

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN TEK FAZLI BİR İNVERTER  
TASARIMI VE UYGULAMASI**

**Emel KAÇAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2010  
ANKARA**



Emel KAÇAR tarafından hazırlanan FOTOVOLTAİK SİTEMLER İÇİN TEK FAZLI BİR İNVERTER TASARIMI VE UYGULAMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof.Dr. İlhami ÇOLAK

Üye : Prof.Dr. Ömer Faruk BAY

Üye : Yrd.Doç.Dr. İsmail ATACAK

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Tarih : 03/05/2010

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Emel KAÇAR



# FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN TEK FAZLI BİR İNVERTER TASARIMI VE UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Emel KAÇAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2010

## ÖZET

Günümüzde nüfus artışı ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji tüketimindeki artış, fosil kökenli yakıtlardaki azalış ve onların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı güneş ve onun türevlerinden oluşan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu tez çalışmasında, güneş enerjisinden evlerde yararlanabilme amaçlı olarak panelden elde edilen enerjiyi AA enerjisine dönüştüren bir sistemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tam köprü tipi bir evirici (inverter) devresi tasarlanmış ve denetimi mikrodenetleyici aracılığı ile yapılmıştır. Deneysel sonuçlar farklı yük şartlarında evirici çıkışından düşük harmonikli bir AA dalga formu elde edildiğini göstermiştir.

**Bilim Kodu** : 702

**Anahtar Kelime** : Alternatif enerji kaynağı, güneş paneli, inverter

**Sayfa Adedi** : 93

**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

**AN INVERTER FOR SINGLE PHASE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS  
DESIGN AND IMPLEMENTATION**

**(M.Sc. Thesis)**

**Emel KAÇAR**

**GAZI UNIVERSITY  
INFORMATICS INSTITUTE**

**May 2010**

**ABSTRACT**

**Today, population growth and industrialization due to energy consumption growth, fossil-based fuels in decreasing their environmental impact due to the sun and its derivatives made up of renewable energy sources, the interest has increased. In this thesis, as solar energy panels for homes injuries resulting from a system that converts energy into AC energy application was performed. For this purpose a full bridge type inverter (inverter) circuit design and control are done via microcontroller. Experimental results for different load conditions, an AC inverter output waveform obtained from the low harmonic showed.**

**Science Code : 702**

**Key Words : Alternative energy sources, solar panel, inverter**

**Page Number : 93**

**Adviser : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY**



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Ömer Faruk BAY'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR, Yrd.Doç.Dr. Mehmet DEMİRTAŞ ve Őerif ŐERİFOęLU'na, manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eőim Bahadır KAÇAR'a teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	x
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI.....	5
2.1. Nükleer Enerji .....	6
2.2. Rüzgâr Enerjisi.....	7
2.3. Dalga Enerjisi.....	8
2.4. Jeotermal Enerji .....	8
2.5. Hidrolik Potansiyel Enerji.....	11
2.6. Hidrojen Enerjisi .....	12
2.7. Bio-mass, Bio-dizel ve Bio-gas Enerji.....	13
2.8. Güneş Enerjisi .....	14
2.9. Güneş Enerjisinin Dünyada ve Türkiye’de Kullanım Alanları.....	15
2.10. Güneş Pilleri.....	20
2.10.1. Güneş pillerinin yapısı ve çalışması.....	20
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	24
3.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Elemanları.....	25
3.1.1. Yoğunlaştırıcılar.....	27
3.1.2. Fotovoltaik levhalar .....	28
3.1.3. Bataryalar .....	28
3.1.4. Şarj kontrolörü .....	30
3.1.5. Evirici (İnverter) .....	31

3.1.6. Mikrodenetleyici .....	35
3.2. Güneş pilinin elektriksel özellikleri .....	36
3.3. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları .....	38
4. SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	39
4.1. Sistemin Donanım Kısmı .....	39
4.1.1. Mikrodenetleyici .....	40
4.1.2.RC Devresi .....	43
4.1.3. MOSFET Sürücü.....	45
4.1.4. Güç Katı .....	48
4.2.Sistemin Yazılım Kısmı .....	49
4.3. Sistemin Çalışması .....	51
4.4. Deneysel Sonuçlar.....	54
5. SONUÇ .....	65
KAYNAKLAR .....	66
EKLER.....	69
EK-1 IRFP054N MOSFET veri sayfası.....	70
EK-2 TLP250 MOSFET sürücüsü veri sayfası.....	72
EK-3 Mikrodenetleyici içerisindeki programın kodları .....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	78

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Alternatif enerji türleri .....	6
Çizelge 2.2. Türkiye'deki önemli jeotermal enerji kaynaklarıçizelge 3 .....	10
Çizelge 2.3. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri.....	17
Çizelge 2.4. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere bölgelere göre dağılımı .....	17
Çizelge 3.1. H-köprüsünün anahtarlama durumları .....	35

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya’da elektrik üretimini nükleer santrallerden sağlayan ülkelerin enerji miktarları .....	7
Şekil 2.2. Rüzgâr santrali .....	7
Şekil 2.3. Deniz dalgalarından enerji üreten sistem .....	8
Şekil 2.4. Jeotermal enerjinin kullanım alanları.....	9
Şekil 2.5. Türkiye’de jeotermal enerjinin kullanım alanlarına göre dağılımı .....	11
Şekil 2.6. Türkiye’nin kurulu hidrolik gücü ve elektrik üretimi .....	12
Şekil 2.7. Hidrojen enerjisinin kullanım alanları .....	13
Şekil 3.1.Güneş ışığının elektriğe dönüşümü.....	25
Şekil 3.2. Fotovoltaik sistem .....	26
Şekil 3.3. Yoğunlaştırıcı çeşitleri .....	27
Şekil 3.4. Fotovoltaik levhalar .....	28
Şekil 3.5. Güneş batarya çeşitleri .....	29
Şekil 3.6. Şarj kontrolörü .....	30
Şekil 3.7. İnverter çeşitleri .....	31
Şekil 3.8. PWM evirici dalga biçimleri.....	32
Şekil 3.9. PWM dalgaların temel şekli.....	33
Şekil 3.10. Bir fazlı yarım dalga köprü evirici.....	34
Şekil 3.11. Bir fazlı tam dalga köprü evirici .....	34
Şekil 3.12. Güneş paneli elektriksel eşdeğer devresi .....	36
Şekil 4.1. Sistemin blok diyagramı .....	40
Şekil 4.2. Mikrodenetleyici bacak bağlantı şeması.....	42
Şekil 4.3. RC devresi bağlantı şekli .....	44
Şekil 4.4. Ölü zaman oluşturulması .....	45
Şekil 4.5. MOSFET.....	46
Şekil 4.6. TLP250 MOSFET sürücü entegrasyonu.....	48
Şekil 4.7. İnverterin güç katı şeması .....	48
Şekil 4.8. Mikrodenetleyici programının akış diyagramı.....	50

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.9. Sistemin bağlantı şekli .....	53

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. Mikrodenetleyici devresi .....	40
Resim 4.2. MOSFET sürücü devresi.....	47
Resim 4.3. Güç katı devresi .....	49
Resim 4.4. Tasarımı yapılan inverter devresi.....	52
Resim 4.5. İverter 40 W yüklü iken oluşan gerilim, akım eğrileri ve güç değerleri	54
Resim 4.6. İverter 40 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniği ve THD değeri.....	55
Resim 4.7. İverter 40 W yüklü iken oluşan akım harmoniği ve THD değeri .....	55
Resim 4.8. İverter 40 W yüklü iken oluşan güç harmoniği değeri ve gücün ölçümü .....	56
Resim 4.9. İverter 60 W yüklü iken oluşan akım ve gerilim eğrisi .....	56
Resim 4.10. İverter 60 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniği ve THD değeri.....	57
Resim 4.11. İverter 60 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniğinin 3. bileşenin ve .....	58
Resim 4.12. İverter 60 W yüklü iken oluşan akım harmoniği ve THD değeri .....	58
Resim 4.13. İverter 100 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniği ve THD değeri...	59
Resim 4.14. İverter 100 W yüklü iken oluşan akım harmoniği ve THD değeri .....	60
Resim 4.15. İverter 100 W yüklü iken oluşan güç harmoniği ve güç değeri.....	60
Resim 4.16. İverter 100 W yüklü iken oluşan akım eğrisi ve gerilim eğrisi.....	61
Resim 4.17. İvertör uygulanan anahtarlama frekansı 8 KHz iken oluşan gerilimin ve .....	61
Resim 4.18. İvertör uygulanan anahtarlama frekansı 8 KHz iken oluşan gerilimin	62
Resim 4.19. Anahtarlama frekansı 15 KHz ve yük 40 W iken gerilim ve akım eğrisi .....	62
Resim 4.20. Anahtarlama frekansı 15 KHz ve yük 100 W iken gerilim ve akım eğrisi .....	63
Resim 4.21. Endüktif yükün 1.kademesinde oluşan akım, gerilim sinyali .....	63
Resim 4.22. Endüktif yükün 3.kademesinde oluşan akım, gerilim sinyali .....	64
Resim 4.23. Endüktif yükün 5.kademesinde oluşan akım, gerilim sinyali .....	64

**HARİTALARIN LİSTESİ**

<b>Harita</b>	<b>Sayfa</b>
Harita 2.1. Türkiye'nin güneşlenme haritası.....	18
Harita 2.2. Dünyanın solar aydınlanma haritası.....	19



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanmış olduğum kısaltmalar aşağıda sunulmuştur.

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
HES	Hidroelektrik Santralleri
PV	Fotovoltaik Hücre
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
TET	Ton Eşdeğer Taşkömür
TEP	Ton Eşdeğer Petrol

## 1. GİRİŞ

21. yüzyılda atılacak önemli adımlardan biri, küresel ısınmanın durdurulmasıdır. Bunun için ülkeler, çevresel örgütlenmeler, sanayiciler ve tüketicilere düşen görev çevre atıklarını azaltarak enerji tasarrufuna yönelik önlemleri almalarıdır. Fosil kaynaklı yakıtların azalması ve enerji fiyatlarının artması “geleneksel” enerji kaynaklarına yeni bir alternatif getirilmesini zorunlu duruma getirmiştir.

Küresel ısınmaya karşı yapılacak mücadelede güneş, en önemli unsurdur. Gün ışığı, fotovoltaik teknoloji aracılığıyla, elektrik enerjisine dönüştürülebilen sınırsız bir enerji kaynağıdır. Avrupa, çevreye yayılan karbondioksitin % 20'sini 2020 yılı öncesinde geri kazanımlı enerji kaynakları ile azaltmayı hedeflediğinden dolayı, araştırma programları, yeni teknolojiler ve sanayinin istekliliği ile “güneş kaynaklı yeşil enerji”nin önümüzdeki yıllarda yaygın olarak kullanılması mümkün olacaktır. Geleneksel enerji kaynağı rezervleri, ilk bakışta, küresel yıllık harcamanın çok üstünde olduğu izlenimi vermektedir. Bu rezervleri ihtiyaca göre yeterli bulmak yanlış olur. Son değerlendirmelere göre, dünyanın rezervinde en fazla aşağıda belirtildiği kadar enerjinin kalmış olduğu öngörülmüyor.

- 3 yıllık uranyum (nükleer enerji)
- 20 yıllık gaz
- 30 yıllık yağ
- 60 yıllık kömür

Fosil kaynaklı yakıtlar çok hızlı bir şekilde tükenirken, küresel enerji tüketimi de artmaktadır. İklim ve jeopolitik sorunları değerlendirerek, düşünme şeklimizi değiştirmemiz ve gezegenimizi olabilecek tehlikelerden koruyan, geri kazanılabilir enerjiye odaklanmamız zorunluluk haline gelmiştir.

Hem güvenli hem de uzun süre yetecek bir enerjiye ulaşmak için, tek yapılması gereken güç kaynağımızı güneşle birleştirmektir. Güneş, var olduğundan beri, dünyanın yaşam kaynağı olmuştur. Buna rağmen, gücü doğru kullanılamamıştır. Güneş, 4-5 trilyon yıl dünyaya kesintisiz enerji sağlayabilme gücüne sahip bir enerji

kaynağıdır. Teoride, güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması, küresel yıllık enerji ihtiyacını 1,5 saatten daha kısa süreye düşürecektir. Güneş enerjisinin yarısından çoğu uzaya geri döner. Bu devasa enerji kaynağını kullanmamak, her saniye yitirilmiş bir enerjiyi ifade eder. Araştırma sonuçları, mevcut geleneksel güneş enerjili tekniklerinin, yıllık küresel enerji gereksiniminden 400 kat daha fazla bir enerji sağlayacağını göstermektedir. Avrupa'da her metrekareye, yılda 1200 kilovat saate yakın enerji verilmektedir. Bu, metrekare başına 120 litre gazoline eşdeğerdir. Geniş bir açıdan bakıldığında, dünya nüfusunun % 85 ile % 90'ının yaşadığı bölgelerde, çok büyük miktarda güneş enerjisinin kullanılacağı gerçeği görülebilir.

Yapılar, dünya elektrik enerjisinin %40'ını harcayan en büyük enerji tüketicileridir. Bu sebepten mimarlar, danışmanlar, tasarımcılar, müteahhitler ve yatırımcılar projelerinde çevreci ve az enerji kullanan sistemlere yönelmektedirler. Ayrıca fotovoltaik sistemler ile geliştirilmiş projeler, ürettikleri enerjinin fazlasını şehir şebekesine vererek çevreye de katkıda bulunurlar. Fotovoltaik sistemler ile donatılmış yapıların değeri her geçen gün daha da artmaktadır. Bu da, bu teknolojinin amacına ulaştığının göstergesidir. Bu sayede mevcut yapıların bu teknolojiye kavuşmasının gerekliliği de ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde fotovoltaik enerjinin şebekeye bağlanarak şehre iletimi ve kullanımı, maliyeti mevcut olarak kullanılan sistemlere göre daha pahalıdır. Yapılan çalışmaların paralelinde bu maliyet 2010-2015 yılları döneminde yarı yarıya azalacak, 2030 yılına gelindiğinde mevcut sisteme göre daha da ekonomik hale gelecektir. 2030 yılından sonra da sistemin yaygınlaşması ve yeni teknolojiler ile aradaki fark, fotovoltaik sistemler yönünde önemli oranda artacaktır [1].

Güneşten doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesi; fotovoltaik (PV) güneş pilleri ile yapılmaktadır. PV güneş pillerinin kökeni, 1839 yılında Becquerel'in elektrotların daldırılmış bir elektrolite ışık düştüğünde bir gerilim endüklendiğini göstermesine dayanmaktadır. Benzer bir etkiyi Adams ve Day, 1877'de, katı selenyum üzerine ışık düşürerek gözlemlemişlerdir. 1914'de, selenyum güneş pillerinin güneş ışığı

enerjisini doğru gerilim elektrik enerjisine çevirmedeki verimi %1'ler civarına çıkarılmıştır. Modern yarı iletkenlerin güneş pillerinde kullanılmaya başlaması Chaplin ve arkadaşlarının çalışmaları ile olmuştur. Bu kişilerin mono kristal silisyum güneş pillerinin verimi, %6'lar civarındaydı. Aynı yıllarda yapılmaya başlayan uzay çalışmaları çok daha yüksek verimlerle çalışan güneş pillerinin üretilmesini sağladı. Fakat bu piller, üretim aşamasındaki çok yüksek maliyetlerinden dolayı, 1980'lere kadar sadece başka enerji alternatifi olmayan pahalı araçlarda kullanıldılar. Üretim teknolojisinin ve malzeme biliminin gelişmesine paralel olarak, yüksek verimli (%10-20) güneş pillerinin ticari amaçlar için kullanılması 1980'lerin ortalarından itibaren yaygınlaşmıştır [2].

Güneş pilleri günümüzde, ancak elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde, ekonomik yönden uygun bir enerji üretici olarak kullanılabilir. Bu nedenle genellikle sinyalizasyon, kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması vb. uygulamalarda kullanılmaktadır. Ülkemizde halen Telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında kullanılan güneş pili kurulu gücü 300 KW civarındadır. Güneş enerjisi araştırma ve geliştirme konularında, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'nin yanında TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi ve Üniversiteler (Gazi Üniversitesi, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, ODTÜ, Kocaeli Üniversitesi, Fırat Üniversitesi, Süleyman Demirel Üniversitesi vb.) çalışmalar yapmakta olup bazı üniversiteler de güneş pilleri ile çalışan arabalar tasarlamaktadır [3].

Ülkemizde ve dünyada yapılan çalışmalar doğrultusunda bu tez çalışmasında güneş panelleri aracılığı ile güneş enerjisinden elde edilen enerjiyi ev ortamında kullanabilen AA gerilimine dönüştüren bir sistemin tasarımı yapılmaktadır. Tasarlanan sistemde Kyocera marka KD180GX-LP model, yüksek verimli multikristal modüle sahip güneş paneli kullanılmaktadır. Sistemin açık devre gerilimi 29.5V, normal çalışma gerilimi 23.6V ve akımı 7,63A'dır. Sistem; mikrodenetleyici kontrollü inverter devresinden oluşmaktadır.

Güneş panelinden elde edilen gerilimi AA çeviren bu tez çalışmasının giriş bölümünde yapılan uygulamayla ilgili ön bilgi sunulmuştur. Alternatif enerji kaynakları bölümünde, yenilenebilir enerji kaynakları çeşitleri, güneş enerjisi, güneş enerjisinin Türkiye ve dünyada kullanım alanları, güneş pillerinin yapısı, çalışması, montajı ve yerleştirilmesi ile ilgili kısaca bilgi verilmektedir. Fotovoltaik sistem elemanları bölümünde, bir fotovoltaik sistemde kullanılacak elemanlar tanıtarak, sistemin avantajları ve dezavantajları anlatılmaktadır. Sistemin tasarımı ve uygulaması bölümünde tasarımı yapılan sistem hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir. Sistemde kullanılan malzemelerin özellikleri, devre şeması, mikrodenetleyici içerisine yüklenen program kodları, elde edilen deneysel sonuçlar sunulmaktadır. Sonuç bölümünde ise yapılan çalışmaların sonucunda nelere ulaşıldığı, karşılaşılan problemler ve öneriler verilmektedir.

## 2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji, "doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı" olarak tanımlanmaktadır [4]. Petrol, kömür, doğalgaz ve uranyum yenilenemeyen enerji kaynakları olarak dünya enerji kaynağı rezervlerinin yaklaşık %94'ünü oluşturmaktadır. Ancak bu enerji kaynağı rezervleri gitgide artan dünya enerji ihtiyacını daha uzun süre karşılayamayacak kadar yetersiz bir seviyede kalmıştır. Bu gerçeğe ek olarak, 1970'li yıllarda ortaya çıkan enerji krizi ve petrol fiyatlarındaki aşırı yükseliş, bütün dünyanın alternatif ve yeni enerji kaynakları konusunda araştırmalara yönelmesine neden olmuştur [5].

Yenilenebilir enerji kaynaklarına, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve hidrolik enerji, jeotermal enerji, dalga enerjisinden oluşan su gücü enerjileri ile füzyon enerjisi gibi enerjiler gösterilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneşten gelen enerjinin doğrudan ya da dolaylı olarak kullanımı sonucu elde edilmektedirler [6]. Yenilebilir enerji kaynakları, miktarlarının sınırlı olmaması, çevreye daha az zarar vermeleri ve güvenli olmaları nedeniyle fosil yakıtlardan daha avantajlıdır [7]. En fazla bilinen ve en hızlı büyüme kaydeden, ülkelere sürdürülebilir kalkınmayı sağlamada yardımcı olacak yenilenebilir enerji kaynakları, güneş ve rüzgâr enerjisidir. Biokütle ve su gücü de tükenmeyen enerji kaynaklarıdır [8].

Klasik enerji kaynakları olan hidrolik enerji ve fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerjiler Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi sınıflandırılmaktadır.

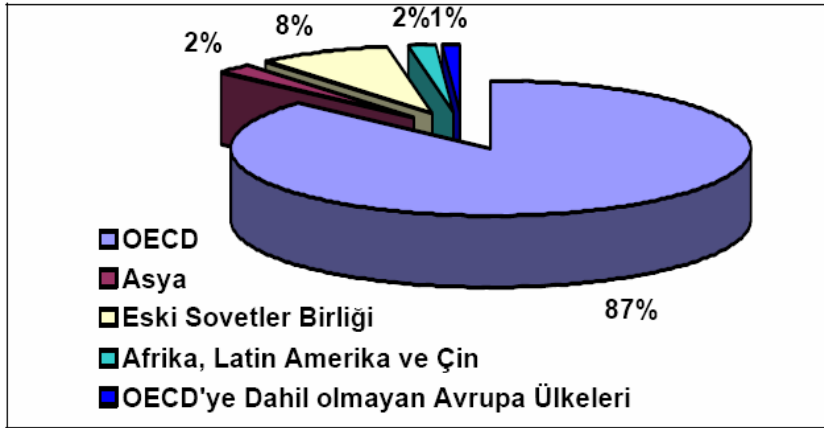
Çizelge 2.1. Alternatif enerji türleri

<b>Alternatif Enerji Türü</b>	<b>Kaynak veya yakıtı</b>
Nükleer Enerji	Uranyum gibi ağır elementler
Rüzgâr Enerjisi	Atmosferin hareketi
Dalga Enerjisi	Okyanus ve denizler
Jeo-termal Enerji	Yer altı suları
Hidrolik potansiyel	Nehirler
Hidrojen	Su ve hidroksitler
Bio-mass, bio-dizel ve bio-gas	Biyolojik artıklar, yağlar
Güneş Enerjisi	Güneş

### 2.1. Nükleer Enerji

Hızla tükenmekte olan ve petrole karşı alternatif olarak gösterilen ve atomun parçalanması ile elde edilen nükleer enerji günümüzde üzerinde durulan enerji türlerindedir [9].

Nükleer reaktörler nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Temel olarak füzyon sonucu açığa çıkan nükleer enerji, nükleer yakıt ve diğer malzemeler içerisinde ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisi bir soğutucu vasıtasıyla çekilerek bazı sistemlerde doğrudan bazı sistemlerde ise ısı enerjisini başka bir taşıyıcı ortama aktararak türbin sisteminde kinetik enerjiye ve daha sonra da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür [10]. 2020 yılındaki elektrik açığını kapatmak için 4500 MW'lık nükleer santraller planlanmaktadır. Dünyada 450'ye yakın nükleer santral vardır, toplam kurulu güç 369 bin MW, elektrik üretimindeki payı ise %16'dır. Dünya'da elektrik üretimini nükleer santrallerden sağlayan ülkelerin enerji miktarlarına ilişkin grafik Şekil 2.1'de verilmiştir. Elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı Fransa'da %77, İsveç'te %44, ABD'de %20, Hindistan'da %4'tür. Halen dünyada yapımı süren 20 adet nükleer santral vardır. Çin enerji açığını kapatmak için 2020 yılına kadar 20 adet nükleer santral yapmayı planlamaktadır [11].



Şekil 2.1. Dünya’da elektrik üretimini nükleer santrallerden sağlayan ülkelerin enerji miktarları

## 2.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi aslında güneş enerjisinden kaynaklanmaktadır. Gün boyu dünyanın bir kısmının güneş tarafından ısınması, diğer kısmının ise soğuyor olması sebebiyle rüzgârlar oluşur. Isınan atmosferdeki yüksek basınç merkezlerinden soğuk kısımlardaki alçak basınç merkezlerine doğru olan hava akımı rüzgârdır. Bu hava akımları kullanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir (Şekil 2.2). Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ilk kez 1891 yılında Danimarka’da gerçekleştirilmiştir. 1990 yılından günümüze en hızlı gelişen yenilenebilir enerji kaynağı rüzgâr enerjisidir [12].

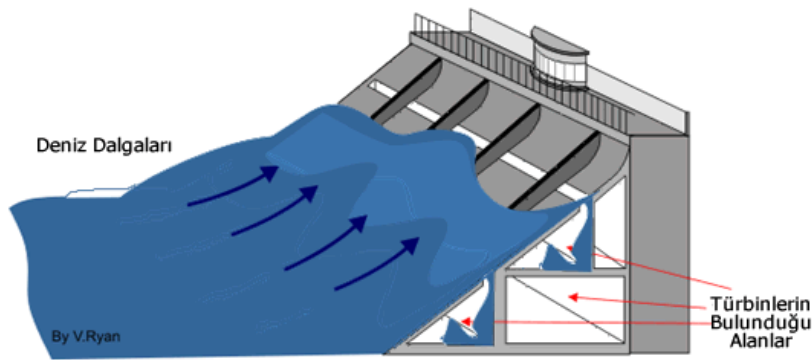


Şekil 2.2. Rüzgâr santrali



### 2.3. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve med-cezir enerjisi olarak tanımlanabilmektedir. Ülkemiz için üzerinde durulabilecek enerji grubu ise özellikle deniz dalga enerjisidir. Deniz dalga enerjisinin temelinde yine rüzgâr enerjisi yatmaktadır (Şekil 2.3). Ülkemizin Marmara hariç olmak üzere açık deniz kıyı uzunluğu 8210 km civarındadır. Bunun turizm, balıkçılık kıyı tesisleri gibi nedenle en fazla beşte birlik kısmı kullanılabilir ve yıllık olarak 18,5 TWh/yıl düzeyinde bir enerji elde edilebilir [9]



Şekil 2.3. Deniz dalgalarından enerji üreten sistem

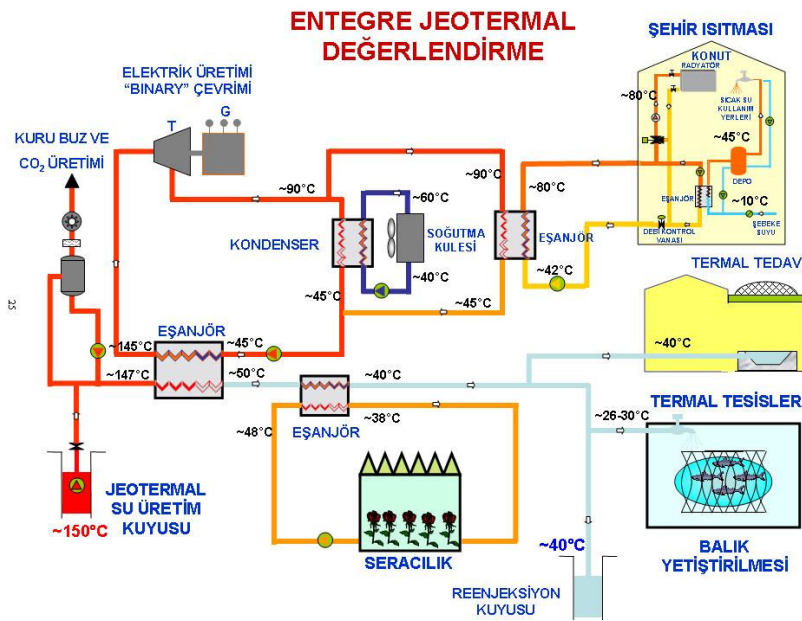
### 2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynak kısaca yer ısısı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal enerji ise jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü faydalanmayı kapsamaktadır.

Şekil 2.4’de olduğu gibi Jeotermal kaynaklar ile,

- Elektrik enerjisi üretimi,
- Merkezi ısıtma, soğutma (air-conditioning), sera ısıtması v.b.
- Endüstriyel amaçlı kullanım, süreç ısısı temini, kurutma v.b.

- Kimyasal madde ve mineral üretimi, karbondioksit, gübre, lityum, ağır su, hidrojen v.b.
- Kaplıca amaçlı kullanım (termal turizm)
- Düşük sıcaklıklarda (30°C) kültür balıkçılığı
- Mineralli su olarak kullanımı vb. gerçekleştirilmektedir [13].



Şekil 2.4. Jeotermal enerjinin kullanım alanları

Yağmur, kar, deniz ve magmatik suların yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayalık kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, yeraltı ve reenjeksiyon koşulları devam ettiği müddetçe yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar. Kısa süreli atmosferik koşullardan etkilenmezler.

Ancak, jeotermal rezervuarlardan yapılan sondajlı üretimlerde jeotermal akışkanın çevreye atılmaması ve rezervuarı beslemesi bakımından, işlevi tamamlandıktan sonra tekrar yeraltına gönderilmesi (reenjeksiyon) zorunludur. Reenjeksiyon birçok ülkede yasalarla zorunlu hale getirilmiştir.

Jeotermal enerjinin kullanımda hiçbir risk faktörü taşımadığı (patlama, yangın, zehirlenme v.b.) için son derece güvenilir olduğu kanıtlanmıştır.

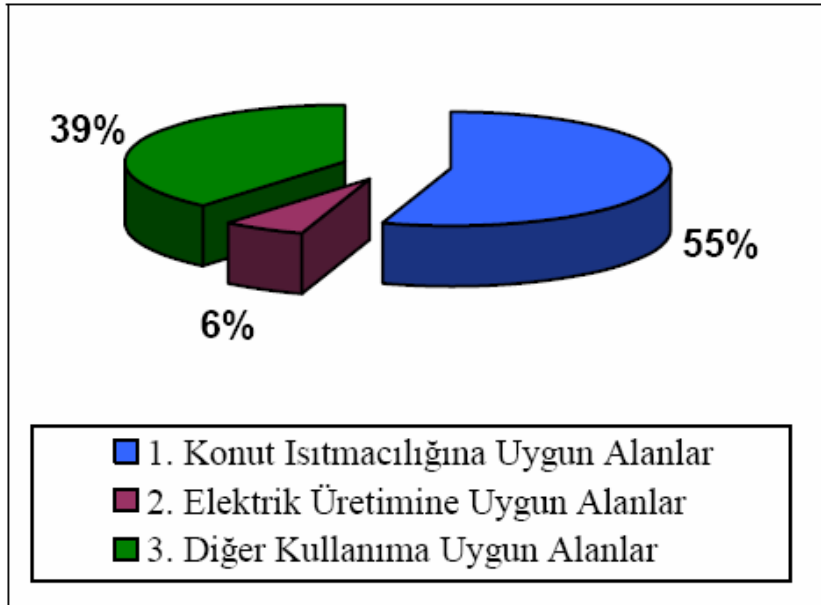
İtalya Larderello sahasında 1904 yılından beri, Kaliforniya Geysir sahasından 48 yıldır jeotermal elektrik üretilmektedir. 1890'dan beri Boise Idaho'da (ABD) ve 1934'den bu yana Reykjavik-İzlanda'da merkezi ısıtma sistemi bulunmaktadır. Ayrıca, Paris'in banliyölerinde 85 000 konut Jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır.

Türkiye'de bilinen 1000 dolayında sıcak su ve mineralli su kaynağı ile jeotermal kuyu mevcuttur. Sıcaklığı 40°C'nin üzerinde olan jeotermal sahaların sayısı ise 170'dir. Bunların yüksek sıcaklık saha olup, konvansiyonel olarak elektrik üretimine uygun olanlardan bazı örnekler Çizelge 2.2'de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Türkiye'deki önemli jeotermal enerji kaynakları

Saha Adı	Sıcaklık (°C)	2010 tahminleri (MWe)	2010 tahminleri (MWe)
Denizli-Kızıldere	200-242	75	80
Aydın-Germencik	200-	100	130
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	232+213	10	15
Manisa-Salihli-Göbekli	182	10	15
Çanakkale-Tuzla	174	75	80
Aydın-Salavatlı	171	60	65
Kütahya-Simav	162	30	35
İzmir-Seferihisar	153	30	35
Manisa-Salihli-Caferbey	150	10	20
Aydın-Sultanhisar	145	10	20
Aydın-Yılmazköy	142	10	20
İzmir-Balçova	136	50	5
İzmir-Dikili	130	30	30
<b>Toplam</b>		<b>455</b>	<b>550</b>

Türkiye'de jeotermal enerjinin kullanım alanına göre dağılımını veren grafik Şekil 2.5'de verilmiştir [14]. Türkiye'de önemli bir potansiyele sahip jeotermal enerjinin gelişimini hızlandıracak yasal düzenlemelerin bir an önce yürürlüğe girmesi sağlanmalıdır. Jeotermal alanların kullanım imkanlarının belirlenerek entegre tesisler halinde planlanması ve bu suretle en yüksek katma değer yaratılması teşvik edilmelidir.



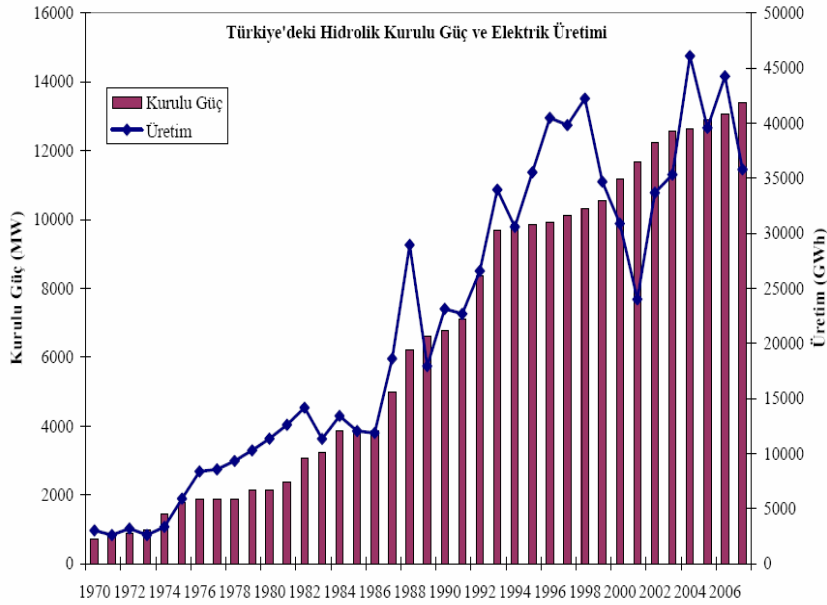
Şekil 2.5. Türkiye’de jeotermal enerjinin kullanım alanlarına göre dağılımı

## 2.5. Hidrolik potansiyel enerji

Elektrik enerjisi üretiminde fosil ve nükleer yakıtlı termik, jeotermal ve doğalgazlı santraller yanında hidroelektrik santrallerin (HES) yenilenebilir ve puant çalışma gibi iki önemli özelliği vardır. HES ilk yatırım maliyeti yönünden de doğalgaz santrali dışında diğer termik ve nükleer santrallerle rekabet edecek konumdadır. İşletilmesi ekonomiktir ve çevrecidir.

Ülkemizin başlıca ulusal ve yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik potansiyelinin değerlendirilebilmesi için; yakıt masrafı olmayan, dolayısıyla işletme maliyeti çok düşük olan, yük taleplerine kolaylıkla uyum gösteren ve alternatif enerji kaynaklarına göre çevresel etkileri az olan büyük HES’lerin öncelikle inşa edilerek işletmeye alınmaları gerekmektedir. Bunun yanında yapımı daha kısa süren ve enterkonnekte (bir elektrik veya makine güçleri taşıyanlar arasında bağ kuran şebeke) sisteme bağlanma zorunluluğu olmayan küçük HES’lerin de çoğaltılması büyük önem taşımaktadır. Türkiye’nin kurulu hidrolik gücü ve elektrik üretimine ilişkin grafik Şekil 2.6’da verilmiştir [14]. Küçük suların değerlendirilmesi, buldukları yöreye bağlaşımlı şebekenin ulaşma zorunluluğunu da ortadan

kaldıracağından, iletim şebekelerindeki kayıplarda önemli bir azalma meydana getirecektir. Ülkemizin her köşesine yayılmış olan akarsular üzerinde kurulacak küçük HES'ler, hem bağlaşımlı şebekenin yükünü hafifletecek, hem de iletim ve dağıtım kayıplarını azaltıcı ve ulusal şebekenin stabilizesini artırıcı bir rol oynayacaktır [15].



Şekil 2.6. Türkiye'nin kurulu hidrolik gücü ve elektrik üretimi

## 2.6. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen taşıtlar, elektrik kullanan cihazlar, konutlar, iş yerleri ve sanayide karbon temelli taşıyıcılar (petrol, kömür, v.b.) yerine ana enerji taşıyıcı kaynak olarak kullanılabilir bir enerji çeşididir (Şekil 2.7). Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (Üst ısıl değeri 140,9 MJ/kg, alt ısıl değeri 120,7 MJ/kg). 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir.

Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda kullanımı temiz ve kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji yetkisini artırıcı hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde

üretimi söz konusu değildir. Araştırmalar, mevcut koşullarda hidrojenin diğer yakıtlardan yaklaşık üç kat pahalı olduğunu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanımının hidrojen üretiminde maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olacağını göstermektedir. Bununla birlikte, günlük veya mevsimlik dönemlerde oluşan ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması günümüz için de geçerli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu tarzda depolanan enerjinin yaygın olarak kullanılabilmesi -örneğin toplu taşıma amaçları için- yakıt piline dayalı otomotiv teknolojilerinin geliştirilmesine bağlıdır.

Şu anda dünyada her yıl 50 milyon ton hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır. En büyük kullanıcı payına kimya sanayi, özellikle petrokimya sanayi sahiptir [16].



Şekil 2.7. Hidrojen enerjisinin kullanım alanları

## 2.7. Bio-mass, Bio-dizel ve Bio-gas Enerji

Biokütle elektrik ve diğer enerji şekillerinin üretiminde kullanılan, yenilenebilir önemli bir kaynaktır. Biokütle güneş enerjisinin depolandığı organik madde olarak tekrar enerjiye dönüştürülebilir. Tarımsal bitkiler ve atıklar, endüstriyel odun ve tomruk atıklar, çiftlik hayvan atıkları ve yöresel organik madde atıklar biokütle kaynaklarıdır. Bio-yakacak teknolojileri biokütledeki enerjiyi ulaşım, ısınma ve

elektrik üretiminde etkin olarak kullanılmaktadır. Günümüzdeki ısı tesislerinde odun atıkları, tarımsal/çiftlik atıkları ve besin maddesi üretimi işlemlerinde oluşan atıklar (Örneğin sert meyve kabukları, zeytin çekirdeği v.b.) ve çöp yığınlarında oluşan metan gazı kullanılmaktadır. Dünya enerji tüketiminin sadece %14'lük bir kısmının biokütleden sağlandığı, ancak bu oranın gelişmekte olan ülkelerde %43'lere ulaştığı bilinmektedir. Bu yüzyılın ortalarında dünya nüfusunun %90'nının gelişmekte olan ülkelerde yaşadığı varsayılırsa, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biokütle enerjisi önemli bir yeri işgal edecektir [17].

## 2.8. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir ve güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır [18].

Güneş enerjisi günümüzde,

- Konut ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi (ısıtma-soğutma), yemek pişirme, sıcak su temin edilmesi ve yüzme havuzu ısıtılmasında
- Tarımsal teknolojide, sera ısıtılması ve tarım ürünlerinin kurutulmasında
- Sanayide, güneş ocakları, güneş fırınları, pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu uygulamalarında
- Ulaşım-iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik üretiminde [19]
- Geleceğin yakıtı olan hidrojenin sudan üretiminde güneş enerjisinden yararlanılmaktadır [20].

Ayrıca uydu ve uzay istasyonlarında güneşten elektrik elde etmek için kullanılan güneş pili teknolojilerindeki gelişim, bunların verimlerindeki artış sayesinde daha ekonomik hale gelmektedirler [21].

Güneş enerjisi hem bol ve bedava hem de sürekli ve yenilebilir bir enerji kaynağı oluşunun yanında insanlık için önemli bir sorun olan çevreyi kirletici atıkların bulunmayışı, yerel olarak uygulanabilmesi, işletme kolaylığı, dışa bağımlı olmaması, karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi ve işletme masraflarının az olması gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda kullanılan yaygın yenilebilir enerji kaynaklarından biridir.

Bunların yanında güneş enerjisinin sahip olduğu olumsuzluklar şöyle sıralanabilir [19].

- Birim düzleme gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç duyması,
- Güneş ışınımı sabit ve sürekli olmadığından depolama gerektirmesi, depolama imkânlarının ise sınırlı oluşu,
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri hiç olmayışı,
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevresinin açık olması gerekliliğidir.

## **2.9. Güneş Enerjisinin Dünyada ve Türkiye’de Kullanım Alanları**

Ülkemizde son yıllarda teşvik edilen; köylerden şehirlere göç politikası, tüketim toplumu dönüşümü ve nüfus artışı, enerji talebimizi ve buna bağlı olarak ithalat bağımlılığımızı artırmaktadır. Kriz öncesi %75 düzeyine kadar ulaşan enerji sektörü ithalat bağımlılığı, küreselleşen dünyadaki enerji fiyatlarını ülkemiz ekonomisi ve halk üzerinde önemli bir baskı unsuru haline getirmiştir.

Dünya enerji sektörü, iklim değişikliğinin yarattığı sorunlar nedeniyle radikal bir değişimin eşiğindedir. Özellikle fosil kaynaklara sahip olmayan ve enerjide dış bağımlılığı artan sanayileşmiş ülkeler bu radikal değişim sürecinde hem güvenli enerji kaynaklarına yönelmek ve hem de yenilenebilir enerji ve temiz teknolojileri satarak bu yeni dönemde ekonomilerini güçlendirerek krizi fırsata çevirmek üzere



çalışmalarını sürdürüyorlar. Çok uluslu petrol şirketleri bile alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini stratejik hedefleri arasına almıştır. Gelişmiş ülke hükümetleri "temiz enerji ekonomisi" olarak adlandırdıkları bu sektörü çok ciddi boyutlarda desteklemektedir. Amerika'da Obama yönetimi krizden çıkış için ayırdığı 700 milyar dolarlık kaynak içinde yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine vereceği destekleri özel olarak belirtirken, bu desteklerin istihdamı canlandıracağını da açıklamaktadır. Görüldüğü üzere gelişmiş ülkeler için yenilenebilir enerji; sadece enerji güvenliği için değil aynı zamanda, önemli bir ekonomik yatırım alanı, yeni istihdam alanı ve dünya üzerinde yaratacakları yeni bir egemenlik alanı olan teknoloji egemenliği alanı olarak değerlendirilmektedir

Güneş enerjisi son 10 yıldır dünyanın enerji ve iklim değişikliği ile ilgili sorunları için dikkatlerini yönelttiği en önemli kaynak durumuna gelmiştir ve bütün dünyada en kapsamlı Ar-Ge çalışmalarının yapıldığı bir sanayi dalıdır. Yarıçapı, Dünya yarıçapının 109 katı (yaklaşık olarak 1,4 km) ve kütlesi dünya kütesinin 330 000 katı olan, yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı, çoğunluğu hidrojenden oluşan bir gaz karışımı küre biçimindeki Güneş, Dünyadan 150 milyon kilometre uzaklıktaki bir yıldızdır. Toplam enerji rezervi  $1,785 \times 10^{47}$  J olan bu yıldız daha milyarlarca yıl bu şekilde ışınmasını sürdüreceği öngörüldüğünden, Dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Dünyanın tüm yüzeyine bir yıl boyunca düşen Güneş enerjisi  $1,22 \times 10^{14}$  TET (ton eşdeğer taşkömürü) veya  $0,709 \times 10^{14}$  TEP\* (ton eşdeğer petrol) kadardır. Bu değer, Dünyanın bilinen kömür rezervinin 157 katı, bilinen petrol rezervinin 516 katıdır [22].

Güneş enerjisi, ısıtmada, soğutmada ve değişik teknolojilerle elektrik enerjisi üretiminde kullanılmakta olup, yapılan projeksiyonlarda 2040 yılına kadar dünya enerji gereksinmesinin %26'sının güneşten karşılanabileceği ve 2 milyondan fazla kişiye istihdam imkânı sağlanacağı belirtilmektedir. Dünyada güneşten elektrik enerjisi üreten sistem maliyetlerinde baş döndürücü bir teknolojik gelişme ve ilk yatırım maliyetlerinde büyük düşüşler gözlemlenmektedir. Yapılan tahminlerde, 2010'lu yıllardan sonra güneş enerjili elektrik üretim sistemlerinin konvansiyonel kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi fiyatları ile rekabet edilebilir mertebelere

geleceği öngörülmektedir. Ülkemiz; güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin ülke sathına dağılımı yönünden her türlü güneş enerjisi uygulamaları için elverişli bir konumdadır.

Çizelge 2.3. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri [23]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Yüksek güneş potansiyelimiz, 1970’li yıllardan bu yana uygulana gelen güneşten yararlanma tekniklerine ilişkin sektörde ve üniversitelerimizde var olan bilgi birikimi, mevcut teknik alt yapımız dikkate alındığında yenilenebilir enerji kaynağını büyük bir katma değere dönüştürme imkânını önümüze koymaktadır.

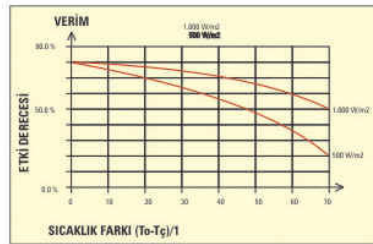
Çizelge 2.4. Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı [23]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
	(kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Güneş enerjisi açısından Doğu Karadeniz hariç bir “güneş ülkesi” diyebileceğimiz Türkiye’nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2640 saattir ve bu günlük toplam 7,2 saate karşılık düşmektedir. Yılda metre kareye ortalama 1311 kWh ışınım

şiddeti düşen ülkemizde güneş kaynaklı bu enerjinin kullanım alanlarının yaygınlaşmasını sağlayacak yerli ve yeni teknolojilerin ülkemizde üretimi ve kullanımının sağlanması mümkündür. Türkiye'nin brüt güneş enerjisi potansiyeli 87,5 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) olarak belirtilmektedir. Bunun 26,5 milyon TEP'ini ısı üretimine, 8,75 milyon TEP'ini ise elektrik enerji üretimine elverişli miktarlar olarak belirtilmektedir. Ancak ETKB verilerine göre Güneş enerjisi kullanımını 2007'de 420 bin TEP iken 2008'de 418 bin TEP olmuştur. 2008'deki 28,3 milyon TEP yerli kaynak üretimimiz içinde %1,5'un altında pay almıştır.

## TÜRKİYE GÜNEŞLENME HARİTASI

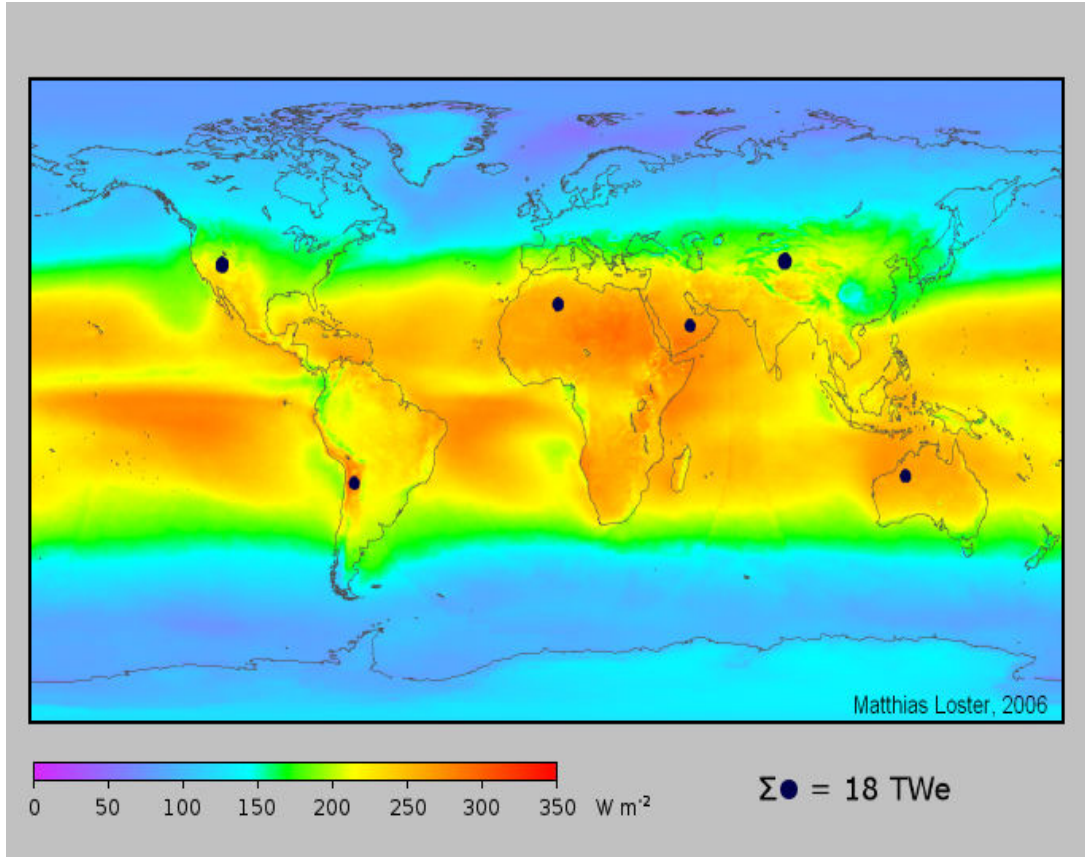


- 1. BÖLGE 4800 - 4880 kcal/m<sup>2</sup> - gün
- 2. BÖLGE 4440 - 4800 kcal/m<sup>2</sup> - gün
- 3. BÖLGE 3720 - 4440 kcal/m<sup>2</sup> - gün
- 4. BÖLGE 3360 - 3720 kcal/m<sup>2</sup> - gün

Harita 2.1. Türkiye'nin güneşlenme haritası [24]

Harita 2.1'deki haritada da görüldüğü gibi Türkiye'ye gelen güneş ışınımının sadece yüz binde ikisinden yararlanılmaktadır. Ülkemizde şu anda yalnızca 22 milyon konut içinde yalnızca 3,5 - 4 milyon konutta güneş enerjili sıcak su sistemi bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu sistemlerin ülkemize enerji getirisi yaklaşık olarak 500-600 milyon dolardır. Oysa bu sistemlerin yaygınlaştırılmasıyla yalnızca bu alandan 3-3,5 milyar dolar daha ısı enerjisi katkısı gerçekleşebilir.

Güneş enerjisinin kullanımı için önemli bir potansiyel olduğu düşünülmesine rağmen, özellikle Güney ve Batı Anadolu'da güneş panelleriyle su ısıtılması dışında yeterli düzeyde kullanıldığı söylenemez. Türkiye güneş, rüzgâr, biokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Ancak, enerji olarak kullanımları yeterli düzeylerde değildir [2].



Harita 2.2. Dünyanın solar aydınlanma haritası

Harita 2.2'de dünyanın güneş tarafından aydınlanma haritası görülmektedir[25]. Örneğin bizim kadar güçlü güneş radyasyonu almayan bir ülke olan Avusturya, 1 milyon kişi başına 200 MW solar termal enerji kullanımı ile dünyadaki en iyi ülke durumundadır. Avusturya'daki güneş kolektörlerinin %60'ı sıcak su ihtiyacı için kullanılırken % 30'u ısıtma sistemleri ile kombine edilmektedir [26].

Güneş enerjisinin kontrollü ısı uygulamaları ise hızla gelişmektedir. Amerika ve Japonya'da yılda üretilen kolektör miktarı 1800000 m<sup>2</sup> düzeyini geçmiştir. Yine bir yılda Avustralya'da 176000 m<sup>2</sup>, İtalya'da 80000 m<sup>2</sup>, Avusturya'da 56000 m<sup>2</sup>,

Kanada'da 46000 m<sup>2</sup>, Yunanistan'da 41000 m<sup>2</sup>, Almanya'da 27000 m<sup>2</sup> ve İsveç'te 25000 m<sup>2</sup> kollektör üretilmiştir. 100 m<sup>2</sup> 'lik kollektör yüzeyinin 70 kW ısıtma gücüne eşdeğer olduğu, %40 verimle 28 kW güç elde edilebileceği düşünülürse sıralanan kollektör yüzeylerinin önemi vurgulanmış olur.

Fotovoltaik pil üretiminde başta gelen ülkeler, ABD ve Japonya'dır. ABD'nin üretimi, dünya piyasasının %30'unu oluşturmaktadır. Japonya ise hesap makinelerinde kullanılan foto pillerin %80'inden çoğunu üretmektedir. Fransa dünyadaki yıllık üretimin %5'ini, Avrupa'nın ise %30'unu sağlamaktadır. İtalya, Avrupa'daki %25'lik payı ile Fransa'yı izlemektedir. Sonraki sıralarda ise %20'lik pay ile Almanya ve %10'luk pay ile İspanya gelmektedir [27].

## **2.10. Güneş Pilleri**

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır.

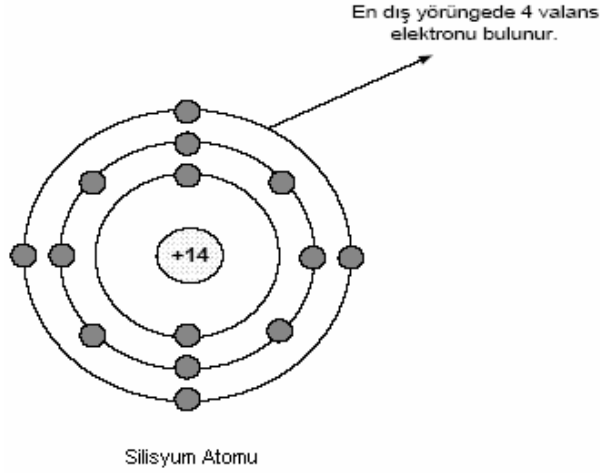
Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Bu modüller ile güç talebine bağlı olarak bir kaç watt'tan megawatt'lara kadar sistem oluşturulur [28].

### **2.10.1. Güneş pillerinin yapısı ve çalışması**

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı iletken maddelerden yapılırlar. Yarı iletken özellik gösteren

birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarı iletken eriyik içerisinde istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle 5. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir.



Şekil 2.8. Silisyum yarıiletkenin yapısı

P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

P ve N tipi katkılandırılmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarı iletken eklemler oluşturulur. N tipi yarı iletkende elektronlar, p tipi yarı iletkende holler çoğunluk

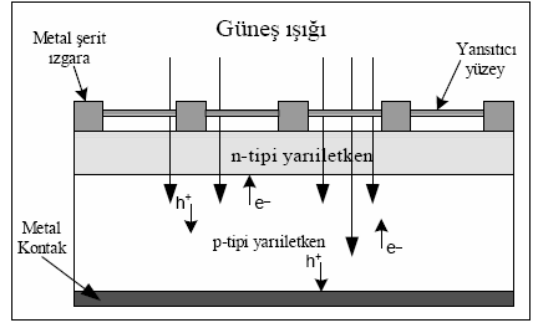
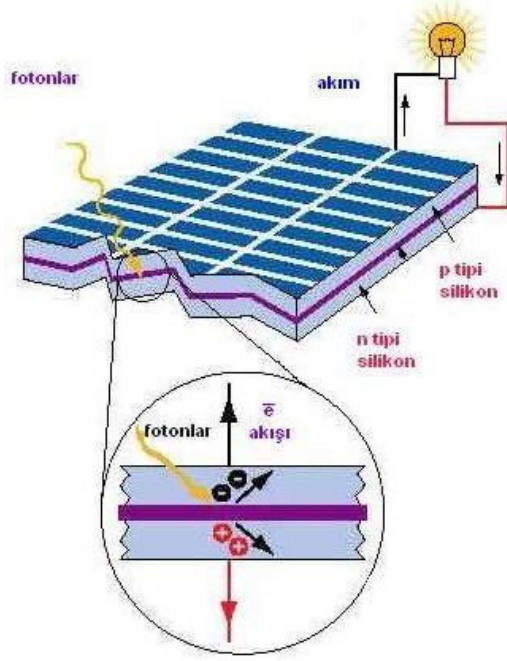
taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Başka bir deyişle P tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan ( $E_y$ )" olarak adlandırılır. Yarı iletken eklem güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur. İkinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.

Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarı iletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, PN eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları N bölgesine, holleri de P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder (Şekil 2.9). Yarı iletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar [25].

Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler:

- Bakır İndiyum Diselenid ( $CuInSe_2$ )
- Galyum Arsenit ( $GaAs$ )

- Amorf Silisyum
- Kadmiyum Tellürid (CdTe)
- Kristal Silisyum



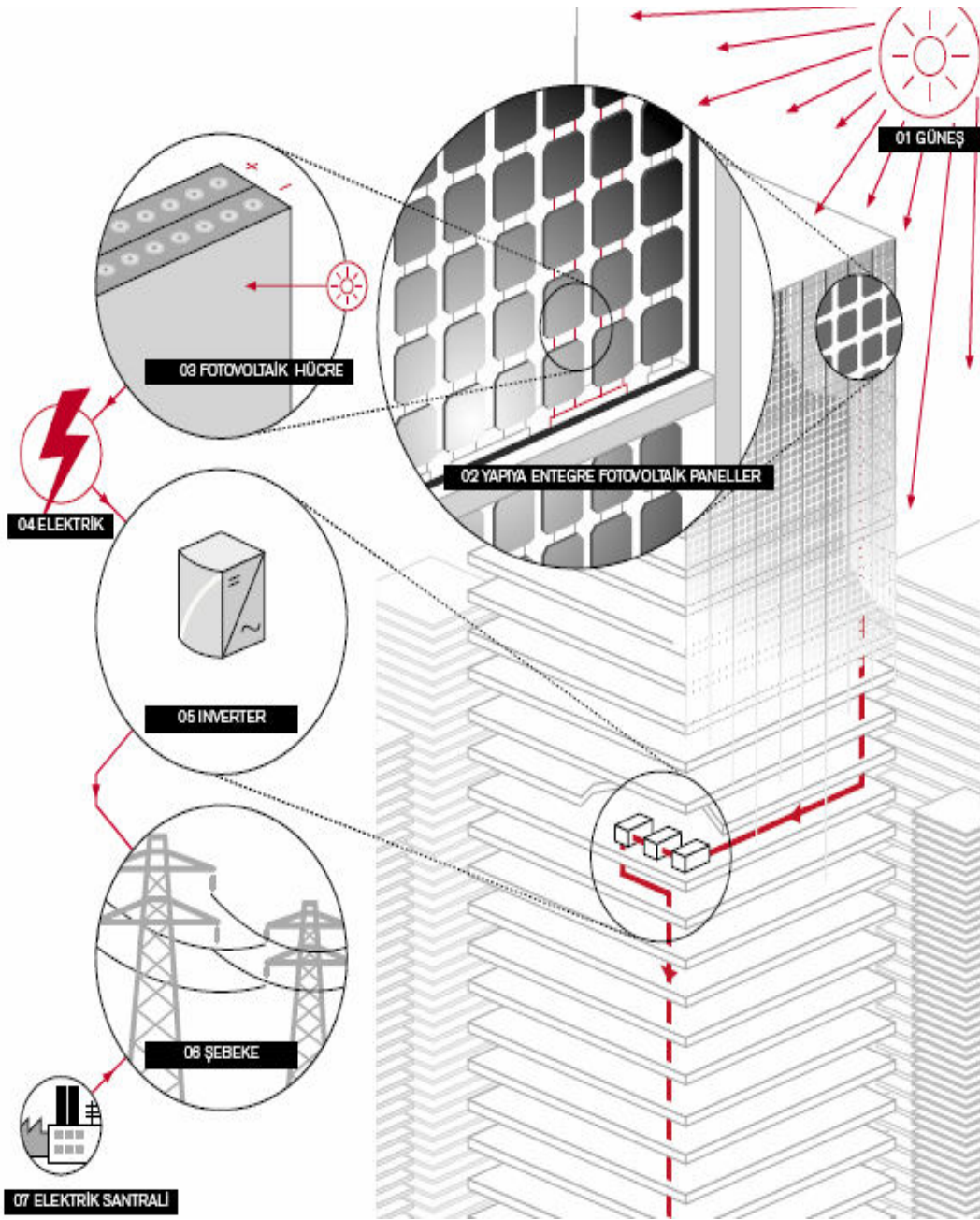
Şekil 2.9. Tipik bir p-n eklemlı güneş pili



### 3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik etki güneş ışığının bir yarı iletken cihazın üzerine düşmesiyle, ışığın DC elektrik akımına dönüşümünü sağlayan fiziksel işleme denir [30]. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisinin sürekli olmaması nedeniyle, çoğunlukla şebeke bağlantılı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır. Fotovoltaik güç sistemlerinin enerji verimliliği ve güvenilirliğinde, güç düzenleme ünitesinin (evirici) önemli bir rolü vardır. Bu nedenle, fotovoltaik güç üretim sistemleri, işletim şartlarına bağlı olarak iletilen gücü optimize eden güç düzenleme üniteleri (Maksimum Güç Noktası İzleme, Maksimum Power Point Tracker; MPPT) içermektedir. Fotovoltaik modül tarafından üretilen doğru gerilim, evirici devresiyle istenilen gerilim ve frekanstaki (220 Volt 50 Hz) alternatif gerilime dönüştürülmektedir [22].

Şekil 3.1'deki Fotovoltaik süreç şu şekilde işlemektedir: Güneş ışınlarından şebeke enerjisine Fotonlar-Güneş ışınları, (01) fotovoltaik hücreler (02) tarafından tutulur ve elektrik akımına (03-04) dönüştürülür. Elektrik, inverter (05) yardımıyla, şebekeye (06) bağlanır [1].

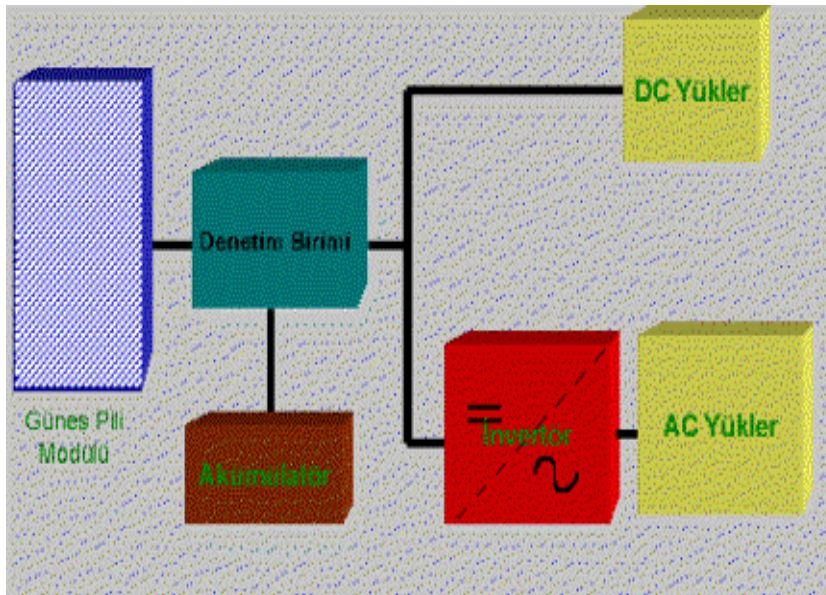


Şekil 3.1. Güneş ışığının elektriğe dönüşümü

### 3.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Elemanları

Bir fotovoltaik sistem tasarımına başlarken göz önüne alınması gereken üç temel faktör vardır. Bunlar sırasıyla uygulamanın karakteristikleri, hava koşulları ve kullanıcıdır. Her yük tek tek ele alınıp bir gün boyunca ne kadar süre ile kullanılacağı, çekeceği akım ve gerilim değerleri bilinmelidir. Sonra kullanılacağı

zaman dilimi belirlenmelidir, zira mevsimlere göre elde edilebilecek ışınım değerleri değişkendir. Daha sonra ise eldeki verilere göre modüllerin en doğru şekilde yerleştirilmesi gereklidir. İhtiyaç duyulan yüke göre modül, akü ve diğer yardımcı elemanların sayısı seçilmelidir. Sistem çıkışında kullanılacak akım türüne göre gerekli aparatlar tespit edilmeli (dönüştürücü, çevirici), diğer yardımcı elemanların fiziksel özellikleri de göz önüne alınarak akü ve modüllerin gerilim değerleri belirlenmelidir. Sistemin coğrafi konumuna göre (enlem ve boylam) gerekli değerler tablolardan alınabilir. Daha sonra kullanıcının tercihleri devreye girecektir. Bunlar tasarruf tercihleri, güvenlik önlemleri ve estetik kaygılar olabilir. Bütün bu faktörlere göre sistemin tek başına mı ya da destekleyici bir sistemle mi kullanılacağı belirlenebilir. Destekleyici bir sistem olarak herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağının yanı sıra ulusal şebeke de kullanılabilir. Buna göre PV sistemler bağımsız sistemler ve şebekeye bağlı sistemler olarak da ikiye ayrılabilir. Şekil 3.2'de fotovoltaik sisteme ait genel yapı gösterilmektedir [31].



Şekil 3.2. Fotovoltaik sistem

### 3.1.1. Yoğunlaştırıcılar



a)



b)

Şekil 3.3. Yoğunlaştırıcı çeşitleri

a) Düzlemsel yoğunlaştırıcı b) Parabolik yoğunlaştırıcı

Evlerde kullanılan güneş panelleri sıcak su temininde kullanılır. Bunun için gereken güneşlenme miktarı fazla değildir. Çoğu ev sistemi  $70^{\circ}\text{C}$ 'lere nadiren ulaşır. Fakat güneş panelleri elektrik üretiminde de kullanılırlar. Bu da daha yüksek sıcaklıkları gerektirir. Bilinen optik kurallarını kullanarak aydınlanma miktarını arttırmak ve bu sayede sıvının sıcaklığını yukarılara çekmek mümkündür. Parabolik yansıtıcı bir panelin ve bu panelin tam odağından geçecek şekilde absorban bir tabakayla çevrilmiş sıvı kanalı bu düzeneğin temelini oluşturur. Güneş ışınlarını belirli bir temelde yoğunlaştırdığı için bu tür sistemlere *yoğunlaştırıcı sistemler* denmektedir.

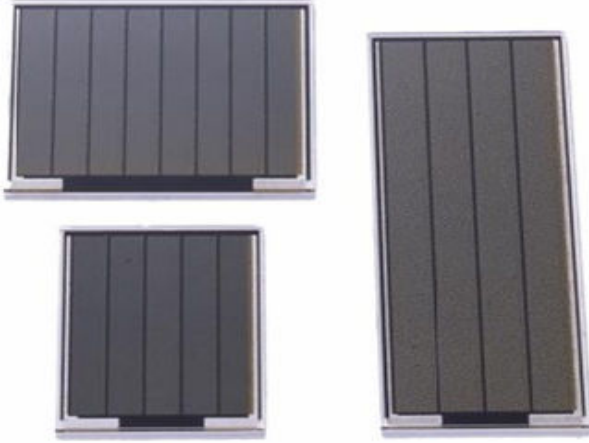
Bu sistemlerde sıcaklık  $300^{\circ}\text{C}$ 'lere kadar çıkabilir. Yoğunlaştırıcı sistemlerin verim arttırıcı en belirgin özelliği ise güneşin hareketine bağlı olarak değişen, ışınların geliş açısına uyum sağlamak amacıyla sabit değil hareketli bir yapıya sahip olmalarıdır. Böylece güneş ışınları hep aynı odakta toplanmış olur. En fazla kullanılan yoğunlaştırıcı sistem *düzlemsel oluk kolektörleridir*. Şekil 3.3 (a)'da yoğunlaştırıcı tipine ait resim gösterilmektedir. Bunlar güneşi tek yönde takip etmektedirler.

Yoğunlaştırıcı sistemler temelde aynı ilkeye dayanarak çalışıyor olmakla birlikte bazı yapısal farklılıklar gösterirler. Sıcaklık derecesinin en yukarılara çıktığı sistem merkezi alıcı sistemlerdir. Bu sistemde dairesel bir alana yerleştirilen birçok aynanın odağına bir alıcı yerleştirilir. Alıcıda ısınan bir akışkan bulunur ve elde edilen ısı

enerjisi başka enerjilere dönüştürülmek üzere diğer ünitelere aktarılır. *Parabolik çanak sistemler*, dairesel bir çukur aynanın odak noktasına ısınacak su yerleştirilir. Bu yoğunlaştırıcı tipine ait resim Şekil 3.3 (b)' de verilmektedir. Çanak sistemi yatay ve düşey yönde sürekli güneşi takip ederek gün boyunca güneşten en iyi güneşlenmeyi sağlar. Buralarda ısıtılan sıvı genellikle elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılır [32].

### 3.1.2. Fotovoltaik levhalar

Bir fotovoltaik sistemin en önemli bölümü olan fotovoltaik levhalar (güneş panelleri), güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Dönüştürülen enerjinin biçimi doğru gerilimdir. Güneş pillerinin bir araya gelmesiyle modüller, modüllerin bir araya gelmesiyle de fotovoltaik levhalar oluşur (Şekil 3.4). Elde edilen gerilimi arttırmak için, levhalar birbirine seri, akımı arttırmak için ise, paralel olarak bağlanabilirler. Genel olarak küçük uygulamalarda birkaç tane fotovoltaik levha kullanılmaktadır. 10-20 panellik bir sistem normal bir evin tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilir [29].



Şekil 3.4. Fotovoltaik levhalar

### 3.1.3. Bataryalar

Şebekeden uzak veya kesintisiz güç kaynağının (UPS) gerekli olduğu durumlarda yenilenebilir enerjinin en önemli parçasıdır. Gündüzleri güneş panellerinin ürettiği

olduğu elektrik enerjisini gece/gündüz kesintisiz kullanabilmek için uygun akü bankasının kurulması ile mümkündür. Akülerin seri veya paralel bağlanması ile 12, 24, 48 veya 120V gerilimde çalışabilirler. Yeni nesil jel tipi tam bakımsız aküler; güneş, rüzgâr ve hibrit sistemler için ideal akülerdir. Şekil 3.5'te güneş batarya çeşitlerine ait resimler gösterilmektedir. Bu tip akülere saf su veya elektrolit ekleme ihtiyacı duyulmazlar, uzun ömürlü ve şarj-deşarj kinetikleri çok verimlidir.



Şekil 3.5. Güneş batarya çeşitleri

Akü seçimi yapılırken kurulacak olan sisteme yönelik olmalıdır. Örneğin bahçe veya sokak aydınlatması için kullanılan güneş enerjili lambalarda jel akü seçilmelidir. Çünkü asit bazlı akülere 4-6 ayda bir bakım yapmak (saf su ilavesi) gerektiği için uygun bir seçim olmayacaktır. Tek başına güneş paneli uygulaması varsa ve bakım yapılabilecekse flooded lead acid aküler kullanılabilir.

Güneş akülerinde istenen temel özellikler:

- Derindeşarj durumlarında akünün kısa bir süre sonra tam performansına ulaşması
- Yüksek miktardaki derindeşarjlarda mükemmel performans sağlaması
- Yüksek sıcaklığa karşı direnç
- Enerji girişinin düzenli olmadığı uygulamalar için ideal olması
- Dengeleme şarjına ihtiyaç duymaması
- Minimize edilmiş kendiliğindendeşarj
- Su kaybına karşı maksimum koruma
- Aşırı dayanıklı polimer seperatör sayesinde yüksek performans
- Düşük iç direnç sayesinde rahat şarj imkânı [33].

### 3.1.4. Şarj kontrolörü

Akülerin şarj durumu gözlemek yanı sıra aküye giden ve aküden regülatöre gelen enerji akışı da gözlemlenmektedir. Bazı modellerde sesli uyarı, gece fonksiyonu için lambaların istenen saatler içerisinde çalışması programlanabilir.

Şarj kontrolörün başlıca görevleri

- Akülerin en uygun şartlarda şarj ve deşarj edilmesi
- Sıcaklık ayarları.
- Yıldırım kontrolü, farklı koruma-sigorta sistemleri.
- Güneş panellerinden gelen verileri kaydetmesi ve istenmesi durumunda modem ile merkeze yollanması.
- 5A-150A aralığında verimli bir şekilde, minimum güç tüketerek çalışması.

Şarj kontrol cihazları istenen şekilde değiştirilebilmektedir (Şekil 3.6). Akü voltajının istenen değere geldiğinde şarjın kesilmesi, akü voltajının belli bir değer altına düşmesi durumunda akü ve yük sistemine zarar gelmemesi için yük bağlantısının otomatik olarak kesilmesi, voltajın yükselmesi durumunda otomatik olarak güç vermeye başlaması gibi özellikler kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir [33].



Şekil 3.6. Şarj kontrolörü

### 3.1.5. Evirici (İnverter)

DA/AA dönüşüm sistemleri, bir başka deyişle eviriciler veya inverterler, doğru gerilimden değişken gerilim dalga biçimi elde eden, frekansı ve gerilimi birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen düzeneklerdir (Şekil 3.7). Eviricilerin üreteceği dalganın biçimi ve frekansı, kullanılan yarı iletken elemanın karakteristiklerine, iletim ve yalıtım sürelerine bağlıdır. Yarı iletken eleman olarak güç ve frekansa göre; BJT, MOSFET, IGBT ve hızlı SCR türleri kullanılabilir.



Şekil 3.7. İnverter çeşitleri

İdeal eviricilerin çıkış dalga şekli sinüs biçimlidir. Bununla birlikte pratikte eviricilerin dalga şekilleri sinüs biçimli değildir bu yüzden harmonikler içerir. Düşük ve orta güç uygulamaları için kare dalga veya kare dalgaya benzer gerilimler kabul edilebilir. Yüksek güç uygulamaları için ise düşük distorsiyonlu sinüs biçimli dalga formları istenir. Yüksek hızlı güç yarı iletken cihazları ile çıkış geriliminin harmonik içerikleri önemli ölçüde minimize edilebilir. Eviriciler endüstride çok geniş uygulama alanı bulabilir. Bunlara örnek olarak AA motor hız kontrolü, indüksiyon ısıtma, kesintisiz güç kaynakları verilebilir. Burada evirici girişi bir akü sistemi, PV modül veya diğer DA kaynaklar olabilir. Tipik tek faz çıkışlar 120V-60Hz, 220V-50Hz ve 115V-400Hz'dir. Yüksek güçlü 3 fazlı sistemler için tipik çıkışlar 220/380V-50Hz, 120/208V-60Hz ve 115/200V- 400Hz'dir.

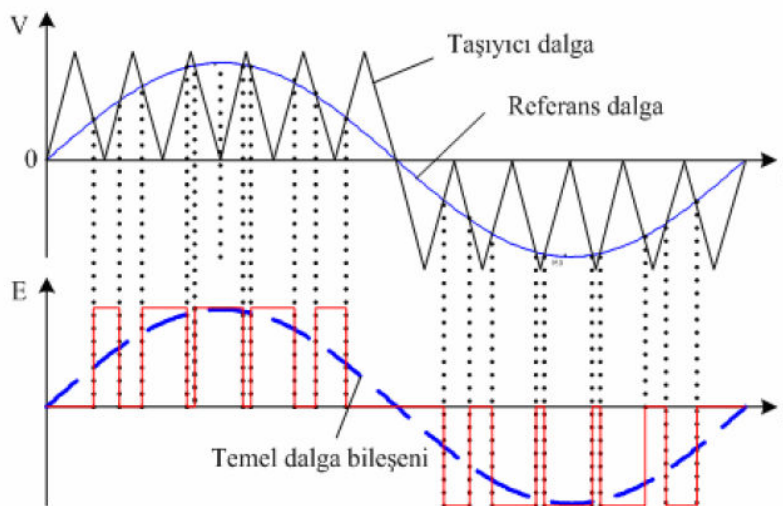
Eviricileri; sürme işaretleri bakımından PWM (Pulse Width Modulation – darbe genişlik modülasyonu) eviriciler ve Rezonans eviriciler olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Bu çalışmada PWM eviriciler temel alınmıştır.



### PWM eviriciler

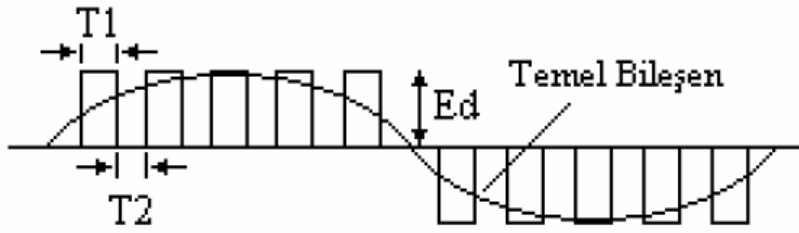
PWM eviricilerde evirici çıkışının belirlenebilmesi için, bir referans sinyali oluşturulur. Referans sinyalinin frekansı evirici çıkış frekansını, gerilim tepe değeri ise etkin çıkış gerilim değerini belirler. Her yarım döngüdeki darbe sayısı, taşıyıcı (genellikle üçgen dalga) frekansına bağlıdır. Bu eviricilerde DC giriş gerilimi sabittir. Evirici, AC çıkış geriliminin değerini ve frekansını kontrol eder.

PWM eviricideki yarı iletken anahtarlama elemanlarının tetikleme anlarını belirlemek ve eşzamanlılığı sağlayabilmek için Şekil 3.8’de gösterilen yöntem kullanılır. Evirici çıkışının gerilimini ve frekansını belirleyecek bir sinüs referans işareti, frekans ve genliği sinüsten daha büyük bir üçgen dalga ile karşılaştırılır. Bu iki işaretin çakışma noktaları, anahtarlama elemanlarının tetikleme anlarını belirler. Üçgen dalganın negatif eğimi ile sinüs dalgasının kesiştiği yerde bir darbe başlatılır. Üçgen dalganın pozitif eğimi ile sinüs dalgasının kesiştiği yerde ise darbe durdurulur. Tüm dalga boyunca darbenin süresi yaklaşık sinüs biçimli olarak değişir. Evirici çıkış gerilimini azaltmak veya yükseltmek için referans sinüs işaretinin genliği azaltılır veya yükseltilir. Frekansın değiştirilmesi, sinüs işaretinin frekansının değiştirilmesiyle elde edilir.



Şekil 3.8. PWM evirici dalga biçimleri

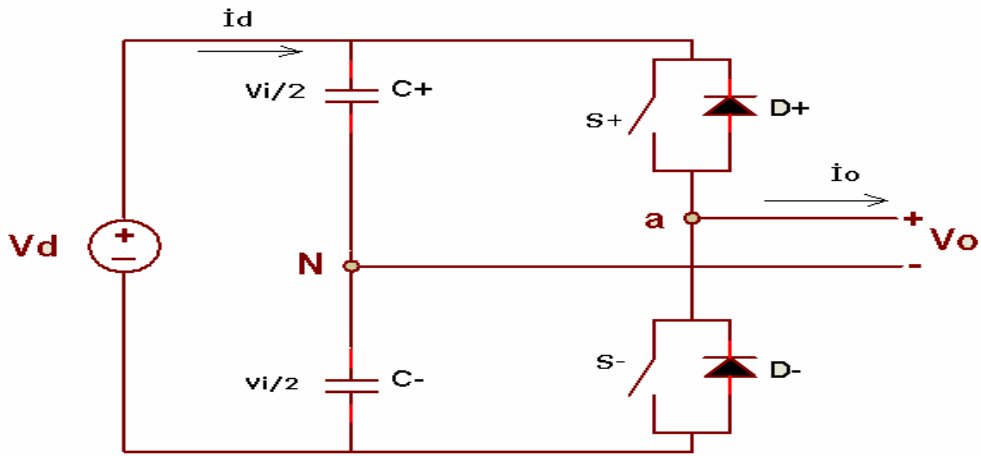
Darbeleme tekniği, eviricinin değişken gerilim çıkışını denetlemek için kullanılır. Kare ya da basamak dalga çıkış gerilimleri, her yarı dönemde birkaç kez yinelenir ve böylece eşit genlikte birkaç darbe elde edilir. Her bir darbenin genliği, eviricinin giriş geriliminin genliğine eşittir. Şekil 3.9’da, PWM dalgaların temel Şekli görülmektedir. Darbe genişliği  $T1$  ile sıfır süresi  $T2$ , yarı dönem boyunca değişmezler. ıkış geriliminin genliği, yarı dönem boyunca olan toplam iletim sresinin değiştirilmesiyle denetlenebilir. Bu durum, darbe genişliğini sabit tutup darbe sayısını değiştirmekle ya da darbe sayısını değiştirmeyip darbe genişliğini değiştirmekle elde edilir. Sonuç olarak evirici çıkış gerilimi, anahtarlama elemanlarının iletimde olduğu süre nin tıkamada olduğu süreye oranının değiştirilmesiyle elde edilir. PWM eviricileri, yarı ve tam köprü olmak üzere iki grup halinde incelemek mümkündür. Aşağıda bu iki evirici tipi ele alınmıştır.



Şekil 3.9. PWM dalgaların temel Şekli [33]

### **Yarı köprü evirici**

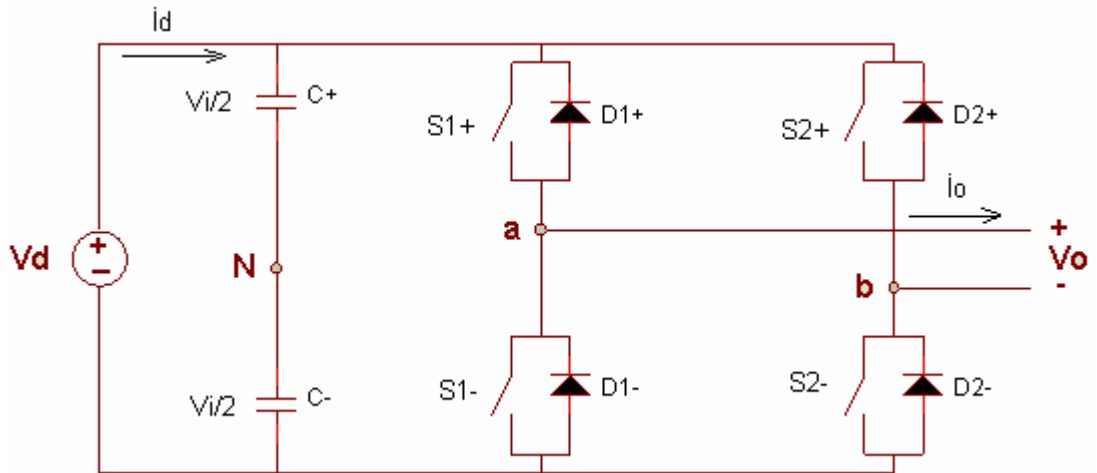
Her birisi sabit bir gerilim değerine ( $V_i/2$ ) sahip iki kondansatör eviricinin nötr çıkışını oluşturmaktadır. Eviricinin alışması esnasında oluşacak harmoniklerin düşük dereceli olması için C+ ve C-kondansatörlerinin yüksek değerde seçilmesi gerekmektedir. Eviricinin yapısından da anlaşılacağı üzere her bir anahtarlama süresinde S+ ve S- anahtarlarından sadece bir tanesi iletim durumunda olmalıdır. Buna göre eviricide, her bir anahtarın ayrı ayrı iletimde olduğu 2 durum ve her ikisinin de kesimde olduğu durum olmak üzere 3 ayrı anahtarlama durumu söz konusudur. Belirsizliğin söz konusu olduğu 3. anahtarlama süresinde DA besleme hattının kısa devre olmasını engellemek için taşıyıcılı darbe genişlik modülasyonu tekniği ile anahtarlama elemanı seçilmektedir [38].



Şekil 3.10. Bir fazlı yarım dalga köprü evirici

### Tam dalga köprü evirici

Tam dalga köprü evirici, iki ayrı yarım dalga evirici ile oluşturulmaktadır. Yarım köprü topoloji, iki seviyeli çıkış gerilimi üretmek için kullanılan temel topolojidir. Bu topolojide girişte orta uçlu bir gerilim kaynağının bulunması gereklidir. Öte yandan, tam-köprü topoloji iki seviyeli ve üç seviyeli çıkış dalga şekli üretmek için kullanılmaktadır. Eviricinin 2. anahtarlama hattı, yük için nötr noktasını belirler. H-köprüsü olarak da adlandırılan bu topolojide, çıkış gerilimini oluşturmak için 4 ayrı anahtarlama ve bir de belirsiz anahtarlama olmak üzere 5 durum söz konusudur



Şekil 3.11. Bir fazlı tam dalga köprü evirici

Belirsiz durum, bütün anahtarların kesimde olduğu zaman aralığında gerçekleşir (Çizelge 3.1) ve çıkış geriliminin  $-V$  ya da  $+V$  potansiyellerinden hangisinde olacağı önceden kestirilemez [38].

Çizelge 3.1. H-köprüsünün anahtarlama durumları

Durum	Anahtarlama D.	$V_a$	$V_b$	V
1	$S_{1+}$ ve $S_{2-}$ iletimde	$V/2$	$-V/2$	V
2	$S_{1-}$ ve $S_{2+}$ iletimde	$-V/2$	$V/2$	$-V$
3	$S_{1+}$ ve $S_{2+}$ iletimde	$V/2$	$V/2$	0
4	$S_{1-}$ ve $S_{2-}$ iletimde	$-V/2$	$-V/2$	0
5	Bütün anahtarlar kesimde	$V/2$	$V/2$	$-V$
		$V/2$	$-V/2$	V

Çizelgede görülen 1. ve 2. durumlar AA çıkış gerilimi üretmek için kullanılmaktadır.

### 3.1.6. Mikrodenetleyici

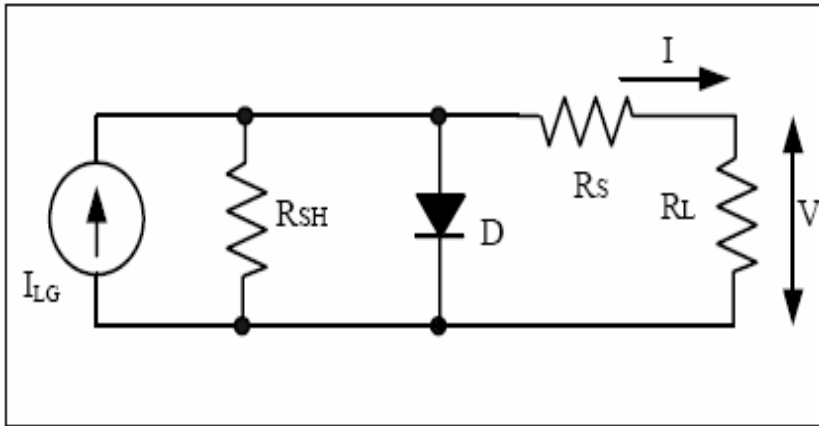
Bir mikroişlemcinin çevrebirimleri (ram, rom, bus controller vb.) olmaksızın genel amaçlı bir programı çalıştırarak bir problemi çözmesi beklenemez. Mikroişlemcilerin anlamlı bir şekilde çalışabilmesi için minimum input ve output ünitelerinin bulunduğu bir sistemin kurulması gereklidir. Bir mikroişlemci ve minimum input-output ünitelerinin tek bir entegre içinde toplandığı yapılara microdenetleyici adı verilir. Microdenetleyiciler genel amaçlı uygulamalardan çok özel amaçlı uygulamalar için düzenlenmiş yapılardır. Kullanabilecekleri iç kaynakları çeşitli olmasına rağmen bu kaynakların sınırlı olması nedeniyle daha çok özel amaçlı cihazların kontrolünde kullanılmaktadırlar. Günlük hayatta kullandığımız cep telefonu, televizyon, radyo, alarm sistemleri, taşıtlar, hesap makineleri, giriş-çıkış kontrol sistemleri, kameralar, bilgisayar gibi birçok cihazın kontrolü mikrodenetleyiciler tarafından gerçekleştirilmektedir.

Kısıtlı miktarda olmakla birlikte yeterince hafıza birimlerine ve input – output uçlarına sahip olmaları sayesinde tek başlarına (stand alone) çalışabildikleri gibi donanımı oluşturan diğer elektronik devrelerle irtibat kurabilir, uygulamanın

gerektirdiği fonksiyonları gerçekleştirebilirler. Mikrodenetleyiciler çoğunlukla, yer aldıkları uygulama devresinin içine gömülmüş, sadece oraya adanmış olarak kullanılırlar. Bu özellikleri nedeniyle bilgisayarlardaki kullanıcı uygulama programlarını çalıştırma gibi esneklikleri olmamakla birlikte kontrol ağırlıklı uygulamalarda alternatifsiz seçenek olarak karşımıza çıkarlar. Onları böyle cazip kılan, çok düşük boyutlu olmaları (az yer kaplamaları), düşük güç tüketimleri, düşük maliyetlerine karşın yüksek performansa sahip olmaları gibi özellikleridir [35].

### 3.2. Güneş pilinin elektriksel özellikleri

Güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisini matematiksel olarak ifade edebilmek için öncelikle güneş paneli eşdeğer devresi çıkarılmalıdır. Bu devredeki değerlere bağlı olarak elde edilen formüller incelenirse, panelin enerji üretimi ve verimi ile ilgili daha fazla bilgi sahibi olunabilir. Şekil 3.12’de güneş paneli elektriksel eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 3.12. Güneş paneli elektriksel eşdeğer devresi

Eşdeğer devre üzerindeki  $R_{SH}$  akım kaynağına paralel direnci,  $D$  ise kaynak üzerinden geçebilecek ters akımları önleyen diyotu ifade etmektedir.  $R_L$  ise yük direnci olarak kullanılmaktadır.

Güneş panelinde üretilen elektrik enerjisine; panel sıcaklığının, panelin güneş alma açısının ve ışınım değerinin direk olarak etkisi vardır. Güneş panelinde elde edilen elektrik enerjisi matematiksel olarak [34].

Eşitlik 1 ile,

$$I = I_{LG} - I_{OS} \left\{ \exp \left[ \frac{q}{AkT} (V + IR_s) \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (1)$$

ters doyum akımı Eşitlik 2 ile,

$$I_{OS} = I_{OR} \left[ \frac{T}{T_R} \right]^3 \exp \left[ \frac{qE_{GO}}{Bk} \left( \frac{1}{T_R} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2)$$

ışık tarafından üretilen akım ise Eşitlik 3 ile ifade edilir.

$$I_{LG} = [I_{SCR} + K_1(T - 25)]\lambda/100 \quad (3)$$

Formüllerdeki değişkenler;

$I$  ve  $V$ : Panel çıkış akım (A) ve gerilimi (V).

$I_{OS}$ : Panel ters doyum akımı (A).

$T$ : Panel sıcaklığı (°C).

$k$ : Boltzmann sabiti.

$q$ : Elektronik şarj (C)

$K_I$ : ISCR için kısa devre sıcaklık katsayısı (A/°C).

$\lambda$ : W/m<sup>2</sup>'deki solar aydınlanma.

$I_{SCR}$ : 25°C ve 1000 W/m<sup>2</sup>'deki kısa devre akımı (A).

$I_{LG}$ : Işık tarafından üretilen akım (A).

$E_{GO}$ : Silikon için bant genişliği (eV).

$B=A$ : İdealleştirme faktörü.

$T_R$ : Referans sıcaklık (°C).

$I_{OR}$ : TR referans sıcaklığında panel doyum akımı (A).

$R_{SH}$ : Şönt direnç ( $\Omega$ ).

$R_S$ : Seri direnç ( $\Omega$ ) [34].

### 3.3. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Fotovoltaik pillerin avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Avantajları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- Uzun iletim hatları kullanımına gerek yoktur. Gücün, tüketilmesi planlanan yere kurulabilir.
- Güneş radyasyonunu elektrik enerjisine çeviren doğrudan enerji dönüştürücüleri sırasında en yüksek verime sahip olanıdır. Laboratuvar şartlarında özel olarak imal edilen deneysel güneş hücrelerinde verim %30'lara kadar ulaşabilmektedir.
- Yapıları gereği modüllerin güç ve gerilim seviyesi kolaylıkla arttırılabilmekte veya azaltılabilmektedir.
- Uzun vadede bakım gereksinimi duymazlar.
- Uzun ömürlüdürler. Teorik olarak sonsuz olmasına karşın ortalama ömürleri 25-30 yıldır.
- Sessiz çalışırlar ve temizdirler. Çevre kirliliğine yol açmazlar.
- Yapısında bulunan silisyum doğada en bol bulunan maddelerdendir.

Dezavantajları da sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- İlk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir.
- Üretilen akım doğru akım olduğu için çeviriciler kullanılmaktadır.
- Enerji sürekliliği olmadığı için üretilen enerjinin depolanması için batarya gruplarına ihtiyaç duyulur.

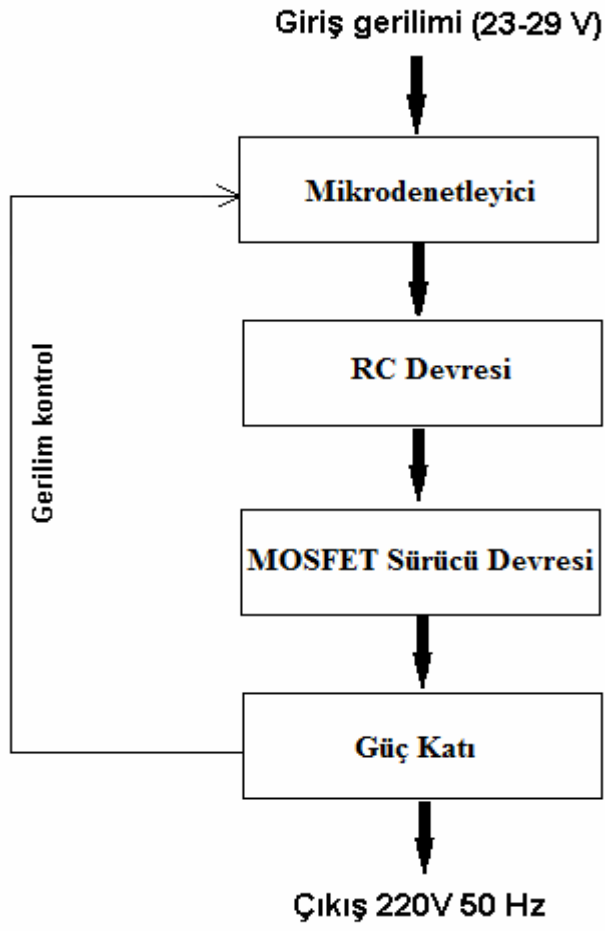
## **4. SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Yapılan çalışmada güneş panelinden gelen 23-29 V doğru gerilim, inverter vasıtasıyla çıkışta 220 V alternatif gerilime dönüştürülmektedir. Böylece evlerde elektrikli aletler için kullanabilecek gerilim, doğal kaynak olan güneş vasıtasıyla elde edilmektedir. Fotovoltaik (FV) paneller güneş enerjisini DA elektrik enerjisine çevirirler. Şebekenin ve yüklerinin büyük kısmının AA güç talep etmesi nedeniyle üretilen gücün AA'ya dönüştürülmesi gereklidir. Bunun için inverter (eviriciler) kullanılır. Tasarlanan inverter devresi donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

### **4.1. Sistemin Donanım Kısmı**

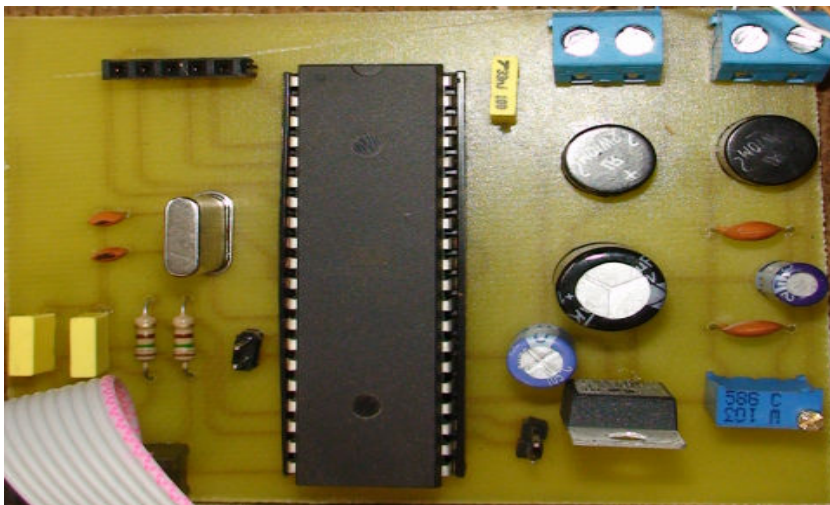
180W'lık gerilim kontrollü tasarlanan sistemin donanım kısmı Şekil 4.1'de gösterildiği gibi mikrodenetleyici, RC devresi, MOSFET sürücü devresi, güç katı ve çıkış trafosu bölümlerinden oluşmaktadır.





Şekil 4.1. Sistemin blok diyagramı

#### 4.1.1. Mikrodenetleyici



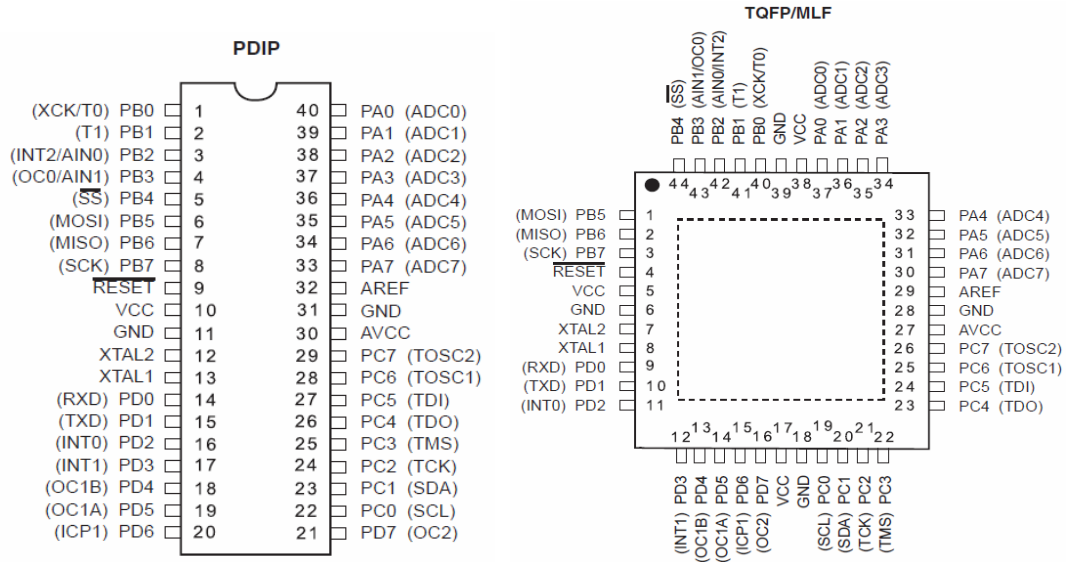
Resim 4.1. Mikrodenetleyici devresi

Sistemde mikrodenetleyici olarak Atmega32 kullanılmıştır (Resim 4.1). Atmega serisi denetleyiciler PIC'lere göre elektromanyetik gürültüden fazla etkilenmedikleri için tercih edilmektedir. AVR mikrodenetleyiciler gerçek RISC mimarisine sahiptir ve her saat çevriminde bir komut işler. Genel amaçlı 32 adet yazmaçları bulunur. AVR'lerin farklı uyuma kipleri (modları) mevcuttur. Uyuma kipinden çalışma kipine hızla geçebilirler. Güçlü komut seti sayesinde karmaşık işlemleri kısa kodlarla gerçekleştirmek mümkündür. AVR mikrodenetleyicileri bağlı buldukları devreden sökmeden, yani sistem üzerindeyken programlamak mümkündür. Bunun da ötesinde JTAG desteği bulunan AVR'ler kendilerinin emülatörüdür. JTAG bağlantısı ile sistem üzerindeyken hata ayıklama (debug) yapılabılır, yazılımsal sorunlar giderilebilir. Atmega32 aşağıdaki özelliklere sahiptir [29].

- 32 KB Flash program belleği
- 10245 B EEPROM
- 2 KB SRAM
- 32 G/Ç bacağı
- 32 genel amaçlı yazmaç
- 16 MHz çalışma frekansı
- 16 MIPS'e varan komut işleme hızı
- 2 adet 8 bit sayıcı
- 1 adet 16 bit sayıcı
- 1 adet ayırık osilatörlü gerçek zaman sayıcı
- 4 adet PWM kanalı
- Ana/Uydu SPI seri arayüz
- 1 adet UART
- ISP desteği
- TWI desteği
- JTAG desteği
- 8 adet 10 bit A/D kanalı
- Analog karşılaştırıcı

- 'Brown Out' dedektörü
  - 'Watchdog' sayıcı
  - Denetleyici üzerinde osilatör
  - Donanımsal çarpıcı
  - 3 adet harici kesme
  - Toplam 20 adet kesme
  - Kendini programlama desteği
  - 6 uyku kipi

Şekil 4.2'de Mikrodenetleyicinin bacak bağlantı şekilleri ve her bir bağlantı noktasının hangi amaçla kullanıldığı açıklanmıştır [14].



Şekil 4.2. Mikrodenetleyici bacak bağlantı şeması

#### Pin tanımlamaları:

VCC – Dijital sinyal beslemesi. Diğer bir deyişle mikro denetleyiciyi besleme kaynağı.

GND – Toprak

PORT A (PA0-...PA7) – A portları 8 bitliktir ve genel kullanımın yanı sıra ADC sinyallerinin de giriş çıkış arabirimidir. Her çıkış dahili olarak pull-up yapılmıştır. Yani bu pinleri giriş olarak ayarladığımızda ekstra bir pull up direnci bağlamamıza gerek yoktur.

PORT B (PB0...PB7) – B Portları da 8 bitlidir. Kendiliğinden Pull-up'lı haldedir. B portları da birçok özel fonksiyona ev sahipliği yapar.(SPI, Analog karşılaştırıcı, Timer1, Timer0 ve USART)

PORT C (PC0...PC7) – C portları da 8 bitlidir ve dahili olarak pull-up edilmiştir. C portları JTAG modülü bulundurmaktadır. JTAG aktive edilirse PC3, PC4 ve PC5 pinleri, reset durumu olsa dahi aktive edilmiş olunur. Ayrıca zamanlayıcı osilatör girişleri ve de seri iletişim pinlerinden bazıları da burada bulunmaktadır.

PORT D (PD0...PD7) – D portları da 8 bitlidir ve dahili olarak pull-up edilmiştir. D portunda compare, capture ve bazı kesme modülleri de bulunmaktadır. Ayrıca USART giriş çıkış pinleri de buradadır.

RESET – Terslenmiş yeniden başlatma girişi. RESET yazısının üzerindeki çizgi bu pinin terslenmiş olduğunu gösterir. Yani yeniden başlatma işlemini gerçekleştirmek için bacağı 0 sinyali(GND) verilmelidir.

XTAL1 – Osilatör girişi

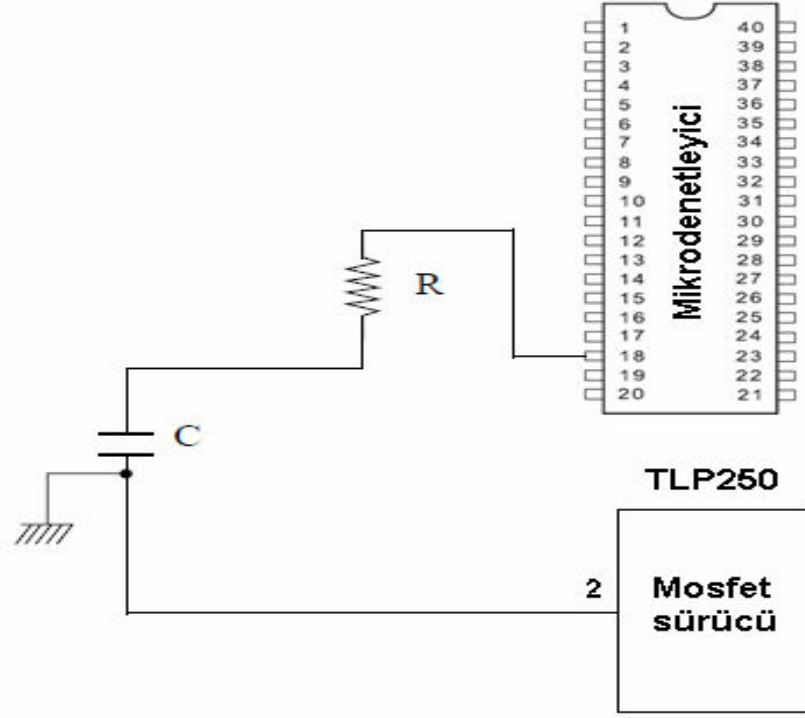
XTAL2 – Osilatör çıkışı

AVCC – PORTA için veya A/D çevirici için besleme girişi. ADC kullanılmıyorsa Vcc'ye bağlanabilir.

AREF – Bu pin de analog dijital çevirici için referans girişidir [35].

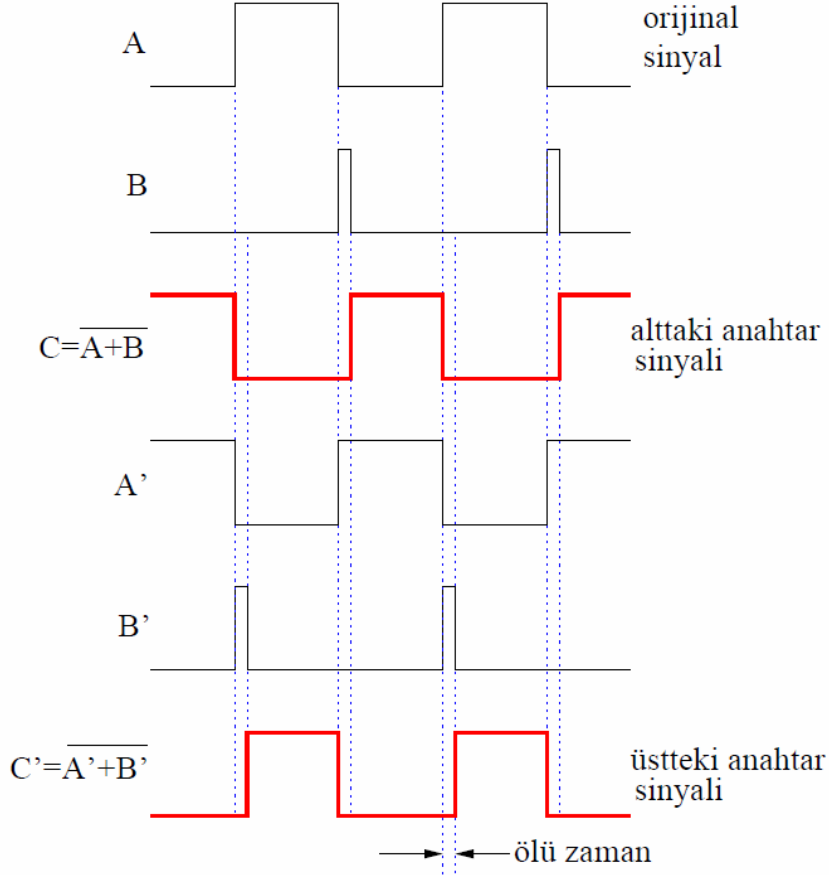
#### **4.1.2.RC Devresi**

Anahtarlama elemanlarının kesime geçmesi belli bir zaman alacağı için, üstteki eleman kesime geçmeden alttaki anahtarın ilettime geçmemesi gerekmektedir (veya tersi). Aksi takdirde eviricinin girişindeki doğru gerilimin bu geçiş zamanında kısa bir süre kısa devre olması söz konusu olacaktır. Bunu önlemek için bu geçiş zamanlarında ölü zaman olarak adlandırılan kısa bir gecikme zamanı bırakılır. Üstteki elemanın kesime geçmesinin ardından, gecikme zamanı kadar bekledikten sonra, alttaki yarıiletken elemana tetikleme sinyali uygulanarak ilettime geçmesi sağlanır.



Şekil 4.3. RC devresi bağlantı şekli

Eviricinin kontrol devresi tarafından üretilen sinyalin birbirinin tersi olarak çalışan MOSFET'lere uygulanacak iki ayrı tetikleme sinyaline, iki sinyal arasında bir ölü zaman bırakılarak, dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için sinyalin yükselmeye ve düşmeye başladığı zamanlardan itibaren istenilen gecikme süresinde bir darbe sinyali üretilmesi gerekmektedir. Bu işlem Şekil 4.4'de gösterildiği gibi yapılabilir. A ile gösterilen sinyal kontrol devresi tarafından üretilmiştir. İlk olarak bu sinyalden belli bir gecikme zamanını sağlayacak bir darbe üretilmesi gerekmektedir. Bu işlemde A sinyalinin pozitifden sıfıra düşüşü bir referans tetikleme noktası olarak Şekil 4.4'de B ile gösterilen bir darbe üretilir. Bu darbenin genişliği iki sinyal arasında istenilen ölü zamana eşittir. Altteki MOSFET'e uygulanan tetikleme sinyali A ve B sinyallerinin bir pozitif NOR işlemiyle oluşturulan değerine eşittir ve bu sinyal Şekil 4.4'de C ile gösterilmektedir.

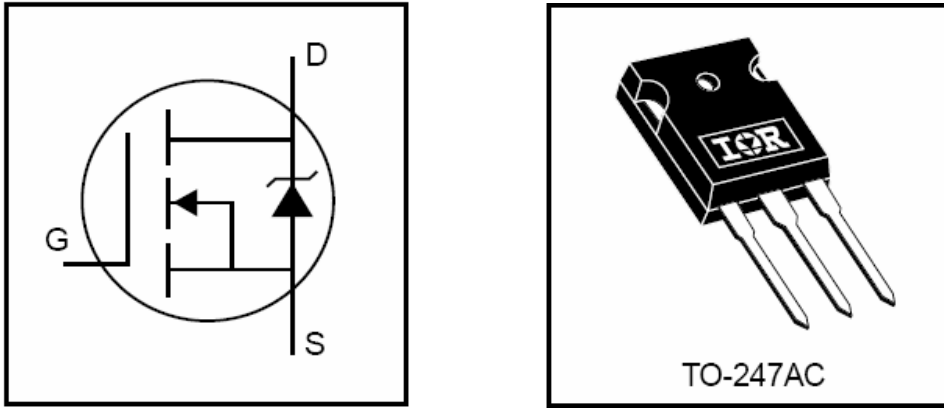


Şekil 4.4. Ölü zaman oluşturulması

Orijinal sinyalin (A) tersi alınarak oluşturulan  $A'$  sinyaline de bir önceki paragraftakine benzer şekilde bir işlem uygulanır. Burada üretilerek üstteki MOSFET'e uygulanan sinyal Şekil 4.4'de  $C'$  ile gösterilmektedir.  $C$  ve  $C'$  arasında istenilen ölü zaman kadar bir boşluk bulunmaktadır. Devrenin çalışma frekansına bağlı olarak bu değer, anahtarlama elemanlarının kesime geçme süreleri göz önünde bulundurularak, minimum seviyede tutulması gerekmektedir [36].

#### 4.1.3. MOSFET Sürücü

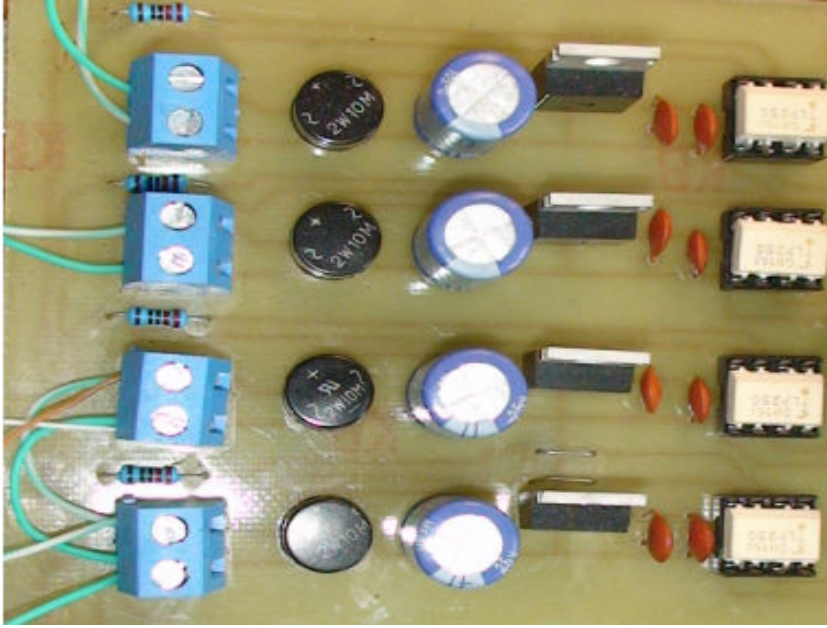
İnverterde anahtarlama elemanı olarak IRFP054N güç MOSFET'i kullanılmıştır (Şekil 4.5). Bu MOSFET, ileri işlem teknolojisi,  $25^{\circ}\text{C}$ 'de 98 A yük kapasitesi, yüksek kararlılık, hızlı anahtarlama, paralel bağlamadaki kolaylık, düşük iç direnci, yüksek giriş direncine sahip olma ve yüksek verim gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir [11]. MOSFET ile ilgili katalog bilgisi Ek 1'de sunulmuştur.



Şekil 4.5. MOSFET

MOSFET'ler kapılarına gerilim uygulanmadığı sürece kesimde olup MOSFET'in iletme geçebilmesi için kapı-kaynak arasına yeterli düzeyde bir pozitif gerilim uygulanmalıdır. MOSFET'ler gerilim kontrollü olarak kontrol edilirler. Bu kontrol için kapı-kaynak arasındaki mevcut kapasitenin MOSFET'in sürülmesi sırasında dikkate alınması gerekmektedir. Pratikte MOSFET'lerin TTL seviyede kontrol edilebilmesi için hazır entegreler üretilmektedir.

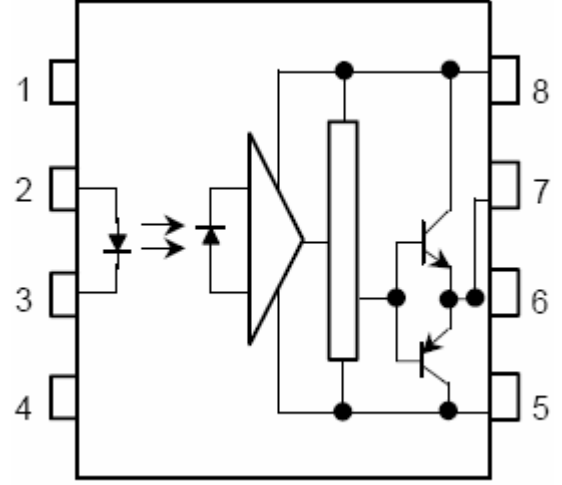
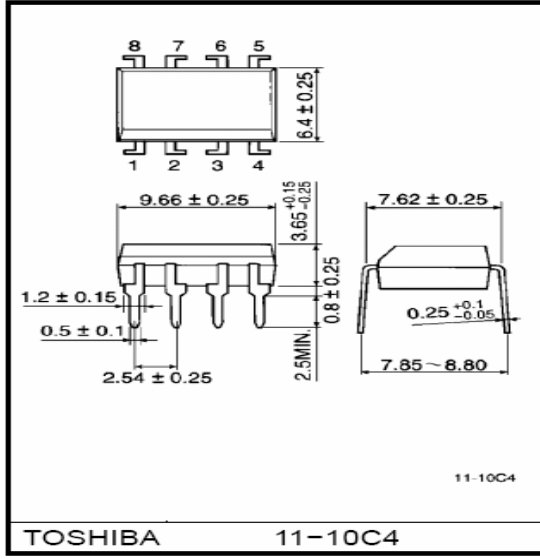
Şekil 4.6'da pinleri görülen inverter devresindeki MOSFET'leri sürmek için TOSHIBA firmasının TLP250 MOSFET sürücüsü kullanılmıştır. Söz konusu sürücü entegre (Resim 4.2), mikro denetleyiciden alınan gerilimi yükselterek MOSFET'leri sürme akımını artırır.



Resim 4.2. MOSFET sürücü devresi

Böylece anahtarlama kalitesini yükselterek çıkışta daha doğru ve 220V genlikli çıkış sinyali iletebilir. Yani yükün arttığı durumlarda bu yükü karşılayacak akımı elde edip çıkış geriliminde regülasyonu sağlamak için TLP250 entegresi kullanılmıştır. TLP250 aynı zamanda optocoupler'da içerir. Bu özelliği sayesinde güç devresi ile kontrol devresinin yalıtılmasını sağlar. Böylece anahtarlarda meydana gelebilecek herhangi bir hasar denetleyiciyi etkilemeyecektir. Sürücü entegre hakkındaki detaylı bilgi Ek 2'de verilmiştir.



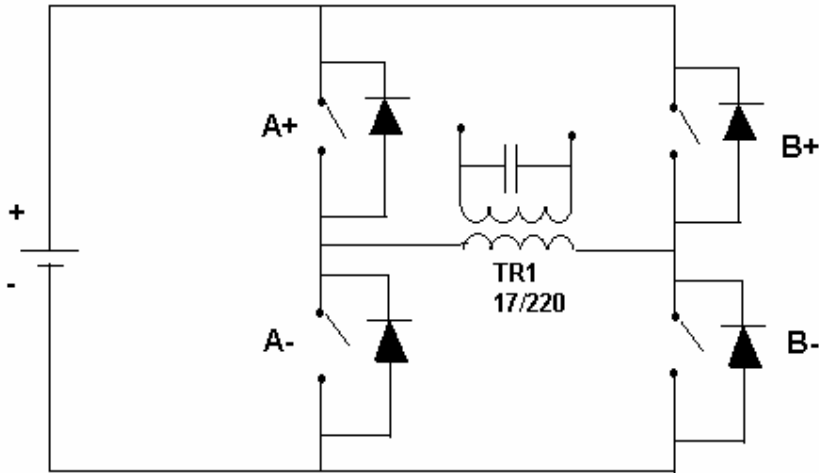


- 1: N.C.      2: Anot      3: Katot  
 4: N.C.      5: GND  
 6: Vo( Çıkış) 7: Vo      8: Vc

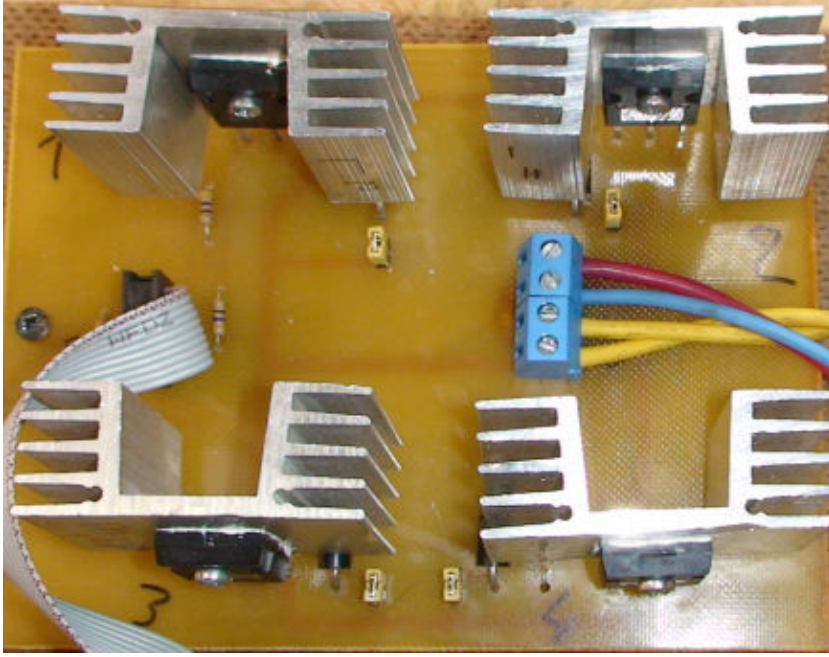
Şekil 4.6. TLP250 MOSFET sürücü entegresi

#### 4.1.4. Güç Katı

Sistemde inverter çeşidi olarak tam köprü inverter kullanılmıştır. İnverter devresi şekil 4.7’de gösterilmektedir. Tam köprü inverter devresinin çalışma prensibi daha önceki konularda anlatılmıştır. Devrenin güç katı Resim 4.3’de gösterildiği gibidir.



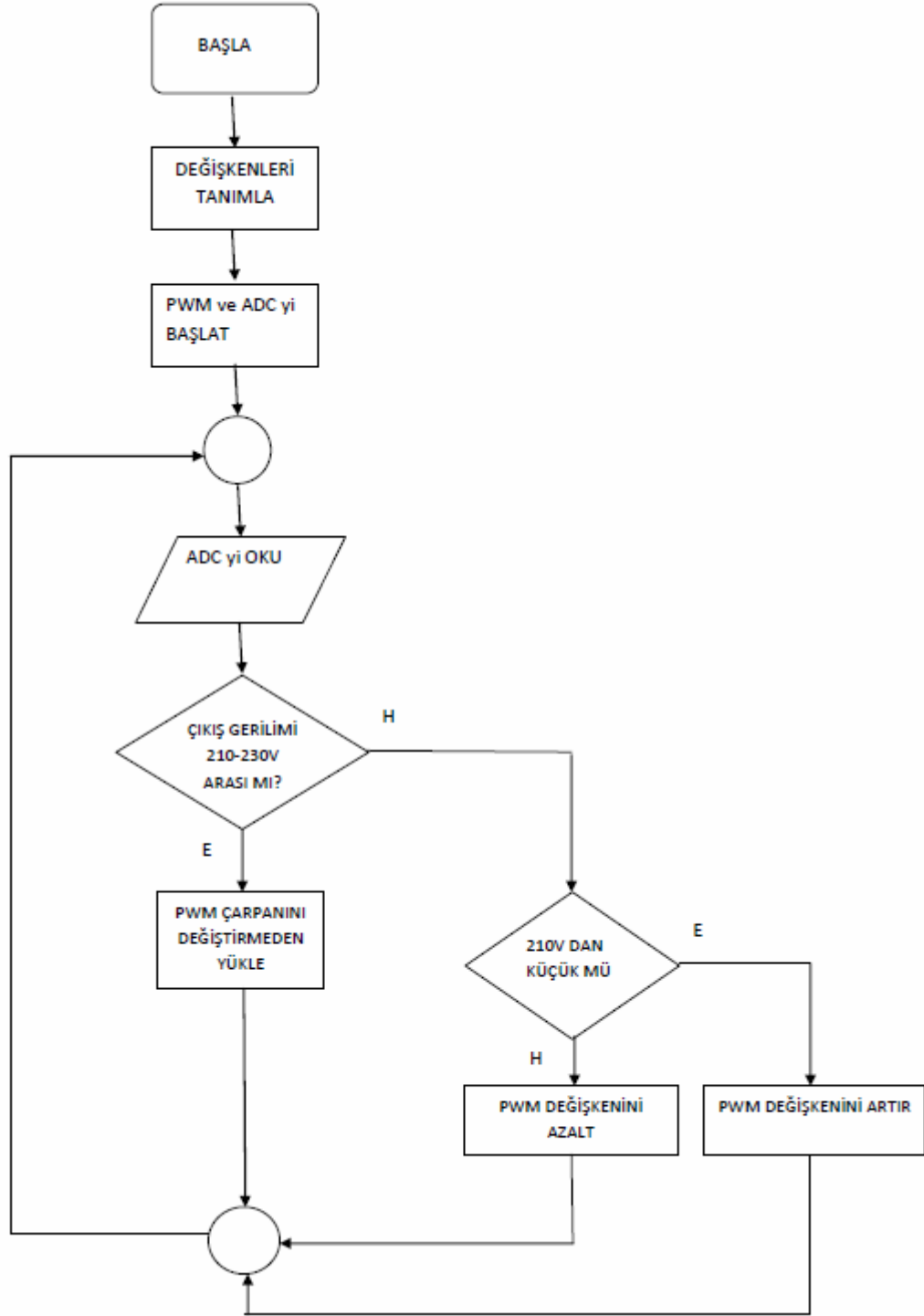
Şekil 4.7. İnverterin güç katı şeması



Resim 4.3. Güç katı devresi

#### 4.2.Sistemin Yazılım Kısmı

Mikrodenetleyici içerisine yazılan ve devrenin kontrollü bir şekilde çalışmasını sağlayan programın akış diyagramı Şekil 4.8’de verilmiştir. Programın kodları da Ek-3’te sunulmuştur.

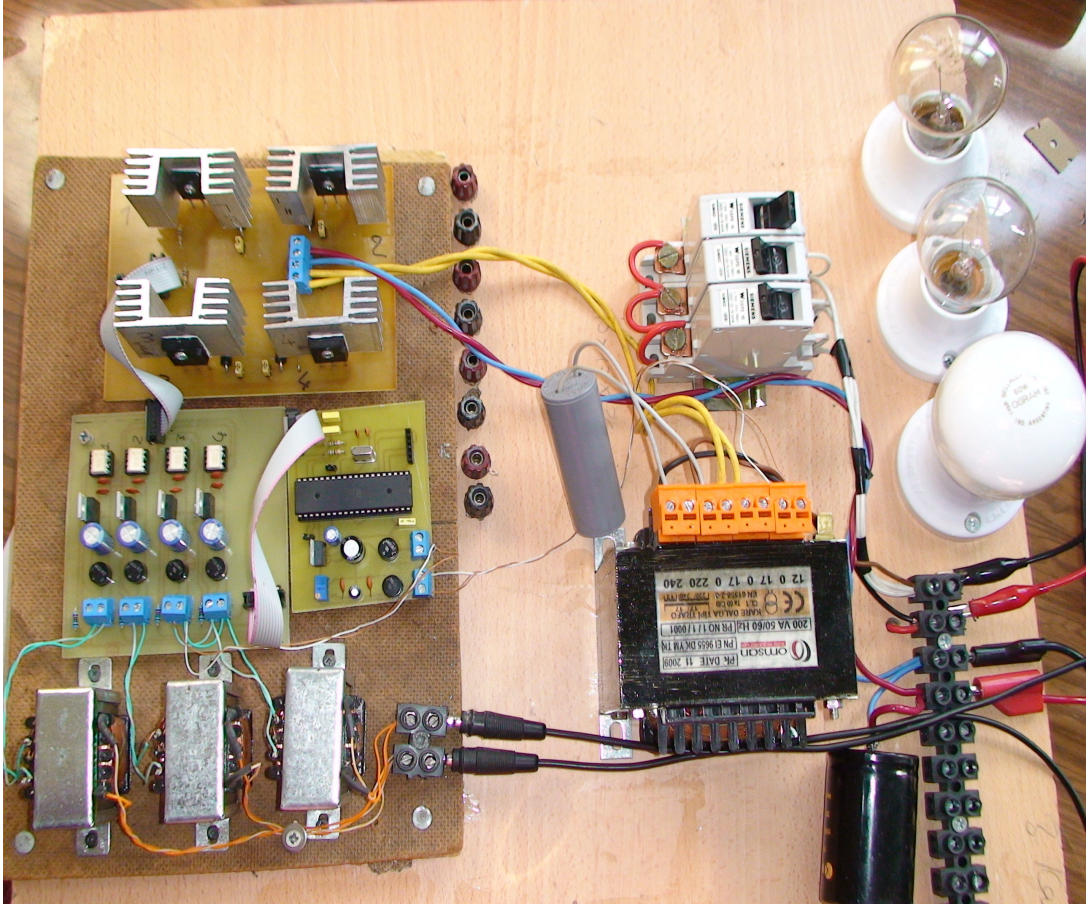


Şekil 4.8. Mikrodenetleyici programının akış diyagramı

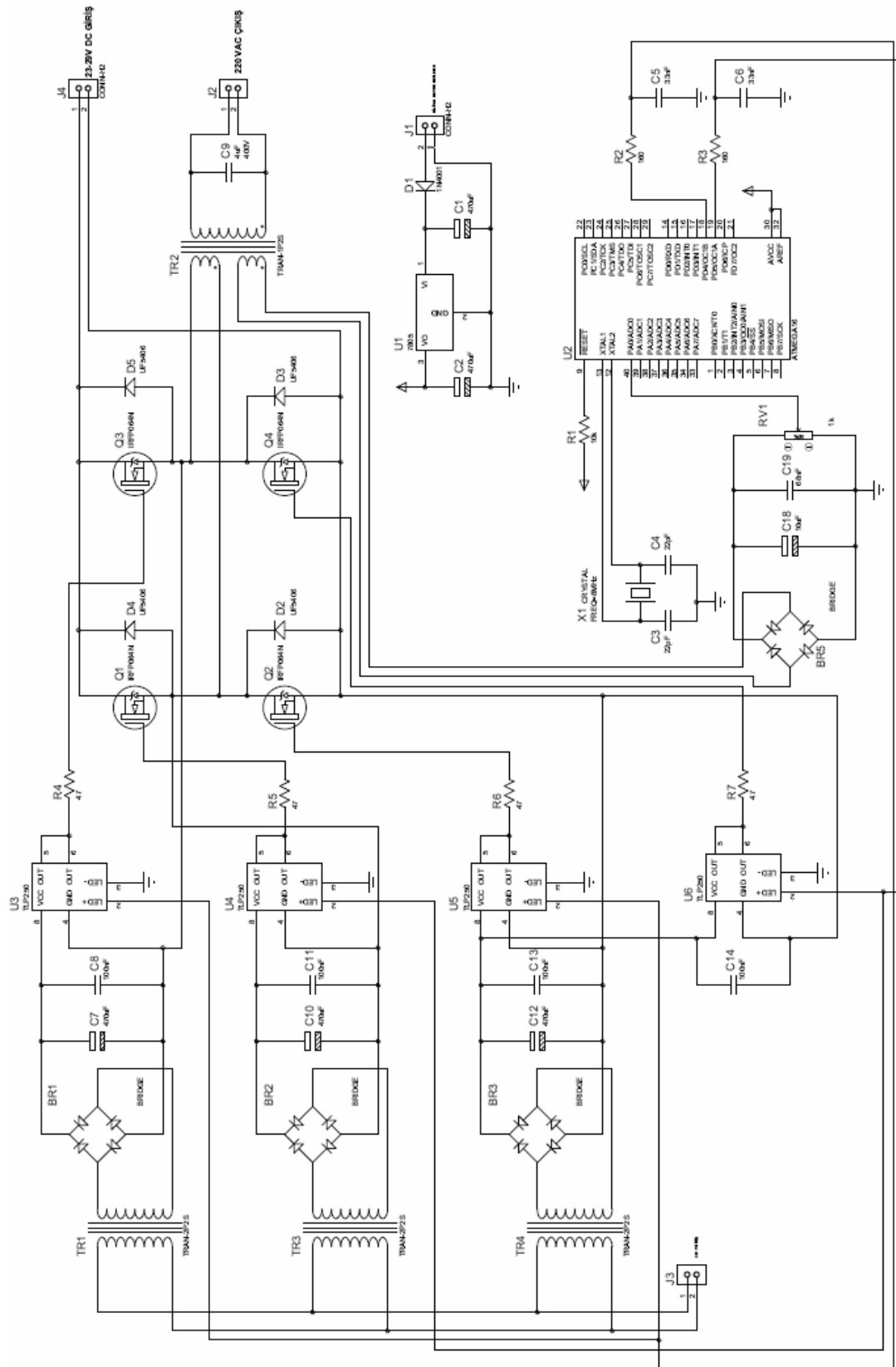
### 4.3. Sistemin Çalışması

Mikrodenetleyici içerisinde kullanılan program C dilinde yazılıp ve ücretsiz bir derleyici olan WinAVR ile derlenmiştir. Programa 313 basamaklı bir sinüs tablosu kaydedildi. Basamak sayısının fazla olmasının nedeni çıkıştan daha düzgün ve daha az harmonik içeren bir sinüs almak istememizdir. Programda derleyicinin önce PWM için gerekli kaydediciler kullanılarak hızlı PWM modu ayarlanır. Bu moda Atmega32 9 bit çözünürlükle 31,25 Khz'e kadar PWM üretebilir. Sistemde 9 bit çözünürlüklü 15 Khz PWM kullanıldı. Program çalışmaya başladığında önce PWM için gerekli ayarlar yapılır. Ardından PWM'in periyodunun kesme ile yenilenebilmesi için gerekli kaydediciler ayarlanır. Böylelikle PWM periyodu kesme aracılığı ile yenilenir ve bu iş için gereksiz yere programda kontroller yapılmaz. Geri besleme bilgisinin okunabilmesi için analog dijital çevirici birim için gerekli ayarlar yapılır. Program sürekli olarak referans bilgisini alır. Eğer çıkış gerilimi 210 V'un altında ise PWM genlik oranı artırılır ve gerilim yükseltilir. Çıkış gerilimi 230 V'un üzerinde ise PWM genlik oranı azaltılır ve gerilim düşürülür. 210-230 V arası gerilimlerde PWM genlik oranı katsayısında değişiklik yapılmaz. Atmega32 2 adet PWM kanalına sahiptir. Bu kanallar birbirinin tersi PWM'ler üretebilirler. Bu özellik sayesinde anahtarlama elemanları çift kutuplu PWM ile sürülerek, çift kutuplu PWM ile çıkışta daha düzgün bir sinüs elde edildi. Sinyaller birbirinin tersi olduğu için sinyallerinin birinin yükselme anı diğerinin düşme anına denk gelmektedir. Bu durumda aynı taraftaki anahtarların aynı anda iletme geçmesi söz konusudur. Bu durumu engellemek için her 2 tarafa da gecikmeyi sağlayacak RC devresi kullanıldı.

Böylelikle sinyalin biri kesime gitmeye başladığı anda diğeri kondansatör etkisi ile aynı anda iletme geçemeyecektir. Aynı durum anahtarlar yer değiştirdiğinde yine tekrarlanır. Böylelikle anahtarlar arasında bir ölü zaman (dead time) oluşturulur. Bunun sonucu olarak aynı taraftaki anahtarlar aynı anda iletimde olmadığı için kaynak kısa devreye girmez. PWM iş süresi tablodan sinüsoidal olarak sürekli değiştirilir ve anahtarlara aktarılır. Bu aktarım sonunda trafo sinüs benzeri bir sinyal üretir. Trafonun çıkışındaki kondansatör ve trafo endüktansı bir LC filtre oluşturur. Bu filtre çıkış sinyalini süzerek düzgün bir sinüs çıkışı alınmasını sağlar.



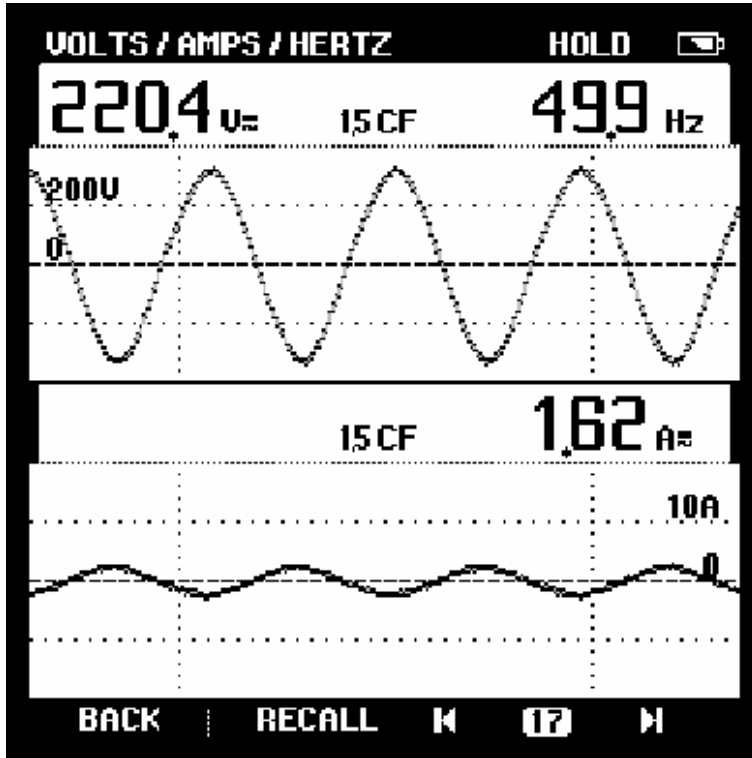
Resim 4.4. Tasarımı yapılan inverter devresi



Şekil 4.9. Sistemin bağlantı şekli

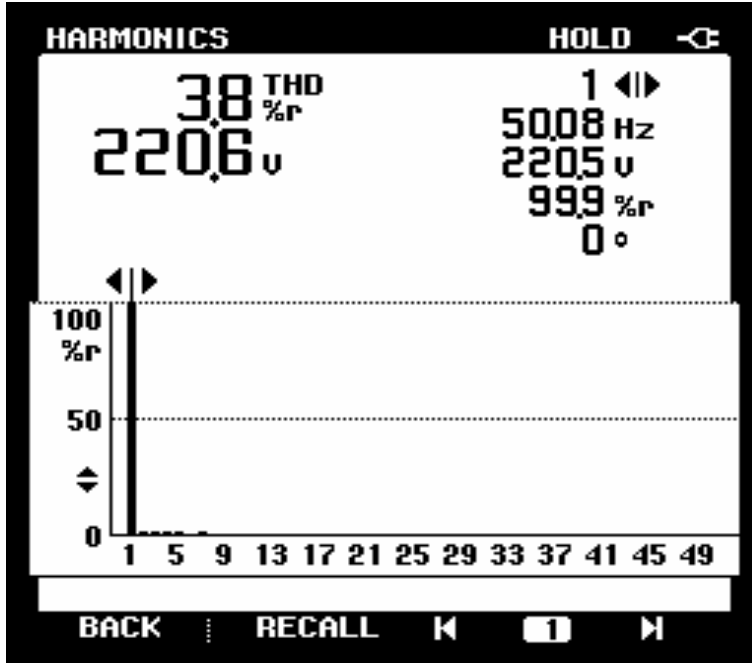
#### 4.4. Deneysel Sonuçlar

Resim 4.4’de görülen devreye 40W, 60W ve 100W olacak şekilde farklı yükler bağlandığında, inverterin çıkışında oluşan akım, gerilim ve harmoniklerin eğrileri aşağıda verilmiştir. Eğriler Fluke 43B dijital harmonik analizör ve Tektronix serisi osiloskop yardımıyla alınmıştır.

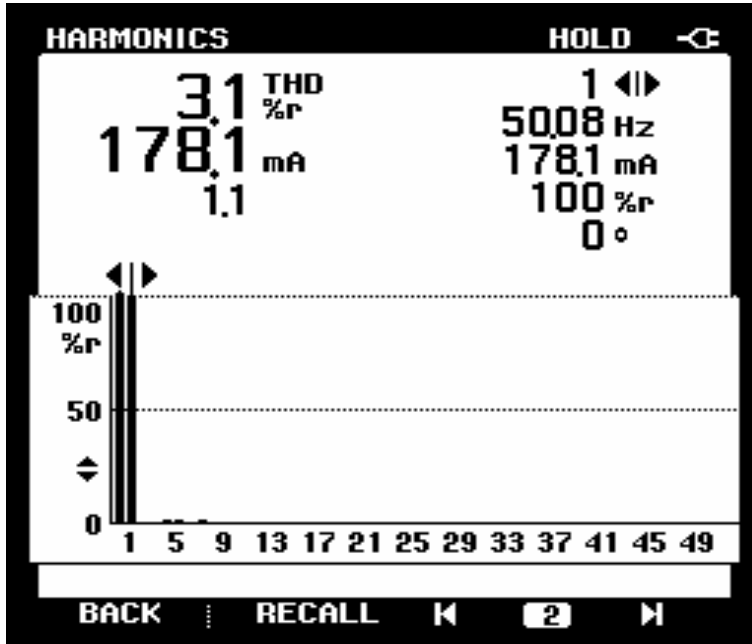


Resim 4.5. İnverter 40 W yüklü iken oluşan gerilim, akım eğrileri ve güç değerleri

Resim 4.5’de verilen eğride inverter 40W yüklü iken çıkışında oluşan gerilim ve yüke tatbik edilen akımın eğrisi görülmektedir. İnverterin ürettiği gerilimin frekansı eğride de görüldüğü gibi 50 Hz’dir.



Resim 4.6. İverter 40 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniği ve THD değeri

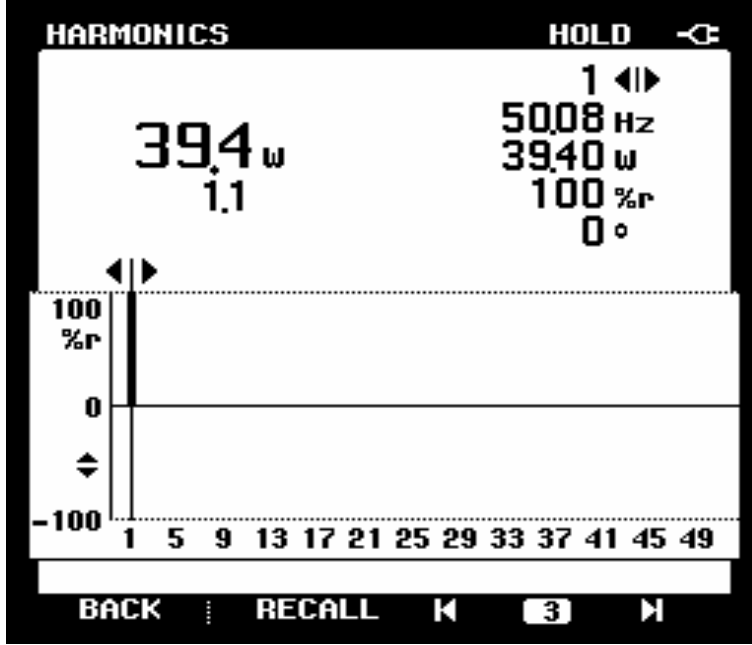


Resim 4.7. İverter 40 W yüklü iken oluşan akım harmoniği ve THD değeri

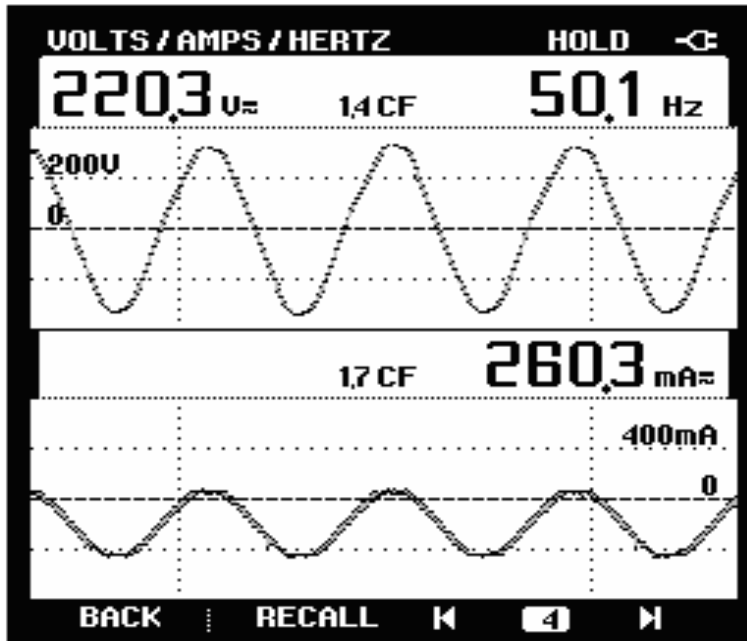
Resim 4.6 ve 4.7'de inverter 40 W yüklü iken akım ve gerilim harmokilerinin değerleri verilmiştir. Bu değerlerin Uluslararası standartlara göre %5'ten aşağıda olduğu uygulamalar kaliteli çıkış veren uygulamalar olarak değerlendirilmektedir. İverter 40W yüklü iken akım THD değeri %3,1 gerilim THD değeri ise %3,8 olarak



ölçülmüştür. Resim 4.8'de ise sistem 40 W yüklü iken ölçülen güç harmoniğinin eğrisi görülmektedir.

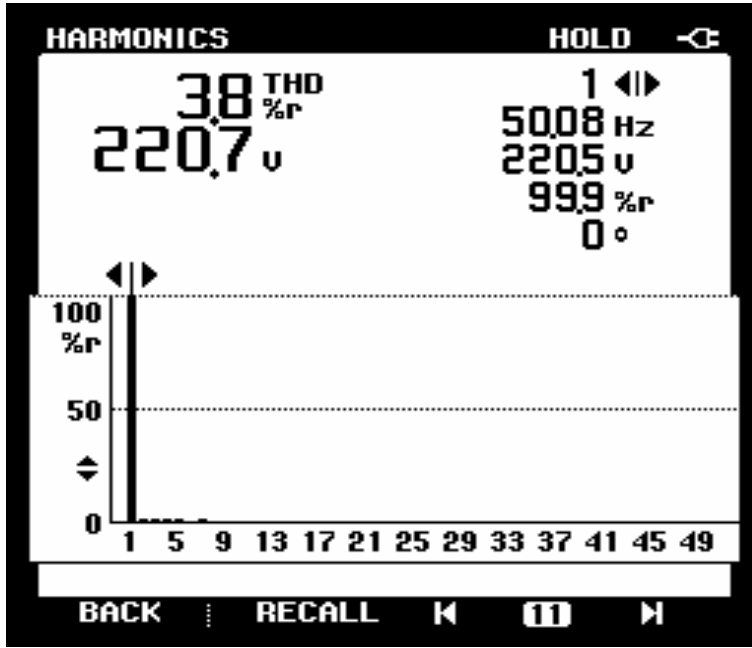


Resim 4.8. İnverter 40 W yüklü iken oluşan güç harmoniği değeri ve gücün ölçümü  
Resim 4.9'da ise inverter 60W yüklü iken çıkışında oluşan gerilim ve yüke tatbik edilen akımın eğrisi görülmektedir. İnverterin ürettiği gerilimin frekansı egride de görüldüğü gibi 50 Hz'dir.

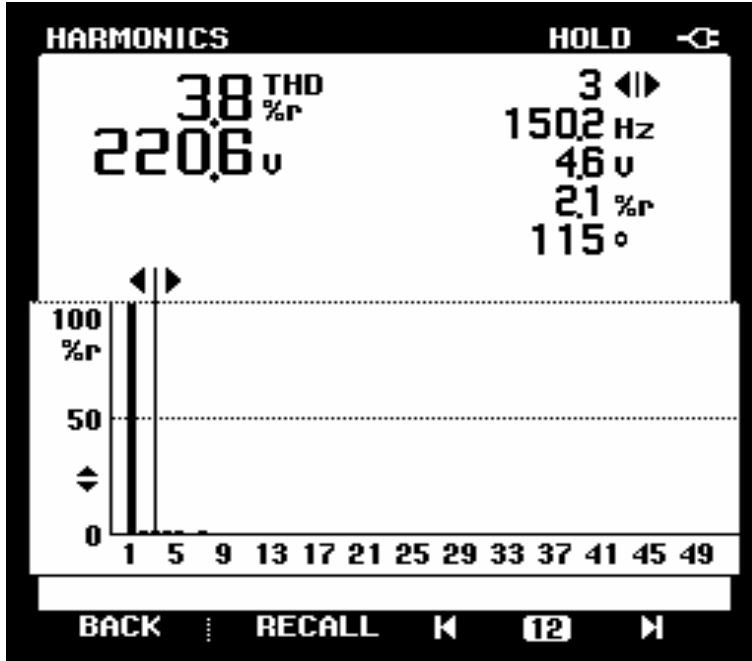


Resim 4.9. İnverter 60 W yüklü iken oluşan akım ve gerilim eğrisi

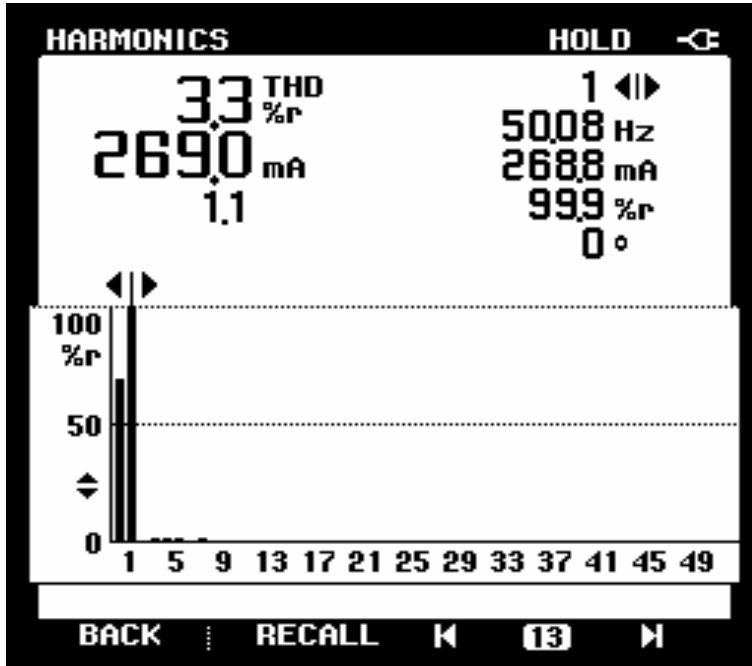
Resim 4.10 ve 4.11’de inverter 60 W yüklü iken gerilim harmoniğinin 1. ve 3. bileşenlerinin değerleri ayrı ayrı verilmiştir. İverter 60W yüklü iken gerilim THD değeri %3,8 olarak görülmekte Resim 4.5’te gerilim harmoniğinin 1. bileşeninin değeri 220,5 V ve frekans 50,08 Hz olarak ölçülmekte iken Resim 4.6’da görüldüğü gibi gerilim harmoniğinin 3. bileşeninin değeri 4,6 V ve frekans 150,2 Hz olarak ölçülmektedir.



Resim 4.10. İverter 60 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniği ve THD değeri



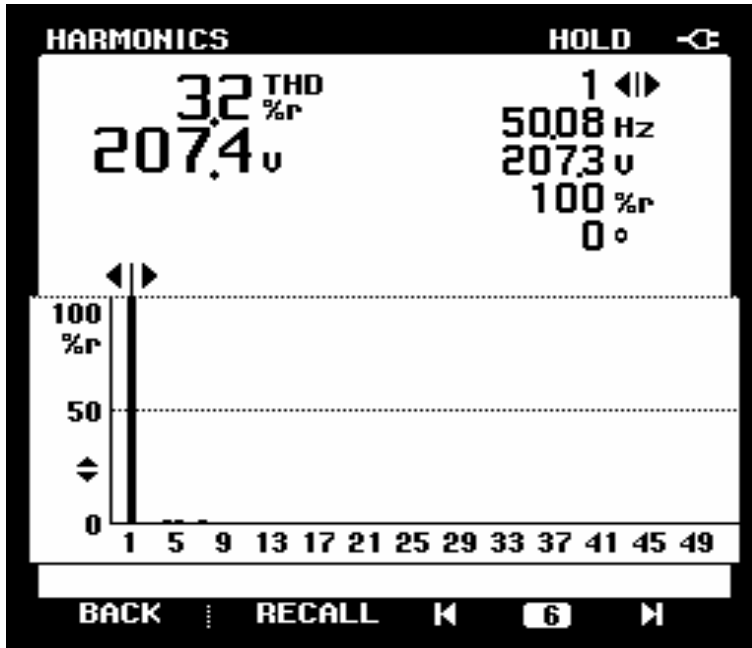
Resim 4.11. İnverter 60 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniğinin 3. bileşeninin ve THD'nin değeri



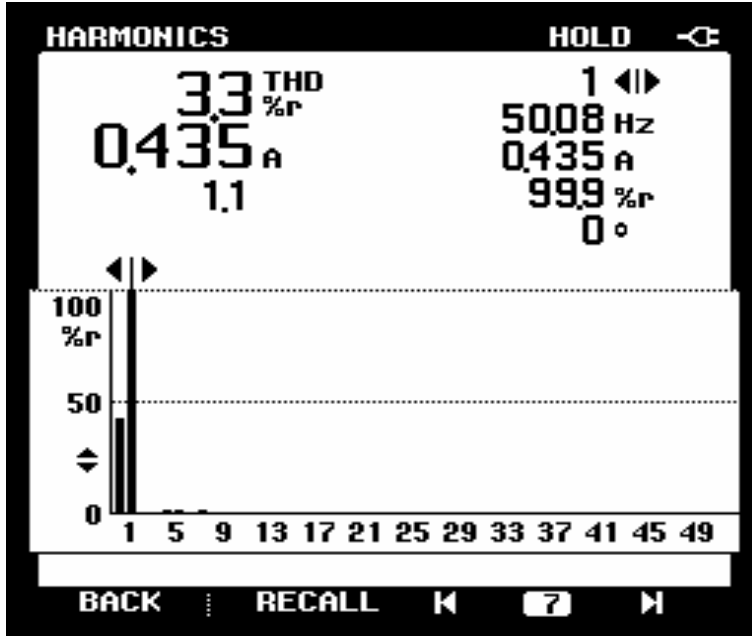
Resim 4.12. İnverter 60 W yüklü iken oluşan akım harmoniği ve THD değeri

Resim 4.12'de inverter 60 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniklerinin değerleri verilmiştir. İnverter 60W yüklü iken gerilim THD değeri %3.3 olarak ölçülmüştür.

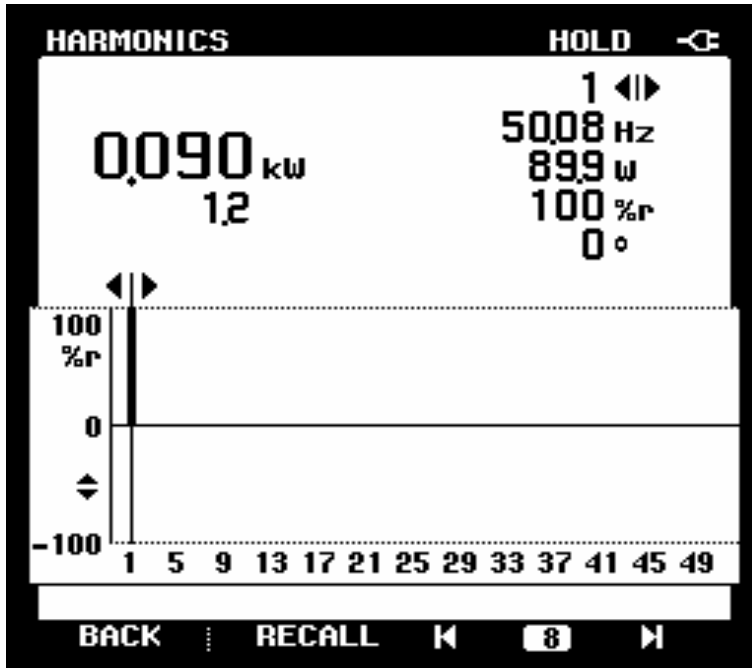
Resim 4.13 ve 4.14'da inverter 100 W yüklü iken akım ve gerilim harmoniklerinin değerleri verilmiştir. İverter 100W yüklü iken akım THD değeri %3.3 gerilim THD değeri ise %3,2 olarak ölçülmüştür. Resim 4.15'de ise sistem 100 W yüklü iken ölçülen güç harmoniğinin eğrisi görülmektedir. Resim 4.16'daki eğriden de görüldüğü gibi inverter 100W yüklendiğinde çıkış trafosunun gücüne bağlı olarak çıkış gerilimi 206,8 ila 207,4 V arasında bir gerilim seviyesine düşmektedir. Ancak sistemin frekansı tam yüklü ikende 50,08 Hz olarak ölçülmektedir.



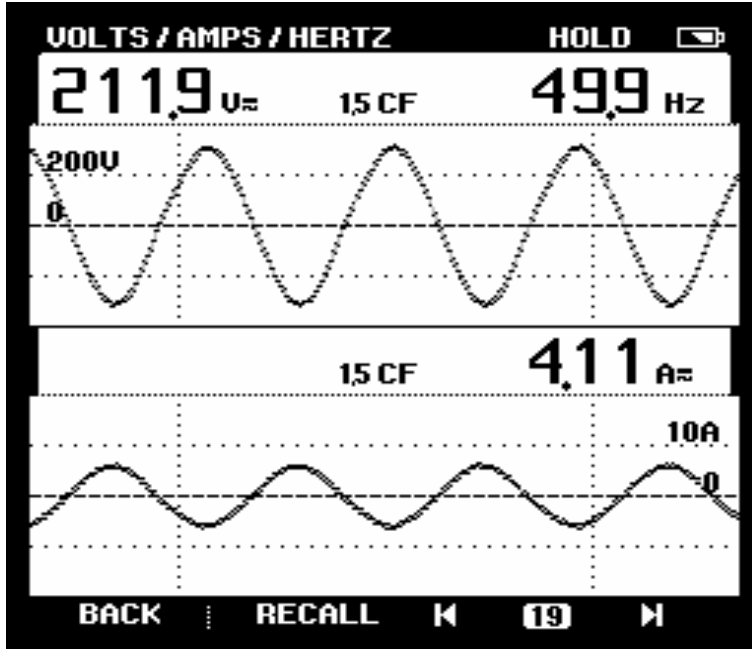
Resim 4.13. İverter 100 W yüklü iken oluşan gerilim harmoniği ve THD değeri



Resim 4.14. İnverter 100 W yüklü iken oluşan akım harmoniği ve THD değeri

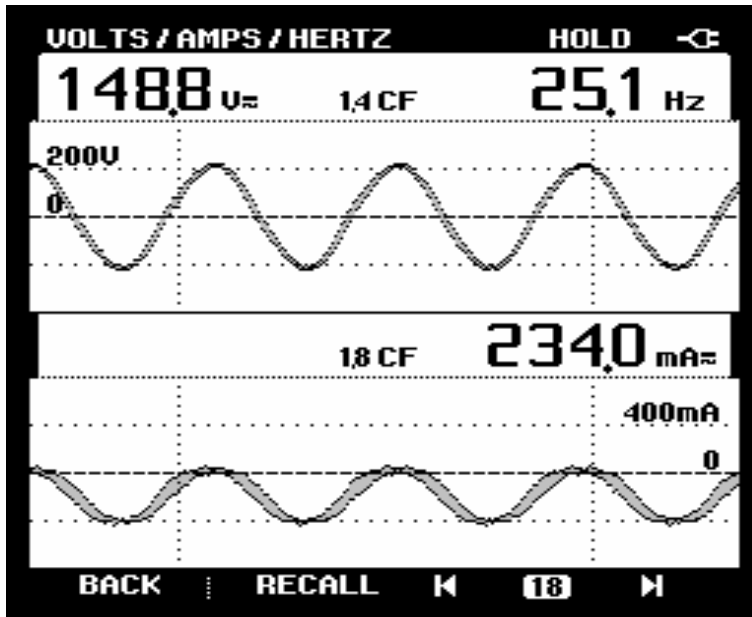


Resim 4.15. İnverter 100 W yüklü iken oluşan güç harmoniği ve güç değeri

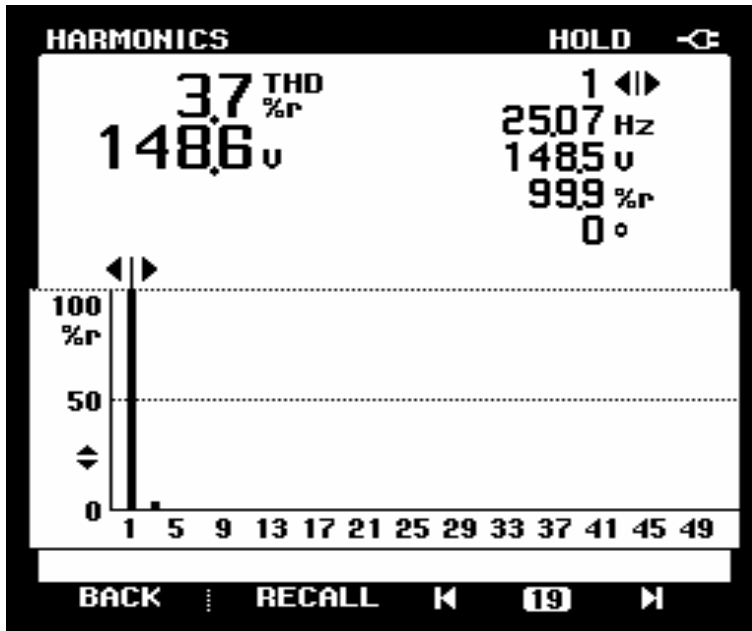


Resim 4.16. İnverter 100 W yüklü iken oluşan akım eğrisi ve gerilim eğrisi

Tasarlanan inverterdeki MOSFET'lere uygulanan anahtarlama frekansının 8 KHz olarak uygulandığı durumda sistemin gerilim ve akım değerleri Resim 4.17 ve Resim 4.18'de görüldüğü gibi belirli bir seviyenin üzerine çıkamamakta, giriş gerilim seviyesi arttırılmaya çalışıldığında sistemin girişinden darbeli bir akım çekerek sisteme zarar verildiği görülmüştür.

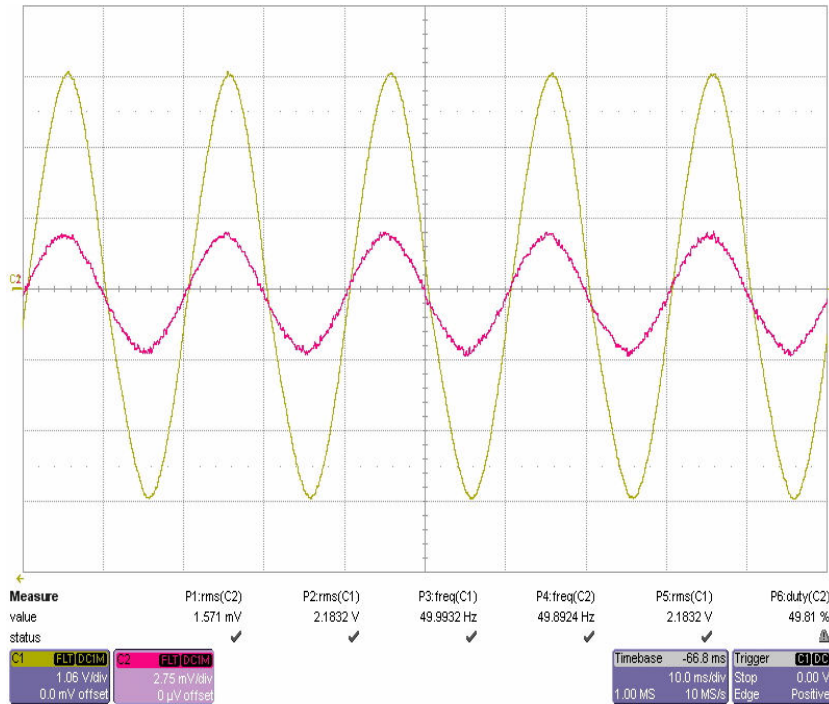


Resim 4.17. İnvertör uygulanan anahtarlama frekansı 8 KHz iken oluşan gerilimin ve akımın eğrisi

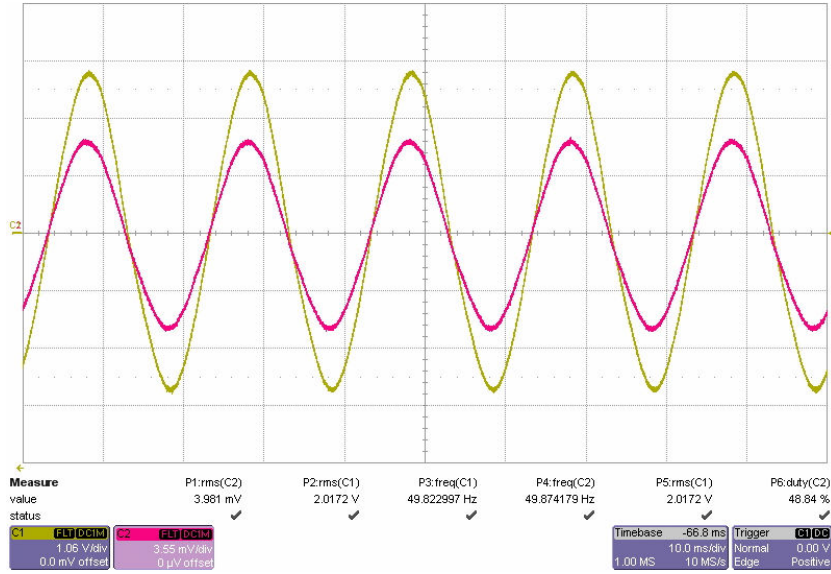


Resim 4.18. İnvörtör uygulanan anahtarlama frekansı 8 KHz iken oluşan gerilimin harmoniği ve THD değeri

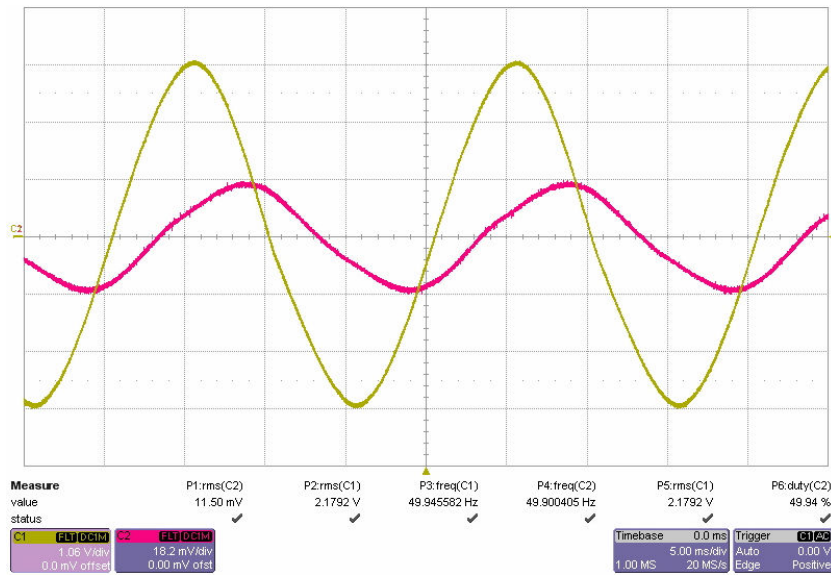
Resim 4.19 ve 4.20’de ise tasarlanan inverterin çıkış gerilim ve yük akımına ilişkin Tektronix marka osiloskopa elde edilen eğriler verilmiştir. Sistemin anahtarlama frekansı 15 KHz olarak uygulanmış ve çıkış frekansı 50.01 Hz olarak ölçülmüştür.



Resim 4.19. Anahtarlama frekansı 15 KHz ve yük 40 W iken gerilim ve akım eğrisi

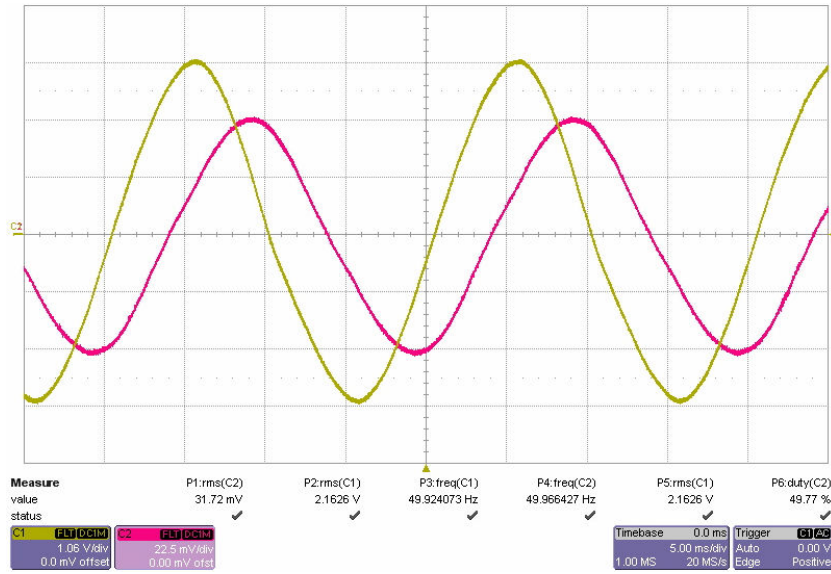


Resim 4.20. Anahtarlama frekansı 15 KHz ve yük 100 W iken gerilim ve akım eğrisi DeLorenzo DL1017L Marka bobinin 3x300VAr endüktif yükün 1, 3, 5 kademesine ait dalga şekilleri Resim 4.21, 4.22 ve 4.23 gösterilmiştir. 1.kademede bobin değeri 2,913H ölçülen akım değeri 1,15A gerilim 217V, 3.kademede bobin değeri 1,257H ölçülen akım değeri 3,17A gerilim 216V, 5.kademede ise bobin değeri 638mH ölçülen akım değeri 4,76A gerilim 217V'tur. Çıkış dalga şekillerine bakıldığında endüktif yükte oluşan faz farkından dolayı akımın gerilimin gerisinde kaldığı görülmektedir.

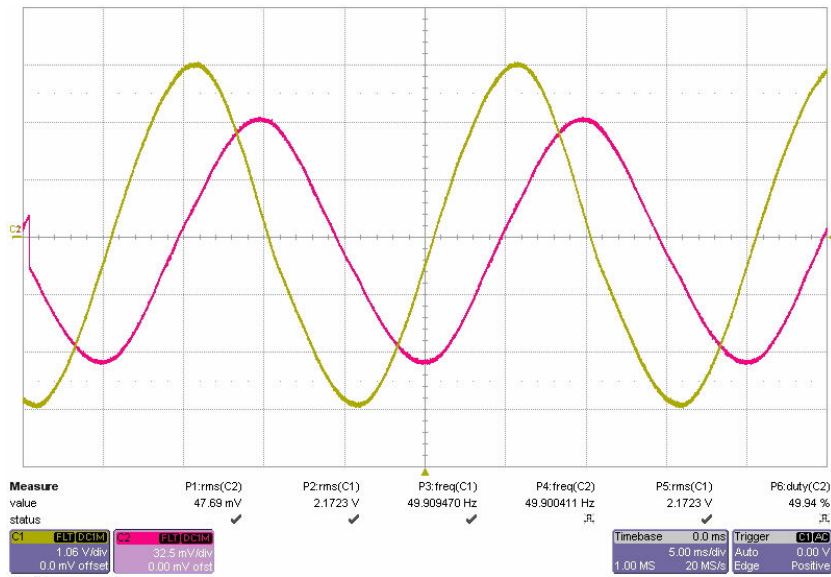


Resim 4.21. Endüktif yükün 1.kademesinde oluşan akım, gerilim sinyali





Resim 4.22. Endüktif yükün 3.kademesinde oluşan akım, gerilim sinyali



Resim 4.23. Endüktif yükün 5.kademesinde oluşan akım, gerilim sinyali

## 5. SONUÇ

Güneş ışığından elde edilen enerjiyi, elektrik enerjisine çevirmek amacıyla güneş panelleri kullanılarak yapılan uygulamada, sistemin daha verimli olarak çalıştırılması amacıyla mikro denetleyici kontrollü 100 W gücünde bir DA/AA evirici tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonucunda girişteki doğru gerilim mikrodenetleyici yardımıyla çıkışta 220V alternatif gerilime dönüştürülmüştür. Sistem 15W, 25W ve 60W'lık yüklerde deneysel sonuçlar elde ettiğimiz sinyallerde görüldüğü gibi sorunsuz çalışmaktadır. Fakat 100W üzerine çıkıldığında çıkış geriliminde sapmalar meydana gelmektedir. Sistemin çıkış değerlerine baktığımızda omik ölçümlerde gerilim ve akım arasında faz farkı olmadığı için sinyallerin üst üste geldiği gözlenmiştir. Endüktif ölçümlerde ise gerilim ve akım arasında faz farkı olduğu gözlenmiştir.

Sistemde anahtarlama elemanlarını izole etmek ve ilettime geçmesini sağlamak için trafolar kullanılmıştır. Çalışmalarda MOSFET çabuk ısındığı gözlenmiştir. Isınma problemini çözmek amacıyla anahtarlama frekansı artırılmış ve ölü zaman oluşturulmuştur.

Bu çalışma ile güneş enerjisinden elektrik elde etmeye yönelik uygulamaların artırılmasını destekleyici bir örnek çalışma gerçekleştirilmiştir. Sistemin avantajları, içerisinde kullanılan mikrodenetleyici sayesinde istenilen çalışmalara göre yeniden programlanabilir, ekonomiktir, çevreye zarar vermez, yakıtı her yerde bulunabilir ve ücretsizdir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: “Mimari Enerji Çözümleri”  
[http://www.yapikatalogu.com/VImages/Firmalar/31784/DetayDosyaları/33650\\_ca\\_m-giydirme-cephe-sistemleri\\_45851.pdf](http://www.yapikatalogu.com/VImages/Firmalar/31784/DetayDosyaları/33650_ca_m-giydirme-cephe-sistemleri_45851.pdf)
2. Batman, A., “Elektrik Üretimi İçin Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni Bir Yöntem”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 2-3 (2001).
3. Kökden, B., “PV Temelli Enerji Sistemleri ve Ülkemiz İçin Bir Güneş Santrali Modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, Gebze, 3-8 (2002).
4. İnternet: “Yenilenebilir Enerji”  
<http://www.bugday.org/article.php?ID=79> (2004).
5. Fidan , M., Bozali, N., Ertaş, M., Alma, H., Bölek, Y., “Alternatif Enerji Kaynağı: Katı Atıklardan Yakıt Briketi Üretimi”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 222 (2008).
6. Doğan, M., “Sanayileşme ve Çevre Sorunları”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, TMMOB, Kayseri, 245-251 (2001).
7. Mutlu, A., “Nükleer Demodelik mi, Sürdürülebilir Enerji mi”, *Standart*, 66 (2002).
8. Savın, J., “Enerji İçin Yeni Bir Gelecek Yaratmak, Dünyanın Durumu 2003”, *TEMA Vakfı Yayınları*, İstanbul, 103-135 (2003).
9. Kadioğlu, S., Tellioglu, Z., “Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri”, *TMMOB 1. Enerji Sempozyumu*, Ankara, 55-67 (1996).
10. İnternet: “Nükleer Enerjinin Kullanım Alanları”  
<http://www.sonforum.org/nukleer-enerji-ve-kullanim-alanlari-t13206.html?s=fc58afd9a42126fb9a362d215318c296&> (2008).
11. Satman, A., “Türkiye’nin Enerji Vizyonu”, *Jeotermal enerji Semineri*, 11 (2007).
12. Doğan, M., “Enerji Kaynakları-Çevre Sorunları ve Çevre Dostu Alternatif Enerji Kaynakları”, *Standart Dergisi*, 39(468): 28-36 (2000).
13. İnternet: “Jeotermal Enerji Nedir?”  
<http://www.jeotermaldernegi.org.tr/nedir%20i.htm> (2007).

14. Çolak, İ., Bayındır, R., Demirtaş, M., “Türkiye’nin Enerji Geleceği”, *TÜBAV Bilim Dergisi*, Cilt:1(2), 36-44 (2008).
15. Gençoğlu, M.T., Cebeci, M., “Büyük Hidroelektrik Santraller İle Küçük Hidroelektrik Santrallerin Karşılaştırılması”, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir, 265-271 (2001).
16. İnternet: “Hidrojen Enerjisi”  
<http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=hidrojenenerjisi&bn=225&hn=225&nm=384&id=389> (2009).
17. Demirtaş, M., Gün, V., “Avrupa ve Türkiye’deki Biyokütle Enerjisi”, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* ,3(1): 51 (2007).
18. Özyurt, M., Dönmez, G., “Alternatif Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”, *III.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 2 (2005).
19. Varınca, K.B., Gönüllü, M.T., “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri”, *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 4 (2006).
20. Kutlu, S., “Güneş Tarlası İle Elektrik Enerjisi Üretimi ve SDÜ Kampus Alanında Bir Uygulama Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 3 (2002).
21. İnternet:“Türkiye’de Enerji ve Geleceği”  
[www.itu.edu.tr](http://www.itu.edu.tr) (2007).
22. Demircan, N., Alakavuk, Z., “Fotovoltaik Prensibiyle Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 416-418 (2008).
23. İnternet: “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli”  
<http://www.nukte.org/node/163> (2007).
24. İnternet: “Türkiye’nin güneşlenme haritası”  
<http://www.isiteksolar.com/Images/isiharitasi.jpg> (2008).
25. İnternet: “Dünyanın solar aydınlanma haritası”  
<http://www.kku.edu.tr/~cam/elktes/GunesEnerjisi/GunesEnerjisiNO.ppt> (2008).
26. İnternet: “IV. Güneş Enerjisi Sempozyumu Sonuç Bildirgesi”  
[http://www.tmmob.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=5686&tipi=20](http://www.tmmob.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=5686&tipi=20) (2009).
27. Gençoğlu, M.T., Cebeci, M. “Türkiye’nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi”, *Kaynak Elektrik Dergisi.*, 138: 3 (2000).

28. Çetinkaya, H.B., "Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 2-10 (2001).
29. İnternet:tolAVR1, AVR® Geliştirme Kartı,  
[http://www.tola.com.tr/docs/products/tolAVR1\\_Kullanim\\_Kilavuzu24TR.pdf](http://www.tola.com.tr/docs/products/tolAVR1_Kullanim_Kilavuzu24TR.pdf)  
(2008).
30. Aslan H. "Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Piller", *Seminer Notları*, GYTE, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 4 (2003).
31. Çelik,A.,Abut,N., *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005* , İstanbul , 3 (2005).
32. İnternet: "Isıl Güneş Sistemleri / Güneş Kolektörleri"  
<http://www.alternaturk.org/gunesisil.php> (2005).
33. Kılıç, M. I., "Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 37-40 (2007).
34. Sefa, İ., Demirtaş, M., Bayındır, R., "Güneş Enerjisi Eğitim Seti Tasarım ve Uygulaması", *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (1-2): 329 (2007).
35. İnternet: ATMEL  
[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2503.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf) (2009).
36. İnternet: Tetikleme Devrelerinde Ölü Zaman Oluşturulması  
<http://www2.itu.edu.tr/~yildiri1/latexdocs/dlout.pdf> (2001).
37. Dursun, B., Ulusoy, I., "Fotovoltaik ve Fiber Optik Sistemlerin Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılması", *III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, Ankara, 255 (2005).
38. Çolak, İ., Kabalcı, E., "Evirici Topolojileri ve Gelişimleri Üzerine Bir İnceleme", *Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2-3 (2008).

**EKLER**

## EK-1 IRFP054N MOSFET veri sayfası

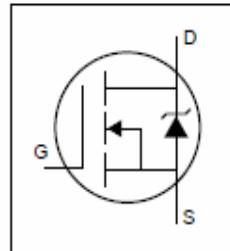
International  
**IR** Rectifier

PD - 9.1382A

# IRFP054N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic  $dv/dt$  Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DS} = 55V$$

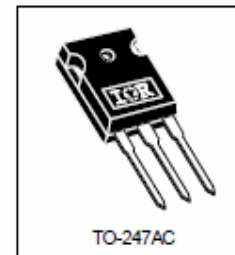
$$R_{DS(on)} = 0.012\Omega$$

$$I_D = 81A^{(6)}$$

## Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.



TO-247AC

## Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	81 <sup>(6)</sup>	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	57	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current <sup>(1)(5)</sup>	290	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	170	W
	Linear Derating Factor	1.1	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy <sup>(2)(5)</sup>	360	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current <sup>(1)</sup>	43	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy <sup>(1)</sup>	17	mJ
$dv/dt$	Peak Diode Recovery $dv/dt$ <sup>(3)(5)</sup>	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to +175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N-m)	


## Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.90	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

8/25/97

## IRFP054N

International  
IR RectifierElectrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.06	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$ ①
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.012	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 43A$ ②
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	30	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 43A$ ③
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	130	nC	$I_D = 43A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	23		$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	53		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13 ④ ⑤
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	66	—		$I_D = 43A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	40	—		$R_G = 3.6\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	46	—		$R_D = 0.62\Omega$ , See Fig. 10 ④ ⑤
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	13	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	2900	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	880	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	330	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5 ⑥

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	81 ⑦	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ⑧	—	—	290		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 43A, V_{GS} = 0V$ ⑨
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	81	120	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 43A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	240	370	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ⑩ ⑪

## Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ②  $V_{DD} = 25V$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 390\mu H$   
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 43A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 43A, di/dt \leq 260A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤ Uses IRF1010N data and test conditions
- ⑥ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature; for recommended current-handling of the package refer to Design Tip # 93-4



## EK-2 TLP250 MOSFET sürücüsü veri sayfası

Transistor Inverter  
 Inverter For Air Conditionor  
 IGBT Gate Drive  
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

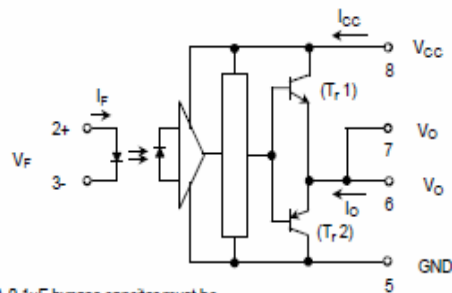
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type  
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823  
 Maximum operating insulation voltage:  $630\text{V}_{\text{PK}}$   
 Highest permissible over voltage:  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

(Note) When a VDE0884 approved type is needed,  
 please designate the "option (D4)"

- Creepage distance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$   
 Clearance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$

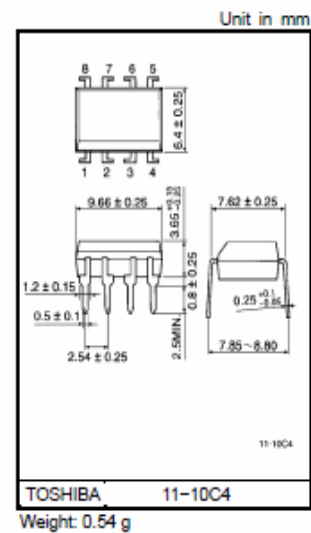
### Schematic



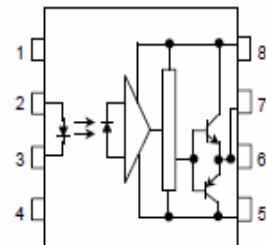
A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

### Truth Table

	Tr1	Tr2
Input LED On	On	Off
Input LED Off	Off	On



### Pin Configuration (top view)



- 1: N.C.
- 2: Anode
- 3: Cathode
- 4: N.C.
- 5: GND
- 6:  $V_O$  (Output)
- 7:  $V_O$
- 8:  $V_{CC}$

### Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
Detector	"H" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	"L" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_O$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_{CC}$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C
	Junction temperature		$T_j$	125	°C
Operating frequency (Note 3)		$f$	25	kHz	
Operating temperature range		$T_{opr}$	-20~85	°C	
Storage temperature range		$T_{stg}$	-55~125	°C	
Lead soldering temperature (10 s)		$T_{sol}$	260	°C	
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)		$BV_S$	2500	Vrms	

(Note 1) Pulse width  $P_W \leq 1\mu s$ , 300pps

(Note 2) Exponential waveform

(Note 3) Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$ ,  $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

(Note 4) Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

### Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	$V_{CC}$	15	—	30   20	V
Peak output current	$I_{OPH}/I_{OPL}$	—	—	±0.5	A
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70   85	°C

**Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV <sub>F</sub> / ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C <sub>T</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> = 30V (*1) I <sub>F</sub> = 10 mA V <sub>β-6</sub> = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I <sub>OPL</sub>	2		I <sub>F</sub> = 0 V <sub>β-5</sub> = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta = 25°C (\*1): Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

**Switching Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit		
Propagation delay time	L→H	t <sub>pLH</sub>	6	I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs		
	H→L	t <sub>pHL</sub>			—	0.15	0.5			
Output rise time		t <sub>r</sub>				—	—		—	
Output fall time		t <sub>f</sub>				—	—		—	
Common mode transient immunity at high level output		C <sub>MH</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 800V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs		
Common mode transient immunity at low level output		C <sub>ML</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 800V, I <sub>F</sub> = 0mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs		

\* All typical values are at Ta = 25°C

## EK-3 Mikrodenetleyici içerisindeki programın kodları

## Ana Program

```

/*
 * main.c
 *
 * Created on: 27.Eyl.2009
 * Author: Emel Kacar
 */

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include "timer1_pwm.h"
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input) // analog dijital çevrim için gerekli
rutin
{
  ADMUX=adc_input;
  // Start the AD conversion
  ADCSRA|=0x40;
  // Wait for the AD conversion to complete
  while ((ADCSRA & 0x10)==0);
  ADCSRA|=0x10;
  return ADC;
}

unsigned int sinus[] = // sinus oluşturmak için tablo
{78,156,233,309,383,454,522,588,649,707,760,809,853,891,924,951,972,988,997,10
00,997,988,972,951,924,891,853,809,760,707,649,0};

int main(void)
{
  unsigned int i,adc;
  float pwm,pals;
  PORTB = 0;

```

```

DDRB = 0xFF;
timer1PWMInit(10); // pwm i 10 bit çözünürlüğe ayarla
timer1PWMBOn(); // B kanalı pwm i aç
timer1PWMAOn(); // A kanalı PWM i aç
DDRC = 0x00;
DDRD = 0x01;
PORTD = 0;
pwm = 0.5;
while(1)
{
    adc = read_adc(0); // referans girişini oku
    if(adc>600) // 230 volttan yukarı ise PWM i düşür
    {
        pwm-=0.001;
    }
    else if(adc<400) // 200 volttan aşağı ise PWM i artır
    {
        pwm+=0.001;
    }
    if(pwm>1.0) // aşırı tüklenme oldu ise maksimum PWM i ver
    {
        pwm = 1;
    }

    // bu döngüde trafoya sinüs benzetimli kare dalga
    // 32 parça halide tablodan alınarak referans çarpanı ile
    // işlemcinin PWM çıkışlarına verilir.
    // trafo endüktansının ve çıkıştaki filtre kondansatörünün
    // etkisi ile çıkıştan sinüs sinyali alınır.

    for(i=0;i<32;i++)
    {
        pals = pwm*sinus[i];
    }
}

```

```
        timer1PWMASet((unsigned int)pals); // pwm iş süresini ayarla
        _delay_us(310);
    }
timer1PWMASet(0);
for(i=0;i<32;i++)
{
    pals = pwm*sinus[i];
    timer1PWMBSet((unsigned int)pals); // pwm iş süresini ayarla
    _delay_us(300);
}
timer1PWMBSet(0);
}
```

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAÇAR, Emel  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 07.06.1980 Ankara  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (505) 408 82 76  
e-mail : [emelkacar@gmail.com](mailto:emelkacar@gmail.com).

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü	2002
Lise	İncirli Lisesi	1998

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002-2005	Bursa Ali Osman Sönmez Endüstri Meslek Lisesi	Bilgisayar Öğretmeni
2005-2009	Esenler Çok Programlı Lisesi	Bilgisayar Öğretmeni
2009- ...	İstanbul İnönü Endüstri Meslek Lisesi	Bilgisayar Öğretmeni

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Basketbol