

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**100W MİKROİNVERTER TASARIMI  
VE  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hasan Mert**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**OCAK 2017**

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**100W MİKROİNVERTER TASARIMI  
VE  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Hasan Mert  
1303624006**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Doğan ÇALIKOĞLU**

**OCAK 2017**

Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1303624006 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "HASAN MERT", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "100W MİKROİNVERTER TASARIMI VE UYGULAMASI" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**

**Prof. Dr. Doğan ÇALIKOĞLU**

**Türk Hava Kurumu Üniversitesi**

**Jüri Üyeleri:**

**Doç. Dr. Cemal YILMAZ**

**Gazi Üniversitesi**

**Yrd. Doç. Dr. Javad RAHEBI**

**Türk Hava Kurumu Üniversitesi**

**Tez Savunma Tarihi: 30 OCAK 2017**

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, "100W MİKROİNVERTER TASARIMI VE UYGULAMASI" adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

30.01/2017

Hasan MERT

## ÖNSÖZ

100 W Mikroinverter tasarımı ve uygulaması yüksek lisans tez çalışmamda beni yönlendiren ve yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Doğan ÇALIKOğLU, çalışmalarına ışık tutan hocam Yrd. Doç. Dr. Gökhan ŞEN ve Yrd. Doç. Dr. İbrahim MAHARİQ'e, tecrübelerini paylaşmaktan çekinmeyen Murat YILMAZ'a, tez çalışmalarım süresince beni yalnız bırakmayan aileme teşekkürü borç bilirim.

Ocak, 2017

Hasan MERT

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	III
TABLolar .....	VI
ŞEKİLLER.....	VII
KISALTIMA LİSTESİ.....	VIII
SEMBOL LİSTESİ .....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
BİRİNCİ BÖLÜM .....	1
GİRİŞ .....	1
İKİNCİ BÖLÜM.....	5
<b>2. GÜNEŞ PİLLERİ</b> .....	5
2.1 Şebekeden bağımsız sistem.....	6
2.2 Şebekeye bağlı sistem .....	6
2.2.1 Merkezi inverter .....	8
2.2.2 Dizi inverter .....	9
2.2.3 Mikroinverter .....	10
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	11
<b>3. İNVERTER SİSTEMLERİNDE HARMONİK</b> .....	11
3.1 Harmonik.....	11
3.2 Toplam Harmonik Distorsiyonu.....	13
3.3 Harmonik Standartları.....	14
3.4 İnverter Topolojisinde Harmonik.....	15
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	17
<b>4. TASARIM VE UYGULAMA</b> .....	17
4.1 Tasarımın Malzeme Seçimi.....	17
4.1.1 Mikrodenetleyici Seçimi.....	18
4.1.2 Mosfet Seçimi .....	18
4.1.3 Mosfet Sürücü Seçimi .....	19
4.1.4 Transformatör Seçimi.....	22
4.1.5 Yarıiletken Malzemelerin Besleme Gerilimi Sağlanması .....	22
4.1.6 Güneş Panelinde Gerilimin Ölçülmesi .....	23
4.1.7 Devrede Primer Sargısının Çektiği Akımın Ölçümü .....	25
4.1.8 Aşırı Voltaj Koruma Bölümü.....	26

4.1.9 Çıkış Filtresi .....	27
4.2 Devre Kayıpları .....	28
4.3 Devre Şeması ve Baskı Devre Kartı Çizimi .....	33
4.4 Devre Yazılımı.....	33
4.5 Uygulama Sonuçları.....	36
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>41</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>43</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>47</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>61</b>



## TABLULAR

Tablo 3.1 Gerilim harmonikleri için sınır değerler .....	15
Tablo 3.2 Flyback devre tasarımında THD oranları .....	15





## ŞEKİLLER

Şekil 2.1 Şebekeden bağımsız güneş pili sistemi.....	6
Şekil 2.2 Şebekeye bağımlı güneş pili sistemi.....	7
Şekil 2.3 IEA ülkelerinde şebekeye bağı ve şebekeden bağımsız sistemlerin oranı... 7	
Şekil 2.4 Merkezi inverter.....	8
Şekil 2.5 Dizi inverter.....	9
Şekil 2.6 Mikro inverter.....	10
Şekil 3.1 Temel sinyal ve harmonikleri.....	12
Şekil 3.2 Temel sinyal ve bileşke sinyal.....	12
Şekil 4.1 Tasarlanan devrenin blok diyagramı.....	17
Şekil 4.2 SMPS transformatörünün sürülmesi.....	19
Şekil 4.3 H köprüsünün sürülmesi.....	20
Şekil 4.4 H köprüsü.....	21
Şekil 4.5 LM2576-5 kullanarak 5V doğru akımın elde edilmesi.....	23
Şekil 4.6 LM2576-12 kullanarak 12V doğru akımın elde edilmesi.....	23
Şekil 4.7 Panel voltajının ölçülmesi.....	25
Şekil 4.8 ACS712ELCTR-05B çalışma karakteristiği.....	25
Şekil 4.9 ACS712ELCTR-05B Bağlantı şekli.....	26
Şekil 4.10 Aşırı voltaj koruma devresi.....	27
Şekil 4.11 IRFP260 mosfetinin yükselme ve düşme osiloskop çıkışı.....	29
Şekil 4.12 Yarım dalga sinüs sinyalin tam dalga sinüs'e çevrilmesi.....	34
Şekil 4.13 Program algoritması.....	35
Şekil 4.14 Yarım dalga sinüs sinyal çıkışı PWM ile oluşması.....	36
Şekil 4.15 Yarım dalga sinüs sinyal çıkışı.....	37
Şekil 4.16 Tam köprü evirici tetikleme sinyal çıkışı.....	38
Şekil 4.17 50W çıkış sinyali.....	39
Şekil 4.18 75W çıkış sinyali.....	40
Şekil 4.19 100W çıkış sinyali.....	40

## KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif akım-(Alternating Current)
ADC	Analog Dijital Çevirici-(Analog Digital Converter)
BCM	Sınırdaki Anahtarlama Modu-(Boundary Conduction Mode)
CCM	Sürekli Anahtarlama-(Continuous Conduction Mode)
DC	Doğru Akım-(Direct Current)
DCM	Sürekli İletim Modu-(Discontinuous Conduction Mode)
FV	Fotovoltaik
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LED	Light Emitting Diode
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPPT	Maksimum Güç Noktası İzleme-(Maximum Power Point Tracking)
PCB	Baskı Devre Kartı-(Printed Circuit Board)
PF	Güç Faktörü-(Power Factor)
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu-(Pulse Width Modulation)
RMS	Root Mean Square
THD	Toplam Harmonik Distorsiyon-(Total Harmonic Distortion)
TIM	Zamanlayıcı-(Timer)
ZVC	Sıfır Voltaj Geçiş-(Zero Voltage Crossing)

## SEMBOL LİSTESİ

C	Kondansatörün değeri
$C_O$	Devrenin çıkışındaki kondansatör
D	MOSFET'in iletimde olduğu zamanın periyoda bölümü
$f_{min}$	Minimum anahtarlama frekansı
$f_{sw}$	Primer anahtarının anahtarlama frekansı
H	Tam köprü
I	Akım
$I_{ORT}$	Ortalama akım değeri
$I_p$	Primer sargısından geçen akım
$I_L$	Işık akımı
$I_{PV}$	PV akımı
$I_S$	Satürasyon akımı
$i_{LM}$	Transformatör üzerindeki akım
$I_O$	Çıkış akımı
n	İdealite faktörü
N	Transformatörün primer sargısının sekonder sargısına oranı
$N_p$	Primer sargısının sarım sayısı
$P_{KAYIP}$	Kayıp güç
$P_{Primer}$	Transformatör primer kayıp gücü
$P_{Sekonder}$	Transformatör sekonder kayıp gücü
$R_S$	Seri Direnç
$P_{ORT}$	Ortalama güç değeri
$R_{DS}$	MOSFET'in Drain-Source arası direnci
$R_p$	Paralel Direnç
$P_{RMS}$	Gücün efektif değeri
q	Elektron Yüğü
$R_{min}$	Minimum direnç değeri
S	Anahtar
$T_{OFF}$	MOSFET'in kesimde kalma süresi
$T_{ON}$	MOSFET'in iletimde kalma süresi
$T_{rise}$	MOSFET'in kesimden iletime geçme süresi
$T_{fall}$	MOSFET'in iletimden kesime geçme süresi
$T_S$	Anahtarlama periyodu
V	Gerilim
$V_{AC}$	Şebeke gerilimi
$V_{DS}$	MOSFET'in Drain-Source arası gerilimi
$V_{PV}$	PV gerilimi
$\eta$	Verim

## ÖZET

### 100W MİKROİNVERTÖR TASARIMI VE UYGULAMASI

MERT Hasan

Yüksek Lisans, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Doğan ÇALIKOĞLU

Ocak-2017, 61 sayfa

Güneş panelinden belli bir ışımaya karşılık gelen doğru akımı günlük hayatta kullanabilmek için alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, güneş panellerinde kullanılan çevirici ve evirici topolojileri, avantaj ve dezavantajlarına göre değerlendirilmiş. Bu değerlendirme sonunda 100W mikroinverter yapısına uygun olan flyback çevirici ve tam köprü evirici topolojisi seçilerek uygulama devresinde kullanılmıştır. Uygulama devresinin tasarlanmasında, donanımı kontrol edecek gömülü yazılımın kodlanması yapılmıştır. Ayrıca uygun toplam harmonik distorsiyon seviyesinde şebeke ile uyumlu hale getirilip aktarılması işlemlerini yapabilecek gerekli donanım tasarımı, ve şebekeye yük bindirme yöntemine yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** DC-AC İnvertör, Flyback SPMS, THD

## **ABSTRACT**

### **100W MICROINVERTER DESIGN AND APPLICATION**

MERT HASAN

MASTER of SCIENCE ,Department of Electric and Electronics

Supervisor: Prof. Dr. Doğan ALIKOĞLU

January 2017,61 pages

It is necessary to transform the direct current corresponding to a certain radiation from the solar panel into an alternative current which we use frequently in our daily life. In this thesis, inverter and converter topologies used in solar panels have been evaluated on the basis of their disadvantages and advantages. Considering this evaluation, the flyback converter and full bridge inverter topologies suitable for the 100W microinverter structure were selected and used in the application circuit. In the designing of the application circuit, the coding of the embedded software that will control the hardware has been done. In addition to this the necessary hardware design and network overloading method that can make the processes compatible with the network at the appropriate total harmonic distortion level are also included.

**Keywords:** DC-AC Inverter, Flyback SPMS, THD

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

Bu çalışmada, güneş panelinden belli bir ışımaya karşılık gelen elektrik enerjisinin günlük kullanıma uygun sinyale yani 220V 50Hz Alternatif akıma dönüştürülmesi için 100W mikroinverter tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Birliği'nin (EPIA) önümüzdeki 3 yıla kadar Avrupa'da ihtiyaç duyulan elektriğin %12'sinin fotovoltaik sistemlerden üretilebileceğini açıklaması [8] güneş panelinde kullanılacak inverter sistemlerinin önemi bakımından gerekliliğini açıklamaktadır.

Bu çalışmayla minimum akım stresi, minimum maliyet ve yüksek verim üzerinde durulmuştur. Bu tasarımda, transformatörün primer ve sekonder kısımları dahil olmak üzere yarıiletken malzemelerin kontrolünde tek bir dc kaynak kullanılmıştır. Bu yöntem, devre verimi üzerinde olumlu yönde etki yaratmıştır. Bununla birlikte bu çalışmada uygulanan teknik ve yöntemler ülkemizde yapılmak istenen güç kaynağı tasarımlarına kaynak oluşturulmak üzere araştırmacılarla paylaşılacaktır.

Bir güneş panelinden elde edilen enerji 30Vdc 100W/s civarındadır. Bu enerjiyi panelden doğru akım olarak alınmaktadır. Buradan elde edilen doğru akımı, direkt kullanıldığı gibi depolamada yapılarak daha sonrada kullanılmaktadır. Bu enerjiyi günlük hayatımızda alternatif akımla çalışan sistemlerde kullanılabilmesi için uygunlaştırılması gerekmektedir. Uygulamada istenen güce göre farklı yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Uygunlaştırma aşamasında güneş panellerinden elde edilen enerjinin yüksek verimde çıkışa aktarması istenmektedir.

Çevreci enerji kaynakları olarak da bilinen yenilenebilir enerji kaynakları arasında öncelikle güneş, rüzgar, jeotermal ve hidroelektrik santraller gelmektedir.

Yenilenebilir kaynakları kendi aralarında değerlendirildiğinde enerji potansiyeli en yüksek olanının güneş olduğu görülmektedir. İlk üretim yıllarında Güneş panelleri kullanarak santral kurma maliyeti yüksekken günümüzde panel fiyatlarının düşmesiyle kurulum maliyetleri düşmüştür. Son yıllarda güneş santrallerine dünya da olduğu gibi ülkemizde de devlet tarafından teşvik verilmektedir. Ülkemizde güneş santralinden üretilen elektriğin kW/s'ine 13,3 cent destek verilmektedir. Güneş santralinin yerli ürünlerle yapılması durumunda bu teşvik 20 cent'e kadar çıkmaktadır[30]. Bu durum güneş santrallerine ilgiyi arttırmıştır.

Literatürde güneş enerjili sistemlerde kullanılan inverterlerle ilgili yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Yakışan tarafından, enerji kaynağı olarak güneş, hücresi paneli veya dizisinin kullanımı ve enerjisinin denetimi üzerine çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada güneş enerjisi temelli sistemlerin şebekeye paralel ve başka enerji kaynaklarıyla birlikte çalışması incelenmiştir. Şebekeye bağımsız sistemlerde enerji sürekliliği için sisteme akü gerektiğinden ve akülerin ömürlerinin kısa oluşundan dolayı maliyeti arttırmaktadır. Paralel bağlı sistemlerde bu durum söz konusu sistem daha avantajlı olduğu söylenmiştir[26].

Onat ve Ersöz tarafından gerçekleştirilen fotovoltaik sistemlerde maksimum güç izleyici algoritmalarının karşılaştırılması çalışmasında Hata ve Gözlem, sabit gerilim, artan iletkenlik ve parazit kapasite yöntemleri üzerine uygulamalar yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda en verimli parazit kapasite bulmuşlarsa da ticari ve basit yapılı olmasından dolayı hata ve gözlem algoritmasını önermişlerdir[19]. Dolara ve arkadaşları, Onat ve Ersöz gibi MPPT algoritmaları üzerinde durmuştur. Sonuç olarak en verimli gözle-değiş (P&O) yönteminin olduğunu deneysel çalışmalar yaparak göstermiştir[19].

Zengin ve arkadaşları, şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler için flyback mikroinverter tasarımı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada evirici topolojilerini karşılaştırmışlardır. Araştırmalar sonucunda flyback eviriciler kontrol karmaşıklığını eleman sayısını azaltmakta ve maliyetlerini önemli ölçüde düşürerek inverterler arasında mikroinvertere öne çıkarmaktadır. Yaptığı çalışmada devre verimi %80 civarında bulmuştur. Çalışmasında kullandığı mosfetlerin yerine daha küçük iç

dirence sahip mosfet seçilerek bu verimin daha da arttırılabileceğini belirtmiştir. Bu araştırmanın deneysel sonuçlarla da doğruluğunu göstermişlerdir[8].

Bakan tarafından da orta güç kaynağı uygulamasında kullanılan malzeme azlığı ve ekonomik olması açısından flyback tasarımı daha ön plana çıkarmıştır. Ayrıca bu tasarımın düşük güçte yüksek gerilim elde etmede yaygın kullanımı olduğu belirtmiştir[5].

Özçiftçi tarafından flyback topolojisi diğer topolojilerle karşılaştırmıştır. Sonuç olarak flyback topolojisi diğerlerine göre maliyet, devrenin boyutu, izolasyonlu ve MPPT görevini daha iyi yaptığını gözlemlemiştir. İletim modlarında ise sürekli iletim modunun verim THD ve devrenin gücü açısından daha verimli olduğu gözlemlemiştir. Bu modda tek dezavantajı kontrol devresinin karmaşıklığı olduğunu eklemiştir[21].

Akça tarafından anahtarlama kayıplarını minimum hale getirmek için IGBT-MOSFET gibi yarı iletkenler kullanmıştır. Gerçekleştirilen çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada anahtarlama elemanı sadece mosfet, ikinci aşamada igbt-mosfet karma anahtarlama ve son aşamada sadece igbt anahtarlama yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda küçük güçlerde en iyi mosfet anahtarlama olduğunu göstermiştir[3].

Cangi tarafından yapılan harmonik eliminasyon çalışmasında, DC/AC inverter anahtarlama frekansları incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda 35kHz civarında yapılan inverter anahtarlama THD seviyesinin deneysel olarak %1'in altında olduğu göstermiştir[.22].

Literatür araştırması sonucunda inverterler hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda 200W altındaki önerilen güç dönüştürücü olarak flyback modeli üzerinde durulmuştur. Anahtarlama modeli olarak sürekli anahtarlama önerilmiştir. Aynı şekilde çevirici anahtarlama frekansının artması çıkış harmonik distorsiyonu arttırmakta. Düzgün çıkış sinyali için ortalama 50kHz seviyesinde anahtarlama iyi sonuç vereceği önerilmektedir. Yapılan çalışmalarda sistemde bulunan yarı iletken elemanların kontrolü iki ayrı dc kaynak kullanılarak yapılmıştır. Bu tez çalışmasında tek bir dc kaynak kullanılmıştır. Bu özellikte verimi %1 seviyelerinde arttırmıştır.



Tezin ikinci bölümünde güneş enerjisi ve güneş pilleri hakkında genel bilgi verilmektedir. Yine bu bölümde santral gücünün güneş panel bağlantıları arasında ki ilişki incelenmiştir. Üçüncü bölümde harmonik üzerine de durulmaktadır. Harmonikleri oluşturan nedenleri, matematiksel ifadesi standartları incelenmiştir. Son bölümde ise önceki bölümlerden alınan en uygun metot ve teknikler tasarım devresinde uygulanmıştır.



## İKİNCİ BÖLÜM

### GÜNEŞ PİLLERİ

Yüzeylerine gelen güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken malzemeler Güneş paneli, Güneş hücresi veya Güneş pili olarak adlandırılır.

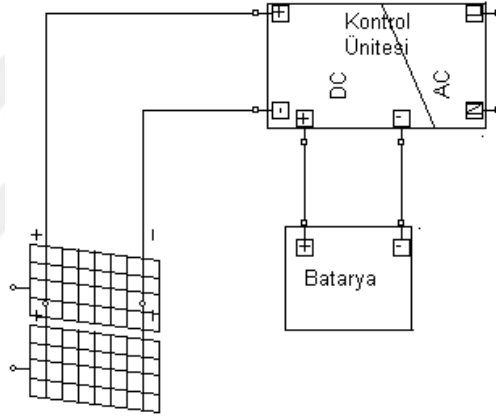
Güneş hücresinin çalışma prensibi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki potansiyel fark, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W.Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir [9]. 1900'lü yılların başlarında çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlarla ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılmak üzere güç sistemleri için yapılmıştır [9].

1960'ların başından beri uzay çalışmalarında güç sistemlerinin enerji kaynağı olarak güneş pilleri güvenilir kaynak olmayı sürdürmektedir. 1970'li yılların başına kadar günlük yaşamda güneş pilleri ile enerji üretim çalışmaları sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki 1. petrol bunalımını izleyen yıllarda olmuştur. Amerika, Avrupa ve Japonya'da büyük bütçeden oluşan, geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır [9].

Güneş pilleri şebekeden bağımsız ve şebeke bağımlı olmak üzere iki temel sistemden oluşmaktadır.

### 2.1 Şebekeden bağımsız sistem

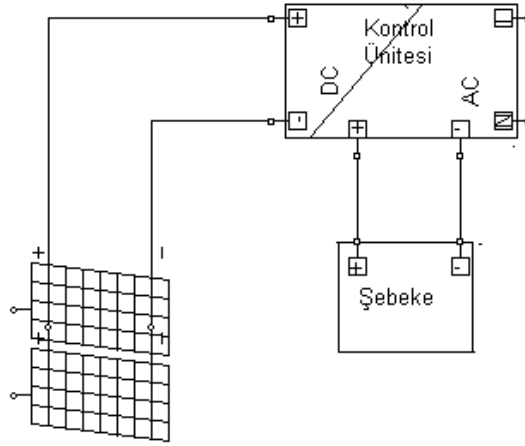
Şebekeden bağımsız sistemlerde iki durum söz konusudur. Birinci durumda sistemler sadece gündüz enerjiye ihtiyaç duyar. Bu durumda direkt inverter kullanarak güneş paneline bağlanır. İkincisinde ise devamlı yani gece ve gündüz enerjiye ihtiyaç duyan sistemlerdir. Bu sistemlerde ise güneş pilinden gece alınan enerji ile gündüz alınan enerji gücü farklı olacaktır. Bu durumda sisteme enerji depolama elemanı olarak batarya eklenir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi gündüz şarj olan batarya gece deşarj olur [8].



Şekil 2.1 Şebekeden bağımsız güneş pili sistemi.

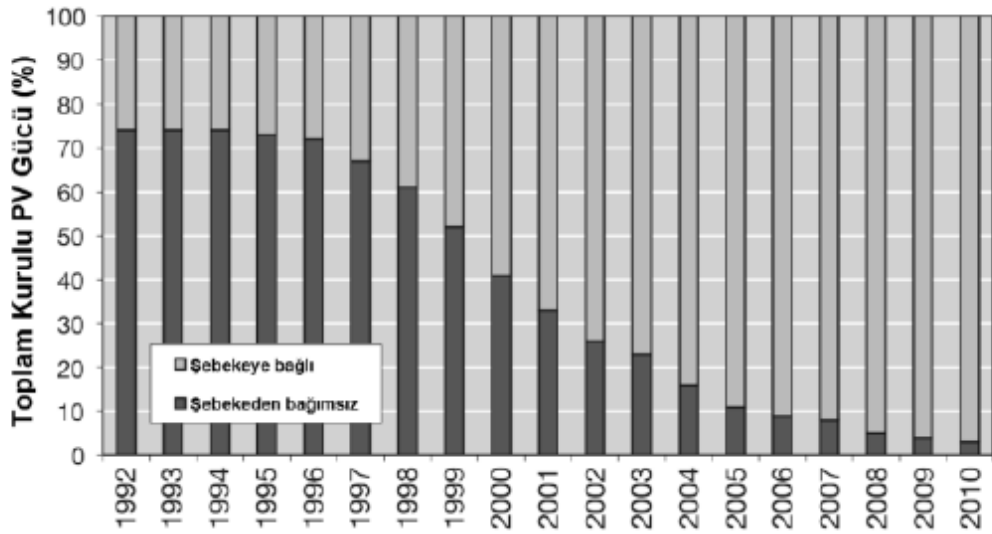
### 2.2 Şebekeye bağlı sistem

Şebeke bağlı sistemlerde ise şebeke bataryanın görevini üstlenir. Güneş pilinin yeterli olmadığı durumlarda şekil 2.2'de görüldüğü gibi sistem şebeke enerjisinden beslenir.



**Şekil 2.2** Şebekeye bağımlı güneş pili sistemi.

Güneş pilleri ilk kullanılmaya başladığı yıllarda şebekeden bağımsız batarya ağırlıklı çalışması söz konusu iken son yıllarda şebekeye bağımlı şekilde çalışmaktadır. Yıllara göre şebekeden bağımsız/bağımlı durumu şekil 2.3'te görülmektedir[8]. Sistemlerde kullanılan bataryaların ömrünün kısa ve maliyetinin yüksek olması şebekeye bağımlı sistemleri daha popüler hale getirmiştir.



**Şekil 2.3** IEA ülkelerinde şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız sistemlerin oranı.

Şebekeye bağımlı sistemlerde gündüz güneş pilleri tarafından üretilen enerji kullanılmadığında şebekeye aktarılma imkanı olması bu sistemleri popüler hale getirmiştir. Şebekeye bağımlı inverter üç gruba ayrılırlar; merkezi inverter, dizi inverter ve mikro inverter [8].

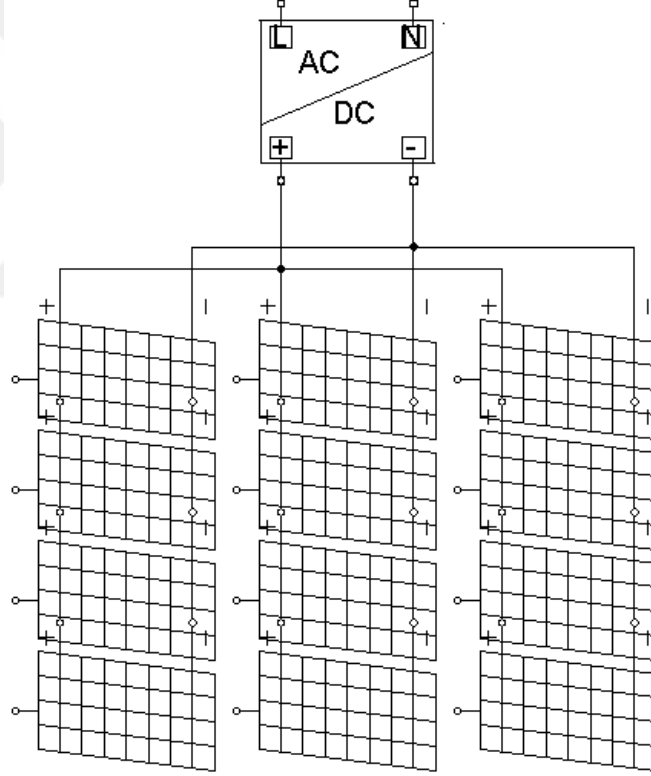
### 2.2.1 Merkezi inverter

Merkezi inverter Şekil 2.4'de görülmektedir. Bu sistemde güneş panel grupları birbirine seri daha sonra bu gruplar birbirine paralel bağlıdır. Merkezi inverter sistemleri yüksek gücü üretmek için kullanılır [8]. Merkezi inverter sistemleri santral Şeklinde kullanılır genelde 3 fazlı, gücü 2-250kW arasında olmaktadır. Dezavantajları,

Sistemde bulunan pillerden bir tanesinin bozulması sistem çıkışı gücünü ciddi boyutlarda etkilemektedir.

Kurulu sistem geniş alanda olduğundan herhangi bir bulutlanmada çıkış gücü etkilenmektedir.

Paralel bağlı yarıiletken uyumsuzluk ve kayıpları fazla olmaktadır.



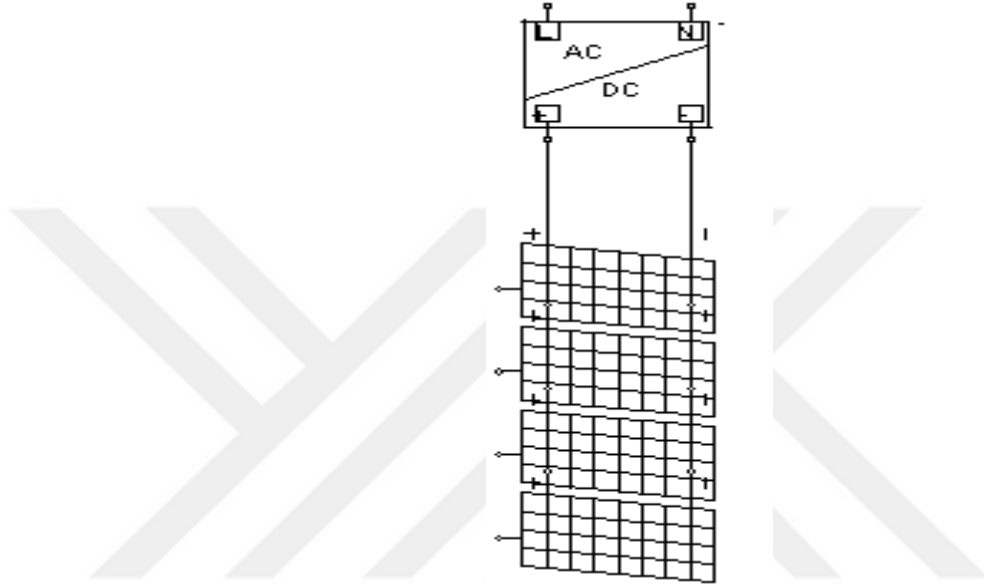
Şekil 2.4 Merkezi inverter.

### 2.2.2 Dizi inverter

Dizi inverterler de güneş pilleri birbirine seri bağlayarak yüksek doğru akım elde edilir. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi elde edilen enerji alternatif akıma çevrilir. Dizi inverter sistemleri genellikle evsel elektrik üretiminde kullanılır tek fazlı, çalışma gücü 1-5kW civarındadır. Bu sistemlerin dezavantajı ise,

Güneş pilleri arasında uyumsuzluk bu sistemde de etkilidir.

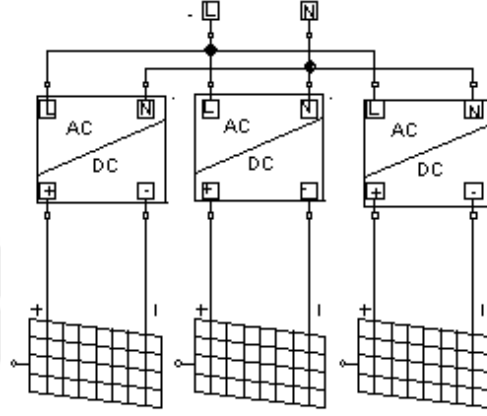
Dizide bulunan herhangi bir panelin bozulması sistem çıkışını etkilemektedir.



Şekil 2.5 Dizi inverter.

### 2.2.3 Mikroiverter

Mikroiverterler 100-400W aralığında çalışmaktadır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi her panelin altına direkt tak-kullan şeklinde planlanmıştır. Diğer inverter tiplerinde yaşanan kısmi bulutlanmadan veya panel farklılığından kaynaklı problemler mikro inverter sisteminde olmamaktadır. Bu sistemde her panel doğru akımını kendisi alternatif akıma çevirir. Bu özelliğinden dolayı evsel kullanıma uygundur. Dezavantajı ise, her güneş paneline bir inverter gerektiğinden maliyeti yüksektir.



Şekil 2.6 Mikroiverter.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### İNVERTER SİSTEMLERİNDE HARMONİK

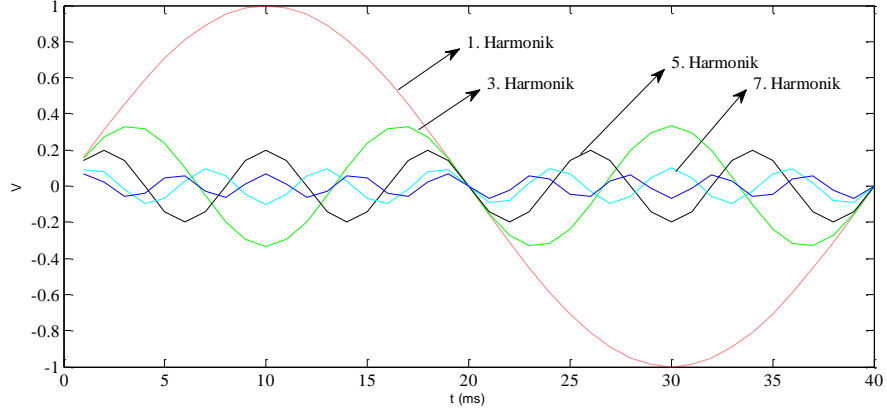
Tezin bu bölümünde güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan inverterlerin oluşturduğu harmonik distorsiyon üzerinde durulmuştur. Enerji sistemlerinde her ne kadar da olsa harmonik etkilerden tamamen arındırılamaz fakat azaltılabilir. Bu harmonik etki olsa dahi sistemdeki elektrikli cihazlar çalışsa da kullanım ömürleri de kısalmış olur.

#### 3.1 Harmonik

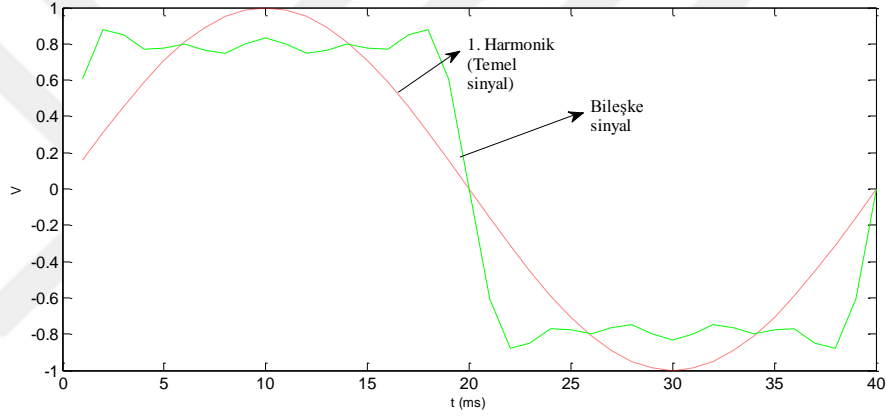
Elektrik şebekesinden istenen sabit genlikli, sabit frekanslı ve tam sinüsoidal biçimli olması istenir. Ancak şebeke bazı doğrusal olmayan elemanlardan dolayı tam sinüsoidal sinyal bozulmaktadır. Bu bozulmanın bileşenlerine, harmonik bileşenler denilmektedir [1].

Doğrusal olmayan sinyaller harmonik bileşenler içerir. Harmonik bileşenler temel sinyalin tam tek sayı katlarında (3, 5, 7 gibi) oluşur. Frekansı 50Hz olan bir sinyalin harmonikleri sırasıyla 150Hz, 250Hz, 350Hz ve tek katları şeklinde devam etmektedir. Şekil 3.1'de frekansı 50Hz olan sinyale ait temel sinyal ve harmonikleri görülmektedir [22].





**Şekil 3.1** Temel sinyal ve harmonikleri.



**Şekil 3.2** Temel sinyal ve bileşke sinyal.

Şekil 3.2'de Temel sinyal ve bileşke sinyal görülmektedir. Bu bileşke sinyal şekil 3.1'de görülmekte olan harmonik sinyallerin toplamlarıyla oluşmaktadır. Harmonikler elektriksel sistemlerde istenmeyen etkilere neden olmaktadır. Harmonik,

- Elektrik motorlarının gürültülü çalışmasına
- Kabloların ısınmasına
- Transformatörlerin aşırı ısınmasına
- Enerji tüketiminde dengesiz artışa
- Güç faktörlerinin değişimine

- Elektrikli cihazların ömrünün kısılmasına
- Ses ve görüntü cihazlarında parazite neden olmaktadır [.22].

Harmonik oluşmasına neden olan cihazların bir kısmı şunlardır,

- Kesintisiz güç kaynakları
- Jeneratörler
- Bilgisayarlar
- Frekans çeviriciler
- Motor hız kontrol devreleri
- Elektrikli ulaşım cihazları
- Gerilim düzenleyicileri
- Yenilenebilir kaynaklar

Yenilenebilir kaynaklardan harmonik oluşmasına neden olan yapılar arasında fotovoltaik sistemler de yer almaktadır. Bu sistemlerde harmoniklerin oluşmasına neden olan yapı, anahtarlama elemanlarının çalışma frekansından kaynaklanmaktadır[22].

### 3.2 Toplam Harmonik Distorsiyonu

Toplam harmonik distorsiyon (THD) da iki hesaplama mevcuttur. Birinci gerilim THD'si deklemler 3.3'te görülmektedir. Buradaki denklemlerde harmonik genliklerinin karelerinin toplamının karakökünün temel sinyale oranı genlik THD'yi verir. Bu denklemi akım için derlediğinde deklemler 3.4 çıkmaktadır.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (\text{Denklem 3.3})$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (\text{Denklem 3.4})$$

Deklem 3.3 ve denklem 3.4 görüldüğü gibi sinyalde harmonik yoksa  $V_3, V_5, V_7$  ve  $V_n$  sıfır olduğundan dolayı THD sıfır çıkmaktadır yani distorsiyon yoktur.

### 3.3 Harmonik Standartları

Elektrik enerjisi kullanıcılarının ve tedarik firmalarının enerji iletiminde ve tüketiminde kullanılan enerjisinin kaliteli yani harmoniksiz olması istenir. Elektrik enerjisinin daha az zarar ile enerji kullanımı için harmonik bileşenleri için bazı ülkeler sınırlamalar getirmiştir.

IEEE-519 ve VDE-0839'da endüstriyel kullanıcılar ile elektrik üretim ve dağıtımıyla ilgili harmonik standartlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu standartlarda akım ve gerilim sinyallerinde oluşan harmonik bileşenlerin toplamının, temel bileşene oranı verilmiştir.

Ülkemizde ise enerji kalitesinin izlenmesi EN 50160 standartları altında toplanmıştır. EN 50160 standartları açılımı “Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik” e göre yapılmaktadır [14]. Harmonik ölçüm ve sınır değerleri “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği” ile “Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği” tarafından belirlenmektedir. Akım harmonik sınır değerleri Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği’nde, gerilim harmonik sınır değerleri de Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği’nde yer almaktadır[14]. Tablo 3.1'de harmoniklere ilişkin gerilim sınır değerler gösterilmiştir.

**Tablo 3.1** Gerilim harmonikleri için sınır değerler

Gerilim kademesine göre gerilim harmonik limitleri		
Bara Gerilim	Bireysel gerilim harmonik bozunumu (%)	Toplam THD (%)
69kV ve altı	3	5
69kV - 161kV	1,5	2,5
161kV ve üstü	1	1,5

### 3.4 İnverter Topolojisinde Harmonik

Güneş pillerinin kullanımı yaygınlaştıkça sisteme bağımlı çalışan inverter sistemleri gelişmiştir. Bu sistemlerde kullanılacak inverter topolojisinin seçimindeki en önemli kriterler güç, verim ve maliyet iken harmonik distorsiyonda önemlidir.

Tez devresinde uygulanacak devre tasarımında kullanılan CCM anahtarlama moduna göre literatürde yapılmış diğer devrelerin güç, verim ve THD değerleri tablo 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.2** Flyback devre tasarımında THD oranları[27,28]

Devre	İletim Modu	Filtre Durumu	Çıkış Gücü	Verim	THD
C. Özçiftçi devresi	CCM	Var	100W	%79	%7,4
Hu, Haibing. Q, Zhang. Z. Hohn I. Batarseh. devresi	CCM	Var	100W	%90	%1,7
Li,Y. ve Oruganti, devresi	CCM	Var	200W	%87,4	%4,4
A. Dumais. ve S. Kalyanaraman Devresi	CCM	Var	215W	%94,8	%4

Tablo 3.2'de görüldüğü üzere A. Dumais. ve S. Kalyanaraman tarafından yapılan uygulama devresi verim olarak daha iyi ve THD kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir. Bu devre incelendiğinde flyback çalışma frekansı olarak 52kHz ve çalışma modu olarak da sürekli iletim modu seçilmiştir. H köprüsünde hızlı mosfetler kullanılmıştır.

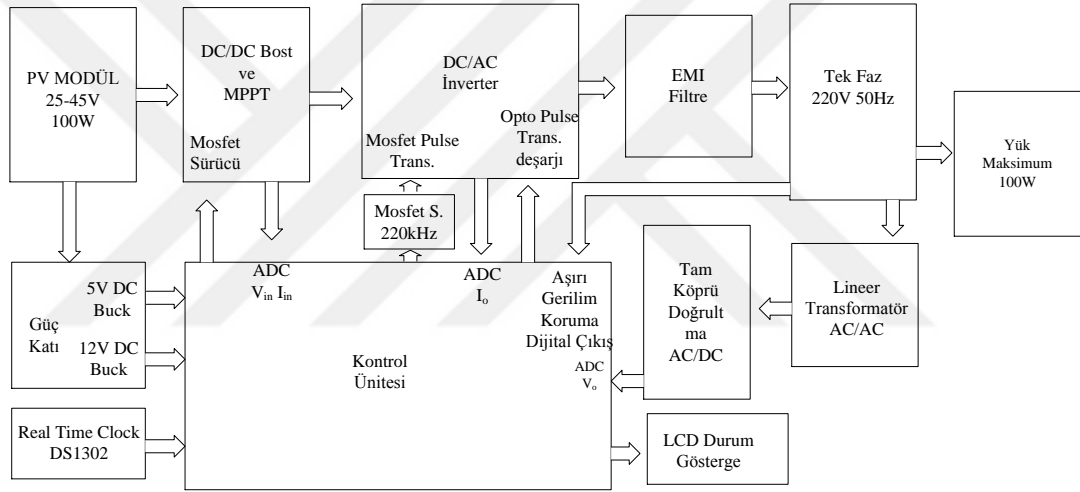
Yapılacak tasarım uygulamasında flyback anahtalama frekansı 52kHz ve sürekli modda çalışma seçilmiştir.



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### TASARIM VE UYGULAMA

Tezin bu bölümünde prensibi ve yöntemi açıklanan sistemin uygulaması anlatılmaktadır. Bu tasarım ve uygulamaya ait devrenin blok diyagramı şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Tasarlanan devrenin blok diyagramı.

Blok diyagramda devrenin kontrolünü mikrodenetleyici tarafından yapılmaktadır. Bu mikrodenetleyici ile çevirici giriş akımını, çevirici giriş gerilimini, çıkış akımını ve çıkış gerilimini ölçmek için 4 tane 10 bit ADC girişi kullanılmıştır. Ayrıca flyback çeviricinin anahtarlama elemanını ve köprü tipi inverter anahtarlama elemanlarını kontrol etmek için 2 PWM çıkışı kullanılmıştır.

#### 4.1 Tasarımın Malzeme Seçimi

Tasarımda kullanılan güneş panelin çıkış voltajı 25-45V aralığında açık devre voltajı ortalama 55V maksimum gücü 120W kabul edildiğinde çekilecek maksimum akım 3,5A civarında olmaktadır. Flyback çevirici yapılarında en iyi verim 50KHz

civarında olduğu göz önüne alındığında, çevirici kısmında bu çalışma frekansına ve giriş gerilimine uygun mosfet ve pasif elemanlar seçilmiştir. Verim %100 kabul edildiğinde ise çıkış gücü, giriş gücüne eşit olmaktadır. Bu durumda çıkış akımı 0,45A olur. Çıkış gerilimi 220V 50Hz olması gerektiği değerlendirildiğinde çıkış evirici kısmında kullanılması gereken malzemelerin bu çıkış gerilimine ve frekansına uygun olmalıdır. Bu veriler doğrultusunda malzeme seçimi yapılmıştır.

#### **4.1.1 Mikrodenetleyici Seçimi**

Tez çalışmasının verimini yüksek tutmak için, ölçüm sonuçlarının hızlı alınıp bu ölçüm sonuçlarına göre PWM sinyallerin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışma frekansı, ADC kontrolü hassas, PWM çözünürlüğü yüksek ve birden fazla PWM frekansı uygulamaya imkan veren microchip firmasının dspic30f4011 serisi mikrodenetleyicisini kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyici farklı çalışma frekansına ve dört PWM çıkışına sahiptir. Bellek kapasitesi incelendiğinde çalışma için yeterli olduğu görülmektedir. Dspic30f4011 kontrolcünün diğer özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- 48Kbayt Program hafızası
- 1024Bayt EEPROM
- 5 tane 16 bit Timer
- 4 tane PWM kontrolü ve ayrıca 6 kanal PWM motor kontrolü
- 9 kanal ADC
- 120MHz'e kadar çalışabilme özelliği bulunmaktadır.

#### **4.1.2 Mosfet Seçimi**

Tasarımda iki grup mosfet bloğu bulunmaktadır. Birinci kısım transformatörün primer sargısını süren anahtar, ikinci kısım H köprüsünü yani tam dalga sinüsü veren mosfet grubudur.

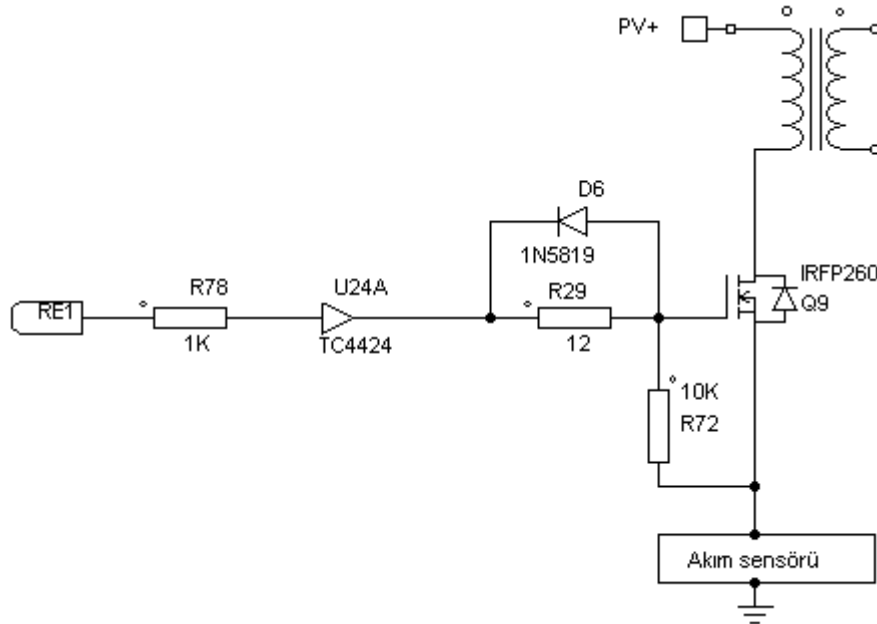
Birinci mosfet grubunun seçimi, flyback anahtarlama elemanı olarak kullanımın uygun olmalıdır. Anahtarlama frekansı 52kHz  $I_{ds}$  akımı 3,5A ve kontrol edilecek gerilim maksimum 55V'tur. Bu veriler ışığında mosfetin Drain-Source

direnci çok küçük, voltajı ise en az 55Volttan büyük olmalıdır. N kanal IRFP260 mosfetinin yapısı incelendiğinde  $R_{DS}$  direnci  $0.055\Omega$  ve  $V_{DS}$  gerilimi 200V olduğu görülmektedir. Mosfetin üzerinden maksimum akım (2,5A) geçtiğinde mosfetin üzerinde harcanan güç 0,34W olmaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda tasarıma uygun giriş-çıkış gerilim yelpazesine sahip ve çalışma frekansına uygun olduğu görülmüştür.

İkinci mosfet grubu dört mosfetten oluşmakta ve burada mosfetlerin kullanım amacı H köprüsünde yarım dalga sinüs sinyali tam dalga sinüse çevirmesi beklenmektedir. Bu mosfetlerin çalışma frekansı 50Hz,  $I_{ds}$  akımı 0,5A ve  $V_{ds}$  gerilimi 350V'tan fazla olması gerekmektedir. Belirtilen kriterlere göre ve fiyat baz alınarak seçim yapıldığında Vishay firmasının IRFP460 model N kanal mosfeti seçilmiştir.

#### 4.1.3 Mosfet Sürücü Seçimi

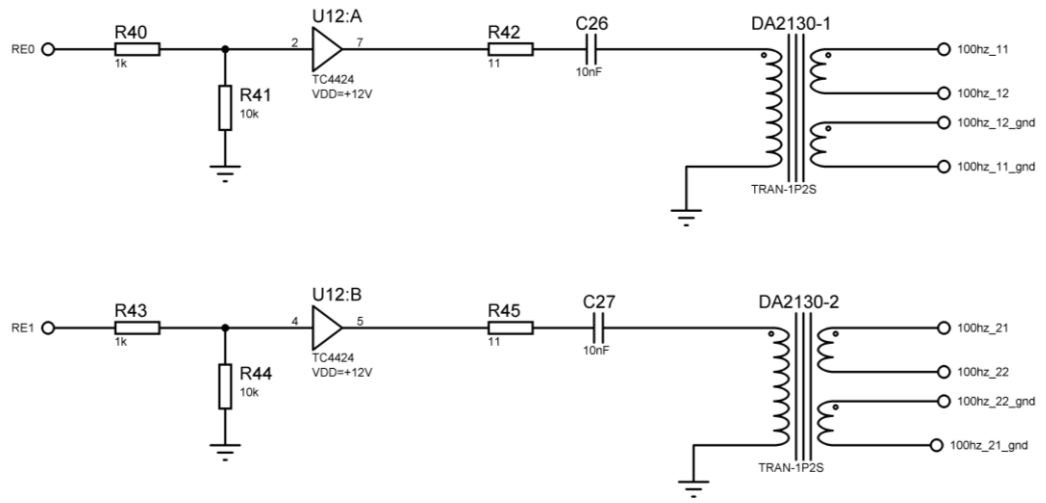
Bu tasarımda flyback anahtarlama mosfeti primer sargısı tarafında bulunurken H köprüsü mosfetleri sekonder tarafında bulunmaktadır. Flyback anahtarlama mosfeti yani IRFP260 sürmek için TC4424 mosfet sürücü seçilmiştir. Mosfet sürücüsüne ait devre şeması şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 SMPS transformatörünün sürülmesi

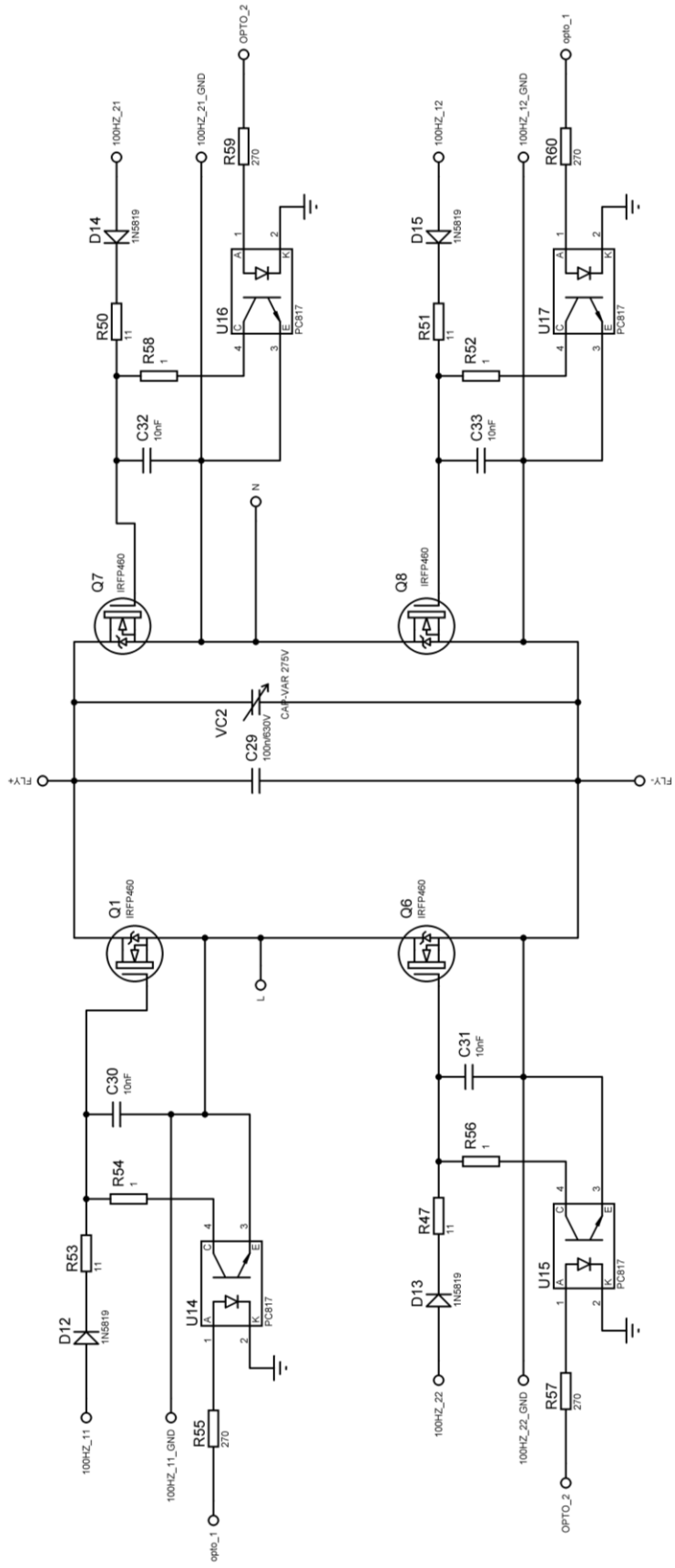


Kontrolcü transformatörün birinci sargı tarafında bulunmaktadır ve bu durum ikinci sargı kısmındaki mosfetleri sürmek için ikinci sargı kısmında hem 12VDC besleme hem de yalıtım için optokuplör gerekmektedir. Bu durumda DC beslemeyi oluşturmak için transformatör yapısında ekstra sargı gerektirmektedir. Bu sargı ekstra 12VDC besleme devre için malzeme maliyetini arttıracak hem de devrenin verimini düşürmektedir. Mosfetleri sürmek için ikinci sargı kısmında ekstra sargı yerine pulse transformatörü kullanılması daha uygun olmaktadır. Pulse transformatörünün devre şeması şekil 4.3'te görüldüğü gibi kullanılmaktadır.



**Şekil 4.3** H köprüsünün sürülmesi

Pulse transformatörü kullanarak mosfet aktif edilmek istendiğinde transformatörün primer sargısına 200kHz frekansında %50 görev süresi PWM sinyali uygulanmaktadır. Uygulanan bu sinyal ikinci sargı kısmında sargı sayısı aynı olduğundan dolayı aynen görülmektedir. İkinci sargısından alınan bu sinyal 100nF kondansatör yardımıyla filtre edilerek mosfet sürülmektedir. Aktif olan mosfet pasif hale getirmek için PWM sinyalini kesmek yeterli olmaktadır. PWM sinyali kesilen pulse transformatörünün iç yapısının temelinde bobin olduğundan dolayı bir süre gecikmeli deşarj olmaktadır. Bu gecikme süresini ortadan kaldırmak için sekonder sargısını deşarj etmeyi sağlayan ayrı bir optokuplör kullanılmıştır. PWM-1 sinyali kesildiğinde şekil 4.4'te görülmekte olan U4(PC817) aktif olduğunda mosfet daha hızlı kesime gitmektedir. Bu duruma ait sinyal görüntüsü kod yazılımı kısmında daha detaylı görülmektedir.



Şekil 4.4 H köprüsü

#### 4.1.4 Transformatör Seçimi

Tasarımda geri dönüş (feedback) akım ve gerilim bilgileri transformatöre yapılan ekstra sargı yerine optokuplör ve yalıtımlı sensörlerden alınması planlanmıştır. Ayrıca tam köprü inverterde bulunan 4 adet mosfeti anahtarlama için sekonderden başka sargı yapılmamaktadır. Üçüncü sargı yerine pulse transformatörü kullanarak mosfetler anahtarlama yapılmıştır. Transformatörün primer  $N_P/N_S$  oranını hesaplanırsa,

$$N = \frac{(1-D) V_O}{D V_i} \quad (\text{Denklem 4.1})$$

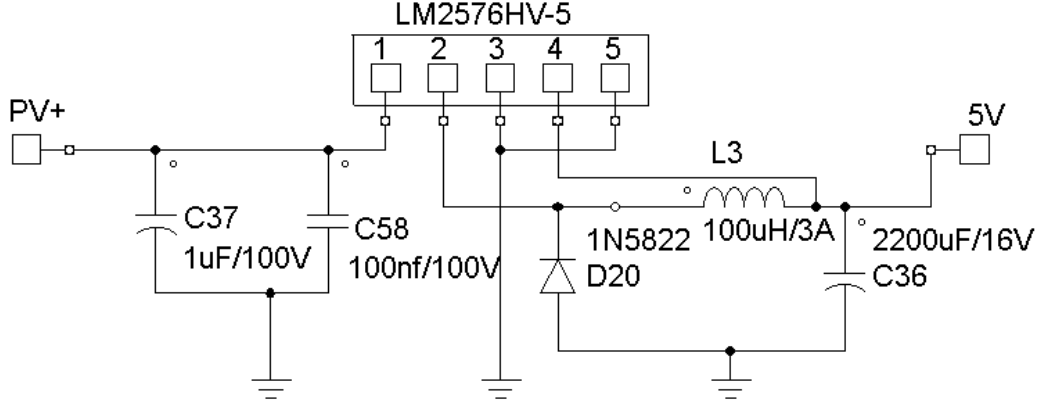
$$N = \frac{(1 - 0,75) 230}{0,75 \cdot 35} = 6,5$$

olarak bulunur. Tasarıma uygun 100W gücünde 1:7 dönüştürme oranına sahip smps transformatörlerine bakıldığında Coilcraft firmasının üretmiş olduğu hazır NA5814AL kodlu ürünü kullanılmıştır. Bu transformatörün birinci sargı direnci  $0,047\Omega$  ikinci sargı direnci ise  $0,360\Omega$ 'dur.

#### 4.1.5 Yarıiletken Malzemelerin Besleme Gerilimi Sağlanması

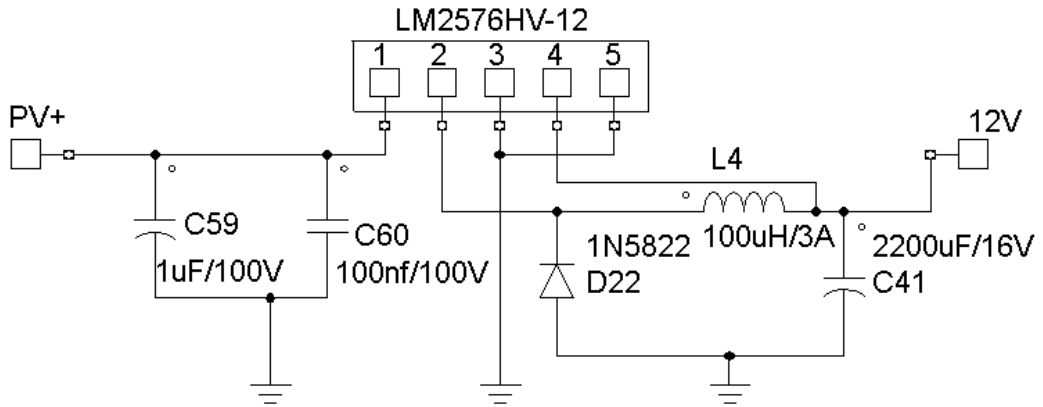
Bu kısımda mikrodenetleyici, mosfet sürücü ve lcd panelin çalışabilmesi için gerekli olan DC beslemenin tasarlanması ele alınmıştır.

Mikrodenetleyici ve lcd panel toplamda yaklaşık 200mA akım çekmekte ve 5VDC ile çalışmaktadır. Bu enerjiyi sağlamak için yapısında Buck dönüştürücü olan LM2576HV-5 serisi regülatör entegresi kullanılmıştır. Bu regülatör entegresinin giriş voltajı maksimum 60V ve maksimum çıkış akımı 3A dir. Devre şekil.4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 LM2576-5 kullanarak 5V doğru akımın elde edilmesi.

Mosfet sürücü kısmı için LM2576HV-12 kullanılmaktadır. Devre şeması şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6 LM2576-12 kullanarak 12V doğru akımın elde edilmesi.

#### 4.1.6 Güneş Panelinde Gerilimin Ölçülmesi

Güneş panel geriliminin ölçme işlemi basit gerilim bölme yöntemiyle yapılmıştır. Şekil 4.7'de devre yapısı görülmektedir.

$$V_{PVVOLTAJ} = \frac{R_{69}}{R_{68} + R_{69}} V_{panel} \quad (\text{Denklem 4.2})$$

$$V_{PV\_VOLTAJ} = \frac{10}{120 + 10} V_{panel} = \frac{V_{panel}}{13}$$

Panel gerilimi maksimum yani 50V olduğunda

$$V_{PV\_VOLTAJ} = 3.84V$$

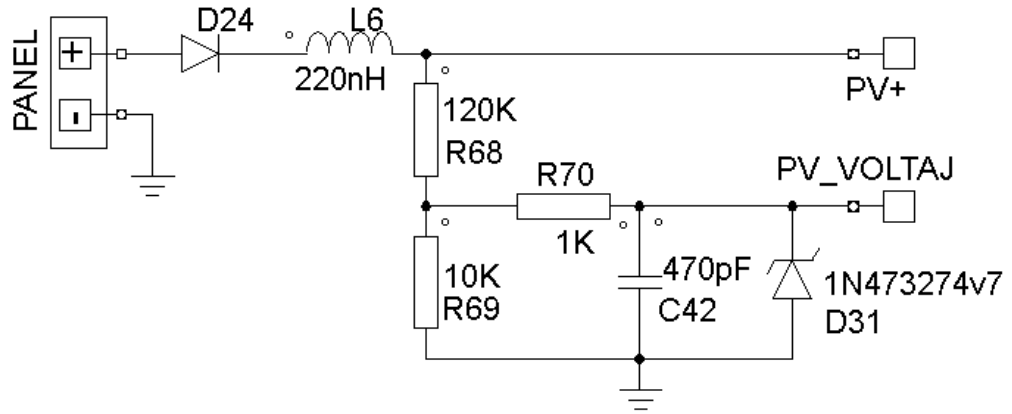
olmaktadır. R<sub>70</sub> ve C<sub>42</sub> elemanları filtreleme görevi yaparken D<sub>31</sub> 4.7V zener diyodu olası yüksek gerilimde mikrodenetleyiciyi korumaktadır. V<sub>PV\_VOLTAJ</sub> Mikrodenetleyicinin 10 bit çözünürlükteki ADC girişine uygulanmıştır. Mikrodenetleyicinin referans voltajı 5V kabul edildiğinde bir sayısal birime karşılık gelen gerilim seviyesi,

$$\frac{5V}{1024} = 4,88mV$$

V<sub>PV\_VOLTAJ</sub> maksimum değerinde olduğunda microdenetleyici tarafından üretilen sayısal değer ise,

$$\frac{3,84V}{4,88mV} = 786$$

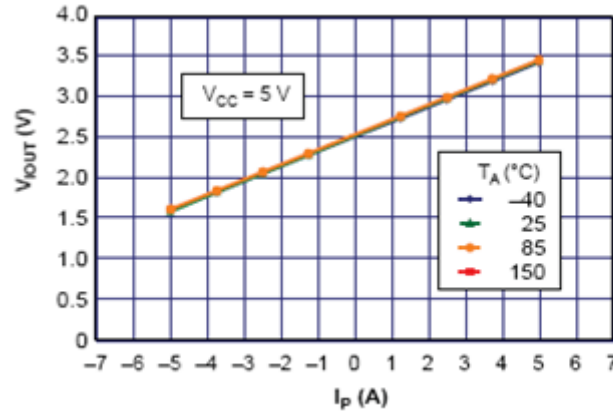
ADC tarafından okunan değer 786 olduğunda, panel için maksimum gerilim olduğunu ifade etmektedir.



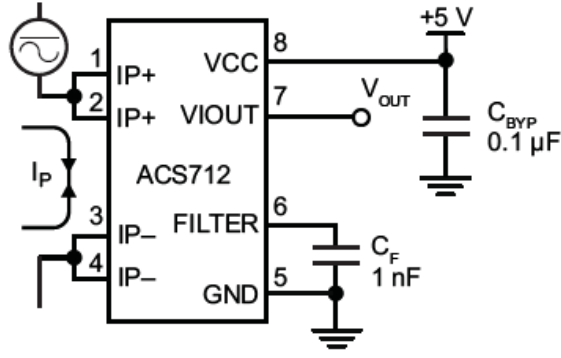
Şekil 4.7 Panel voltajının ölçülmesi

#### 4.1.7 Devrede Primer Sargısının Çektiği Akımın Ölçümü

Bu kısımda ACS712ELCTR-05B-T doğrusal artış gösteren akım sensörü kullanılmıştır. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da sensör iç yapısı ve çalışma karakteristiği görülmektedir. Bu sensörün yapısına göre P+ ve P- uçlarından akım aktığında  $V_{OUT}$  çıkışından 1,5-3,5V arası doğrusal genlik alınmaktadır. Bu alınan gerilim değeri mikrodenetleyici yardımıyla sayısal değere dönüştürülüp değerlendirilmektedir.



Şekil 4.8 ACS712ELCTR-05B çalışma karakteristiği



Şekil 4.9 ACS712ELCTR-05B Bağlantı şekli

#### 4.1.8 Aşırı Voltaj Koruma Bölümü

Bu bölümde, optokuplör ve karşılaştırıcı özelliği içinde barındıran Fairchild firmasının FOD2741 entegresi kullanılmıştır. Bu entegrenin çalışmasından ve yapısından bahsetmek gerekirse, Entegrenin COMP ucuna 2,5V veya daha fazla gerilim düşümü olduğunda optokuplörün içindeki led aktif olmakta ve bununla birlikte transistörü tetiklemektedir. Aşırı voltaj koruma kısmı şekil 4.10'da görülmektedir. Sistemin aşırı voltaj seviyesi,

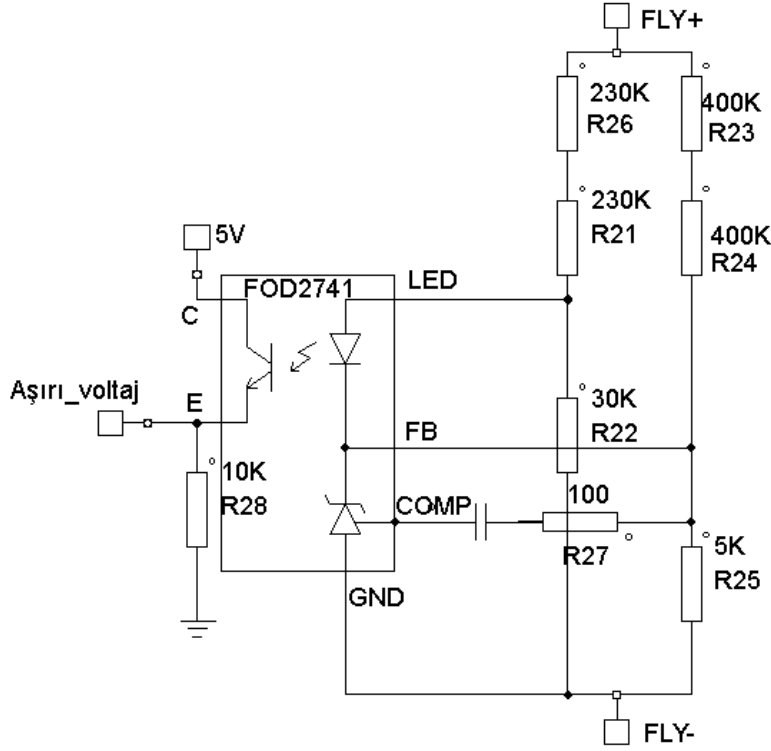
$$2,5 = \frac{V_{\text{over}}(R_{25})}{(R_{23}+R_{24}+R_{25})} \quad (\text{Denklem 4.3})$$

$$V_{\text{over}} = \frac{2,5(R_{23} + R_{24} + R_{25})}{R_{25}}$$

$$V_{\text{over}} = \frac{2,5(400 + 300 + 5)}{5}$$

$$V_{\text{over}} = 352,5V$$

$V_{\text{over}}$  yani çıkış gerilimi 352,5V olduğunda, sistemi aşırı voltaj korumasına almaktadır. Kullanıcı sistemi tekrar aktif edene kadar beklemede kalmaktadır.



Şekil 4.10 Aşırı voltaj koruma devresi

#### 4.1.9 Çıkış Filtresi

Önceki bölümlerde iyi bir inverter devresinde THD seviyesinin %5'in altında olması gerektiğinin üzerinde durulmuştu. İnverter çıkışında basit LC filtre kullanılmaktadır. Bu filtrede endüktans hesabı denklem 4.4'te görüldüğü gibi yapılmaktadır.

$$L_f = \frac{V_{FV} x D x (1-D) x \pi}{f_{sw} x \sqrt{3} x \delta i_g} \quad (\text{Denklem 4.4})$$

Burada  $\delta i_g$  IEEE 519-1992 standartlarıyla belirlenen şebekeye yük aktaran inverterdeki akımın gürültü değeridir. Bu değer %0,3 olarak alınmaktadır [21].

$$L_f = \frac{40 x 0,5 x 0,5 x 3,14}{52000 x \sqrt{3} x 0,3} = 1,16 mH$$



Filtre endüktans değeri 1,16mH olarak bulunmuştur. Çıkış kapasitans değeri denklem 4.5 ile bulunur. Bu denklemdeki  $L_f$  filtre endüktasını,  $f$  ise anahtarlama frekansıdır.

$$C_o = \frac{1}{f_{sw}^2 x L_f} \quad (\text{Denklem 4.5})$$

$$C_o = \frac{1}{52000^2 \times 0,001} = 369nF$$

Filtre kapasitans değeri 369nF olarak bulunmuştur.

#### 4.2 Devre Kayıpları

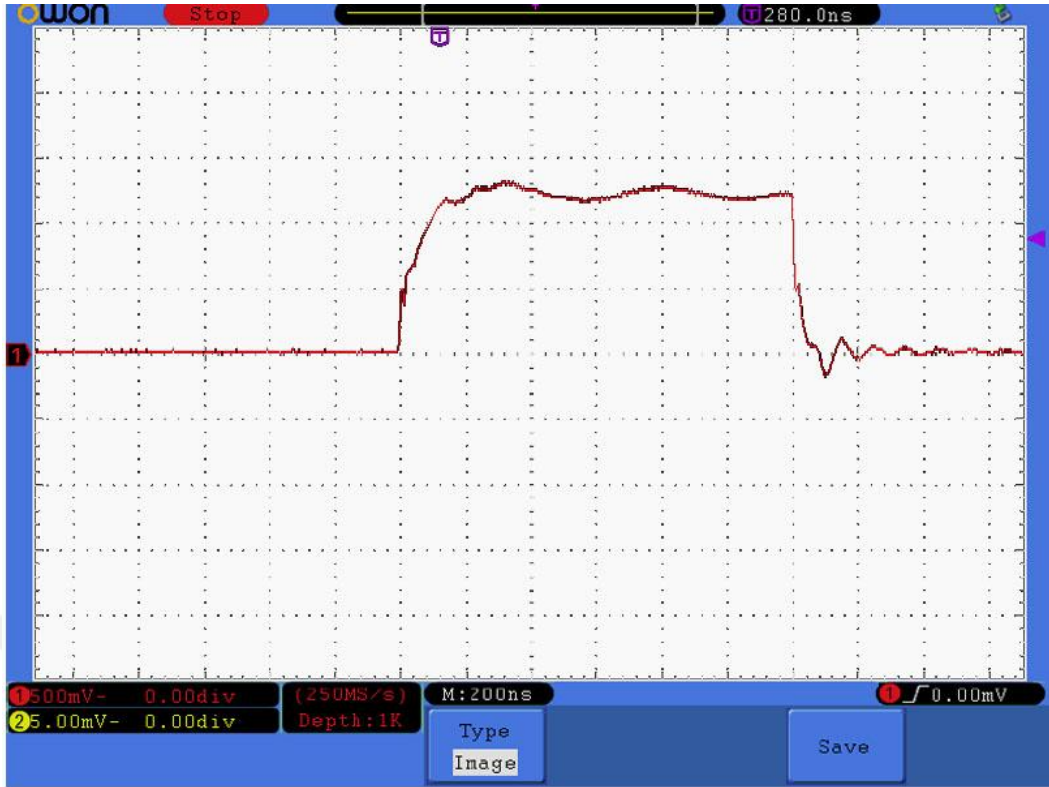
Devrede bulunan yarıiletken malzemelerin kayıpları üreticilerin sağladığı teknik bilgiler doğrultusunda hesaplanabilir[17].

Devrede bulunan anahtarlama elemanı mosfetlerin anahtarlama kaybı denklem 4.6'da iletim kayıpları ise denklem 4.7'de gibi hesaplanabilir [17]. Denklemlerde görülmekte olan  $f_a$  anahtarlama frekansı,  $V_a$  mosfetin üzerine düşen gerilim,  $t_{rise}$  mosfetin kesimden ilettime geçme süresi,  $t_{fall}$  mosfetin iletimden kesime geçme süresi,  $d$  görev saykılı,  $R_{ds(on)}$  mosfetin drain-source direnci ve son olarak da  $I_i$  mosfetin iletimde iken üzerinden geçen akımı temsil etmektedir.

$$P_{kayıp_a} = \frac{1}{2} f_a V_a I_a (t_{rise} + t_{fall}) \quad (\text{Denklem 4.6})$$

$$P_{kayıp_i} = d R_{ds(on)} I_i^2 \quad (\text{Denklem 4.7})$$

Tasarlanan devrede bir tane IRFP260 ve dört tane IRFP460 mosfet bulunmaktadır. IRFP260 . mosfetinin üretici firmanın vermiş olduğu bilgi  $t_{rise} = 120ns$ ,  $t_{fall} = 94ns$  ve  $R_{ds(on)} = 0,055\Omega$  olduğu görülmektedir. Şekil 4.11'de mosfetin osilokop çıkışı incelendiğinde bu verilerin birebir uyduğu görülmektedir.



Şekil 4.11 IRFP260 mosfetinin yükselme ve düşme osiloskop çıkışı

$$P_{kayıp_a} = \frac{1}{2} 52 \times 10^3 \times 40 \times 2,5 (120 + 94) \times 10^{-9}$$

$$P_{kayıp_a} = 0,556W$$

$$P_{kayıp_i} = 0,5 \times 0,055 \times 2,5^2$$

$$P_{kayıp_i} = 0,171W$$

IRFP260 mosfetinin toplam anahtarlama kaybı,

$$P_{kayıp_{toplam}} = P_{kayıp_a} + P_{kayıp_i}$$

$$P_{kayıp_{toplam}} = 556 \times 10^{-3} + 171 \times 10^{-3} = 727 \text{ mW}$$

H köprüsünde kullanılan IRFP460 mosfetinin kaybı,

$$P_{kayıp_a} = \frac{1}{2} 50 \times 300 \times 0,4 (18 + 58) \times 10^{-9}$$

$$P_{kayıp_a} = 0,174 mW$$

$$P_{kayıp_i} = 1 \times 0,027 \times 0,4^2$$

$$P_{kayıp_i} = 4,32 mW$$

IRFP460 her bir mosfetin toplam kaybı,

$$P_{kayıp_{toplam}} = P_{kayıp_a} + P_{kayıp_i}$$

$$P_{kayıp_{toplam}} = 0,174 \times 10^{-3} + 4,32 \times 10^{-3} = 4,494 mW$$

H köprüsünün toplam kaybı,

$$P_H = P_{kayıp_{toplam}} \times 4 = 17,97 mW$$

Mosfetlerde harcanan toplam güç ise,

$$P_{mosfet} = P_{Flyback} + P_H$$

$$P_{mosfet} = 4,38 + 18 = 22,3 mW$$

Doğrultucu diyotun ters toparlanma kaybı ve iletim kaybı , denklem 4.8'de ve denklem 4.9'da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır [17].

$$P_{kayıp_{diyot-tt}} = \frac{1}{2} f_a V_B I_{RRM} t_{RR} \quad (\text{Denklem 4.8})$$

$$P_{kayıp_{diyot-il}} = (1 - d) V_F I_F \quad (\text{Denklem 4.9})$$

$$P_{kayıp_{diyot-tt}} = \frac{1}{2} 52 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-9}$$

$$P_{kayıp_{diyot-il}} = 0,5 \times 1 \times 0,4 = 0,2W$$

Diyot üzerinde toplam gücün toplamında  $P_{kayıp_{diyot-tt}}$  gücü çok küçük olduğundan hesaplanmamıştır. Bu durumda diyot üzerinde harcanan güç 0,2W olmaktadır.

Tasarımda kullanılan smps trafosunda iki kayıptan söz edebiliriz. Birinci kayıp bakır kaybı, ikinci kayıp ise çekirdek kaybı olmaktadır. Katalog değerlerine bakıldığında primer iletken direnci 0,0475Ω, sekonder iletken direnci ise 0,360Ω olduğu görülmektedir. Bu değerlere göre smps trafosunun primer sargı kaybı denklem 4.10'da ve denklem 4.11'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$P_{primer} = I^2 \times R_{primer} \quad (\text{Denklem 4.10})$$

$$P_{primer} = 2,5^2 \times 0,0475 = 296mW$$

$$P_{sekonder} = I^2 \times R_{sekonder} = 1024mW \quad (\text{Denklem 4.11})$$

$$P_{sekonder} = 0,4^2 \times 0,360 = 57mW$$

Çekirdek kaybı, katalog değerlerine bakıldığında ortalama 1,4W olduğu görülmektedir. Toplam smps trafosunun kaybı,

$$P_{trafo} = P_{primer} + P_{sekonder} + P_{çekirdek} \quad (\text{Denklem 4.12})$$

$$P_{trafo} = 296 + 57 + 1400 = 1753mW$$

Tasarımda harcana kayıp güç,

$$P_{toplam\ kayıp} = P_{Imosfet} + P_{smgs\ trafosu} + P_{diyot} \quad (\text{Denklem 4.13})$$

$$P_{toplam\ kayıp} = 22 + 1753 + 200 = 1975mW$$

Tasarım maksimum güçte çalıştığında oluşacak yarıiletken ve transformatör kayıpları hesaplanmıştır. Toplam kayıp ise 1975mW olarak bulunmuştur. Bu veriler doğrultusunda devrenin verimi hesaplanabilir. Buna göre tasarımın verimi denklem 4.14'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta = \% \frac{P_o}{P_o + \sum P_{kayıp}} \times 100 \quad (\text{Denklem 4.14})$$

$$\eta = \% \frac{100}{100 + 3,589} \times 100 = \%96,5$$

olarak bulunur. Uygulamada diğer malzemelerden de kaynaklanan kayıplardan dolayı bu verim daha da düşük olacaktır.

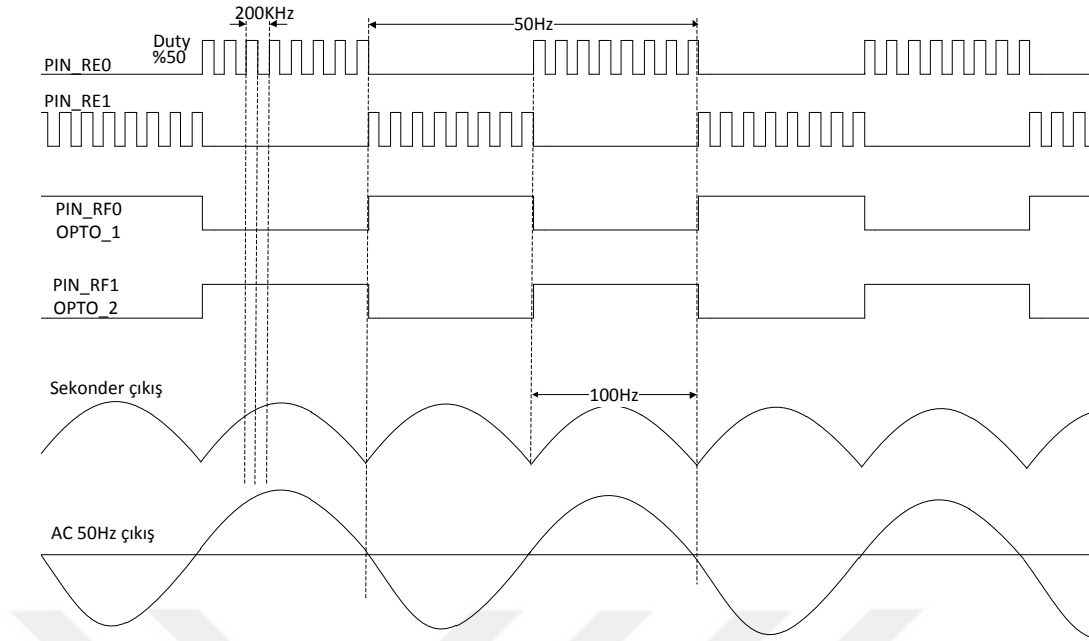
### 4.3 Devre Şeması ve Baskı Devre Kartı Çizimi

PCB kart şemasının oluşturulmasında ve simülasyonların gerçekleştirilmesinde Proteus 8.1 programı kullanılmıştır. Program yardımıyla devrenin şematiği ISIS kısmında çizilip daha sonra yine aynı programda ARES kısmında baskı devresi oluşturulmuştur. Bu program kullanım aşamasında devrede bulunan fakat program kütüphanesinde olmayan (pulse transformörü ve smps transformörü gibi) malzemelerin oluşturulması gerçekleşmiştir. Baskı devre yol çiziminde IPC-2221A standartları dikkate alınarak yüksek akım geçecek hatlar daha kalın ve yüksek gerilim geçecek hatlar arası (300V gibi) mesafe aralığı daha açık bırakılarak çizim yapılmıştır [21].

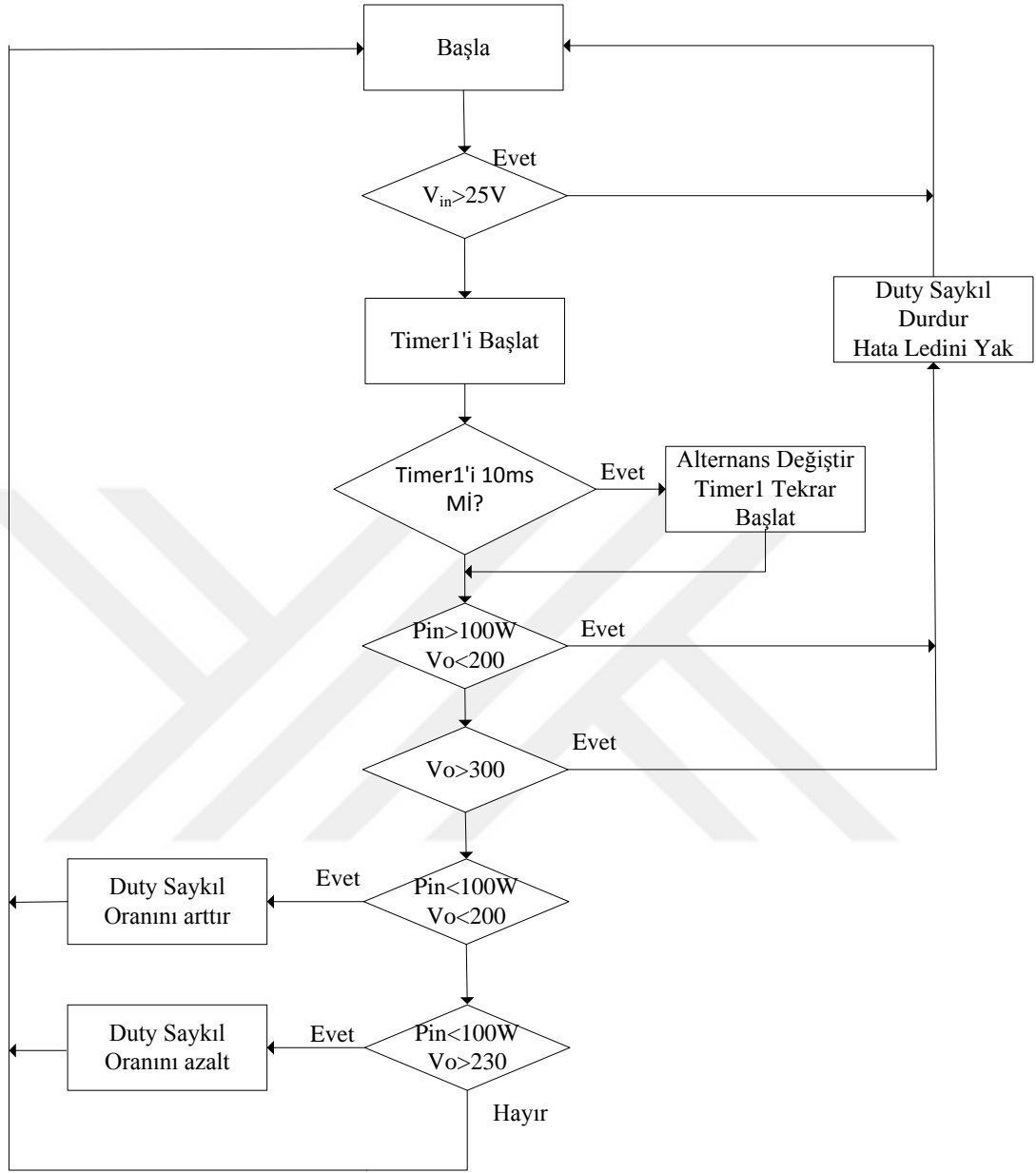
### 4.4 Devre Yazılımı

Devrenin yazılımı CCS firmasının derleyicisi kullanılarak C dili yazılmıştır. Tasarımda iki farklı PWM frekansı mevcuttur. Birinci PWM frekansı 52Khz ile Q<sub>9</sub>'u yani birinci sargısını kontrol etmektedir. İkinci PWM ise Q<sub>1</sub>, Q<sub>6</sub>, Q<sub>7</sub> ve Q<sub>8</sub>'i yani H köprüsünü kontrol etmektedir. Bu kısımdaki PWM 220KHz frekansında ve %50 görev süresi ile çalışmaktadır. 50Hz frekansında optokuplör çalışmakta ve 10ms Q<sub>1</sub>, ve Q<sub>8</sub>'i çalışmakta ve çıkış sinyalinin pozitif alternansı oluşmakta ve diğer 10ms'de ise Q<sub>6</sub>, ve Q<sub>7</sub> çalışmakta ve çıkış sinyalinin negatif alternansı oluşmaktadır. Bu durum şekil 4.12'de görülmektedir.

Tasarımda PV voltajı, PV akımı, çıkış gerilimi ve çıkış akımı, mikrodenetleyicinin A0, A1, A2 ve A3 ADC girişi ile okunup çıkış akım ve gerilim ölçümleri yapılmaktadır. Programın algoritması şekil 4.13'te görülmektedir.



**Şekil 4.12** Yarım dalga sinüs sinyalin tam dalga sinüs'e çevrilmesi.

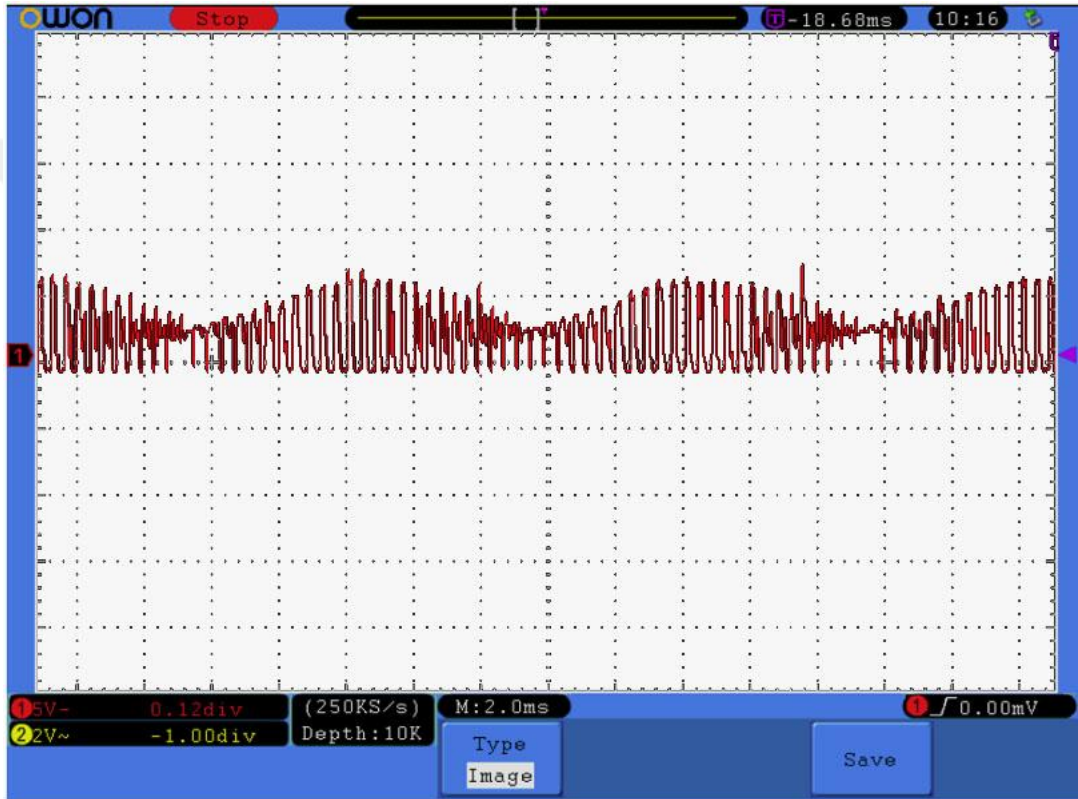


Şekil 4.13 Program algoritması.

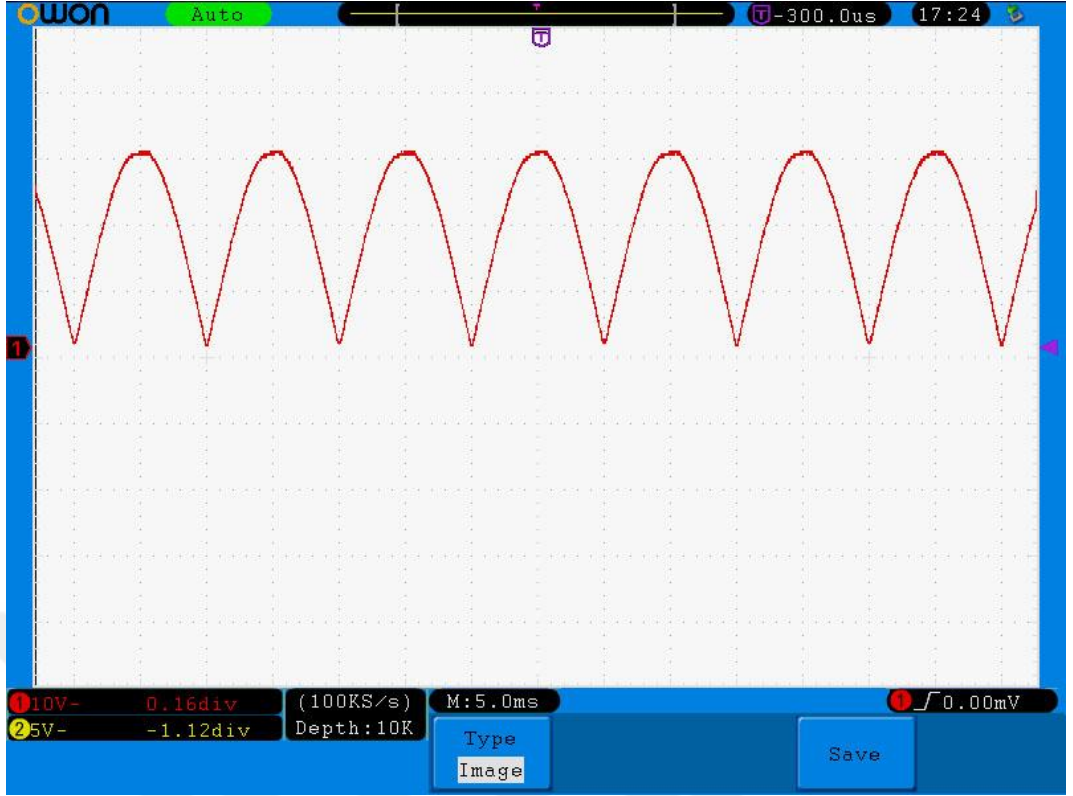


#### 4.5 Uygulama Sonuçları

Uygulama devresi, 100W'a kadar çeşitli yüklerde deney yapmak için farklı güçlerden seçilmiş lambalardan oluşmaktadır. Tasarım kısmı 2 ayrı blokta değerlendirme yapıldığında, ilk kısımda flyback çevirici yer alır. Flyback çeviricinin görevi, doğru akımı yarım dalga sinüs dalga şekline çevirmek. Bu kısımda sinüs dalgasını oluşturmada tablo yönteminden yararlanılmıştır. Şekil.4.14'te mosfet üzerindeki enerji değişimi görülmektedir. Ayrıca burada sinüs sinyalinin oluşması için verilen PWM sinyallerinin değişimi görülmektedir.

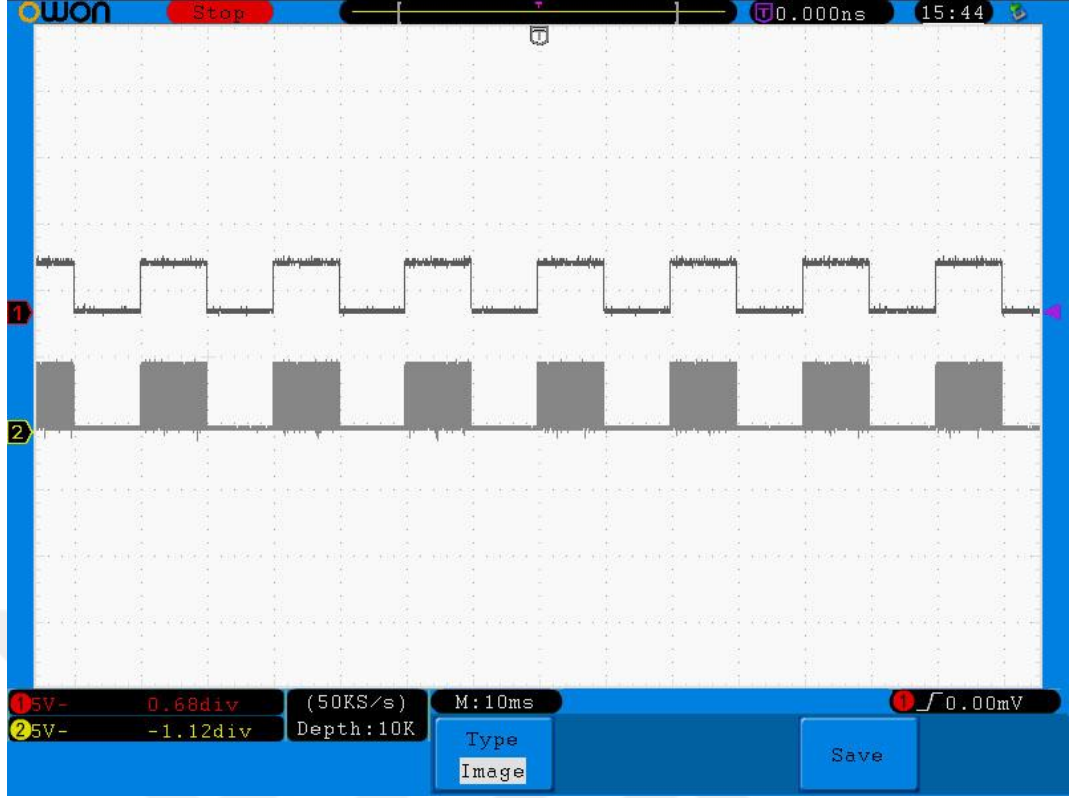


Şekil 4.14 Yarım dalga sinüs sinyal çıkışı PWM ile oluşması.



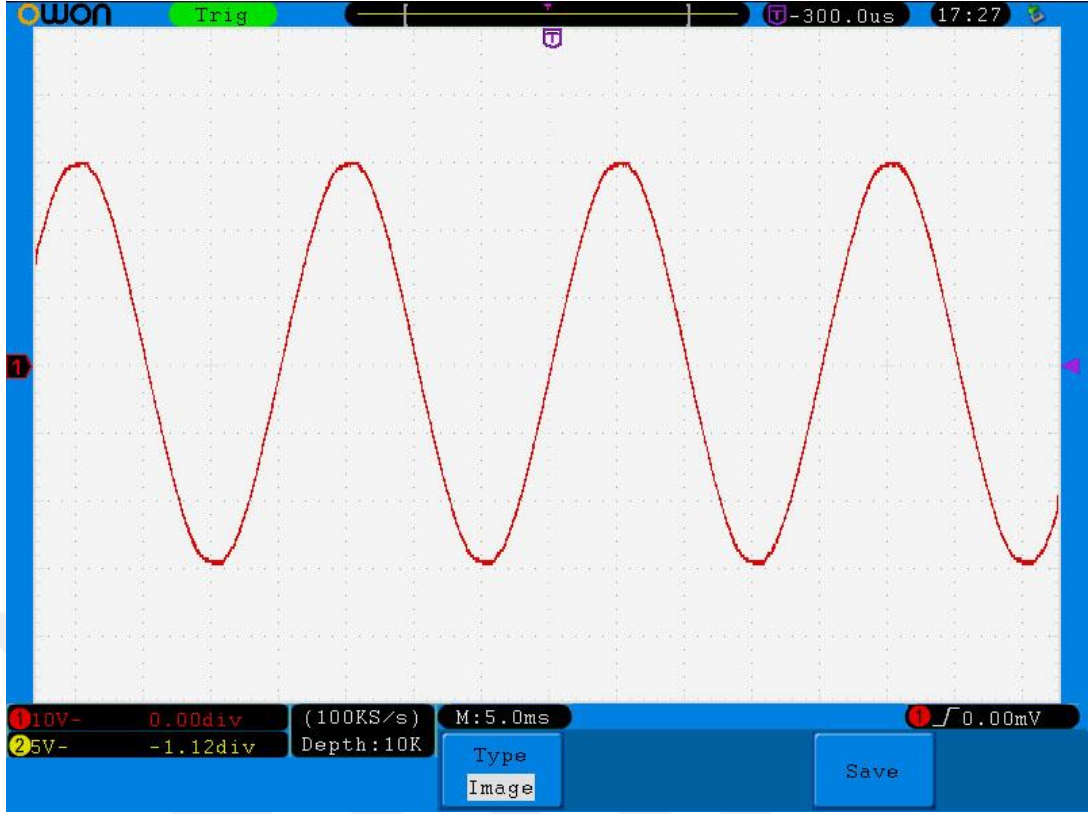
**Şekil 4.15** Yarım dalga sinüs sinyal çıkışı.

Yarım dalga sinüs çıkışı ise şekil 4.15 görülmektedir. Burada görülmekte olan sinyal 100Hz frekansında yarım dalga sinüs sinyalidir. Burada kontrolcü PWM sinyalini her 10ms'de bir sinüs tablo değerlerini tekrardan almaktadır. Bu yarım dalga sinüs sinyalinin çıkış grafiğinin düzgün çıkmasında en önemli faktörlerden birisi flyback diyodudur. Tasarımda bu diyot ( $D_{27}$ ) çalışma frekansı ve ters yönde toparlanma süresi bakımından önem arz etmekte. Tasarımda bu diyot schottky diyot olarak seçilmiştir.



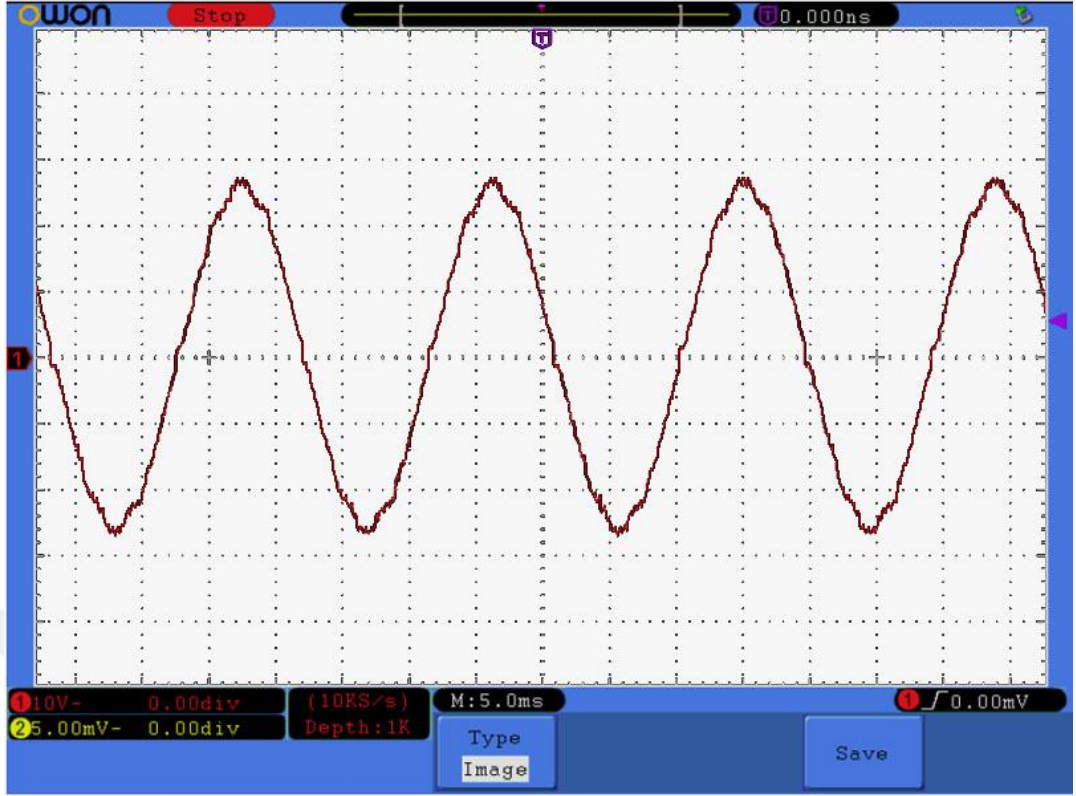
**Şekil 4.16** Tam köprü evirici tetikleme sinyal çıkışı.

Bu çalışmada ikinci kısım olarak tam köprü evirici kısmı ele alınabilir. Bu kısımda evirici tetikleme uçlarını birinci sargısından yalıtım için pulse transformatörü kullanılmıştır. Pulse transformatörünü 200KHz frekansta %50 görev süresi 10ms periyotlarla sürülmektedir. Başka bir deyişle çalışma periyodunu 20ms kabul edildiğinde, tam köprünün yarı süresi 10ms aktif, 10ms pasif bu durum sürekli bu şekilde devam etmektedir. Pasif olunan sürede mosfeti hızlı pasif etmek için gate ucunu sıfıra çekmek gerekmektedir. Bu durumdan dolayı PC817 optokuplörü aktif olmaktadır. Bu duruma ait dalga şekli şekil 4.16'da görülmektedir. Bu şekilde altaki sinyal 200KHz PWM sinyali, üsteki ise 20ms periyotlu PC817 optokuplör sinyalini göstermektedir.

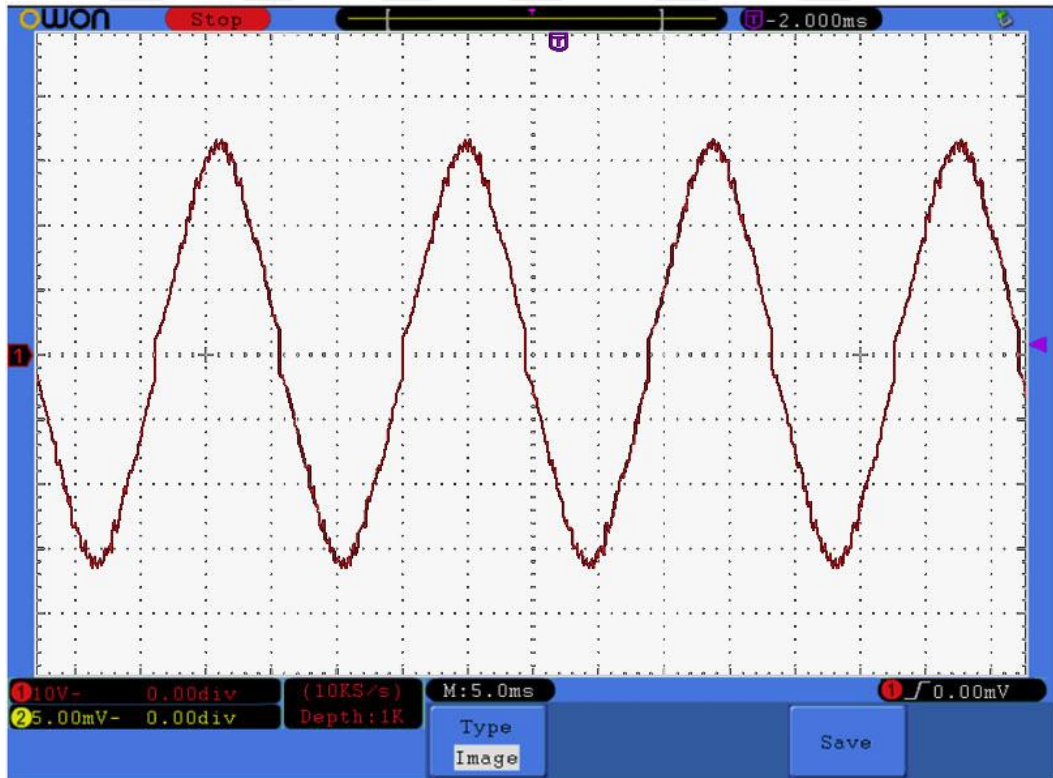


Şekil 4.17 50W çıkış sinyali.

Uygulama devresinin çalışması farklı yüklerde denenmiştir. Düşük güçte devrenin verimi düşük alınırken, yüksek güçte verimin arttığı görülmüştür. Devre girişine 24V Doğru akım verildiğinde çıkışta 220V 50Hz Alternatif akım elde edilmiştir. Bu durum sırasıyla 50W, 75W ve 100W güçlerde denemiştir. Bu deneylere ait osiloskop sinyalleri şekil 17'de 50W, şekil 18'de 75W ve şekil 19'da 100W yüklerdeki çıkış sinyalleri görülmektedir. Çıkış sinyal şekilleri her bir çıkışta frekans ve genlik ayarları bozulmamakta.



Şekil 4.18 75W çıkış sinyali.



Şekil 4.9 100W çıkış sinyali.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızlı artışı, her evin ve sanayinin elektrikle çalışan ağıtlara ulaşabilir durumda olması, elektrik enerjisine olan talebi gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu talebin artışıyla birlikte dünyada kullanılabilir enerji kaynaklarının ömrü ve bu kaynaklardan enerji üretiminin çevreye verdiği zararlar önem arz etmektedir. İstatistik verilerine göre günümüzde mevcut bulunan kaynaklarla enerji üretimi gerçekleştirildiğinde, petrolün 40 yıl, doğalgazın 60 yıl ve kömürün 200 yıl sürecek rezerv kaynaklarının olduğu tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisini, kontrolcü yardımı ile şebekeye paralel çalışan sabit genlik ve sabit frekansta çalışan maksimum 100W inverter tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. İkinci bölümde genel güneş enerjisi, kullanım ömrü ve Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli açıklanmıştır. Üçüncü bölümde harmoniklere neden olan yapılar ve inverter sistemlerinde harmonik azaltma yöntemleri açıklanmıştır. Tasarım kısmında devrenin oluşması için gerekli olan donanımlar alt kısımlarda açıklanmıştır. Uygulama sonucunda çıkan osiloskop çıkışları ve ölçülen akım-gerilim sonuçları grafikler üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

Güneş enerjiden elde edilen elektrik enerjisinin, diğer enerjilerden elde edilen elektrik enerjisine üretimine göre daha maliyetli olması, devre verimi ön plana çıkmaktadır. Tasarım ve uygulama kısmında, devrenin verimi arttırmaya yönelik gerilim streslerinden ve ısıl problemlerden uzak bir yol izlenmiştir.

Tasarımın gerçekleştirilmesinde kullanılacak malzemelerin seçiminde, devrenin gücü temel alınmıştır. Tasarımda Mikrodenetleyici olarak, ADC çözünürlüğü 10 bit, ve 9 adet PWM çıkışına sahip olan dspic30f4011 seçilmiştir. Bu mikrodenetleyici devrede kullanılan malzemeleri sürmek ve ADC kontrolü için iyi sonuç vermiştir. H köprüsünü yani yarım dalga sinüsü tam dalga sinüse çevirmek için kullanılan mosfet grubunu sürme işlemi pulse transformatörü kullanılarak tasarımın sekonder sargı kısmında ayrı bir doğru akım dönüştürücüye ihtiyaç



duyulmamıştır. Bu çalışmayla birlikte pulse transformatörü bu tür uygulamalarda verimli olduğu görülmüştür. Yarıiletkenlerden kaynaklı verim kayıplarını minimum hale getirmek için,  $V_{DS}$  yükselme süresi , düşme süresi ve  $R_{DS}$  en küçük olan mosfet seçilmiştir. Tasarımın verimi teorik olarak hesaplandığında %96,5 olarak bulunmuştur.

Tasarıma Flyback çevirici kısmında kaçak endüktansın enerjisini azaltmak için aktif veya pasif clamp devresi eklenerek mosfet üzerinde oluşan gerilim stresi bir miktar daha azaltılması sağlanabilir. Tasarımın THD seviyesini belirleyen en önemli unsurlarda biri flyback anahtarlama frekansı yer almaktadır. İnverter çıkış gücü arttıkça THD kalitesi düşmektedir. Bu nedenle devrenin çıkışına başka bir filtre modeli ile daha kaliteli THD elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Acarkan, B., Kılıç, O., İnan, A. (2004) Alçak Gerilimde Tek Fazlı Yüklere İçin Harmonik Akım Sınırları, *III. Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 84-88
- [2] Adak, S. (2010), Elektrik Tesislerinde Oluşan Harmonikler, Erişim Tarihi 01 Ocak 2016, <http://www.etmd.org.tr/etmd-arsiv-sayfasi/elektrik-tesislerinde-olusan-harmonikler>.
- [3] Akça, H. (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Beslenen Sistemlerde Kullanılan İnverter Devresinin Veriminin Arttırılmasına Yönelik Devre Tasarımı. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Bakan, F. Flyback Güç Kaynaklarının Tasarımı 1. Bölüm Erişim Tarihi 01 Ocak 2016, <http://www.yildiz.edu.tr/~fbakan/>
- [5] Bakan, F. Flyback Güç Kaynaklarının Tasarımı 2. Bölüm Erişim Tarihi 01 Ocak 2016, <http://www.yildiz.edu.tr/~fbakan/>
- [6] Bayraç, H. (2011) Küresel Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Uygulamaları. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.
- [7] Cangi, H. (2015) Harmonics Elimination In Photovoltaic System, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Zirve Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Deveci, F. Boztepe, M. Zengin, S. (2015), Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemler İçin Flyback Mikro-Evirici Tasarımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* ,30-36.



- [9] Doğan, H. (2014) Fotovoltaik Güneş Pilleri, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [10] Dolara, A. Faranda, R. Leva, S.. (2009). Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for PV Systems, J. Electromagnetic Analysis & Applications, 2009, 3: 152-162
- [11] Dumais, A. Kalyanaraman. S. (2012), Grid-Connected Solar Microinverter Reference Design, Microchip
- [12] Efe, S. (2006) Güç Sistemlerinde Harmonikler Ve Harmoniklerin Analizi, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [13] Erdoğan, Y., Dinçler T., Kuncan, M., Ertunç, H. (2014). Güneş Panelleri için Yüksek Verimli Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT)Tasarımı, Kocaeli Üniversitesi/Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.
- [14] Gmşsu, B. (2007 Kasım) Alçak Gerilim  Fazlı Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Harmonikler Ve Filtreleme zmleri, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı Bildirileri*, İstanbul.
- [15] Keskin, F. Ertuğrul, E. Enerji Sektörü (2009, Ağustos). *Türkiye Kalkınma Bankası A. Ő. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü* 46-62
- [16] Keskin, Y., akır, B. (2014). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemlerinin İncelenmesi, *3e Electrotech*, 245, 110-113.
- [17] Koparan, A. Aydemir, T. M. Őimşek, O. (2012 Haziran) 200 Amper, Yüksek Frekans Anahtarlamalı DA Kaynak Makinesinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 2, Sayı 3, 51-61

- [18] Moyano, C. ; Santacruz, X. ; Pou, J. ; Arias, A. (2008 Ağustos). Overview Of Maximum Power Point Tracking Control Techniques Used In Photovoltaic Systems, Technical University Of Catalonia/ Electronic Engineering Department.
- [19] Onat, N. Ersöz, N. (2009 Haziran) Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması, *V.Yenilenebilir Enerji Kaynaklar Sempozyumu*, Diyarbakır, 50-57
- [20] Özcan, E. S. (2013, Temmuz). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, *Bilim ve Teknik*, 548, 34-96.
- [21] Özçiftci , C. (2012), Şebekeye Enerji Aktaran Geri Dönüştürücü İnverter Tasarımı ve Uygulaması, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] Sarıkaya, S.(2016). Güneş Enerjisi Sektör Raporu, *Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı*, 9-40.
- [23] Şekkeli, M., Keçecioglu, Ö., Yıldız, C. (2013 Mayıs) Rüzgar Enerji Santrali Güç Kalite Parametrelerinin Gerçek Zamanlı Ölçümü ve Değerlendirilmesi, *V.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu Bildirileri*, Kocaeli.
- [24] Şerefoğlu, Ş. (2014). Solar Sistemler İçin Akıllı Evirici Tasarımı ve Uygulaması, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [25] Varınca, K., Gönüllü, M. (2006 Haziran 21-23) Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir
- [26] Yakısan, Ö. (2008) Güneş Enerjisi Üretim Sistemlerinde Bir Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemi İle Bir Şebeke Bağlantılı Eviricinin Geliştirilmesi ve Gerçekleştirilmesi. Yayınlanmış Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- [27] Dünya enerji konseyi Türk milli komitesi (2009, Haziran)  
Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Raporu.
- [28] <http://powerelectronicsdesign.blogspot.com.tr/2014/04/ccm-dcm-ve-bcm.html>
- [29] Türkiye Güneş Enerjisi Platformu. <http://www.solarbaba.com/>  
(3.12.2015).
- [30] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi  
Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (Yayımlandığı R.Gazete.  
Tarih: 18/5/2005 Sayı : 25819)



## **EKLER**

### **Ek A Tasarımın Devre Programı**

### **Ek B Tasarımın Açık Devre Şeması**

**Şekil B-1:** İnverter devresinin açık şeması.

### **Ek C Tasarımın Baskı Devre Şeması**

**Şekil C-1:** İnverter baskı devre şeması üst görünüm.

**Şekil C-2:** İnverter baskı devre şeması alt görünüm.

## EK A Tasarımın Devre Programı

```
#include <30f4011.h>

#use delay(clock=80000000,crystal=10000000) // Çalışma 80Mhz olarak
//ayarlandı

#fuses NOPROTECT //Kod koruması pasif

#fuses XT_PLL8 // Çalışma frekansı
//Kristal*8

#define LED PIN_e5 //Sistem aktif ledi

#define LED1 PIN_e4 //Aşırı voltaj ledi

#define LED2 PIN_e3 //Aşırı akım ledi

#define LED3 PIN_e2 //Sistem beklemede ledi

#define H_1 PIN_e0 //H köprüsü Pozitif
//alternans

#define H_2 PIN_e1 //H köprüsü Negatif
//alternans

#define asiri_voltaj PIN_e2 //Sıfır geçiş kontrolü

#define optik_2 PIN_f0 //PC817_1 Pozitif

#define optik_1 PIN_f1 // PC817_2 Negatif

#use i2c(master, sda=pin_f3, scl=pin_f2, slow=100000) //i2c LCD ekran

#include <lcd7.c> //i2c LCD ekran
//kütüphanesi

#include <sintablo.c> //sinüs sinyali elde etme
//ekran kütüphanesi

unsigned int16 xx,k;

int1 arttir=0, azalt=0, pwm_yonu=0;

int pals=1;

unsigned int8 i=0,ii;

int16 xxx=0, x=0;

int32 akim,akim_x, gerilim_x, guc=0, guc_x=0;
```

```

#int_timer4 //Timer4 kesmesi

void timer4_kesme ()
{
    set_timer4(100); //timer4 ayarlandı

    if(i<139) //Yarım dalgaSinüs palsi
               //üretiliyor
    {
        i=i+1;
    }
    else
    {
        i=0;
        output_toggle(led2);
        if(pals<=1) pals=2;
        else     pals=1;

        setup_motor_pwm(1,MPWM_DISABLED , 45);
        delay_cycles(2);
        output_high(optik_1);output_high(optik_2);
        if(pals==1)
        {
            output_low(optik_1);
            delay_cycles( 1 );
            setup_motor_pwm(1,MPWM_UP_DOWN,45);
            set_motor_unit(1,1,MPWM_ENABLE_L,0,0);
            set_motor_pwm_duty(1,1,45); //200Khz Pozitif
                                         //A. Sinyali
        }
    }
}

```

```

else
{
    output_low(optik_2);
    delay_cycles( 1 );
    setup_motor_pwm(1,MPWM_UP_DOWN , 45);
    set_motor_unit( 1,1, MPWM_ENABLE_h ,0,0);
    set_motor_pwm_duty(1,1,45);    //200Khz Negatif
                                    //A. Sinyali
}
}
xxx=((sin[i])*k)/200;                //Sinüs palsi pwm oranı
                                    //oluşturuldu
set_pwm_duty(2, xxx);
}

void main()
{
    set_pullup(TRUE,PIN_C13);        //i2c çıkışı pullup yapıldı
    set_pullup(TRUE,PIN_C14);        // i2c çıkışı pullup yapıldı
    setup_adc_ports(sAN0 | sAN1|sAN2|sAN3, VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_16 | ADC_TAD_MUL_8);
    setup_timer1(TMR_INTERNAL | TMR_DIV_BY_1, 100);
    setup_timer2(TMR_INTERNAL | TMR_DIV_BY_1, 380);
    setup_timer3(TMR_INTERNAL | TMR_DIV_BY_1, 99);
    setup_timer5(TMR_INTERNAL | TMR_DIV_BY_256, 50000);
    setup_timer4(TMR_INTERNAL | TMR_DIV_BY_1, 1500);
    disable_interrupts(INT_timer5);  //int_timer5 kesmesini
                                    //pasif yapar
    enable_interrupts(INT_timer4);    //int_timer4 kesmesini
                                    //aktif yapar
}

```

```

enable_interrupts(GLOBAL);

set_timer5(1000);

set_timer4(1);

setup_compare(2, COMPARE_PWM | COMPARE_TIMER2);

set_pwm_duty(2,70);

delay_ms(500);

unsigned int16 pv_voltaj,pv_akim, cikis_akim,cikis_voltaj;

lcd_init(); // LCD kuruldu

printf(lcd_putc,"\f100W Inverter "); // LCD'ye veri
//gönderiliyor.

printf(lcd_putc,"\2***%lu**%lu",x,xx);

printf(lcd_putc,"\2*2017 Hasan MERT");

delay_ms(500);

k=0;

unsigned int16 deneme1;

while(true)
{
    output_low(led3);
    if((i!=ii)&&(i<139))
    {
        ii=i;
        set_adc_channel(1); // pv gerilimi
        pv_voltaj=read_adc();
        deneme1=pv_voltaj/64;
        pv_voltaj=pv_voltaj/(173);
        set_adc_channel(0); //pv akımı
        pv_akim=read_adc()/64;
        akim=akim + pv_akim;
        set_adc_channel(2); //çıkış akımı
    }
}

```



```

cikis_akim=read_adc()/64;
set_adc_channel(3); //çıkış gerilimi
cikis_voltaj=read_adc()/(64*(3));
gerilim_x=pv_voltaj;

if(i==137)
{
    x++;
    akim=akim/137;
    if(x>100)
    {
        akim_x=akim;
        guc=akim*gerilim_x;
        x=0;
        printf(lcd_putc,"\2PV G=%2lu.%1luV-
%d"pv_voltaj/10,pv_voltaj%10,k);
        printf(lcd_putc,"\fG=%1uV-A%1u"pv_voltaj,akim);

        printf(lcd_putc,"\2Cik V=%5.1lu k=%d"cikis_Voltaj,k);

        if((guc_x<guc)||guc_x==0)//yeni daha yüksek
        {
            if(arttir)
            { arttir=1;azalt=0;k++;}

            else if(azalt)
            {
                arttir=0;
                azalt=1;
                k--;
            }
        }
    }
}

```

```

    }

    pwm_yonu=0;
}
else if(guc_x>guc) //eski daha yüksek
{
    if(pwm_yonu)
    {
        if(arttir)
        {
            arttir=1;
            azalt=0;
            k++;
        }
        else if(azalt)
        {
            arttir=0;
            azalt=1;
            k--;
        }
    }
}
else
{
    if(arttir)
    {
        arttir=0;
        azalt=1;
        k--;
    }
}

```

```

        else if(azalt)
        {
            arttir=1;
            azalt=1;
            k++;
        }
    }
    pwm_yonu=1;
}
guc_x=guc;
}
akim=0;
}
}

if(cikis_voltaj>300)
    if(k>=2)
        k--;
    else
        if((k<99)&&(cikis_voltaj>x_cikis_voltaj)&&(arttir))
            if(arttir==1)
                k++;

x_cikis_voltaj=cikis_voltaj;
    if(guc>guc_x) //pwm arttir
        k--;
    else
        if (guc<guc_x) //pwm azalt

```

```

        k--;
    if(cikis_voltaj>80)
        if(k>=1)
            k--;
    else
        if(k<99)
            k++;

}

```

//Sinüs sinyal tablosu

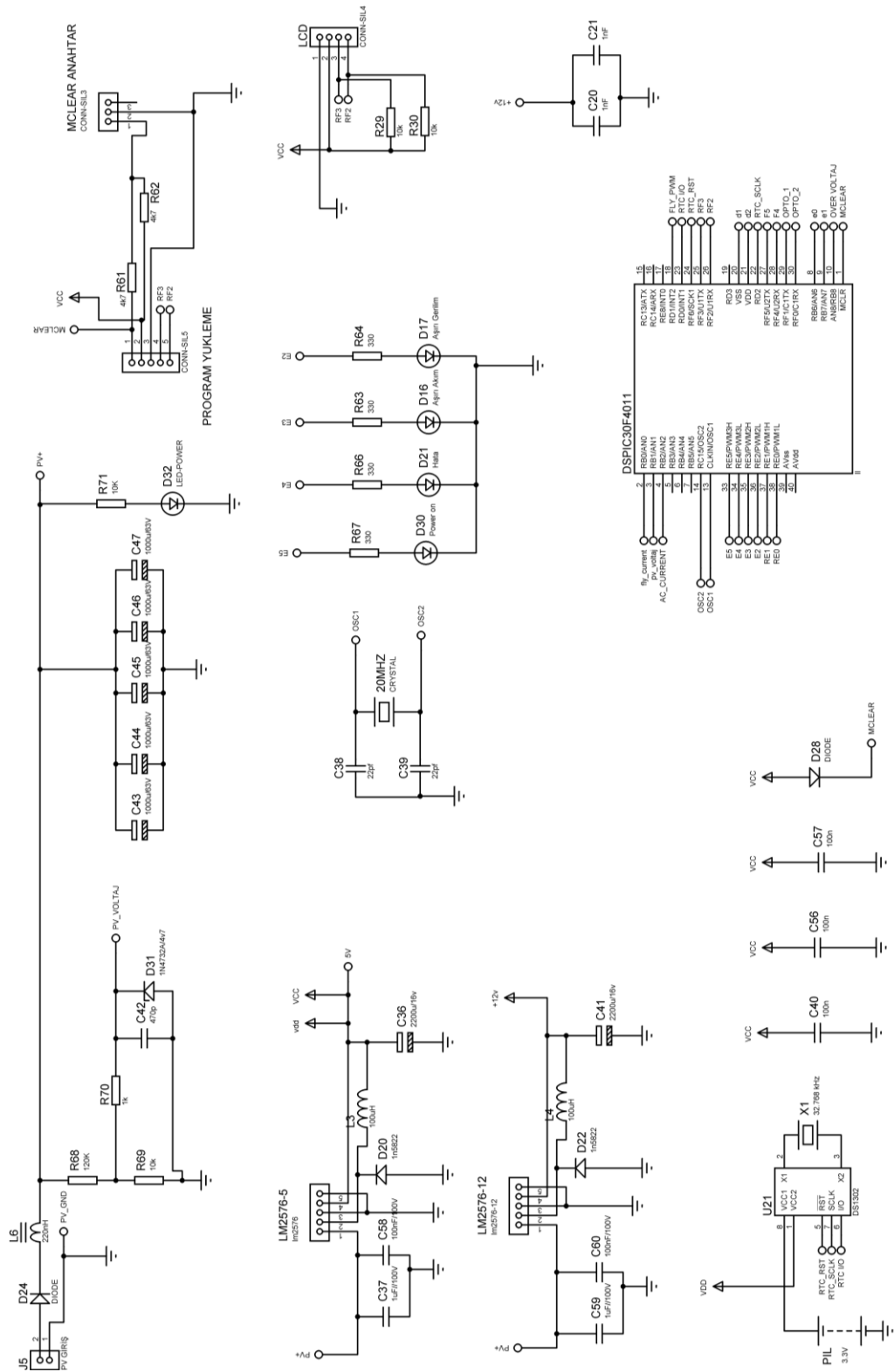
```
unsigned int16 sin[141]={
```

```

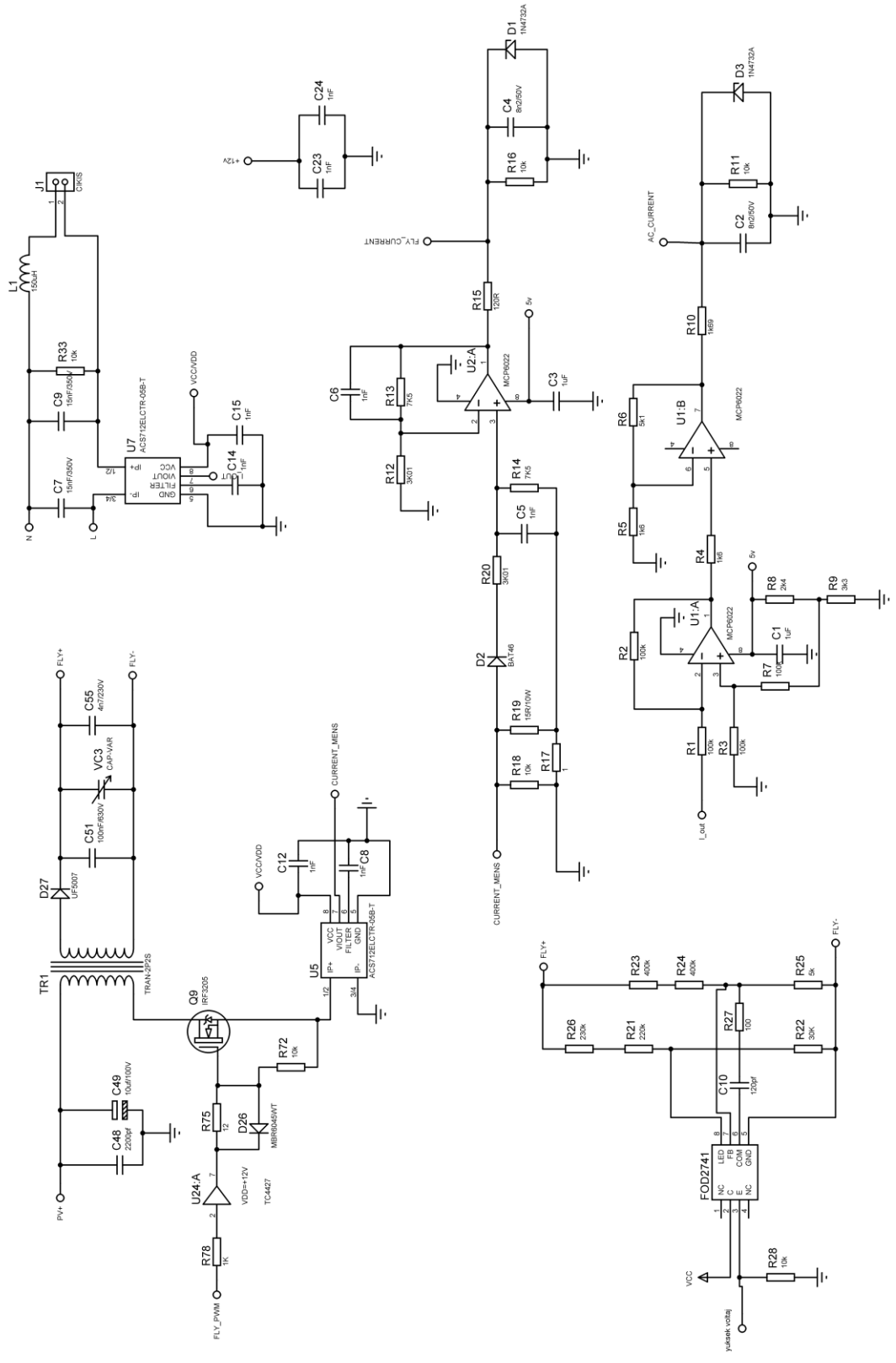
0,5,10,18,24,32,40,48,56,64,71,79,87,95,103,111,119,127,135,143,151,159,167,175,
183,191,198,205,212,219,226,231,239,246,253,260,267,274,280,286,292,298,304,31
0,315,320,325,330,335,339,343,347,351,354,358,361,364,367,369,371,373,375,377,
378,379,380,381,381,381,381,381,381,381,381,380,379,378,377,375,373,371,369,36
7,364,361,358,354,351,347,343,339,335,330,325,320,315,310,304,298,292,286,80,2
74,267,260,253,246,239,231,226,219,212,205,198,191,183,175,167,159,151,143,135
,127,119,111,103,95,87,79,71,64,56,48,40,32,24,18,10,5};

```

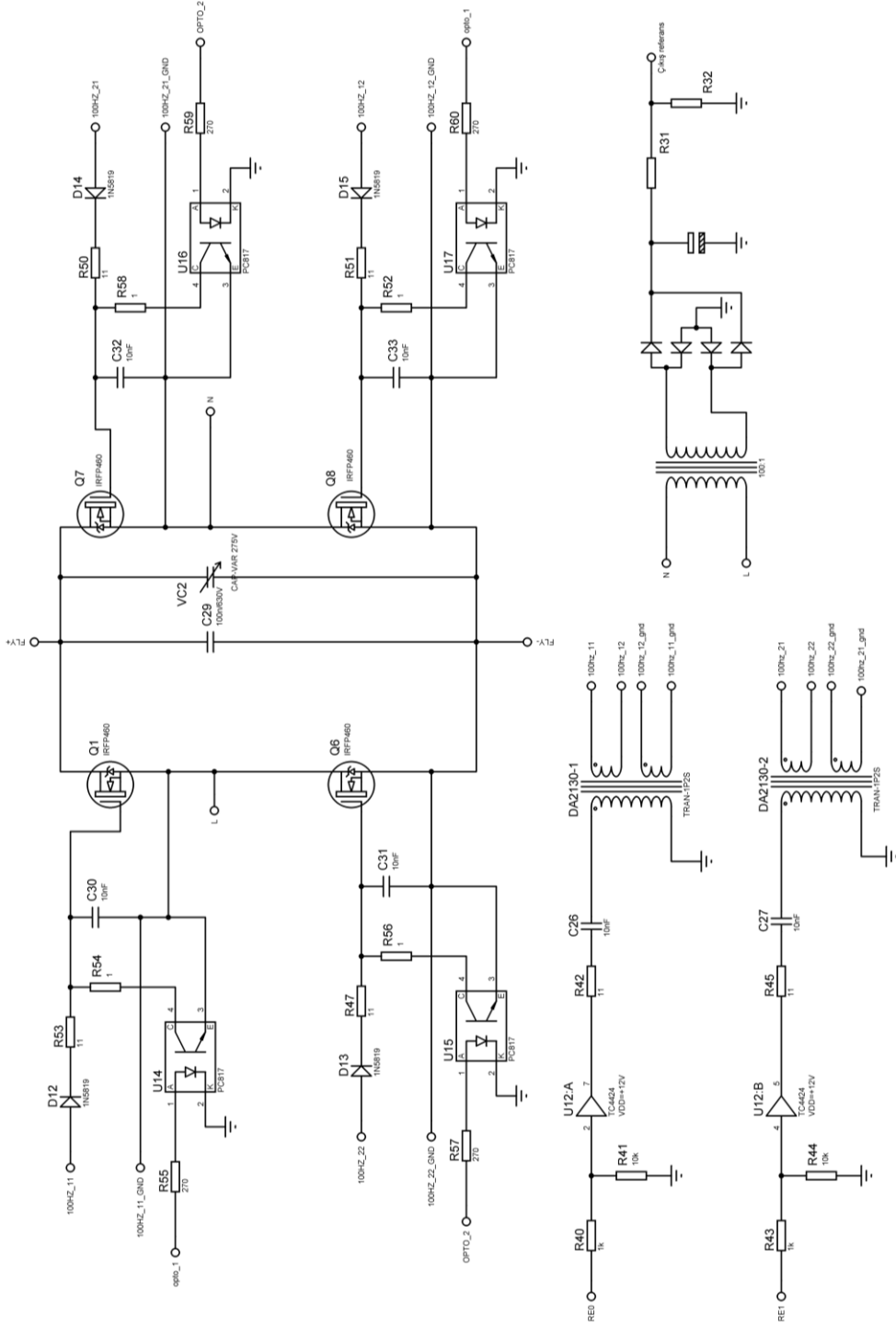
## Ek B Tasarımın Açık Devre Şeması



Şekil B.1 İnverter devresinin açık şeması .

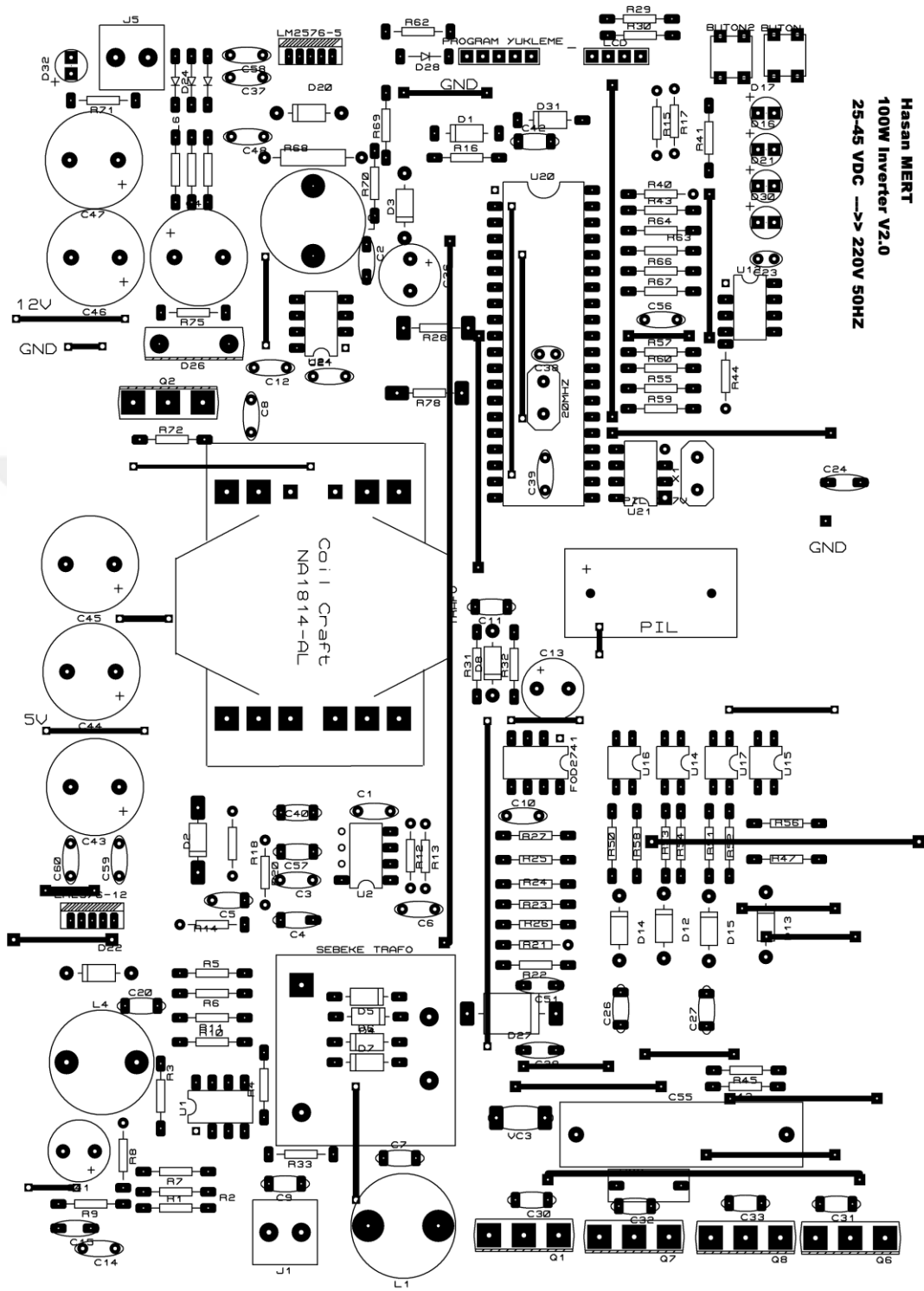


Şekil B.1 (Devam) İnverter devresinin açık şeması.



Şekil B.1 (Devam) İnverter devresinin açık şeması.

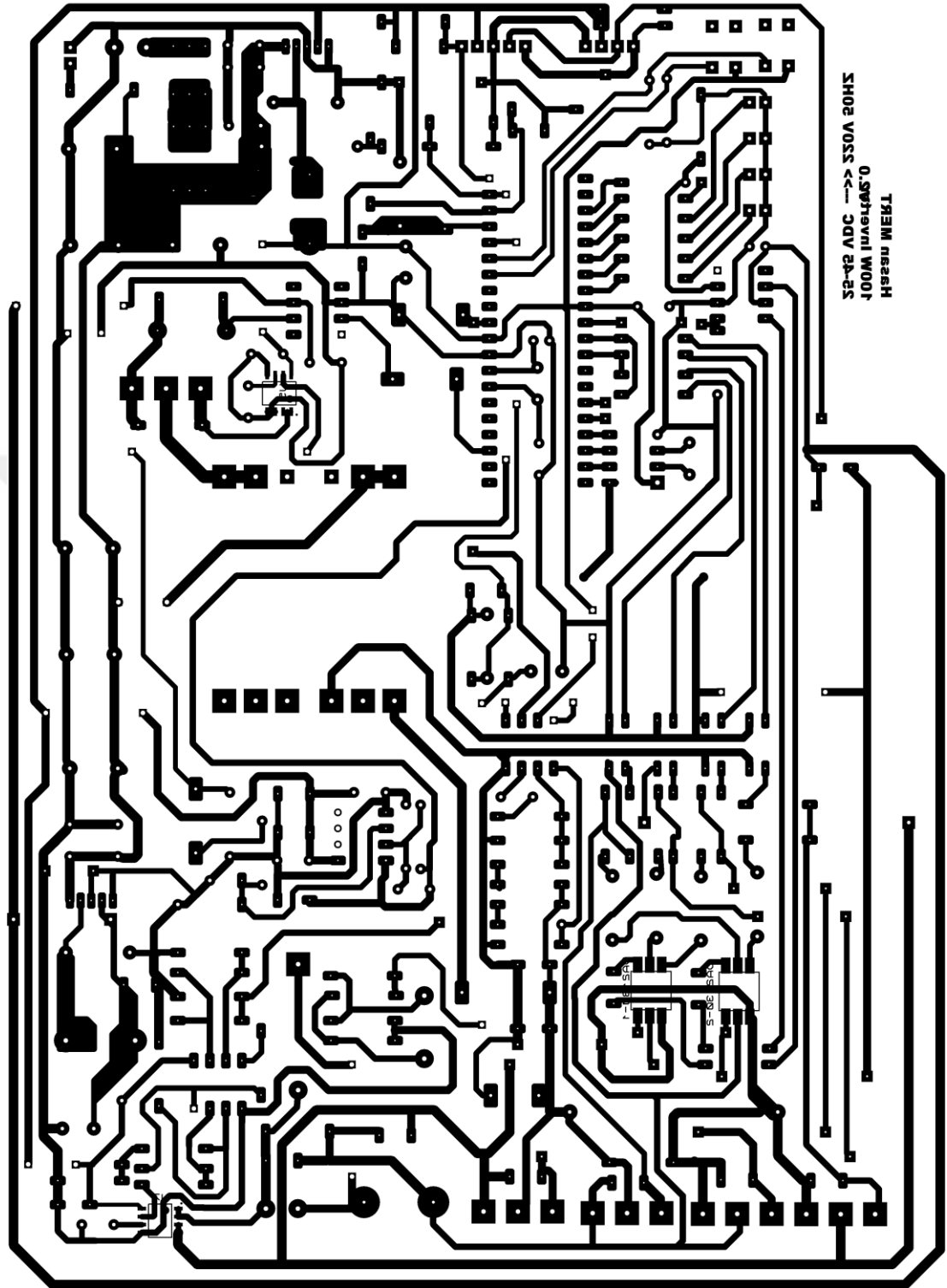
## Ek C Tasarımın Baskı Devre Şeması



Şekil C.1 İnverter baskı devre şeması üst görünüm.



Ek C Tasarımın Baskı Devre Şeması



Şekil C.2 İverter baskı devre şeması alt görünüm.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hasan MERT  
Uyruğu: T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara 01.02.1984  
Medeni Hali: Evli  
E-Posta Adresi: hasan.mert@msn.com

### EĞİTİM

Lise : Yenimahalle Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 2001  
Lisans : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Elektronik Öğrt. 2005  
Lisans Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. 2014  
Yüksek Lisans : THK Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Devam ediyor

### MESLEKİ DENEYİM

*MEB 2005-Halen devam ediyor*

### YABANCI DİL

İngilizce