölümü PWM inverterdir. Gerilim kaynaklı PWM inverter ana devre yapısına göre tek fazlı yarım köprü gerilim kaynaklı PWM inverter, tek fazlı tam köprü gerilim kaynaklı PWM inverter ve üç fazlı köprü tipi gerilim kaynaklı PWM inverter olmak üzere üç çeşittir. Gerilim kaynaklı PWM inverterin çalışması yük özelliğine ve çıkış geriliminin kontrol moduna bağlıdır. [3]

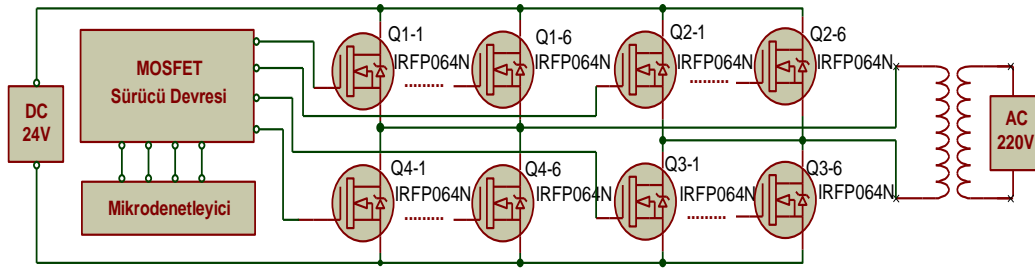
İnverter sisteminde transformatör kullanılarak, elektriksel olarak gerilim izolasyonu sağlanırken, çıkış gerilimi istenen

seviyeye getirilmektedir. Transformatörler iki çeşittir: şebeke frekansında çıkış üreten transformatörler ağır ve büyük, yüksek frekans transformatörleri küçük ve hafiftir. [1] İnverter devresinin şematik çizimi Şekil1' de gösterilmiştir.

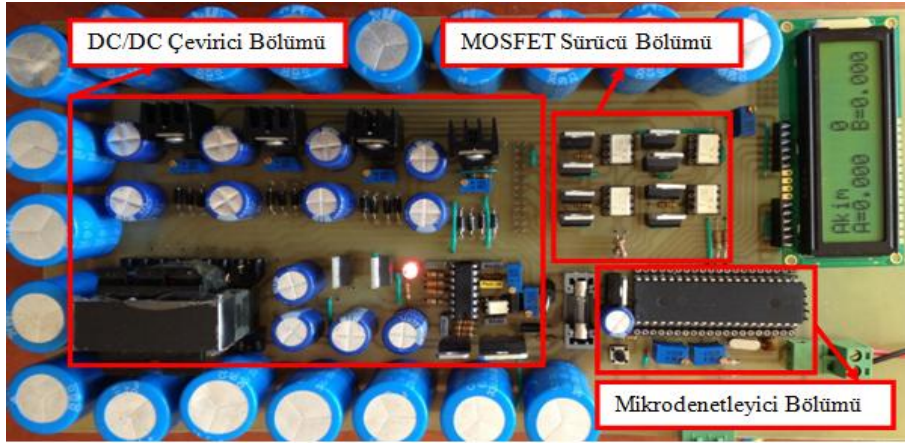
Çalışmada, şebekeden bağımsız DC/AC güç kaynağı uygulamaları için 5kW, trafolu tek faz kısa devre korumalı gerilim beslemeli inverter devresinin uygulaması yapılmıştır. Tasarlanan ve uygulaması yapılan inverter devresinin bölümleri Şekil2' de gösterilmiştir. İlk kısımda DC/DC çevirici devresi kullanılarak MOSFET sürücü devresi için dört bağımsız kaynak sağlanmıştır. İkinci kısımda H köprüsünün sürülmesi için gerekli sinyalleri kuvvetlendirecek, Totempole sürücü içeren MOSFET sürücü devresi kullanılmıştır.

Günümüzde çoğunlukla ucuz olmasından dolayı modifiye sinüs inverter olarak adlandırılan ve karesel çıkış veren inverterler, çıkış işaretinde içerdiği harmoniklerden dolayı aletlere zarar verirken, tam sinüs inverterler ise modifiye fiyatının en az 4 katı olmasından dolayı ekonomik olarak uygun değildir. Bu çalışmada hem hesaplı hem de güvenilir

bir tam sinüs çıkışlı inverter tasarlanmıştır. Bu amaçla kullanılan Mikrodenetleyicili inverter devresinde SPWM (Sinus Pulse Width Modulated) anahtarlama yöntemi ile MOSFET'leri anahtarlacak sinyaller elde edilmiştir, aynı zamanda kısa devre koruması (MOSFET'in iletim esnasındaki  $V_{D,S}$  voltajını okuyarak) ve aşırı akım koruması (Hall-effect sensör üzerinden akım okunması ile) yapılmıştır. Son aşamada ise H köprüsünün çıkışında elde edilen 50Hz, 24V AC gerilim 5kVA'lık 24V/220V transformatör kullanılarak 50Hz 220V seviyesine getirilmiştir. Çalışmada mikrodenetleyici olarak Microchip firması tarafından geliştirilmiş olan PIC(Peripheral Interface Controller) ailesinden 18F4550 kullanılmıştır [4]. Mikrodenetleyici ile yapılan yazılımın öncelikle bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmıştır, daha sonra yazılım inverter devresi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada güvenilir, arıza kaldıracak, inverter çıkış uçları kısa devre edilse bile kendisini korumaya alan ve alüminyum tel ile sarıldığından dolayı maliyeti çok uygun olan bir tasarım yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları ve Osiloskoptan ölçülen gerçek değerler makalenin veriler ve sonuçlar kısmında gösterilmiştir.



Şekil 1: İnverter devresi



Şekil 2: Deney düzeneğinde inverter devresi

## 2. SPWM Tekniği

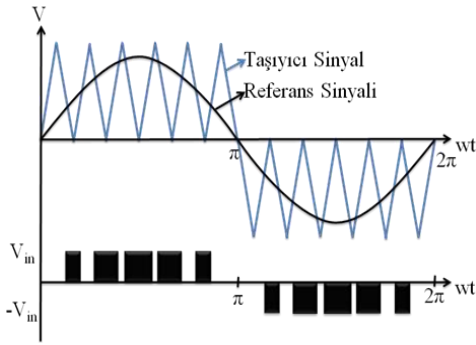
Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM), endüstriyel uygulamalardaki inverterlerde diğer tekniklere göre daha fazla kullanılır. Bu teknikte, darbe genişlikleri sinüs formunda kontrol edilerek, sinüzoidal bir AC çıkış gerilimi elde edilir. Söz konusu yöntemde üçgen taşıyıcı dalga ile sinüzoidal referans sinyalinin karşılaştırılması anahtarlama sinyallerini

üretir. SPWM tekniği, iki yönlü ve tek yönlü olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir.

Tek yönlü SPWM tekniğinde taşıyıcı sinyal ile referans sinyalinin karşılaştırılması ve elde edilen çıkış geriliminin dalga formu Şekil3' de gösterilmektedir. Referans sinüzoidal kontrol işaretinin, üçgen taşıyıcı dalga işaretinden büyük olduğu durumlarda pozitif DC besleme gerilimi üretilirken, küçük olduğu durumlarda gerilim üretilmez sıfırdır. Fakat iki yönlü anahtarlama yönteminde küçük olan durumlarda negatif

işaret üretir. Çift yönlü anahtarlama aynı koldaki iki anahtarı her bir darbe aralığında kısa devre etmemek için sürekli bir ölü zaman gecikmesine ihtiyaç vardır. Tek yönlü anahtarlama ise aynı koldaki iki anahtarı aynı anda ilettime geçirmek için yalnızca örnekleme frekansının  $180^\circ$ 'deki darbesine ölü zaman eklenir, bundan dolayı tek yönlü SPWM tekniği çift yönlü SPWM tekniğine göre daha kolay uygulanır ve daha çok tercih edilir.

Çalışmada tek yönlü SPWM tekniği uygulanmıştır. PIC18F4550 mikrodenetleyicisinin geliştirilmiş PWM modülü kullanılarak, mikrodenetleyiciden aynı anda iki PWM çıkışı alınabilmesi sağlanmıştır. SPWM elde edilirken tablo okuma (Lookup Table) metodu kullanılmıştır.

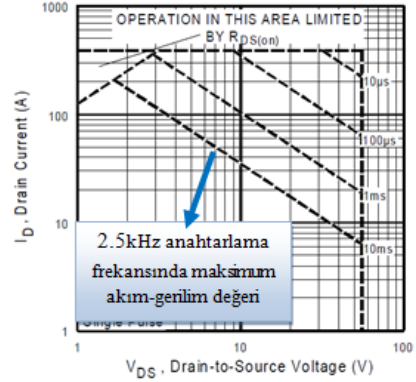


Şekil 3: SPWM tekniği

### 3. Kısa Devre ve Aşırı Akım Koruması

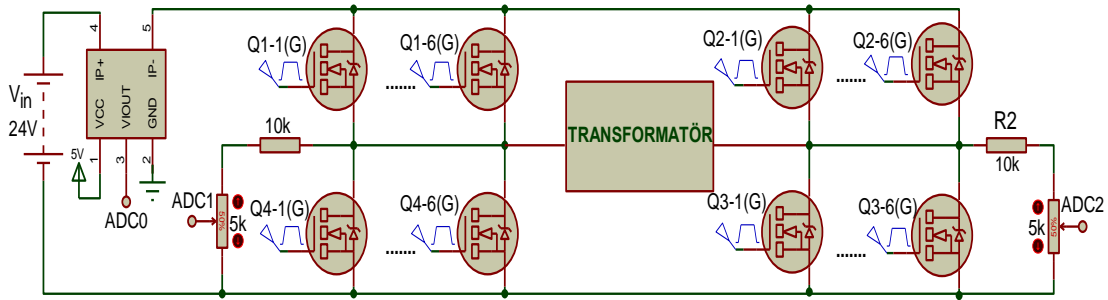
Çalışmada, inverter devresinde herhangi bir arıza durumunda, inverterin zarar görmemesi için kısa devre koruması ve aşırı akım koruması yapılmıştır. Kısa devre koruması için, çalışmada kullanılan IRFP064N MOSFET'inin veri tablosundan, çalışılan frekansta, iletim durumundayken maksimum  $V_{D-S}$  değerinin 7V olduğu Şekil4' de gösterildiği gibi belirlenmiştir [5]. PIC18F4550 mikrodenetleyicisi kullanılarak, H köprüsünün alt kollarındaki MOSFET' lerin  $V_{D-S}$  değerleri Şekil5'te görüldüğü gibi okunmuştur ve bu değer 7V ve üzerindeyse PWM duty nominal değer'in %40'ına

kadar kademeli olarak düşürülmüştür. PWM genliğini her düşürmede  $V_{D-S}$  gerilimi okunup 7V ve üzeri olup olmadığı kontrol edilmiştir. PWM %40'ın altına düşürüldüğünde,  $V_{DS}$  geriliminin hala 7V ve üzerinde olma durumunda PWM kapatılarak LCD'de kısa devre bilgisi verilmiştir.

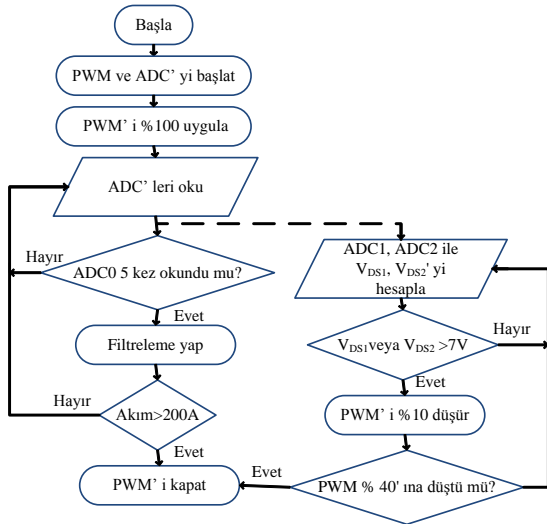


Şekil 4: Maksimum güvenli çalışma alanı

Aşırı akım koruması için inverter DC barasından çekilen akım değeri okunmuştur. İnverterin H köprüsünden, sürücü nominal akım değerinin üzerinde akım çekildiğinde PWM kapatılarak koruma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu koruma için mikrodenetleyici, Allegro marka akım sensörü ACS754 'den gelen akım değerini okumuştur [6]. ACS754, minimum 4,5V maksimum 5,5V gerilim ile beslenir, -200A ile 200A arasındaki akım değerlerine göre çıkışında 0 ile 4,5V arasında gerilim üretir. 5kW'lik sistemimizde görülebilecek maksimum akım değeri 200A' dir. Bundan dolayı ACS754 akım sensörü ile 0A' den 200A' e kadar akım değerleri okunmuştur. Okuma işleminde gürültülerden kaynaklanan yanlış okumaların önüne geçmek için dijital filtreleme işlemi uygulanmıştır. En doğru değerini belirlenebilmesi için akımın beş kez okuma işlemi yapılmış en büyük değer ile en küçük değer filtrelenmiş diğer üç değerini ortalaması alınmıştır. Akım değeri LCD' ye sürekli olarak yazdırılırken, 200A' i geçtiği anda PWM sistemin çalışması kapatılmıştır. Sistemin yazılım akış diyagramı Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 5: Gerilim okuma devresi



Şekil 6: Yazılım akış diyagramı

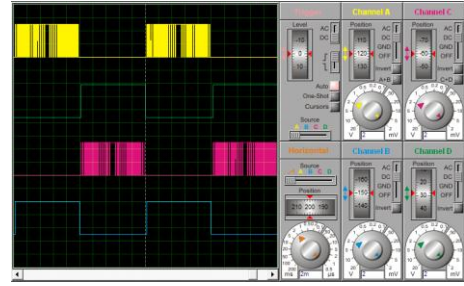
#### 4. Veriler

Çalışmada, 5kVA tek faz trafolu kısa devre korumalı inverter tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. İnverterde, girişe uygulanan doğru gerilimin sabit olması ve dalgalanmalarının olmaması çok önemlidir. Çalışmada, inverterin giriş gerilimindeki genlik değişiminden etkilenmemesi ve sürücü devresi için gerekli olan 4 adet bağımsız kaynağın sağlanabilmesi için DC/DC (push-pull DC/DC converter) çevirici devresi kullanılmıştır. DC/DC çevirici devresi dört adet birbirinden bağımsız çıkış elde edilecek şekilde tasarlanarak, ikili H köprü MOSFET sürücü devresine dört bağımsız kaynak sağlamıştır.

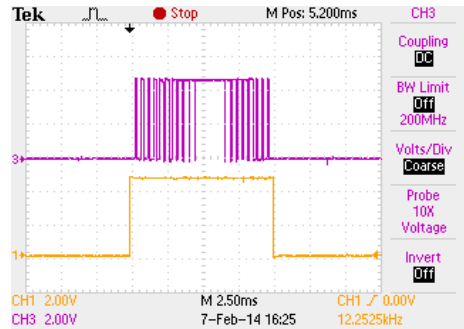
H köprüsünün çalışma gerilimi, mikrodenetleyici çalışma gerilimine göre oldukça büyüktür ve sürme devresi ile mikrodenetleyici arasında elektriksel etkileşim olmaması gerekmektedir. Paralel bağlı MOSFET'lerin istenilen sürede iletme girmesi için anlık Gate-Source kapasite şarj ve deşarj akımının yüksek değerinde olması gerekir. Bu akımının sağlanabilmesi için gerekli olan anlık yüksek akım sağlayıcı anahtarlama devresinde, kaskat bağlı TLP250 optokuplörü ve push-pull transistörlü sürücü devresi kullanılmıştır. Böylece H köprüsünün istenilen performansta sürülmesi sağlanmıştır [7].

PIC18F4550 mikrodenetleyicisi kullanılarak tek yönlü SPWM tekniği ile üretilen anahtarlama sinyallerinin ISIS programından alınan simülasyon görüntüsü Şekil6' da, devre üzerinde uygulanması ile elde edilen sonuçların görüntüsü Şekil7, Şekil8, Şekil9, Şekil10 ve Şekil11' de gösterilmiştir.

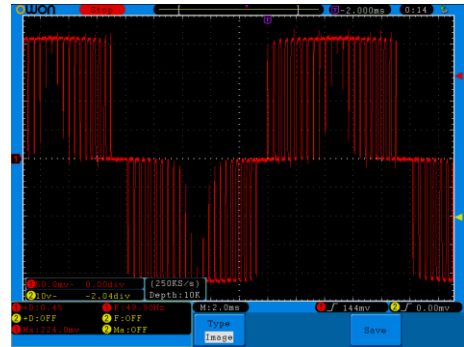
İnverterde, mikrodenetleyici kullanılarak yapılan kısa devre koruması ve aşırı akım koruması sayesinde herhangi bir arıza durumunda inverterin devreden çıkarılarak zarar görmesi ya da yanması engellenmiştir.



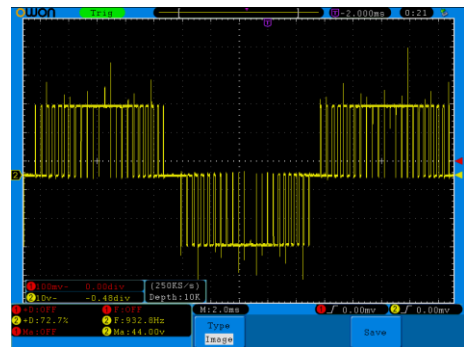
Şekil 7: H Köprüsü üst ve alt kolların anahtarlama sinyalleri



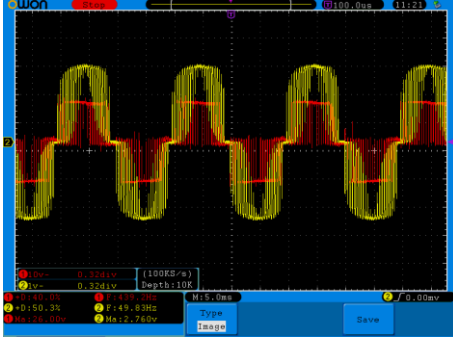
Şekil 8: H Köprüsü MOSFET girişlerinden alınan tek faza ait PWM sinyalleri



Şekil 9: İnverter'in yük çıkışından alınan akım dalga şekli



Şekil 10: İnverter'in yük çıkışından alınan gerilim dalga şekli



Şekil 11: İnverter'in yük çıkışından alınan akım ve gerilim dalga şekillerinin birlikte gösterimi

## 5. Sonuçlar

Sistemimiz çeşitli yüklerde (ısıtıcı, tek faz AC motor) çalıştırılmış aşırı akım ve kısa devre durumuna karşı denenmiştir. Aşırı yük durumunda akım sınırlaması çıkış geriliminin kademeli azaltılması, devam etme durumunda ise inverterin kendisini korumaya alması ile sonuçlanmıştır. Kısa devre olma durumunda ise hem akım okuyucu Hall-effect sensör hem de H köprüsü alt kollarındaki MOSFET'lerin  $V_{DS}$  geriliminin okunması ile inverter kendini korumaya almaktadır. Trafosunda; Bakır yerine Alüminyum tel kullanılması, Güç katında; tek bir Modül yerine MOSFET'lerin paralel bağlanması ile elde edilen yapının kullanılması, ürünümüzü ticari olarak piyasada rekabet edecek duruma getirmiştir. Piyasada 5kW'lık bir modifiye inverter 1630 TL, tam sinüs inverter 3850TL iken tarafımızca üretilmiş olan tam sinüs inverterin prototip üretim maliyeti 400TL dir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Jusoh A. , Azli N. A., Salam Z., "Hardware Construction of a 5 kW Inverter for AC Power Supply Applications", *IEEE Trans. on Power and Energy*, 2008,1471-1474.
- [2] Bodur H., *Güç Elektroniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2010).
- [3] Zhang W., Chen W., " Research on Voltage-Source PWM Inverter Based on State Analysis Method", *IEEE Trans. on Mechatronics and Automation*, 2009, 2183-2187.
- [4] Microchip PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- [5] International Rectifier IRFP064N Power MOSFET, <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfp064n.pdf>
- [6] Current Sensor ACS754SCB-200, <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/120870/ALLEGRO/ACS754SCB-200.html>
- [7] TLP250, 2014, <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/32418/TOSHIBA/TLP250.html>