

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PIC TABANLI ÇOK AMAÇLI KONTROL KARTI TASARLANMASI

Arif ACAY

Haziran 2016

ÖZET

PIC TABANLI ÇOK AMAÇLI KONTROL KARTI TASARLANMASI

ACAY, Arif

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER

Haziran 2016, 89 sayfa

Bu tezin amacı 16 bitlik PIC (Peripheral Interface Controller) mikrodenetleyicisi yardımıyla endüstride yaygın olarak kullanılan özelliklere sahip PIC tabanlı çok amaçlı kontrol kartı tasarlanması ve gerçekleştirilmesidir.

Tasarlanan bu kart ile birçok cihaz, uygun yazılımsal kodlar geliştirilerek kontrol edilebilir. Evirici (Inverter) ve redresör sürücüleri bunun dışında brülör sistemleri, kombiler ve çeşitli endüstriyel fırınlarda bu kartla rahatlıkla kontrol edilebilir.

Gerçekleştirilen çok amaçlı PIC tabanlı kontrol kartı donanımında merkezi işlem birimi olarak PIC16F887 mikrodenetleyicisi kullanılmaktadır. Mikrodenetleyicinin 10 ayrı giriş ve 12 ayrı çıkışı bulunmaktadır. Ayrı girişler buton veya çeşitli sensörlerle 5 V DC gerilim uygulanabilmektedir. Ayrı çıkışlar olarak röle kontakları ve transistörler kullanılmıştır. Ayrıca kart üzerinde yazılımsal olarak üretilmiş frekans ve genliği ayarlanabilir PWM (Pulse Width Modulation) sinyali modülü bulunmaktadır. PWM sinyali 500 Hz ile 200 kHz arasında değer almaktadır.

İstenildiği takdirde kart üzerindeki yazılım değiştirilerek farklı uygulamalarda yapılabilmektedir.

Çok amaçlı PIC tabanlı kontrol kartı yazılımı PIC C dili ile MikroC IDE yazılım geliştirme ortamı yardımıyla geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, tasarlanan donanım üzerinde dört farklı uygulama gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çok Amaçlı Kontrol Kartı, PIC 16F887, Mikrodenetleyici,
Endüstriyel Otomasyon, MikroC IDE, Frekans, Genlik, PWM



ABSTRACT

PIC BASED DESIGN OF MULTIPURPOSE CONTROL BOARD

ACAY, Arif

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER

June 2016, 89 pages

The aim of this thesis is desining and carrying out PIC (Peripheral Interface Controller) based design of multipurpose control board that has commonly used specifications in industrial by means of 16 bit PIC Microcontroller.

By means of this designed board programs adaptable to many devices can be used by developing. For burner systems, combi heater and various industrial ovens in addition to inverters and redresors drivers can be easily controlled with this board.

On designed PIC based design of multipurpose control board software hardware, PIC16F887 microcontroller and 10 input/10 outputs are available as central processing unit. Inputs can be applied as 5 V DC. Also relays and transistors are used as outputs. Furthermore, adjustable frequency and amplitude module of PIC16F887 designed with PWM (Pulse Width Modulation) are available on board. The frequency change range of PWM is programmed between 500 Hz and 200 kHz.

PIC based design of multipurpose control board software has been developed by means of PIC C language and MikroC IDE software developing environment.

In this research 4 different implementation applied on the designed hardware.

Keywords: Multipurpose Control Board, PIC 16F887, Microcontroller, Industrial Automation, MikroC IDE, Frequency, Duty, PWM



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER'e, desteklerini esirgemeyen ve yol gösteren, araştırmalarımnda yardımcı olan arkadaşım Sem VURAL'a ve Ergin ERYILMAZ'a, son olarak tez çalışmamın en başından bu yana her zaman varlıklarıyla bana güç veren aileme, sevgili eşim Halime ve canım kızım Elif Yağmur'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. EVİRİCİLER	5
3.1. Eviriciler ve Çalışma Prensipleri.....	5
3.1.1. Tek Fazlı Yarım Köprü Eviriciler.....	7
3.1.2. Tek Fazlı Tam Köprü Eviriciler.....	9
3.1.3. Tek Fazlı Push-Pull Eviriciler.....	12
3.2. Beslenme Özelliklerine Göre Eviriciler.....	13
3.2.1. Gerilim Beslemeli Eviriciler.....	14
3.2.2. Akım Beslemeli Eviriciler.....	14
3.3. Eviricilerin Kullanıldıkları Yerler.....	14
3.3.1. İstenilen Gerilimin Elde Edilmesi.....	15
3.3.2. Elektrikli Taşıma Sistemleri.....	15
3.3.3. Bir Fazdan Üç Faza Çevirme.....	15
3.3.4. Asenkron Motor Kontrolü.....	16
3.4. Eviricilerin Anahtarlama Yöntemleri.....	16
3.4.1. Kare Dalga Anahtarlama.....	16
3.4.2. Darbe Genlik Bildirimli Anahtarlama.....	17
3.4.3. Çift Yönlü PWM Anahtarlama.....	18
3.4.4. Tek Yönlü PWM Anahtarlama.....	20
4. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU (PWM)	22
4.1. Giriş.....	22

4.2. Gerilim Kontrollü PWM	24
4.3. Taşıyıcı Temelli PWM.....	24
4.3.1. Sinüzoidal PWM	24
4.3.2. Doğal (Natural) Örnekleme.....	28
4.3.3. Düzenli (Regular) Örnekleme	28
4.4. Akım Kontrollü PWM	30
5. PIC MİKRODENETLEYİCİSİ.....	32
5.1. Giriş.....	32
5.2. PIC Mikrodenetleyicisi Ailesine Genel Bakış	33
5.2.1. PIC Mikrodenetleyicilerinin Temel Özellikleri	33
5.2.2. PIC Mikrodenetleyicilerinin Tercih Sebepleri	35
5.2.3. PIC Mikrodenetleyicilerinin İç Yapısı	36
5.3. PIC16F887 Mikrodenetleyicisi Tanıtımı	36
6. TASARLANAN DONANIM	44
6.1. Giriş.....	44
6.1.1. Tasarlanan Donanımın Blok Diyagramı	44
6.2. Tasarımı Yapılan Kartın Devre Elemanları	45
6.2.1. Mosfet	45
6.2.1.1. Mosfet Tanımı ve Yapısı.....	45
6.2.1.2. Mosfet Anahtarlama Karakteristiği.....	47
6.2.1.3. Tasarımda Kullanılan Yarım Köprü Mosfet Devresi.....	49
6.2.2. Transistör	50
6.2.2.1. Transistörlerin Yapısı ve Çalışması	50
6.2.2.2. NPN Tipi Transistörler.....	50
6.2.2.3. PNP Tipi Transistörler	51
6.2.2.4. Transistörlerin Akım Kazancı.....	53
6.2.3. Röle	53
6.3. PWM Sinyalinin Üretilmesi	55
6.4. Sinyal Bölücü Devresi	56
6.4.1. Sinyal Bölücü Devresi Çalışma Prensibi	56
6.4.2. Sinyal Bölücü Devre Şeması.....	59
6.5. Tasarlanan Donanımın Girişleri.....	59
6.6. Tasarlanan Donanımın Çıkışları	60

6.7. Tasarlanan Donanımın Osilatör Devresi.....	61
6.8. Tasarlanan Donanımın Görünümleri.....	62
6.8.1. Tasarlanan Elektronik Kartın Görünümü.....	62
6.8.2. Tasarlanan Elektronik Kartın PCB Görünümü	64
7. TASARLANAN DONANIMIN YAZILIMI.....	66
7.1. Yazılımın Geliştirildiği IDE.....	66
7.2. C Dili ile Programlama	69
7.3. Yazılımın Algoritması ve Kodların Açıklaması	70
8. TASARLANAN DONANIM İLE YAPILAN UYGULAMALAR	73
8.1. LDR ile Işık Kontrol Uygulaması	73
8.2. NTC ile Sıcaklık Kontrol Uygulaması.....	74
8.3. PWM Modülü ile Lamba Işık Ayarı	75
8.4. PWM Modülü ile Yarım Köprü DC-AC Evirici Devresi	76
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	80
EKLER	81
EK 1. Yazılım Kodlarının Bulunduğu C Dosyası.....	81
EK 2. Tasarlanan Donanımın Devre Şeması	86
KAYNAKLAR	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Temel evirici gösterimi	5
3.2. Yarım köprü evirici devresi	7
3.3. a) Büyük endüktif yükte yük akımı b) Omik yükte dalga formları.....	8
3.4. Tam köprü evirici devresi	9
3.5. a) Omik yükte evirici dalga formları b) Büyük endüktif yükte eviricilerin yük akımı.....	10
3.6. Push-pull evirici devresi.....	13
3.7. Gerilim beslemeli evirici.....	14
3.8. Akım beslemeli evirici	15
3.9. Kare dalga anahtarlama.....	17
3.10. Darbe genlik bildirimli anahtarlama	18
3.11. Çift yönlü PWM anahtarlama	19
3.12. Tek yönlü PWM anahtarlama	20
4.1. PWM çeviricinin çıkış gerilimi değişimi	23
4.2. Gerilim kontrollü PWM blok şeması	24
4.3. Sinüzoidal PWM kontrol blok şeması	25
4.4. Çift yönlü gerilim anahtarlama SPWM	26
4.5. Tek yönlü gerilim anahtarlama SPWM	27
4.6. Doğal (Natural) örnekleme tekniği	29
4.7. Düzenli (Regular) örnekleme tekniği.....	30
4.8. Akım kontrollü PWM kontrol blok şeması.....	31
5.1. Genel mikrodenetleyici sistemleri blok diyagramı	33
5.2. PIC16F887 pin gösterimi	37
5.3. PIC16F887 iç yapısı.....	39
5.4. PC değerinin elde edilmesi	40
5.5. SRAM veri belleği organizasyonu	41
5.6. PIC16F887 program belleği organizasyonu.....	42
5.7. SFR saklayıcılarına ilişkin bit tanımlamaları ve reset değeri	43

6.1.	Tasarlanan kartın blok diyagramı.....	44
6.2.	N kanallı mosfet sembolü ve pin yapısı	46
6.3.	Mosfetin sıcaklık akım RDS grafiği	47
6.4.	Anahtarlama hızı üzerinde büyük etkiye sahip mosfet parazit bileşenleri eşdeğer devre şeması.....	48
6.5.	Yarım köprü mosfet devresi.....	49
6.6.	BC547 transistör pin gösterimi	51
6.7.	NPN transistörün sembolü ve polarmalandırılması	52
6.8.	PNP transistörün sembolü ve polarmalandırılması	52
6.9.	Röle kontakları ve dış görünümü	54
6.10.	PWM sinyali üretme devresi.....	56
6.11.	Sinyal bölücü devresinde kullanılan kapı entegreleri	57
6.12.	Sinyal bölücü giriş çıkış sinyalleri	58
6.13.	Sinyal bölücü devre şeması.....	59
6.14.	Tasarlanan donanımın girişleri.....	60
6.15.	Tasarlanan donanımın çıkışları	61
6.16.	Tasarlanan donanımın görünümü.....	62
6.17.	Tasarlanan donanımın PCB alt görünümü	64
6.18.	Tasarlanan donanımın PCB alt-üst görünümü	65
7.1.	Project menüsü – yeni proje açma penceresi	66
7.2.	Yeni proje ayar penceresi.....	67
7.3.	Mikro C derleyicisinin kod yazma ekranı	67
7.4.	Build menüsü	68
7.5.	Derleme sonuç ekranı.....	68
7.6.	Tools menüsü – hex kodunu mikrodenetleyiciye yükleme.....	69
8.1.	LDR ile ışık kontrol devresi.....	74
8.2.	NTC ile sıcaklık kontrol devresi	75
8.3.	Uygulanan PWM sinyali	76
8.4.	PWM modülü ile yapılan lamba ışık şiddeti ayar devresi	76
8.5.	PWM modülü ile yapılan DC-AC evirici devresi	77
8.6.	Evirici devresi giriş çıkış sinyalleri.....	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yarım köprü eviricinin anahtarlama durumları.....	8
3.2. Tam köprü eviricinin anahtarlama durumları	11
5.1. PIC 16F887 pin tanımları ve görevleri.....	38
6.1. Transistör bağlantı şekillerine göre akım kazançları.....	53



KISALTMALAR DİZİNİ

PWM	Pulse Width Modulation
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
PIC	Peripheral Interface Controller
ROM	Read Only Memory
RAM	Random Access Memory
CPU	Central Processing Unit
DC	Direct Current
AC	Alternating Current
IGBT	Insulated Gate, Bipolar, Transistor
BJT	Bipolar Junction Transistor
I/O	Input/Output
POR	Power On Reset
PWRT	Power On Timer
WDT	Watcdog Timer
ALU	Aritmetic Logic Unit
MOSFET	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
NO	Normally Open
NC	Normally Closed
IDE	Integrated Development Environment

1. GİRİŞ

Gelişime ve değişime açık olan insanlık tarihi, teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli kendini bir adım öteye götürme çabasındadır. Bu süreçte edindiği bilgileri nesilden nesile aktarmıştır. Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla bilginin gücü kavranmış ve yeni şeyler üretme ya da daha önce üretilen şeylerin daha fonksiyonel kullanılması ve daha ucuza mal etme çabasına girilmiştir.

Günümüzde teknolojinin hızlı gelişimi sayesinde, kontrol teorisi alanında birçok gelişmiş ve karmaşık kontrol uygulaması etkin bir şekilde sürdürülmektedir. Kontrol sistemlerinde, kullanılan PIC mikrodenetleyiciler sayesinde kontrol işleri çok kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

Yapılan bu tez çalışmada, PIC tabanlı çok amaçlı kontrol kartı tasarlanmış ve tasarlanan bu kart ile birçok cihaza uygun programlar geliştirilerek kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yazılımlar sayesinde karttan elde edilen PWM sinyali ve uygun çıkışlarla evirici ve redresör sürücüleri bunun dışında brülör sistemleri, kombiler ve çeşitli endüstriyel fırınlar rahatlıkla kontrol edilebilmektedir.

Yarı iletken elemanlarla DC gerilimden darbeli gerilim elde edilmesi ve bu darbeli gerilimin sinyal doluluk oranının (duty cycle) yarı iletkenlerin iletimde veya kesimde kalma süreleri ayarlanması yöntemi PWM (Pulse Width Modulation-Darbe Genişlik Modülasyonu) olarak adlandırılır. Darbe genişlik modülasyonu yöntemi diğer yöntemlerden farklı olarak hızlı bir şekilde gerilim kontrolü sağlamaktadır. Böylelikle gerilimin kontrolü hızlı bir şekilde yapılırken kayıp minimuma indirilmiş olur. Bu nedenle PWM yöntemi verimli ve hızlı bir kontrol işlemi gerçekleştirir [1].

Tasarlanan donanımın PWM sinyalinin duty cycle (doluluk oranı) değeri 0-255 arasında oransal olarak arttırılabilmekte ve azaltılabilmektedir. Frekansı ise 500 Hz ile 200 kHz arasında istenilen değere set edilebilmektedir.

Ayrıca yapılan kart tasarımı okullarda eğitim amaçlı olarak da kullanılabilir.

Geliştirici, kart üzerinde bulunan giriş/çıkışları uygun yazılımsal kodlama ve sensörler kullanarak istenilen işlevi yerine getirecek şekilde programlayabilir ve test edebilir.

Bu tez çalışmasında kontrol donanımı olarak kolay bulunması, basit geliştirme ortamı olması ve düşük maliyeti sebebiyle, Microchip firmasının ürettiği PIC16F887 ürünü seçilmiştir. Kullanılan PIC16F887 mikrodenetleyicisi ile çeşitli kontrolleri yapmanın yanı sıra, sistem üzerinde bulunan donanımsal bölüm azalmış ve buna bağlı olarak sistem maliyeti düşürülmüştür.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Değişken hızlı sürücüler, indüksiyon ısıtma, ayarlanabilir güç kaynakları, kesintisiz güç kaynakları, güneş pili uygulamaları, step motor kontrolü vb. endüstriyel alanlardaki uygulamalarda yaygın olarak darbe genişlik modülsayonu (PWM-Pulse Width Modulation) kullanılır [2].

IGBT de MOSFET gibi gerilim kontrollü bir elemandır. V_{GE} , $V_{GE(th)}$ 'den küçük olduğu durumda, kolektörü emitöre bağlayan ters çevirme tabakası ortadan kalkar ve eleman yalıtım durumunda bulunur. Elemana uygulanan kolektör-emitör gerilimi, J_2 jonksiyonu (eklem) boyunca gerilim düşümü sağlar. Bu gerilim düşümü de ancak küçük bir sızıntı akımı oluşturur. IGBT'nin yalıtım durumu yapı olarak MOSFET'in yalıtım durumu ile aynıdır [3].

50 kW'tan 2000 kW'a kadar bir güç aralığında yarı iletken anahtarlı indüksiyon kaynak makineleri kullanılabilir. Kaynak frekansı yüksek güçlü uygulamalar için 100 kHz'den 400 kHz'e, düşük güçlü uygulamalarda 800 kHz'e kadar ayarlanabilmektedir [4].

Son yıllarda ortaya çıkan uzay vektör PWM tekniği, geleneksel PWM tekniklerine bir alternatif olarak sunulmuş ve iki modülasyon tekniği arasında kıyaslama yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda uzay vektör tekniği ile daha düzgün bir PWM dalga şekli üretilebileceği görülmüştür. Özellikle gerçek zamanlı bir mikroişlemci kullanıldığında dalga şekillerinin üretilmesi daha kolay olmaktadır [5].

2001 yılında hazırlanmış olan bir yüksek lisans tezinde, 8 bitlik 16F877 mikrodenetleyicisi ile hat etkileşimli kesintisiz güç kaynağı için kontrol kartı tasarımı yapılmıştır. Sistemde anahtarlama tekniği olarak sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) kullanılmıştır. Enerjinin bulunmaması halinde SPWM için gerekli olan sinüzoidal referans sinyali mikrodenetleyici tarafından üretilerek bir DAC (dijital-analog çevirici) vasıtasıyla analog sinyale çevrilmiştir. Mikrodenetleyicinin programlanması C programlama dili ile yapılmıştır [6].

DA (doğru akım) motorlarındaki hız ayarı gerilim kontrolü vasıtasıyla ilk olarak Ward Leonard tarafından 1891 yılında gerçekleştirilmiştir. Tristörün anahtarlama elemanı olarak güç elektroniğinde kullanılmaya başlamasıyla doğru akım (DA) motorlarının hız ayarının yapılmasında, ayarlanabilir gerilim kaynakları ön plana çıkmıştır. Sonraki yıllarda MOSFET ve IGBT gibi yarı iletken elemanlar anahtarlama elemanı olarak kullanılmıştır. PIC16F877'nin PWM girişı kullanılarak DA motor hızı kontrol edilmektedir [7].

Bates kitabında mikrodenetleyicilerin dış dünya ile nasıl bir iletişim sağladığını göstermektedir. Bu kitapta PIC'in A/D, PWM ve bir mikroişlemci ile nasıl bir bağlantı sağladığını göstermektedir [8].

I. Hirota ve arkadaşı yaptıkları çalışmada, yeni nesil IGBT kullanılan yüksek frekanslı ZVS-PFM yük rezonanslı evirici ile yemek pişirme uygulama pratiği üzerine çalışmışlardır [9].

J. M. Ho ve arkadaşı yaptıkları çalışmada PWM kapı işareti üreterek ZVS operasyonu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan yöntemin bir başka avantajı ise değişken frekans kontrolünü sağlamış olmasıdır. Bu sayede değişik yükler için anahtarlama kayıpları azaltılmıştır [10].

H. Fujita ve arkadaşları yayınladıkları makalede indüksiyonlu ısıtma uygulamalarında kullanılan 4 kW 400 kHz gerilim beslemeli eviriciyi darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanan güç kontrol ünitesi ile sürmüşlerdir. PWM sayesinde yüksek verim elde edilmiştir [11].

Y. Deguchi ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, sıfır gerilim ve sıfır akım durumu geçişlerinde yumuşak anahtarlama değişim tabanında çalışan, IGBT ile gerçekleştirilen yüksek frekanslı PWM eviricinin basit devre topolojisi sunulmuştur. Bu evirici, yumuşak anahtarlama aralığı altında sabit frekanslı PWM kontrol tabanlı güç ayarlama üzerinde çalışmaktadır [12].

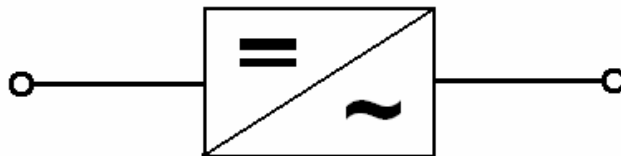
3. EVİRİCİLER

3.1. Eviriciler ve Çalışma Prensipleri

Eviriciler (Inverter) temel olarak, doğru gerilimden genliği ve frekansı ayrı olarak ayarlanabilen alternatif gerilim üreten güç elektroniği çeviricileridir. Eviricilerin çalışmasındaki temel ilke, IGBT, MOSFET, GTO, BJT gibi güç elektroniği yarı iletken anahtarlama elemanlarının uygun şekilde bağlanarak ve uygun sıra ve zamanda iletim ve kesime sokularak, girişteki doğru gerilimi çıkışta alternatif gerilime dönüştürmektir. Eviriciler gibi güç elektroniği çeviricilerinde de yarı iletken elemanlar anahtarlama elemanı olarak kullanıldığından, bu yarı iletken elemanlar lineer bölgede değil doyum bölgesinde çalıştırılırlar.

Evirici çıkışında üretilen genliği ve frekansı belirlenebilen gerilim alternatiftir, ancak sinüzoidal değildir. Fakat elde edilmek istenen saf sinüzoidal bir alternatif gerilimdir. Ancak doğru gerilim formunun değiştirilmesi ile evirici çıkışında saf sinüzoidal bir gerilim elde etmek mümkün değildir. Elde edilen gerilim, çıkış dalga şekli frekansına sahip ve belli bir genliği olan sinüzoidal gerilim ve bu frekansın katlarına sahip ve belli genlikleri olan sinüzoidal gerilimlerden oluşur. Yani evirici çıkış gerilimi, içinde saf sinüzoidal ana harmonik gerilimine ek olarak harmonik bileşenleri bulunduran harmonikli bir dalga şeklindedir.

Çıkışta üretilmek istenen gerilim saf sinüzoidal bir dalga şekli ise, tasarımda, oluşması kaçınılmaz bu harmoniklerin elimine edilmesi ya da ihmal edilebilir seviyelere indirilmesi önemlidir. Evirici temel olarak Şekil 3.1'deki gibi gösterilir.



Şekil 3.1. Temel evirici gösterimi

DC-AC evirici sistemi, DC giriş gerilimini istenen genlik ve frekansta AC çıkış gerilimine çevirmek için tek ya da üç fazlı sinyal kullanır. Çıkış gerilimi frekansa bağlıdır yani frekans sabit ise çıkış gerilimi sabit, frekans değişken ise çıkış gerilimi değişkendir. Evirici kazancının sabit tutulmasıyla, DC giriş gerilimi değiştirilerek değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir. Fakat giriş gerilimi sabit değil ve kontrol edilemiyor ise, değişken bir çıkış gerilimi elde edilmesi için eviriciye genellikle darbe genişlik modülasyonu (PWM) uygulanır ve evirici kazancı değiştirilir [13].

Farklı DC kaynaklardan aldıkları gerilimi, AC gerilime çevirmek için eviriciler kullanılır. Örneğin akü ve güneş panelinden aldıkları giriş gerilimini, indüksiyonlu ısıtma veya AC gerilim kaynaklarına çeviriler. DC giriş geriliminin ilk yarım periyotta pozitif yönde ve ikinci yarım periyotta negatif yönde yüke uygulanması eviricilerin temel çalışma prensibidir. Devrenin çalışma periyodu bu iki yarım periyodun toplamı ile belirlenir. Bu çalışma BJT, MOSFET, IGBT gibi yarı iletken elemanlara anahtarlama yaptırılarak sağlanabilir. Bu elemanlara uygulanacak kontrol yöntemi istenen frekans ve faz sayısında kare dalga ya da sinüs dalgasının alternatif bir taşıyıcı gerilim ile karşılaştırılmasıyla elde edilir. Bu kontrol yöntemine darbe genişlik modülasyonu (PWM) adı verilmektedir [14].

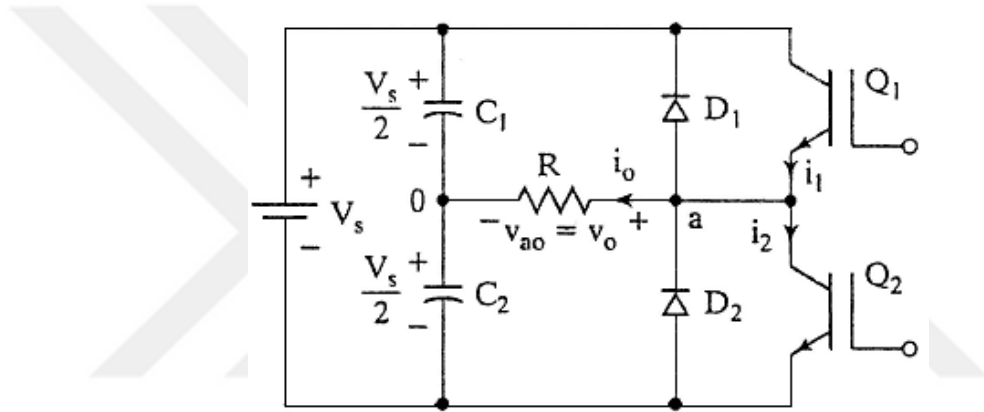
Besleme kaynağı açısından eviriciler, giriş gerilimi sabit kalıyorsa gerilim beslemeli eviriciler, giriş akımı sabit kalıyorsa akım beslemeli eviriciler olmak üzere iki tür olarak adlandırılır. Gerilim kaynaklı eviriciler direnç ve endüktif yüklere güç sağlamak için sabit tork çalışması gerektiren AC motor uygulamaları için uygundur. Akım kaynaklı eviriciler ise büyük kapasitif yükler ve AC gerilim toplama ve dağıtma baralarına güç sağlamak için uygundur. Endüstriyel uygulamalarda daha çok gerilim beslemeli eviriciler kullanılmaktadır [15].

Eviricilerde kare dalga anahtarlama, çıkış geriliminde sadece frekansı etkiler. Kare dalga anahtarlama tekniğinde, harmonik miktarı fazladır. Yalnızca, besleme gerilimi değiştirilerek çıkış geriliminin genliği kontrol edilebilir. Eviricilerde yapılan PWM kontrolü, genliğin de değiştirilebilmesini sağlar. Sinüs PWM kullanıldığında ise hem frekans hem de genlik kontrol edilebilir. Sinüs PWM tekniğinde dalgalanmayı filtrelemek diğer anahtarlama tekniklerine göre daha kolaydır [15].

Tek faz eviriciler devre yapısına göre yarım köprü, tam köprü ve push-pull eviriciler olmak üzere üç çeşittir.

3.1.1. Tek Fazlı Yarım Köprü Eviriciler

Tek faz yarım köprü eviricinin devre yapısı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Yarım köprü eviricide, orta uçlu DC kaynak kullanılması gerekmektedir. Devrede örnek anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Yarım köprü evirici devresi

Yükte görülen ani çıkış gerilimi V_0 , Q_1 anahtarlama elemanının iletimde olduğu $T_0/2$ zamanı boyunca $V_s/2$, Q_2 anahtarlama elemanının iletimde olduğu $T_0/2$ zamanı boyunca ise $-V_s/2$ 'ye eşittir. Q_1 iletimdeyken elde edilen pozitif sinyal ve Q_2 iletimdeyken elde edilen negatif sinyal yüke uygulanır.

Anahtarlama elemanlarının iletim durumları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Devrenin lojik tasarımı Q_1 ve Q_2 anahtarlama elemanları aynı anda iletimde olmayacak şekilde yapılmalıdır. Endüktif yükte yük akımı, yönünü ve genliğini koruyarak hemen değişmez. Q_1 anahtarlama elemanı $t=T_0/2$ zamanında kesime geçer, akım sıfıra düşünceye kadar AC yükten DC kaynağa doğru D_2 diyotu üzerinden akmaya devam eder.

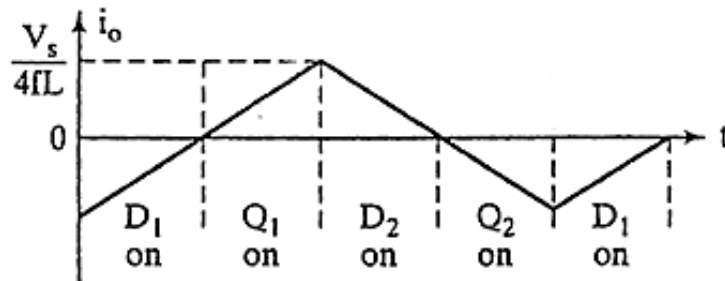
Çizelge 3.1. Yarım köprü eviricinin anahtarlama durumları

Anahtar Durumu	V_0	İletim Elemanları
Q_1 ON ve Q_2 OFF	$\frac{V_s}{2}$	$i_o > 0$ ise Q_1
		$i_o < 0$ ise D_1
Q_2 ON ve Q_1 OFF	$-\frac{V_s}{2}$	$i_o > 0$ ise D_2
		$i_o < 0$ ise Q_2

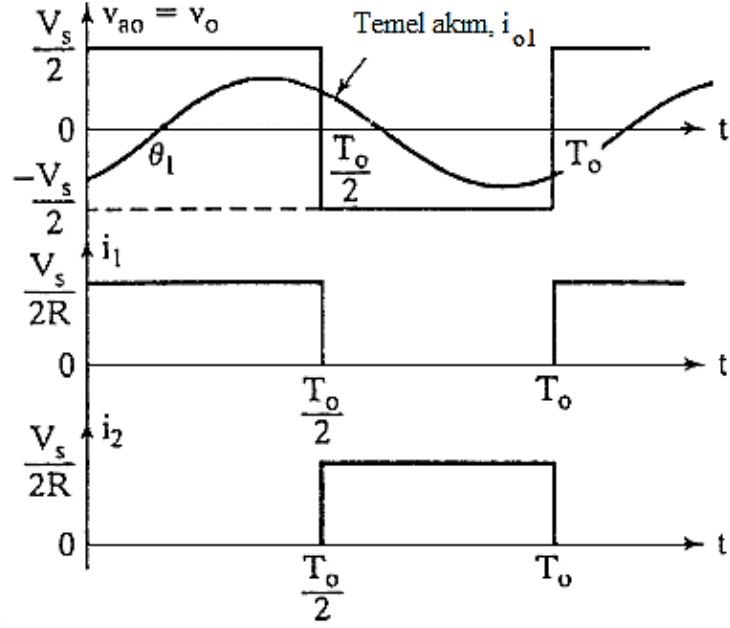
$$V_0 = \left(\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \quad (3.1)$$

$$i_0 = \frac{V_s}{2R} \quad (3.2)$$

Benzer şekilde Q_2 anahtarlama elemanı $t=T_0$ zamanında kesime geçtiğinde yükün üzerinden geçen akım, sıfıra düşüncüye kadar AC yükten DC kaynağa doğru D_1 diyotu üzerinden akmaya devam eder. D_1 ya da D_2 diyotları iletimde iken, enerji DC kaynağa geri besleme yaptığından bu diyotlara geri besleme diyotları denir. Şekil 3.3.a saf endüktif yük için yük akımını ve anahtarlama elemanlarının iletim aralıklarını göstermektedir. Saf endüktif yükte, anahtarlama elemanının sadece $T_0/2$ aralığında iletimde olduğuna dikkat edilmelidir. Yük empedansının açısına bağlı olarak, anahtarlama elemanının iletim periyodu 90° ile 180° arasında değişir [13].



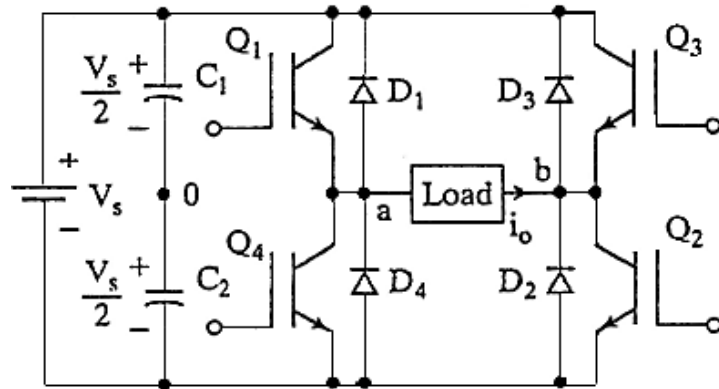
Şekil 3.3.a) Büyük endüktif yükte yük akımı



Şekil 3.3.b) Omik yükte dalga formları

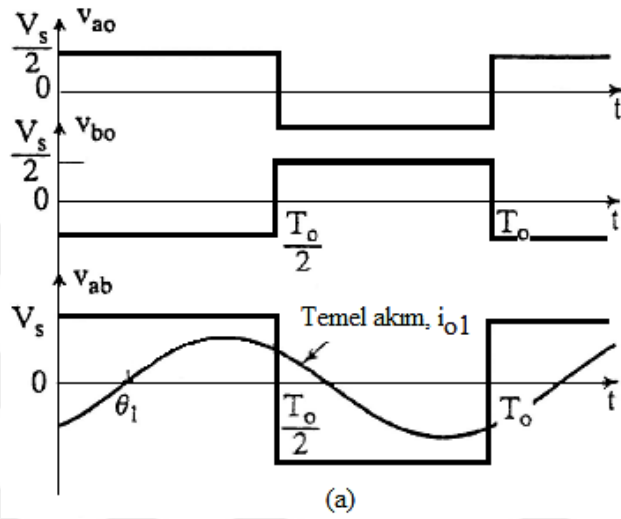
3.1.2. Tek Fazlı Tam Köprü Eviriciler

Tek faz tam köprü gerilim beslemeli eviricinin temel devre yapısı Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Bir DC gerilim kaynağı ve dört adet anahtarlama elemanı içermektedir.

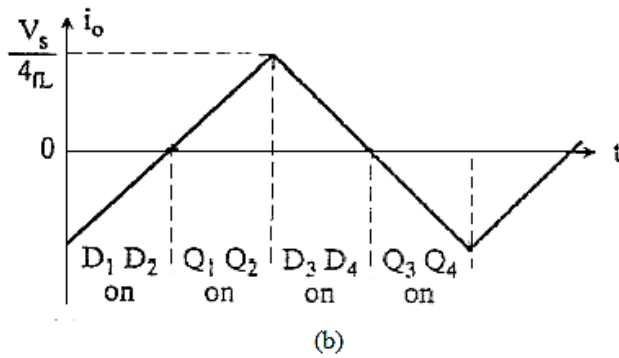


Şekil 3.4. Tam köprü evirici devresi

a ve b fazlarından oluşan iki yarım köprü evirici, tek faz tam köprü eviriciye eşdeğer kabul edilir. a ve b fazları arasında 180° faz farkı olduğundan, a fazının sinyalleri 180° kaydırıldığında Q_1 - Q_2 elemanlarının, anahtarlama sinyalleri ile Q_3 - Q_4 elemanlarının anahtarlama sinyalleri aynı zamanda ve aynı formda olur. Tek fazlı tam köprü eviricinin çıkışında görülen V_o geriliminin dalga formu ve yük akımı Şekil 3.5.a ve 3.5.b'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5.a) Omik yükte eviricinin dalga formları



Şekil 3.5.b) Büyük endüktif yükte eviricinin yük akımı

Tek faz tam köprü eviricide, yük üzerinde değişken bir dalga formu elde edebilmek için çıkışta elde edilecek değişken dalganın yarım periyodunda bir çift anahtarlama

elemanı iletimde olmalıdır. $0 < t < T_0/2$ aralığında Q_1 - Q_2 çifti ile pozitif, $T_0/2 < t < T_0$ aralığında Q_3 - Q_4 çifti ile negatif yarım periyot elde edilir. Tek faz tam köprü eviriciye uygulanabilecek beş anahtarlama durumu Çizelge 3.2'de gösterilmektedir. Q_1 ve Q_2 anahtarlama elemanları aynı anda iletime geçtiğinde yük üzerinde V_s giriş gerilimi görülürken, Q_3 ve Q_4 anahtarlama elemanları aynı anda iletime geçtiğinde ise yük üzerindeki gerilim ($-V_s$) olarak görülür. Tüm anahtarlar kesimdeyken akım diyotlar üzerinden AC yükten DC kaynağa doğru akar. D_1 ve D_2 iletimde iken yük uçlarında V_s , D_3 ve D_4 iletimde iken yük uçlarında ($-V_s$) gerilimi görülür. İletimde olan Q_1 ve Q_2 anahtarlama elemanları $t=T_0/2$ anında kesime geçtiklerinde yük üzerinden geçen akım, AC yükten DC kaynağa doğru sıfıra düşüncüye kadar, D_3 ve D_4 diyotları üzerinden akmaya devam eder. Benzer şekilde Q_3 ve Q_4 anahtarlama elemanları $t=T_0$ zamanında kesime geçtiğinde yükün üzerinden geçen akım, AC yükten DC kaynağa doğru sıfıra düşüncüye kadar D_1 ve D_2 diyotları üzerinden akmaya devam eder.

Çizelge 3.2. Tam köprü eviricinin anahtarlama durumları

Anahtar Durumu	Durum No	V_{ao}	V_{bo}	V_o	İletim Elemanları
$Q_1 - Q_2$ ON ve $Q_3 - Q_4$ OFF	1	$V_s/2$	$V_s/2$	V_s	$i_o > 0$ ise Q_1 ve Q_2
					$i_o < 0$ ise D_1 ve D_2
$Q_3 - Q_4$ ON ve $Q_1 - Q_2$ OFF	2	$-V_s/2$	$V_s/2$	$-V_s$	$i_o > 0$ ise D_3 ve D_4
					$i_o < 0$ ise Q_3 ve Q_4
$Q_1 - Q_3$ ON ve $Q_2 - Q_4$ OFF	3	$V_s/2$	$V_s/2$	0	$i_o > 0$ ise Q_1 ve D_3
					$i_o < 0$ ise D_1 ve Q_3
$Q_2 - Q_4$ ON ve $Q_1 - Q_3$ OFF	4	$-V_s/2$	$V_s/2$	0	$i_o > 0$ ise D_4 ve Q_2
					$i_o < 0$ ise Q_4 ve D_2
$Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4$ OFF	5	$-V_s/2$	$V_s/2$	$-V_s$	$i_o > 0$ ise D_3 ve D_4
		$V_s/2$	$-V_s/2$	V_s	$i_o < 0$ ise D_1 ve D_2

Eviricinin çıkış geriliminin efektif değeri V_o (3.3) eşitliğinde verilmiştir.

Omik endüktif yük için ani gerilim ve akım değerleri (3.4) ve (3.5) eşitliklerinde gösterilmiştir.

$$V_o = \left(\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \quad (3.3)$$

$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin wt \quad (3.4)$$

$$i_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n) \quad (3.5)$$

V_s : DC besleme kaynağının gerilimi (V)

T_0 : Periyot (sn)

R : Omik yük (Ω)

L : Endüktif yük (H)

θ_n : Yük empedansının açısı (o)

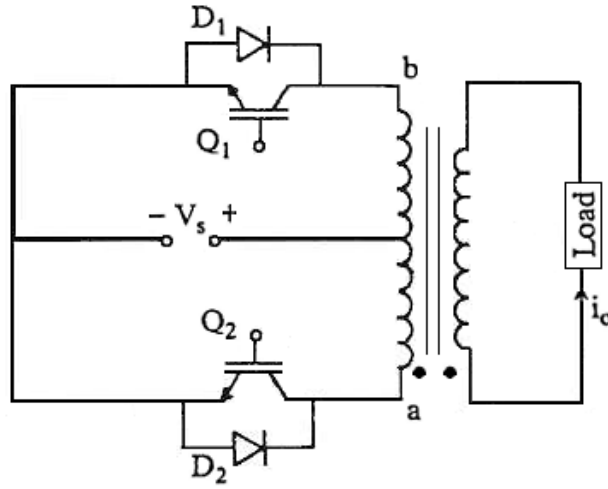
Tek faz yarım ve tam köprü eviricilerin her ikisine de kare dalga uygulandığında, elde edilen AC gerilimin frekansı değiştirilebilir, genliğini kontrol edebilmek için de besleme kaynağının genliğinin değiştirilmesi gerekir. Besleme kaynağının genliğinin değiştirilebilmesi için ise girişte çevirici kullanılabilir. Eviricilerde çıkış geriliminin yalıtımını sağlamak için ise transformatör kullanılır [15].

3.1.3. Tek Fazlı Push-Pull Eviriciler

Tek faz Push-Pull eviricinin temel devre yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu devrenin girişinde DC gerilim kaynağı bulunmaktadır. Ayrıca orta uçlu transformatör ve yarım köprü evirici devresindeki gibi iki anahtarlama elemanı içermektedir. Bu eviricide $0 < t < T_0/2$ aralığında Q_1 anahtarlama elemanına pozitif, $T_0/2 < t < T_0$ aralığında Q_2 anahtarlama elemanına negatif sinyal uygulanır.

Eviricinin çıkış gerilimi V_o , pozitif yarı periyotta Q_1 anahtarlama elemanı iletimdeyken V_s , negatif yarı periyotta Q_2 anahtarlama elemanı iletimdeyken $-V_s$

değerine eşittir.



Şekil 3.6. Push-pull evirici devresi

Eviricinin çıkış gerilimi V_0 , pozitif yarı periyotta Q_1 anahtarlama elemanı iletimdeyken V_s , negatif yarı periyotta Q_2 anahtarlama elemanı iletimdeyken $-V_s$ değerine eşittir. Çıkış gerilimi transformatörün dönüştürme oranı değiştirilerek ayarlanabilir. Çıkış geriliminin dalga formu yarım köprü eviricinin çıkış geriliminin dalga formu ile aynıdır [14].

AC gerilimin frekansı push-pull eviricilerde de kare dalga kontrolünde ayarlanabilir. Push-pull eviriciler belirli güçlere kadar çıkış gerilimi yalıtımı ve transformatör gerektiren uygulamalarda kullanılır. Ancak, transformatörün giriş sargısının bir yarısı pozitif yarı periyotta ve diğer yarısı negatif yarı periyotta aktif olur bu durumda bazı kaçak endüktanslar meydana gelir. Bu sebepten dolayı, daha büyük güçlerde tam köprü evirici kullanılmaktadır.

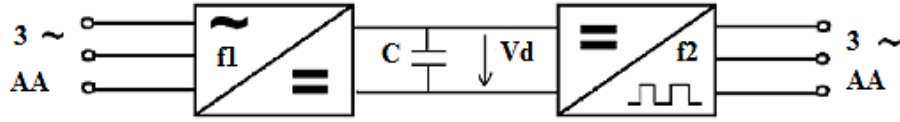
3.2. Besleme Özelliklerine Göre Eviriciler

Eviriciler besleme özelliklerine göre akım beslemeli ve gerilim beslemeli olarak iki grupta toplanırlar. Yük özelliklerine göre akım beslemeli ya da gerilim beslemeli

eviriciler arasında yapılacak seçim değişir.

3.2.1. Gerilim Beslemeli Eviriciler

Çıkış gerilim dalga şekli bu eviricilerde, giriş doğru gerilimi ve anahtarlama yöntemi ile belirlenir. Yükün dalga şekline etkisi yoktur. Eğer yük harmonik akımlara yüksek empedans gösteren bir özellik taşıyorsa, yükün gerilim beslemeli evirici ile sürülmesi daha uygundur. Gerilim beslemeli eviricilerin girişindeki doğru gerilim, doğrultucu devrenin çıkışına paralel bağlanan büyük bir kapasite ile elde edilebilir [16, 17]. Şekil 3.7’de üç faz-üç faz sistem için gerilim beslemeli bir evirici gösterilmiştir.



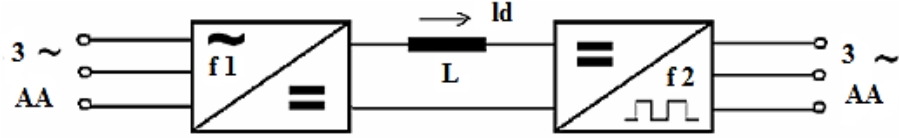
Şekil 3.7. Gerilim beslemeli evirici

3.2.2. Akım Beslemeli Eviriciler

Eviriciyi besleyen kaynak sabit bir akım kaynağı özelliği taşır ve doğrultucu devresinin çıkışına seri olarak bağlanan çok büyük bir endüktans ile eviricinin kaynaktan çektiği akımın sabit kalması sağlanabilir. Eğer evirici çıkışındaki yük düşük empedans gösteriyorsa, akım beslemeli evirici kullanmak daha uygun olur [16, 18]. Şekil 3.8’de üç faz-üç faz sistem için akım beslemeli bir evirici gösterilmiştir.

3.3. Eviricilerin Kullanıldıkları Yerler

Çıkış dalga şekillerinin istenilen frekans ve genlikte ayarlanmasından dolayı piyasada çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.



Şekil 3.8. Akım beslemeli evirici

3.3.1. İstenilen Gerilimin Elde Edilmesi

Eviriciler, şebekedeki bozulmaları önlemek, istenilen gerilimini sağlamak ve harmonikleri elimine etmek için kullanılır. Sistemin düzgün çalışması ve problem yaşanmaması için gerekli olan gerilim dalga şekli ve frekansında şebekedeki bozulmalardan dolayı uzaklaşmalar varsa, şebeke dalga şekli doğrultucu bir devre ile doğrultulduktan sonra eviriciye uygulanıp istenilen dalga şekli elde edilir.

3.3.2. Elektrikli Taşıma Sistemleri

Elektrikli taşıma sistemlerinde (tren, tramvay vs.) yüksek güçlü fiziksel olarak büyük trafolarla ihtiyaç vardır. Bu trafolar önemli bir yer işgal eder ve çoğunlukla problem yaratır. Aynı trafonun işlevini yerine getirecek fakat küçük boyutlarda trafo kullanabilmek için uygulanacak gerilimin frekansının yüksek olması gerekmektedir. Evirici kullanarak şebeke geriliminin frekansı yükseltilir ve küçük boyutlardaki trafolarla uygulanarak büyük boyutlarda trafo kullanma zorunluluğu ortadan kalkar.

3.3.3. Bir Fazdan Üç Faza Çevirme

Endüstride kullanılan alternatif akım cihazlarının çoğu (özellikle motorlar) üç fazlıdır. Fabrika ve sanayi işletmelerine göre daha küçük işletmelerde ya da üç fazlı yük kullanımı daha az olan yerlerde genellikle bir fazlı şebeke baraları bulunmaktadır. Bu sebeple üç fazlı yükleri beslemek için gerekli olan üç fazlı gerilim eviricilerde elde edilir. Piyasada satılan eviricilerin girişine direkt olarak bir faz ya da

üç faz uygulanır ve çıkışlarında üç faz elde edilir. Bu eviriciler öncelikli doğrultma işlevini kendi içlerinde bulunan doğrultucu devreler ile gerçekleştirirler ve daha sonra bu doğru gerilimi evirici katında alternatif gerilime çevirirler.

3.3.4. Asenkron Motor Kontrolü

Az arıza yapmaları ve bakım problemlerinin olmaması nedeniyle asenkron motorlar endüstriyel uygulamalarda geniş bir alanda kullanılmaktadır. Asenkron motorların (bir fazlı ya da üç fazlı) hızları, besleme gerilimlerinin frekansları ile doğru orantılıdır. Ayrıca bu motorlarda momentin sabit tutulabilmesi için, besleme geriliminin frekansla beraber değiştirilmesi gerekmektedir. Üç fazlı asenkron motorlarda vektörel kontrol yöntemi ve bir fazlı asenkron motorlarda skaler kontrol yöntemiyle hız ve moment kontrolü yapılmaktadır. Eviriciler ile gerilim genliği ve frekansı kontrol edilebildiğinden asenkron motor kontrolünde kullanılmaktadır.

3.4. Eviricilerin Anahtarlama Yöntemleri

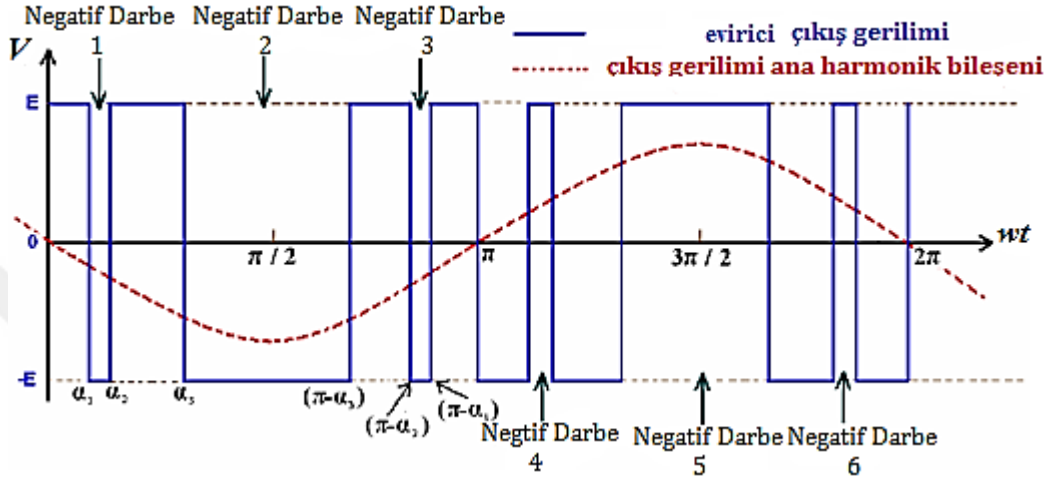
Evirici tasarımında, çıkış geriliminin ana harmonik bileşeninin genliğinin ve frekansının istenen değere ayarlamasının yanı sıra harmonik bileşenlerinin en aza indirgenmesi oldukça önemlidir. Genel olarak çıkış gerilim dalga şeklinin sinüs formuna yaklaştırılması, harmonik bileşen değerlerini azaltır. Tasarıma göre birçok anahtarlama yöntemi kullanılarak harmonik bileşenlerinin indirgenmesi sağlanabilir.

Darbe genişlik bindirimli anahtarlama, kare dalga anahtarlama, tek ve çift yönlü darbe genişlik modülasyonlu anahtarlama ve programlanmış harmonik eliminasyonu sıkça kullanılan yöntemlerden bazılarıdır.

3.4.1. Kare Dalga Anahtarlama

Kare dalga anahtarlama, evirici çıkış gerilimi esasında bir kare dalgadır. Fakat ana

harmonik bileşenin genliğini kontrol etmek için birkaç negatif darbe eklenmiştir. Örnek bir negatif darbeli kare dalga evirici çıkışı Şekil 3.9 'de gösterilmiştir. Gerilim dalga şeklindeki negatif darbeler çıkış geriliminin harmonikleri hesaba katılmadan oluşturulmaktadır.



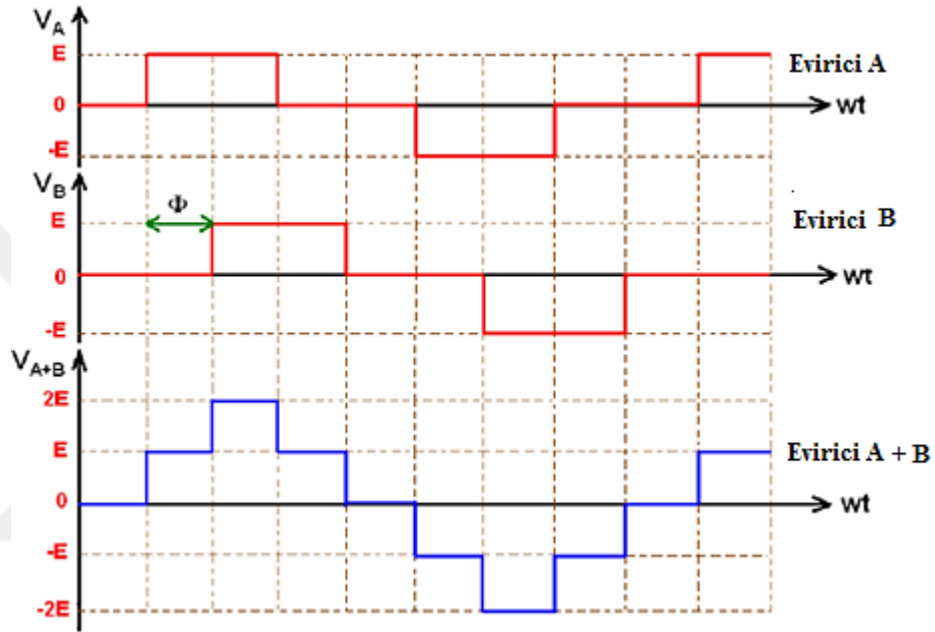
Şekil 3.9. Kare dalga anahtarlama

Bu sebeple harmonik bakımından kabul görmez şekilde olumsuzdur. En büyük avantajı basit olması ve yüksek güçlü tristörlü eviricilerde oldukça önemli olan anahtarlama sayısının azlığı olan bu yöntem birkaç tristörlü evirici uygulaması dışında pek tercih edilmemektedir.

3.4.2. Darbe Genlik Bindirimli Anahtarlama

Doğrudan ya da transformatör yardımıyla toplanan birden fazla evirici çıkışlı darbe genlik bindirimli anahtarlama yönteminde amaç, toplam çıkış gerilimini sinüs formuna benzeterek harmonik bileşenleri azaltmaktır. Kare dalga anahtarlama iki farklı evirici çıkışları toplanarak elde edilen örnek bir darbe genlik bindirimli evirici çıkışı Şekil 3.10 'da gösterilmiştir [19]. Şekil 3.10'da görüldüğü üzere, aynı çalışma frekansına sahip kare dalga anahtarlama, aralarında Φ faz farkı bulunan A ve B

evirici çıkış gerilimleri toplanarak farklı bir gerilim dalga şekli elde edilmiştir. Bu dalga şeklinin, A ve B eviricileri çıkış gerilimi dalga şekline göre daha çok sinüzoidal forma benzetildiği görülmektedir. Elde edilen yeni dalga şekli, A ve B eviricileri çıkış gerilimi dalga şekillerine göre daha az harmonik bileşen barındırır. Toplam gerilim dalga şeklinin sinüs formuna benzetimini arttırmak için kullanılan evirici sayısı artırılmalıdır.



Şekil 3.10. Darbe genlik bindirimli anahtarlama

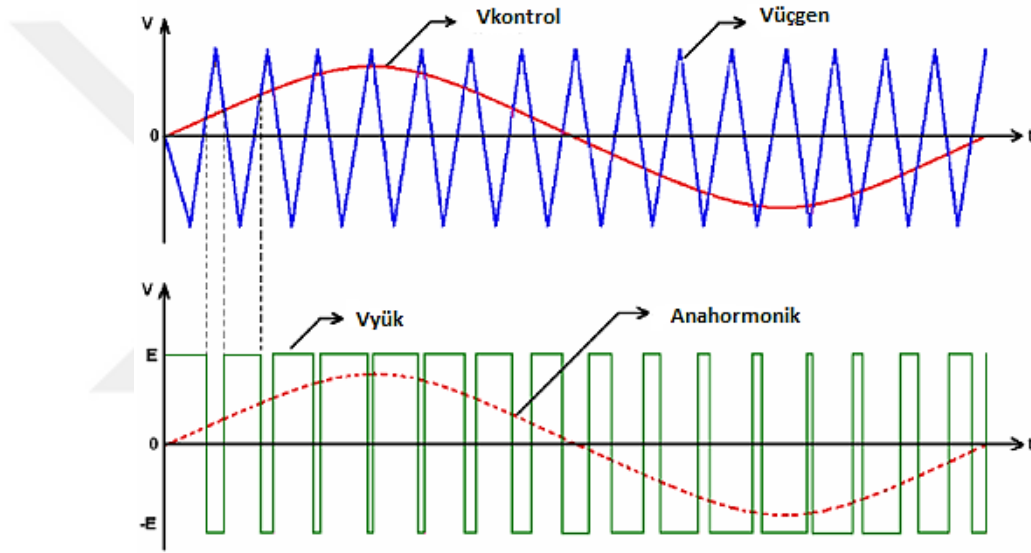
Fakat kullanılan evirici bloğu sayısının artması maliyeti arttırdığından dolayı, pratik açıdan bu yöntem çok da kullanışlı değildir. Darbe genlik bindirimli anahtarlama metodunda, anahtarlama frekansının düşük olması avantajdır. Böylelikle yüksek anahtarlama frekansından kaynaklanan problemlerle karşılaşılmaz.

3.4.3. Çift Yönlü Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) Anahtarlama

Negatif darbeleri kare dalga anahtarlama yönteminin anahtarlama sayısının artırılmış

hali çift yönlü PWM anahtarlama. Anahtarlama kontrolü, sinüzoidal referans kontrol işareti ile üçgen dalga işaretinin karşılaştırılmasından elde edilir. Sinüzoidal referans kontrol işareti, evirici çıkış geriliminin frekansını belirler. Çıkış ana harmonik bileşeninin frekansı, sinüzoidal referans işaretinin frekansı olur [20]. Çift yönlü anahtarlama sinyali ile evirici çıkış gerilimi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Evirici çıkışında, üçgen dalga işaretinin referans sinüzoidal kontrol işaretinden küçük olduğu durumlarda negatif evirici besleme doğru gerilimi $-E$, büyük olduğu durumlarda ise pozitif evirici besleme doğru gerilimi $+E$ üretilir.



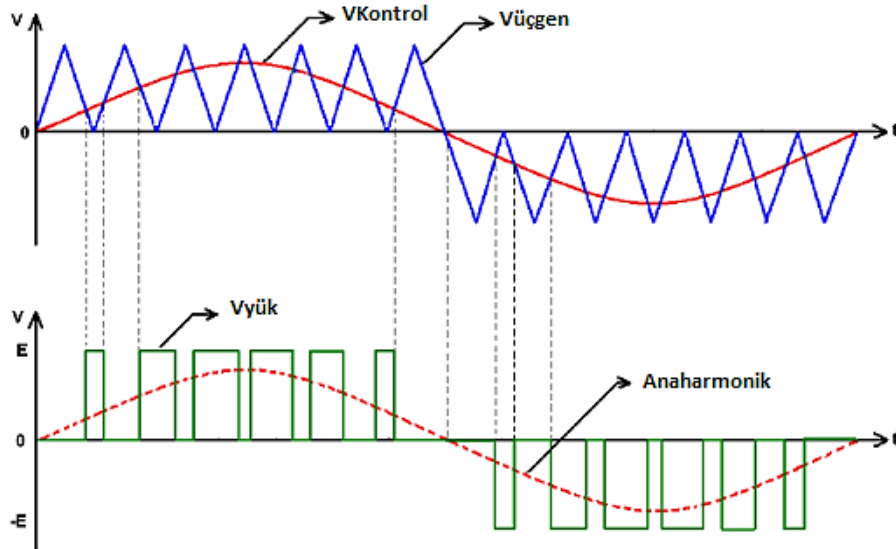
Şekil 3.11. Çift yönlü PWM anahtarlama

Üçgen dalga sinyalinin frekansı anahtarlama frekansını belirler. Bu yöntemde, referans sinüzoidal kontrol işareti ile üçgen dalga karşılaştırmasının yapılmadığı normal kare dalga anahtarlama göre harmonik azalımı daha fazladır. Anahtarlama frekansının artırılması ile sinüs formuna benzetim artırılabilir, böylelikle harmonik bileşenlerinin değeri azaltılabilir. Ancak anahtarlama frekansının artırılması, anahtarlama kayıplarını ve güç elektroniği elemanlarının yüksek frekansta çalışma problemlerini doğurur. Çift yönlü çalışmadan ötürü, pozitif ve negatif alternans bölgeleri iç içe girmiştir, bu sebeple darbe genlik bindirimli anahtarlama yöntemine

göre harmonik bozunumu daha fazladır. Fakat basit yapısı itibarı ile darbe genlik bindirimli anahtarlama yöntemine göre maliyeti oldukça düşüktür.

3.4.4. Tek Yönlü Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) Anahtarlama

Bu yöntemde, çift yönlü PWM anahtarlama yönetiminden farklı olarak, üçgen dalga işareti, referans sinüzoidal kontrol işaretinin pozitif alternans bölgesinde pozitif yönde, negatif alternans bölgesinde ise negatif yönde salınım yapar. Üçgen dalga işareti referans sinüzoidal kontrol işareti ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu evirici çıkışında, pozitif alternans bölgesinde referans sinüzoidal kontrol işaretinin üçgen dalgadan büyük olduğu durumda pozitif evirici besleme doğru gerilimi $+E$, küçük olduğu durumda sıfır gerilim üretilir. Negatif alternans bölgesinde ise, referans sinüzoidal kontrol işaretinin üçgen dalgadan küçük olduğu durumda negatif evirici besleme doğru gerilimi $-E$, büyük olduğu durumda sıfır gerilim üretilir. Evirici çıkış geriliminin frekansı referans sinüzoidal kontrol işareti tarafından belirlenir. Tek yönlü anahtarlama için kontrol sinyalleri ile evirici çıkış gerilimi Şekil 3.12 'te gösterilmiştir [21].



Şekil 3.12. Tek yönlü PWM anahtarlama

Tek yönlü PWM anahtarlama, tek yönlü çalışmadan ötürü pozitif ve negatif alternans bölgesi ayrılmıştır. Bu durum çift yönlü PWM anahtarlama yöntemine kıyasla, sinüs formuna daha yakın evirici çıkış gerilimi elde edilmesini sağlar. Böylelikle harmonik bozunumu daha az olur. Üçgen dalga işaretinin frekansı artırılarak anahtarlama frekansı artırılabilir. Anahtarlama frekansının artırılması, harmonik bileşenlerin değerlerini daha da azaltır. Fakat diğer anahtarlama yöntemlerinde olduğu gibi, anahtarlama frekansının artırılması, anahtarlama kayıpları ve güç elektroniği elemanlarının yüksek frekansta açma–kapama problemlerini doğurur.



4. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU (PWM)

4.1. Giriş

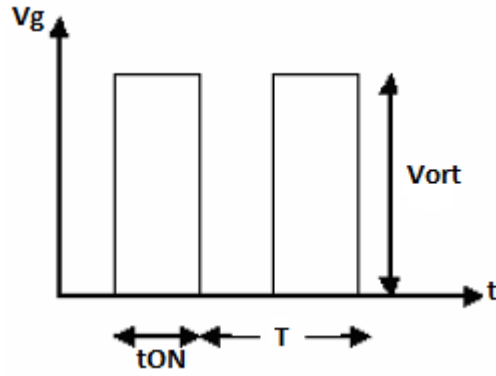
Elektriksel sistemlerde ani ve büyük değerli elektrik değişimlerinin yerine sürekli bir değişim gerekir. Lojik 0 veya lojik 1 veren sistemlerde analog değişimler elde edilemeyeceği için istenilen gerilim seviyesine daha küçük adımlarla ulaşılmaya çalışılır. Ne kadar küçük adımlar olursa elde edilen sinyal de analoga o kadar yakın olur. Bu gibi durumlarda hem farklı seviyelerde DC gerilim elde etmek, hem de elde edilen bu DC gerilim değerinde herhangi bir dalgalanmaya meydan vermemek için doğru akım çevirici devreleri kullanılır. Bu devreler, darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve darbe frekans modülasyonu gibi tekniklerle kontrol edilir.

T periyodunun sabit kalması koşuluyla, darbe boşluk oranının değiştirilmesine darbe genişlik modülasyonu (PWM) denir. Darbe frekansı, dolayısıyla darbe periyodu sabit tutulup, darbenin t_{ON} süresi değiştirilerek gerilimin değeri ayarlanabilir. PWM genel olarak çıkış gerilimi dalga şeklinin harmonik içeriğini değiştirir. Darbe periyot oranı değiştirilmek suretiyle, çıkıştaki ana geriliminin değeri kontrol edilir. Doğru akım çeviricisi, doğru gerilim değeri V_g olan bir kaynağın yüke vereceği gerilimi, uygun bir açıp kapama işlemiyle ortalama değeri 0 ile V_g arasında ayarlanabilen güç elektroniği devresidir [22]. Şekil 4.1’de bir PWM kıyıcının çıkış geriliminin değişimi görülmektedir.

PWM’in kullanıldığı yerler;

- Birçok anakart fanının hız kontrolünde
- SMPS güç kaynaklarında
- Telekomünikasyonda
- Güç devrelerinde
- PIC uygulamalarında
- Çanta tipi kaynak makinalarında

PWM ile kontrol yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. PWM çeviricinin çıkış gerilim değişimi

PIC ile PWM sinyali iki farklı şekilde üretilebilir;

- 1- Yazılım kullanılarak üretme
- 2- Donanım kullanılarak üretme

Donanımsal PWM desteği olan PIC'ler (HPWM) daha fazla üstünlük sunmaktadır. Birçok PIC üzerinde PWM modülü bulundurarak HPWM özelliğini desteklemektedir. Bu tür PIC'lerin üzerinde PWM sinyali üretmeye yarayan ayrı bir donanım bulunur. Buraya yazılım yöntemi kullanılarak bir değer atılır ve bu donanım yazılımdan bağımsız PIC ile sürekli işlem yaptırılmadan PWM sinyali üretebilir.

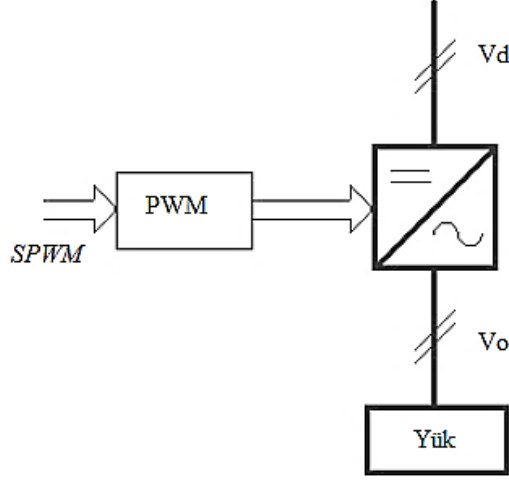
HPWM özelliği ile PWM sinyalinin frekansını ve duty cycle (doluluk oranı)'ı belirlenir. Belirlenen ve PWM desteği olan herhangi bir pinden bu çıkış alınabilir.

Yazılımsal olarak PIC'in belirlenen pini, istenilen sürelerde 1 ve 0 yapılarak neredeyse her PIC ile PWM sinyali üretilebilir. Fakat bu işlemi PIC, komutları sürekli çalıştırarak yapmalıdır. Mikrodenetleyici sürekli bu işlemi yaptığından dolayı aynı zamanda diğer bir işlem yapılamamaktadır.

Burada üretilen lojik sinyal çıkışını bir transistörle sürmek kaydıyla 0-25 Volt arası gerilimler elde edilebilir. Bu elde edilen PWM sinyali ile bir doğru akım (DC) motor hız ayar kontrolü yapabilir. PIC çıkışı, mosfet ya da darbe trafolarıyla tetiklenerek ters paralel bağlı tristörler ile daha yüksek gerilimlerde kontrol edilebilir.

4.2. Gerilim Kontrollü PWM

Açık kontrol tekniğinde bir referans giriş gerilimi alınıp sistemin devamlılığı gerçekleştirilir. Bu teknikte alınan giriş referans gerilimi işaretinin farklı bir üçgen dalga işareti ile karşılaştırılması sonucu taşıyıcı temelli PWM oluşur.

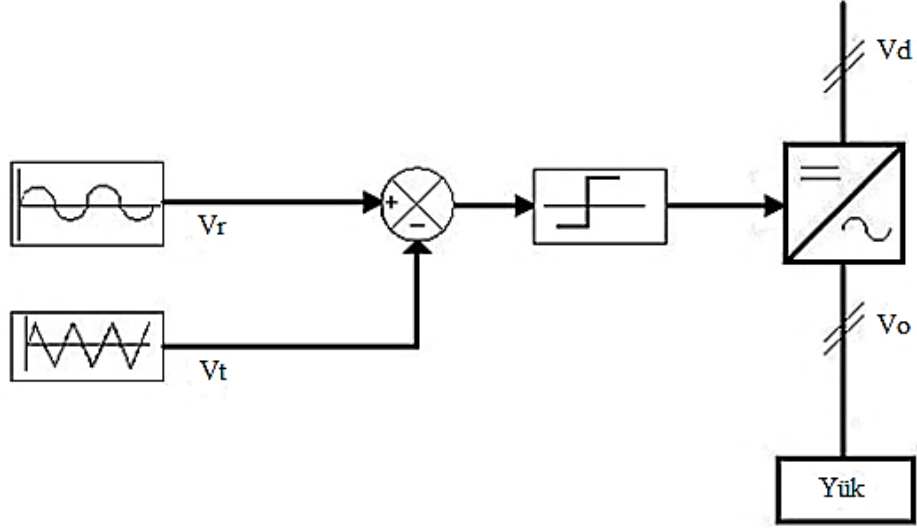


Şekil 4.2. Gerilim kontrollü PWM blok şeması

4.3. Taşıyıcı Temelli PWM

4.3.1. Sinüzoidal PWM

Sinüzoidal PWM metodu, eviricideki yarı iletken anahtarlama elemanlarının tetikleme anlarını tespit etmek ve eş zamanlamayı gerçekleştirmek için endüstriyel uygulamalarda genellikle kullanılmaktadır. Şekil 4.3'te kontrol blok şemasında gösterildiği gibi evirici çıkışının gerilimini ve frekansını belirleyecek bir sinüs referans işareti, frekans ve genliği sinüs işaretinden daha büyük bir üçgen dalga işaret ile karşılaştırılır. Bu iki işaretin kesiştiği noktalarda evirici içinde bulunan aynı koldaki anahtarlama elemanları durum değiştirirler [23, 24].



Şekil 4.3. Sinüzoidal PWM kontrol blok şeması

Evirici çıkış gerilimi ve frekans değerinin değiştirilmesi için referans kontrol işareti genliğinin ve frekansının değiştirilmesi yeterlidir. Taşıyıcı temelli PWM evirici çıkış geriliminin ayarlanmasında etkin olan iki büyüklük vardır. Bunlar modülasyon indeksi (M) ve taşıyıcı oranı (M_f)'dir. Eşitliklerse (4.1) ve (4.2)'de verildiği gibidir.

$$M_f = \frac{f_t}{f_r} \quad (4.1)$$

$$M = \frac{f_t}{V_t} \quad (4.2)$$

M_f : Taşıyıcı oranı

f_t : Taşıyıcı işaretin frekansı

f_r : Referans işaretin frekansı

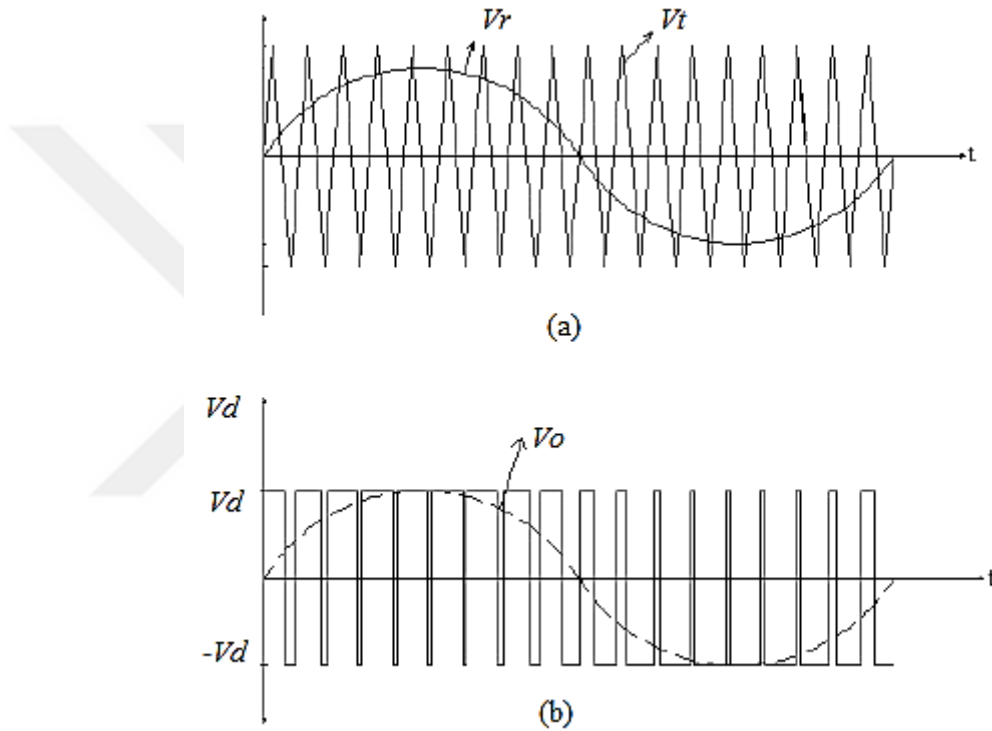
M : Modülasyon indeksi

V_r : Referans işaretin genliği

V_t : Taşıyıcı işaretin genliği

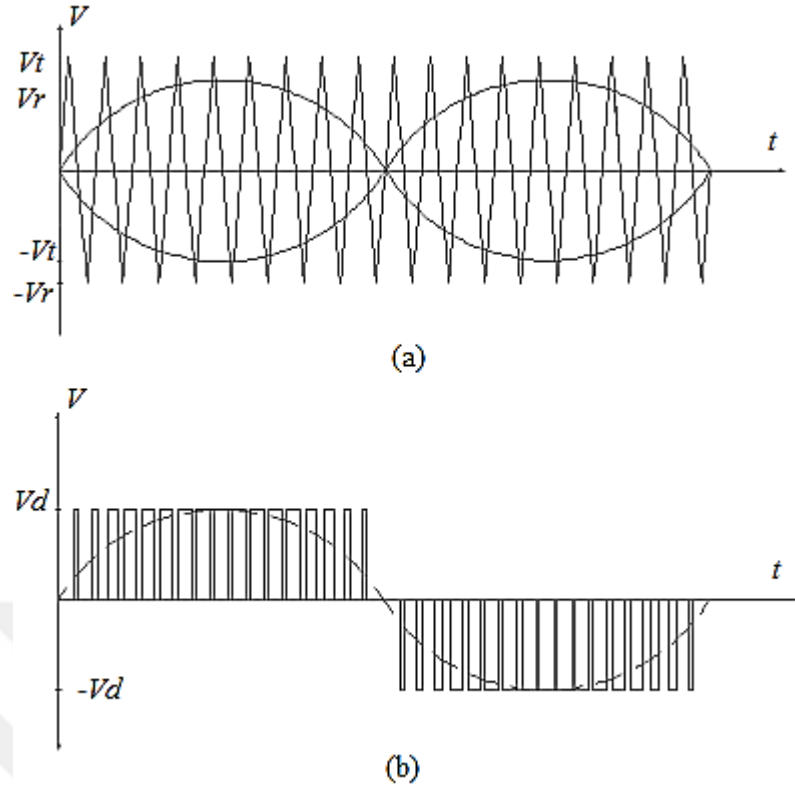
Bir periyottaki tepelerin sayısı, taşıyıcı işaretin frekansının referans işaretin frekansına oranı olan M_f taşıyıcı oranı ile belirlenmektedir. Şekil 4.4'te gösterilen çift yönlü gerilim anahtarlamalı SPWM ve Şekil 4.5'te gösterilen tek yönlü gerilim

anahtarlama SPWM'nin modülasyon indeksi M yaklaşık 0.8, f_r referans işaretin frekansı 50 Hz ve M_f taşıyıcı oranının 18 olması durumunda, oluşan SPWM'nin (Sinüzoidal PWM) değişimi gösterilmiştir. Burada genliği değişken sinüzoidal referans işareti, daha yüksek frekanslı üçgen dalga taşıyıcı işaretin karşılaştırılması yapılarak oluşan kesişme noktaları ile anahtarlama elemanlarının anahtarlama süreleri belirlenmektedir. Sinüs dalgasının genliğinin değiştirilmesiyle, çıkışta elde edilen PWM'nin darbe genişliğinin değişmesi, temel bileşenin genliğini de değiştirir.



Şekil 4.4. Çift yönlü gerilim anahtarlama SPWM

Yarı iletkenlerin anahtarlama sayısını, üçgen dalga işaretin frekansı periyot başına belirlemektedir. Referans dalgasının frekansı evircinin çıkıştaki frekansına eşit olmaktadır. M_f 'nin büyük olması sağlandığında çıkışta süzülmesi kolay yüksek frekanslı gerilim harmonikleri oluşur. Bunun yanında yüksek frekansa bağlı olarak anahtarlama kayıpları artar. Ancak diğer bir sakınca ise anahtarlama frekansının 6 kHz – 20 kHz arasındaki değerlerinde ortaya çıkar.



Şekil 4.5. Tek yönlü gerilim anahtarlamalı SPWM

Bu çalışma aralığı ise insan kulağının işittiği frekans aralığı olmasından dolayı bu aralıkta anahtarlama tercih edilmez. Sinüzoidal PWM modülasyonu ile elde edilen çıkış gerilimi ile kare dalga gerilime nazaran asenkron motor gibi bir yükte harmoniklerin neden olduğu ısınma ve moment salınımlarından bir ölçüde sakınılabilmektedir. Taşıyıcı oranının yüksek tutulması halinde çıkış geriliminde yüksek mertebeden harmonikler oluşur. Çıkış akımı sinüse yakın olduğunda düşük hızlarda motor milinde moment salınımı oluşmaz, düzgün bir dönüş sağlanır. Taşıyıcı oranının küçük tutulması halinde motorun momentinde ve hızında salınımlar oluşur. Düşük hızlarda bir asenkron motorda düzgün bir çalışma sağlanabilmesi için taşıyıcı oranının en az 9 veya üstünde bir değer olması gerekmektedir. Ancak eviricilerde toplam harmonik bozulmayı azaltmak için bir yarı periyottaki anahtarlama sayısı, kullanılan yarı iletkenlere bağlı olarak, geçmişte sınırlı kalmak zorundaydı. Çünkü makine kayıplarını azaltarak elde edilen verim eviricide oluşan komütasyon kayıplarından dolayı düşmekteydi ve yarı iletkenlerin kesime gitme zamanları

sınırlıydı. Fakat son zamanlarda geliştirilen anahtarlama kayıpları düşük ve hızları yüksek güç yarı iletken anahtarlama elemanları sayesinde ortaya çıkan problemler büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. PWM anahtarlama stratejileri için iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birincisi hem sayısal hem de analog sistemlerin uygulanmasında geniş şekilde kullanılan doğal örnekleme (natural sampling) tekniğidir. Sayısal veya mikroişlemcili uygulamalarda kullanılan ve pek çok avantajlara sahip olan teknik ise düzenli örnekleme (regular sampling) tekniğidir.

4.3.2. Doğal (Natural) Örnekleme

Doğal örnekleme tekniği analog PWM evirici kontrol uygulamalarında kullanılır. Analog elektronik malzemeler çok hızlıdır ve bu yüzden evirici anahtarlama frekansları 10 kHz veya daha fazla seviyede kolayca elde edilebilir.

Burada, referans işaret olan sinüzoidal işaret taşıyıcı üçgen dalga işaret ile karşılaştırılır ve bu işaretlerin kesiştiği örnekleme noktalarında anahtarlama elemanlarının durumları ve darbe genişlikleri belirlenir. Herhangi iki nokta arasında oluşan darbe genişliği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

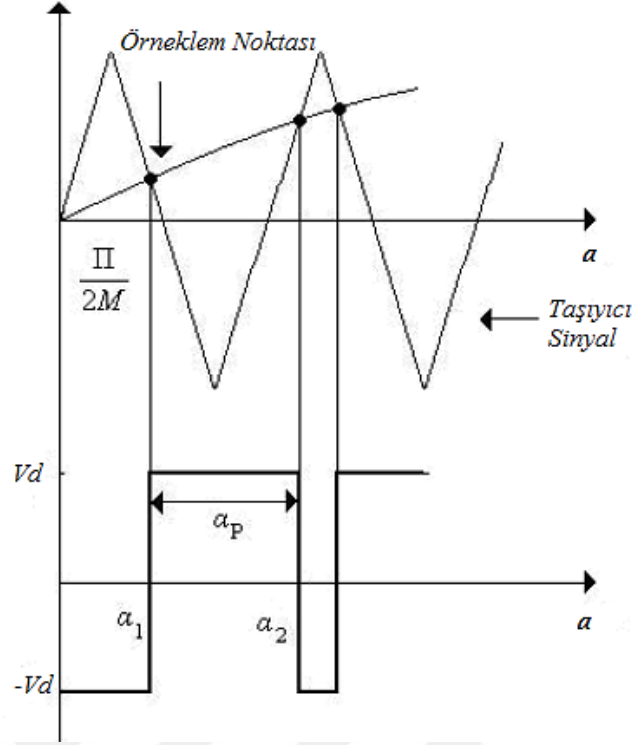
Herhangi iki nokta arasında oluşan darbe periyot oranı darbe genişliği değeri;

$$\alpha_p = \frac{\pi}{M_f} \left[1 + \frac{M}{2} (\sin\alpha_2 + \sin\alpha_1) \right] \quad (4.3)$$

eşitliğinden bulunur.

4.3.2. Düzenli (Regular) Örnekleme

Düzenli örneklenmiş PWM evirici kontrol tekniği sayısal veya mikroişlemci uygulamalarında kullanıldığı zaman bazı avantajlara sahiptir.



Şekil 4.6. Doğal (Natural) örnekleme tekniği

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi taşıyıcı işaretin her periyodunda, sinüzoidal işarete bir adım yaptırılır ve merdiven şeklinde bir işaret elde edilir. Sonrasında elde edilen işaret ile tekrar üçgen dalga işaret karşılaştırılarak anahtarlama elemanları için darbe genişlikleri belirlenir.

Darbe genişlikleri üçgen dalga işaretin her bir kenarı için elde edilmiş olan merdiven şeklinde işareti kestiği noktalara göre simetrik düzenli örnekleme ve asimetric düzenli örnekleme diye ikiye ayrılır.

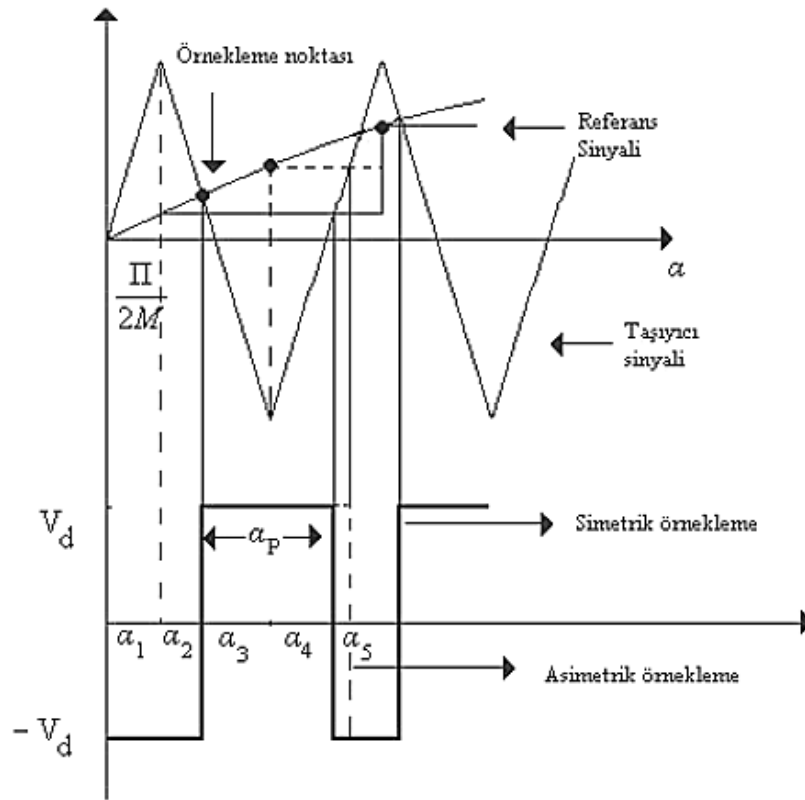
Bu durumda darbe genişliği simetrik düzenli örnekleme için (4.4) eşitliğinde verilmiştir.

$$\alpha_P = \frac{\pi}{M_f} [1 + M \cdot \sin \alpha_1], \quad \alpha_1 = \frac{\pi}{2 \cdot M_f} \quad (4.4)$$

Asimetrik düzenli örnekleme için (4.5) eşitliğinde verilmiştir.

$$\alpha_P = \frac{\pi}{M_f} \left[1 + \frac{M}{2} (\sin\alpha_1 + \sin\alpha_3) \right], \quad \alpha_3 = \frac{3\pi}{2M_f} \quad (4.5)$$

Asimetrik düzenli örnekleme tekniği, simetrik düzenli örnekleme tekniğine göre daha karmaşık olduğu için çoğunlukla simetrik düzenli örnekleme tekniği kullanılır.

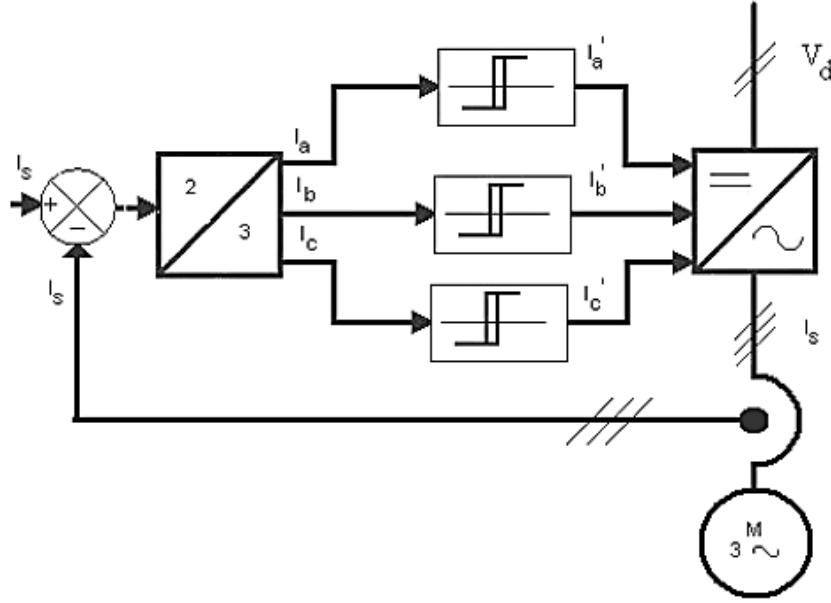


Şekil 4.7. Düzenli (regular) örnekleme tekniği

4.4. Akım Kontrollü PWM

Kapalı döngü PWM kontrol tekniği diye de adlandırılan akım kontrollü PWM eviriciler yüksek performanslı AC sürücülerinde yaygın kullanılmaktadırlar. Şekil

4.8'de gerçekleştirilen kontrol, stator vektör akımı için ya da stator akı vektörü için bir geri döngü kontrol yapılarak gerçekleştirilir. Geleneksel gerilim kaynaklı PWM eviriciye kontrol çıkış akımı sağlamak için, akım ayarlama döngülerinin eklenmesi ile akım kontrollü PWM eviriciler oluşturulur. Bu kontrol yöntemi doğrusal olmayan yükler için gayet hızlıdır.



Şekil 4.8. Akım kontrollü PWM kontrol blok şeması

Değişik formlarda olan akım kontrolü yaygın olarak sinüzoidal bir referans akım dalga şekli üretir ve bu dalga motorun gerçek ölçülen akımı ile birlikte karşılaştırıcıyı besler. Eğer motorun faz akımı, referans akım değerinden daha pozitif ise üst kısımdaki elemanlar kesime, alt kısımdaki elemanlar ilettime geçerek motorun akımının azalmasına sebep olur.

Karşılaştırıcının histerisiz genişliği vardır. Bu genişlik eviricinin anahtarlama başlamadan önceki izin verilen referans akımı ile gerçek akımı arasındaki farkı belirler. Böylelikle gerçek akım, referans akımı, faz gecikmesi ve önemli hata büyüklüğü olmadan izler [25].

5. PIC MİKRODENETLEYİCİSİ

5.1 Giriş

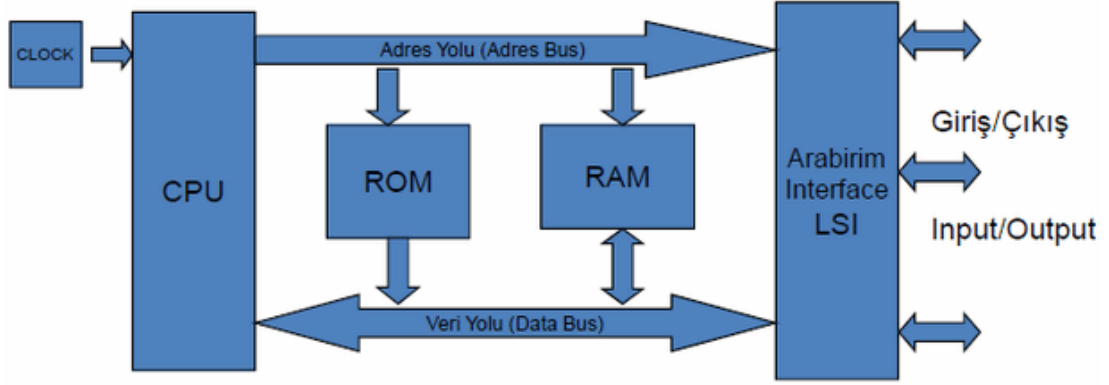
Bir bilgisayarda olması gereken temel bileşenlerden işlemci (CPU), hafıza (RAM-ROM) ve giriş-çıkış (I/O) ünitesinin tek bir entegre paketi içerisine yerleştirilerek üretilmiş biçimine mikrodenetleyici (microcontroller) denir.

Birçok chip firması mikrodenetleyici üretmektedir. Her firma ürettiği entegreye farklı isimler vermektedir. Örnek olarak Microchip firması ürettiklerine PIC, Atmel firması ürettiklerine ATmega adını verirken, Intel'in ürettiği ve 1980'lerin başında piyasaya sürdüğü 8051, bazen MCS-51 olarak da adlandırılır. Neredeyse her üreticinin ürettiği, mimarileri arasında çok küçük farklar olan birkaç mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. Bu mikrodenetleyiciler hemen hemen aynı işlemleri yapabilmektedirler. Firmalar ürettikleri mikrodenetleyicilerin özelliklerini birbirinden ayırmak için parça numarası vermektedir [26].

Bu tez çalışmasında donanım tasarımı yapılırken PIC16F887 kullanılmıştır. Kullanılmasındaki amaç maliyeti, dahili osilatörü bulunması ve yüksek frekanslarda PWM sinyali üretmeye izin vermesidir.

PIC'ler RAM, EPROM, EEPROM, PIA gibi mikroişlemci sistemlerinde bulunmak zorunda olan temel bileşenleri aynı çatı altında toplayan donanımlardır. Bütün bileşenlerin Şekil 5.1'de görüldüğü gibi aynı çatı altında toplanması ile mikroişlemci tabanlı sistemlerin boyutları küçültülmüş, sistem maliyetlerinde önemli bir azalma sağlanmış ve böylece bu tip sistemlerin tasarlanması daha rahat ve basit bir hale getirilmiştir.

CPU, RAM, EPROM elemanlarının arasında bağlantıyı sağlayacak adres bus, data bus ve kontrol bus gibi veri yolları sistem kartı üzerinde bulunmayacaktır. Çünkü bunların tamamı üretici firma tarafından PIC mikrodenetleyicisinin içine yerleştirilmiştir [27].



Şekil 5.1. Genel mikrodenetleyici sistemleri blok diyagramı

PIC yaklaşık olarak bir milyon kere programlanabilmekte ve sakladığı verileri yıllarca muhafaza edebilmektedir. Tek yönlü kontrol olup, giriş-çıkış pinleri üzerinden maksimum 20 mA akım akıtılabilmektedir. Bu akım değeri çok düşük olduğu için yarı iletken malzemelerle anahtarlama yapılarak istenilen kontroller gerçekleştirilebilir.

5.2. PIC Mikrodenetleyicisi Ailesine Genel Bakış

5.2.1. PIC Mikrodenetleyicisinin Temel Özellikleri

- Yüksek performans
- Öğrenilmesi gereken sadece 35 komut sistemi
- İki çevrimli olan program dallanmaları dışında hepsi tek döngülü komutlar
- Çalışma hızı DC 20 MHz clock girişi
- DC 200 ns komut çevrimi
- Interrupt (kesme) yeteneği
- 8 düzeyli derin “donanım yığını”
- Direk, endirekt ve relatif adresleme modları
- Power-on reset (POR)
- Power-up timer (PWRT)

- Osilatör start-up timer
- Güvenilir çalışma için kendi üzerinde bulunan “on chip” RC osilatörlü watchdog zamanlayıcı (WDT)
- Programlanabilir kod koruma
- Güç tasarrufu sağlayan sleep modu
- Değişik osilatör seçenekleri
- 8 bitlik çok kanallı ADC
- Düşük güç yüksek hız CMOS EPROM teknolojisi
- Geniş çalışma voltaj aralığı: 2,5 V- 6 V
- Yüksek source akımı 25 mA

Güvenirlilik: PIC komutları hafızada çok az yer kaplarlar. Dolayısıyla bu komutlar 12 veya 14 bitlik bir program bellek sözcüğüne sığarlar. Harvard mimari teknolojisi kullanılmayan mikrodenetleyicilerde yazılım programının veri kısmına atlama yaparak bu verilerin komut gibi çalıştırılmasını sağlamaktadır. Bu da büyük hatalara sebep olmaktadır. PIC’lerde bu durum ortadan kaldırılmıştır.

Hız: PIC her bir komut döngüsü 1µsn olan oldukça hızlı bir mikrodenetleyicidir. Örneğin 5 milyon komutluk bir programın 20 Mhz’lik bir kristalle işletilmesi yalnız 1sn sürer. Bu süre 386SX33 hızının yaklaşık iki katıdır. Ayrıca RISC mimarisine sahip bir işlemci olmasının hız üzerinde etkisi oldukça büyüktür.

Komut seti: RISC mimarisi yapısında olan PIC’ler oldukça daraltılmış komut setlerine sahiplerdir. Örneğin 16XX serisinde bir programlama yapmak için sadece 35 komut gerekirken bu değer 18XX ve 24XX serilerine gelince 70 komutun üzerine çıkar. Fakat benzer mikrodenetleyicilere oranla komut setleri yine de azdır. PIC’in kullanmış olduğu komutların tamamı register temellidir.

Statik İşlem: Statik bir işlemci olan PIC saat durdurulduğunda tüm kaydedici içeriklerini saklar. Uygulamada bunu tam anlamıyla gerçekleştirebilmek mümkün değildir. PIC programı işletilmediğinde uyuma (sleep) moduna geçirilerek mikrodenetleyicinin çok küçük akım çekmesi sağlanır. PIC uyuma moduna geçirildiğinde saat durur ve PIC uyuma işleminden önce hangi durumda olduğunu

çeşitli bayraklarla (elde bayrağı, 0 (zero) bayrağı vb.) ifade eder. PIC uyuma modunda $1\mu\text{A}$ 'den küçük değerlerde akım çeker (Standby akımı).

Sürme özelliği (Sürücü kapasitesi): Yüksek çıkış yeteneğine sahip tipik bir PIC tek pin üzerinden 40 mA akım çekebilmekte ve bu değer entegre toplamında 150 mA akım akıtma kapasitesine çıkabilmektedir.

Seçenekler: PIC'lerde her türlü gereksinimlerinin karşılanacağı çeşitli hız, sıcaklık, kılıf, giriş/çıkış (I/O) hatları, zamanlama (timer) fonksiyonları, seri iletişim portları, analog/dijital çevirici (A/D) ve bellek kapasite seçenekleri bulunur.

Genel olarak mikrodenetleyicilerin yapısı 'Von Neumann Architecture' olarak adlandırılır. PIC ise Harvard mimarisine sahiptir. Harvard mimarisi mikrodenetleyicilerde veri akış miktarını hızlandırmak ve daha yüksek yazılım güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılır. Data hafızası ile program hafızası vardır. Data hafızası bilgi yoluna (bus), program hafızası da program yoluna (bus) sahiptir. Bu iki yol (bus) birbirlerinden tamamen bağımsızdırlar [27]. Ayrı veri yollarının kullanımıyla veri belleği ve program belleğine daha hızlı bir şekilde erişim sağlanır.

RISC mimarisi adı verilen yöntem kullanılarak üretilen mikrodenetleyicilerde, programlama yapmak için kullanılacak olan komutlar daha basit ve sayı olarak daha azdır. 1980'lerin başından beri uygulanmaya başlayan bir tasarım modeli olan RISC (Reduced Instruction Set Computer) mimarisindeki ana yaklaşım, daha sade ve daha az komut kullanılması yönündedir [28].

5.2.2. PIC Mikrodenetleyicilerinin Tercih Sebepleri

- a) Lojik uygulamalarının hızlı olması, fiyatının uygunluğu
- b) 8 bitlik mikrodenetleyiciler olması ve bellek ile veri için ayrı yerleşik veri yollarının kullanılması
- c) Veri ve belleğe erişimin daha hızlı olması

- d) PIC'e göre diğer mikrodenetleyicilerde veri ve programı taşıyan bir tek veri yolu bulunması, PIC'lerde ise veri ve bellek için ayrı veri yollarının olması nedeniyle PIC'lerin hızının diğer mikrodenetleyicilerden iki kat daha fazla olması
- e) Herhangi bir ek bellek veya giriş/çıkış elemanına ihtiyaç olmadan sadece iki kondansatör ve bir direnç ile çalışabilmesi
- f) Yüksek frekanslarda çalışabilme yeteneği
- g) Stand-by durumunda daha düşük akım çekmesi
- h) Kesme kapasitesi ve 14 bit komut işleme hafızası olması

5.2.3. PIC Mikrodenetleyicilerinin İç Yapısı

İşlemcinin (CPU) kalbi ALU (Aritmetic Logic Unit - Aritmetik Mantık Birimi)' dir. ALU, W (Working-Çalışan) adında bir kaydediciye sahiptir. PIC'in aritmetik ve mantık işlemleri için sadece bir tane ana kaydedici kullanması onu diğer mikroişlemcilerden ayrı tutar. CPU'daki herhangi bir veriyi transfer etmek için kullanılan W kaydedicisi 8 bit genişliğindedir.

İşlemci üzerinde, iki farklı kategoriye ayırabileceğimiz veri kaydedici dosyaları (data register files) bulunur. Bu kaydedicilerden bir tanesi giriş/çıkış ve kontrol işlemlerinde kullanılırken, diğer veri kaydedicisi ise RAM olarak kullanılır [29].

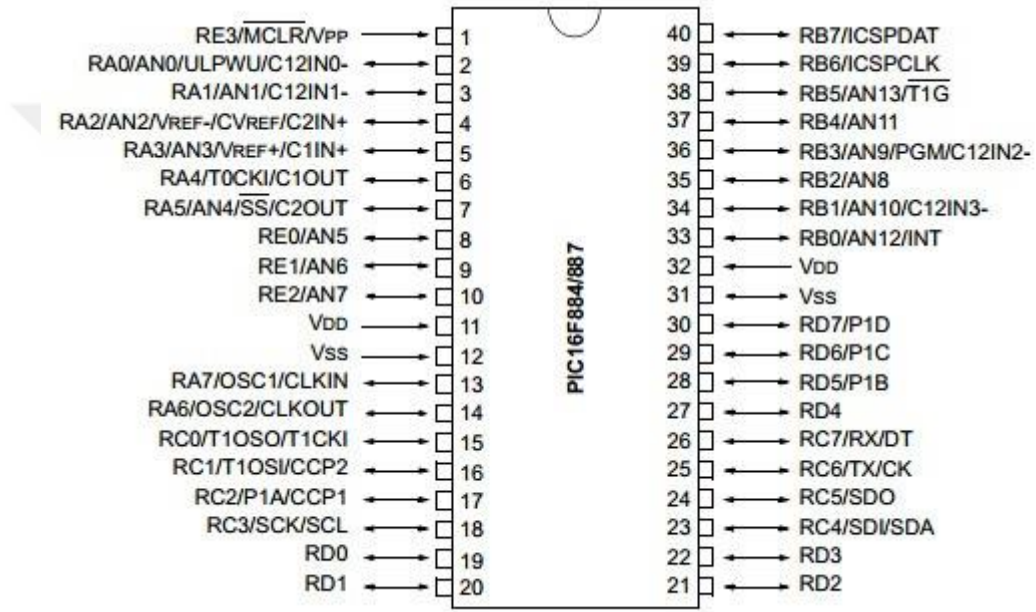
5.3. PIC16F887 Mikrodenetleyicisi Tanıtımı

PIC16F887 mikrodenetleyicisi RISC mimarisine sahip 8 bitlik bir denetleyicidir. 35 işlem komutuna sahiptir ve dallanma (branch) komutları haricinde tek çevrimlik komutlara sahiptir.

- PIC16F887 toplam 8192 kelimeye sahip program belleğine, 368 byte SRAM veri belleğine ve 256 byte EEPROM veri belleğine,
- 35 adet giriş/çıkış pinine,
- 10 adet 10 bitlik analog/dijital çevirici (A/D) kanalına,
- 1 adet gelişmiş CCP modülüne, 1 adet CCP modülüne,

- 1 adet Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter modülüne, 1 adet Master Synchronous Serial Port modülüne,
- 2 adet karşılaştırma modülüne,
- 1 adet 8 bitlik ve 2 adet 16 bitlik Timer modülüne sahiptir.

PIC16F887'ye ait pin tanımları şekil 5.2'de gösterilmiştir. Bir pine ait farklı görevler SRAM veri belleğindeki özel amaçlı saklayıcılar (SFR) ile kontrol edilir.



Şekil 5.2. PIC16F887 pin gösterimi

Çizelge 5.1'de PIC16F887 mikrodenetleyicisinin uç tanım ve görevleri verilmiştir. Örneğin 3 numaralı pinin uygun yazılımsal ayarlamalar yapılarak ya RA1 dijital giriş çıkış ucu ya da AN1 analog giriş ucu olarak kullanılabilir olduğunu gösterir.

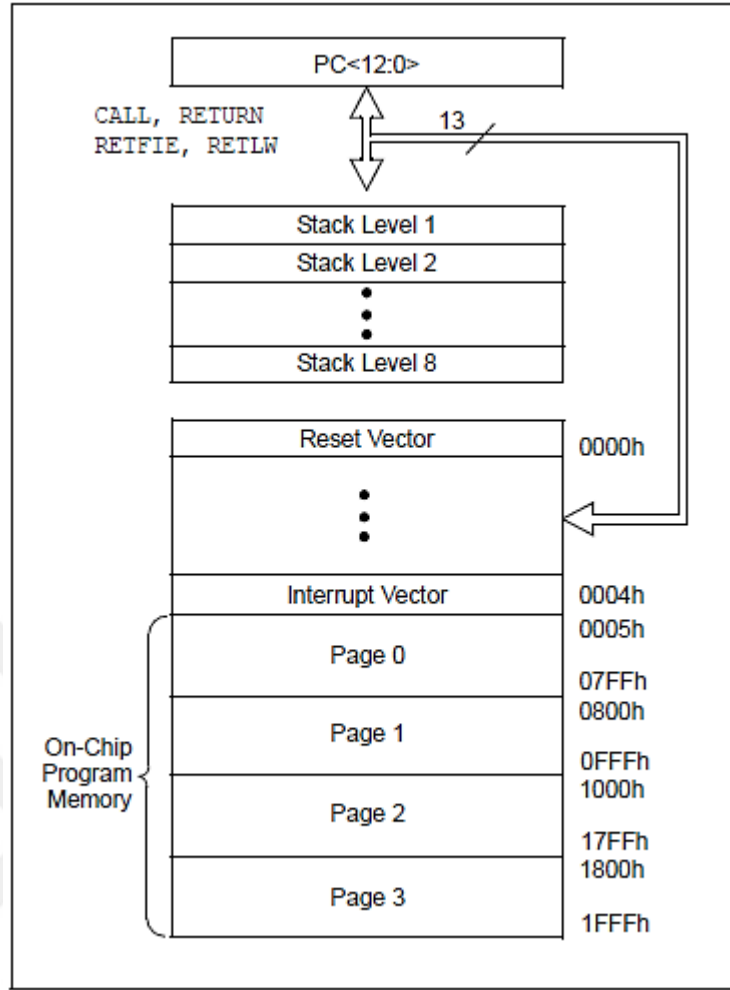
Port ayar saklayıcılarının reset sonrası varsayılan değerleri gereği analog giriş olarak ayarlanabilen tüm uçlar reset sonrasında analog giriş olarak ayarlıdır. Bu sebeple 3 numaralı pini dijital giriş çıkış amaçlı olarak kullanabilmek için istenen port ilk durumlandırılmaları yazılımsal olarak yapılmalıdır.

Şekil 5.3'te PIC16F887'ye ait iç yapı gösterilmiştir. Program belleği adres yolu, SRAM veri belleği adres yolu, program belleği veri yolu, SRAM veri belleği veri yolu ile EEPROM adresleme ve veri uçları şekil üzerinde işaretlenmiştir. PIC16F887'de akümülatör ve genel amaçlı saklayıcı olarak W saklayıcısı (working register) kullanılır.

Çizelge 5.1. PIC16F887 uç tanımları ve görevleri

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	\overline{SS}	—	—	—
RA6	14	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	13	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	33	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	34	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	35	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	36	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	37	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	38	AN13	—	$\overline{T1G}$	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	39	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	40	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	15	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	16	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	17	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	18	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	23	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	24	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	25	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	26	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	28	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	29	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	30	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	8	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	9	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	10	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y ⁽¹⁾	\overline{MCLR}/VPP
—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.



Şekil 5.3. PIC16F887 iç yapısı

Bellekte art arda duran komutların işletilmesi işini çözmek üzere PIC'e bir register eklenir. Bu register içinde saklanan sayı, bellekten okunacak olan komutun adresini gösterir. Bellekten her komut okunduğunda, komut işlendikten sonra program sayacı (Program Counter-PC) bellekte bir sonraki komutun olduğu yeri gösterir.

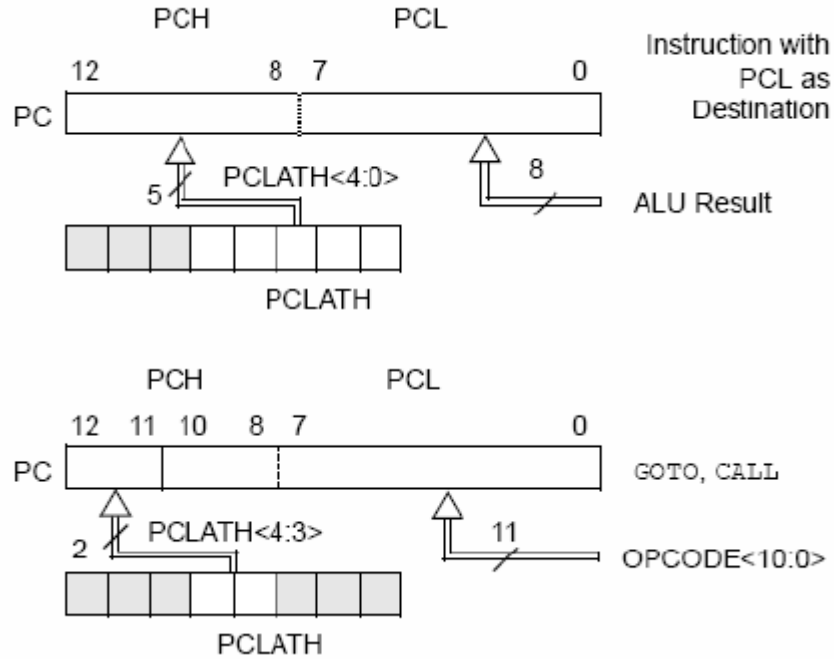
Program sayacı (PC) değeri PCL ve PCLATH saklayıcıları ile oluşturulur. Şekil 5.4'de PC değerinin elde edilmesi verilmiştir.

Program sayacı (PC), 13 bit uzunluğundadır. Düşük byte PCL saklayıcısı, okunabilir ve yazılabilir bir kayıtçı olup belleğin h'02' adresinde yer alır. PC'nin yüksek baytı,

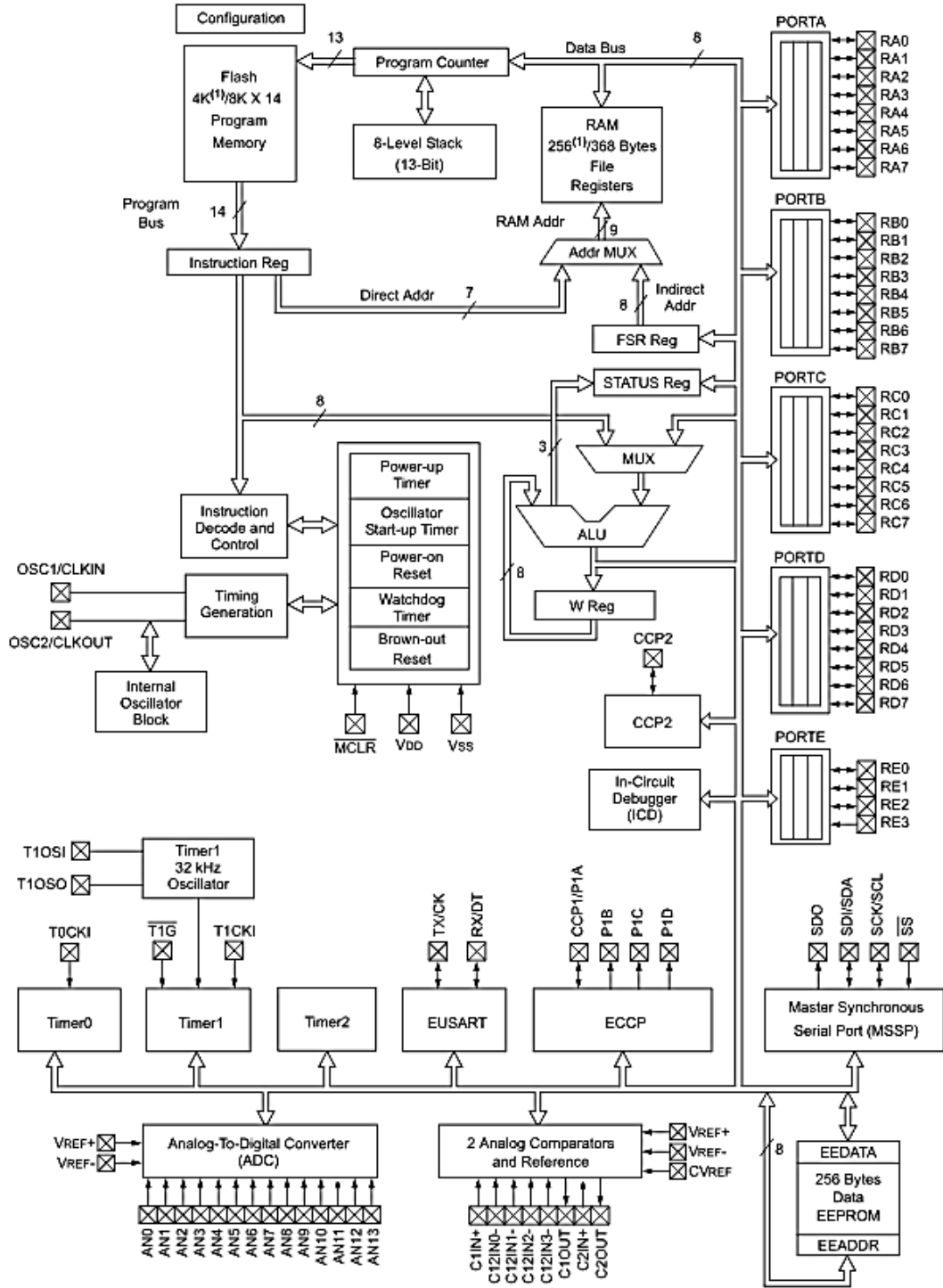
PCLATH saklayıcısından gelir ve direkt olarak okunamaz ya da yazılamaz. PCLATH (PC latch high) saklayıcısı PC<12:8> için bir tutma saklayıcısıdır ve PIC'e gerilim uygulandığında tüm bitleri '0'dır. PC yeni bir değerle yüklendiği zaman PCLATH'ın içeriği program sayacının üstteki baytına transfer edilir.

Şekil 5.5'de SRAM veri belleğine ait organizasyon şeması verilmiştir. Bu yapı içerisinde çevre birimleri kontrolleri için özel amaçlı saklayıcılar (special function registers) ve kullanıcıya sunulmuş genel amaçlı saklayıcı (general purpose registers) bölgeleri bulunmaktadır.

PIC16F887'ye ilişkin program belleği organizasyonu şekli 5.6'da gösterilmiştir. Şekilde ayrıca program belleğinde reset ve kesme vektör adresleri de işaretlenmiştir. Sistem ilk başlatıldığında veya reset devresi ile sıfırlama durumu oluşturulduğunda PC'ye 0x0000 adres değeri yüklenir. Benzer şekilde bir kesme durumunda PC'ye 0x0004 adresi yüklenir [30]. SRAM bölgesinde yerleştirilmiş önemli SFR saklayıcılarına ilişkin bit tanımları ve reset değerleri şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.4. PC değerinin elde edilmesi



Şekil 5.5. SRAM veri belleği organizasyonu

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. ⁽¹⁾	00h	Indirect addr. ⁽¹⁾	80h	Indirect addr. ⁽¹⁾	100h	Indirect addr. ⁽¹⁾	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h	WDTCON	105h	SRCON	185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h	CM1CON0	107h	BAUDCTL	187h
PORTD ⁽²⁾	08h	TRISD ⁽²⁾	88h	CM2CON0	108h	ANSEL	188h
PORTE	09h	TRISE	89h	CM2CON1	109h	ANSELH	189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDAT	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2 ⁽¹⁾	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved	18Eh
TMR1H	0Fh	OSCCON	8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved	18Fh
T1CON	10h	OSCTUNE	90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h	WPUB	95h		115h		195h
CCPR1H	16h	IOCB	96h	General Purpose Registers	116h	General Purpose Registers	196h
CCP1CON	17h	VRCON	97h		117h		197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h	16 Bytes	118h	16 Bytes	198h
TXREG	19h	SPBRG	99h		119h		199h
RCREG	1Ah	SPBRGH	9Ah		11Ah		19Ah
CCPR2L	1Bh	PWM1CON	9Bh		11Bh		19Bh
CCPR2H	1Ch	ECCPAS	9Ch		11Ch		19Ch
CCP2CON	1Dh	PSTRCON	9Dh		11Dh		19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Registers	3Fh	General Purpose Registers		General Purpose Registers		General Purpose Registers	
	40h	80 Bytes		80 Bytes		80 Bytes	
96 Bytes	6Fh		EFh		16Fh		1EFh
	70h	accesses 70h-7Fh	F0h	accesses 70h-7Fh	170h	accesses 70h-7Fh	1F0h
	7Fh		FFh		17Fh		1FFh
Bank 0		Bank 1		Bank 2		Bank 3	

□ Unimplemented data memory locations, read as '0'.

Note 1: Not a physical register.

2: PIC16F887 only.

Şekil 5.6. PIC16F887 program belleği organizasyonu

Addr	İsim	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Değeri
03h	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	0001 1xxx
05h	PORTA	RA7	RA6	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	xxxx xxxx
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxx xxxx
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	xxxx xxxx
08h	PORTD	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1	RD0	xxxx xxxx
09h	PORTE	—	—	—	—	RE3	RE2	RE1	RE0	---- xxxx
0Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x
17h	CCP1CON	P1M1	P1M0	DC1B1	DC1B0	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	0000 0000
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON	0000 0000
85h	TRISA	TRISA7	TRISA6	TRISA5	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0	1111 1111
86h	TRISB	TRISB7	TRISB6	TRISB5	TRISB4	TRISB3	TRISB2	TRISB1	TRISB0	1111 1111
87h	TRISC	TRISC7	TRISC6	TRISC5	TRISC4	TRISC3	TRISC2	TRISC1	TRISC0	1111 1111
88h	TRISD	TRISD7	TRISD6	TRISD5	TRISD4	TRISD3	TRISD2	TRISD1	TRISD0	1111 1111
89h	TRISE	—	—	—	—	TRISE3	TRISE2	TRISE1	TRISE0	---- 1111
10Ch	EEDAT	EEDAT7	EEDAT6	EEDAT5	EEDAT4	EEDAT3	EEDAT2	EEDAT1	EEDAT0	0000 0000
10Dh	EEADR	EEADR7	EEADR6	EEADR5	EEADR4	EEADR3	EEADR2	EEADR1	EEADR0	0000 0000
188h	ANSEL	ANS7	ANS6	ANS5	ANS4	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0	1111 1111
189h	ANSELH	—	—	ANS13	ANS12	ANS11	ANS10	ANS9	ANS8	--11 1111
18Ch	EECON1	EEPGD	—	—	—	WRERR	WREN	WR	RD	x-- x000

– = fonksiyon atanmamış bölgeler, x = belirsiz

Şekil 5.7. SFR saklayıcılarına ilişkin bit tanımları ve reset değerleri

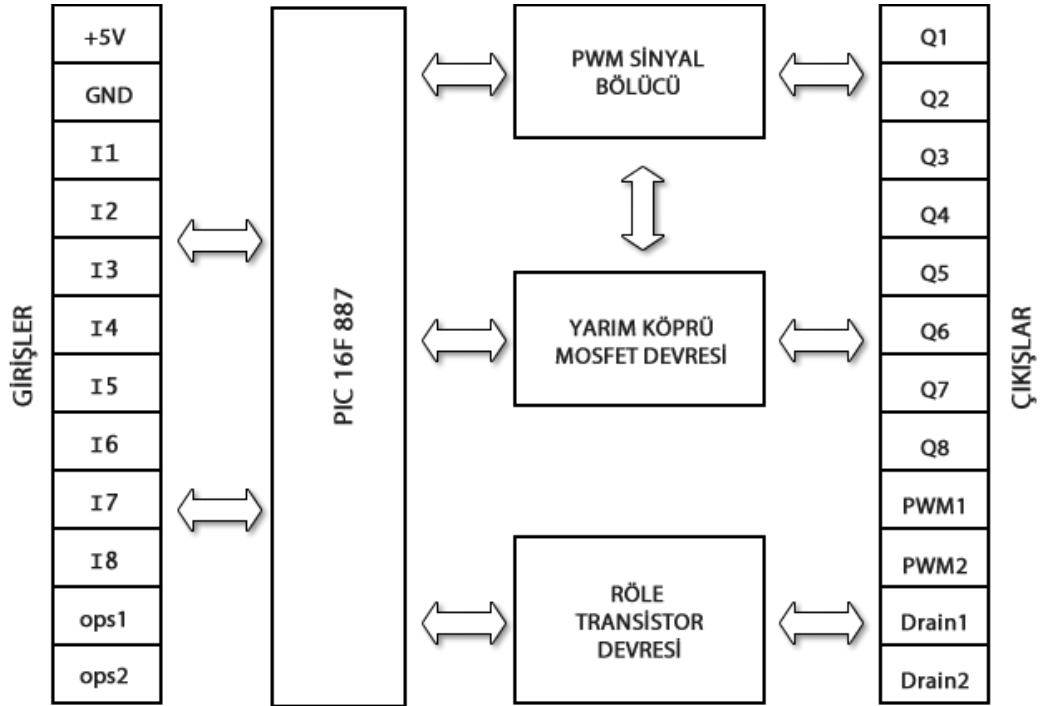
6. TASARLANAN DONANIM

6.1 Giriş

Bu bölümde PIC tabanlı çok amaçlı kontrol kartının blok diyagramı, çalışma mantığı, baskı devre kartı (PCB) görünümü ve Proteus çizimleri verilecektir.

Tasarlanan bu kart ile evirici ve redresör sürücüleri bunun dışında brülör sistemleri, kombiler ve çeşitli endüstriyel fırınlar rahatlıkla kontrol edilebilir. Kart üzerinde bulunan PIC uygun şekilde programlanarak çıkışta çeşitli kontroller yapılabilir. Kartın ana devresi, mosfet devresi ve sinyal bölücü devresi ve kart üzerinde bulunan frekansı ve genliği ayarlanabilir PWM modülü de bu kısımda anlatılacaktır.

6.1.1 Tasarlanan Donanımın Blok Diyagramı



Şekil 6.1. Tasarlanan kartın blok diyagramı

Devrenin sol tarafında bulunan tuş grubu basit bir izahla referans gerilimi olan ilgili pindeki sayısal işareti +5 Volt besleme gerilimine çekerek tuşa basıldı bilgisi yollamaktadır. Bu tuşlarla genel olarak frekans, duty cycle (doluluk oranı) ve sinyalin on-off ayarları yapılmaktadır. 10 k Ω dirençler ile +5 Volt besleme geriliminden referansa giden akım sınırlanarak tuşa basıldığında kısa devre olması engellenmektedir. Pin giriş dirençleri mega ohmlar seviyesinde olacağından pin kısa devre yapmayacaktır ve tuşa basıldığında besleme gerilimini görecektir.

Mikrodenetleyicinin altında ve sağında bulunan NPN BJT'ler de röle kontrolü sağlamaktadır. Akımın mA seviyelerinde kalabilmesi için transistörün base ve mosfetin gate uçlarına 1 k Ω direnç bağlanmıştır. Bu sayede BJT'ler korunarak güç tüketimi düşürülür.

Röleler açma kapama sürelerinin çok mühim olmadığı basit sürekli ve güçlü sürme durumları için vardır. nFET'ler röleler kadar güçlü değildirler, röleler de nFET'ler kadar esnek değildirler. İki malzemenin de avantajını kullanmak amacıyla iki malzemeyi de içeren bir devre tasarlanmıştır.

Devrenin üst kısmında bulunan PWM sinyal bölücü ve sağında bulunan nFET yarım köprü mosfet kuvvetlendirici ileriki bölümlerde anlatılacaktır. Bu devre, sürülecek araç hassas olarak kontrol edilmek istendiğinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu tez çalışmasında tasarlanan donanımın devre şeması ekte verilmiştir (Bkz. EK 2).

6.2 Tasarımı Yapılan Kartın Devre Elemanları

6.2.1 Mosfet

6.2.1.1 Mosfetin Tanımı ve Yapısı

Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör (MOSFET), kontrol edilebilen yarı iletken güç elemanıdır. MOSFET kanal bölgelerinde kullanılan maddelere göre N tipi MOSFET ve P tipi MOSFET olmak üzere iki türü vardır. Güç sistemlerinde

genellikle kullanılan n kanallı MOSFET sembolü ve pin yapısı Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

Burada; G kapı (gate), D kanal (drain), S kaynak (source) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 6.2. N kanallı MOSFET sembolü ve pin yapısı

MOSFET'in, çıkış (i_D) akımı kapısına (G) uygulanan gerilim ile ayarlanabilir. Kapı gerilimi belli bir eşik ($V_{GS,TH}$) değerine sahiptir, MOSFET bu değer üzerinde etkilidir. İleri yönde yeterli gerilim sinyali uygulandığında akım geçiren, gerilim sinyali kesildiğinde akım geçirmeyip kesime giren tam kontrollü güç elemanına MOSFET denir. MOSFET iletimde iken bir direnç (r_{DS}) gibi davranır gerilim düşümü (6.1) eşitliği ile hesaplanır. Denklem i_D kanal (çıkış) akımını vermektedir.

$$V_{DS} = r_{DS}i_D \quad (6.1)$$

i_D : Kanal (çıkış) akımını

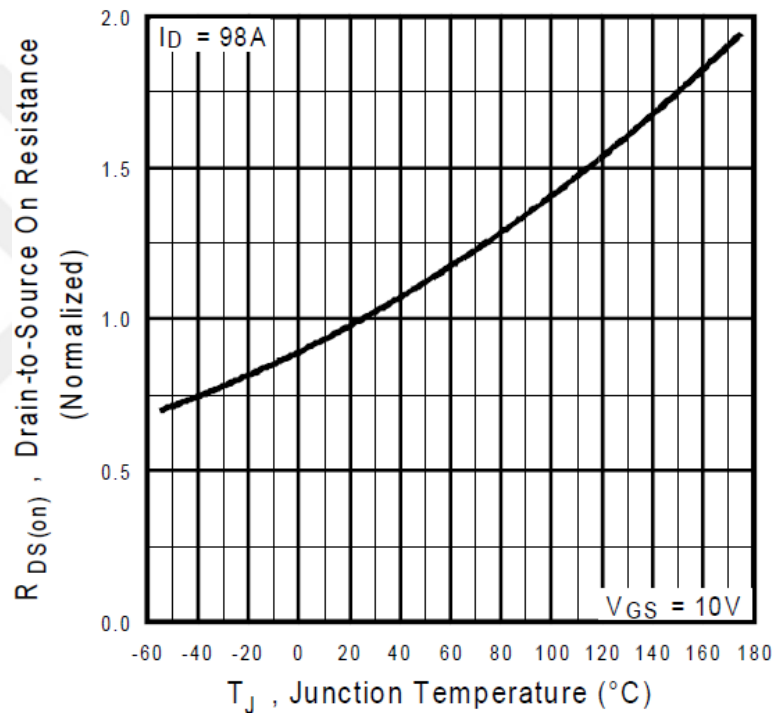
r_{DS} : MOSFET direnci

Eşitlik (6.1)'den yola çıkılarak paralel bağlı MOSFET'lerin direnci düşük olanından daha fazla akım geçer ve bu MOSFET ısınarak r_{DS} direncini artırır. Direnci artan paralel bağlı MOSFET'in akımı düşer ve MOSFET soğumaya başlar. Bu şekilde MOSFET'ler akımları kendi aralarında orantılı şekilde paylaşır. Paralel bağlanan

MOSFET'ler, arasında akım bölüşüldüğünden herhangi birinin üzerinden fazla akım geçmesi, sıcaklığının artması ve MOSFET'lerin arızalanması gibi durumlar meydana gelmez.

Bu tezde kullanılan IRFP450N MOSFET'in veri sayfasından alınan MOSFET'in direnç (r_{DS}) değerinin sıcaklıkla değişim grafiği Şekil 6.3'te gösterilmektedir.

IRFP450N MOSFET'in tercih sebebi yüksek akım ve frekanslara dayanıklı olmasıdır.



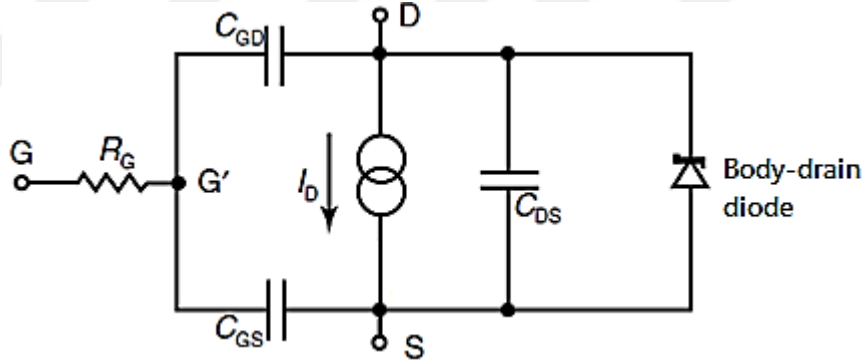
Şekil 6.3. MOSFET'in sıcaklık-akım- r_{DS} grafiği

6.2.1.2 MOSFET Anahtarlama Karakteristiği

İletimde iken kapısına uygulanan gerilimin sıfıra çekilmesiyle kesime giden MOSFET, kesimde iken kapısına uygulanan pozitif gerilim ile iletme geçer. İletimde ve kesimde bekleme gibi ek süreleri olmadığı için MOSFET diğer elemanlara göre daha hızlı bir güç ögesidir. MOSFET kapısı izolelidir bu yüzden

normalde akım çekmez. Fakat eşdeğer devresinde kondansatör bulunması sebebiyle gerilim sinyallerinin başlangıç ve bitişinde hızlı şarj ve deşarj olması gerekir. İdeal anahtarlama karakteristiğine sahip MOSFET'in anahtarlama güç kaybı çok düşük, iletim güç kaybı çok yüksektir [31].

MOSFET'in kapasite geriliminin değişimi ve endüktans akımının değişimi için gerekli olan zaman belirlenerek MOSFET'in anahtarlama performansı tespit edilir. MOSFET'lerin C_{iss} (giriş kapasitansı), C_{oss} (çıkış kapasitansı) ve C_{rss} 'nin (ters transfer kapasitansı) değerleri MOSFET'lerin veri sayfalarında verilir, tasarımda devre bileşenlerini belirlemede kullanılır. Veri sayfasında verilen kondansatör değerlerinin eşdeğer devre kapasitansları cinsinden tanımlanması (6.2), (6.3) ve (6.4) eşitliklerinde gösterilmektedir. Kapı-kanal kapasitansı C_{GD} , gerilimin lineer olmayan fonksiyonudur ve bu değer devrenin girişi ile çıkışı arasında bir geri besleme döngüsü sağladığından en önemli parametredir [32].



Şekil 6.4. Anahtarlama hızı üzerinde büyük etkiye sahip mosfet parazit bileşenleri eşdeğer devre şeması

$$C_{ISS} = C_{GS} + C_{GD} \quad (6.2)$$

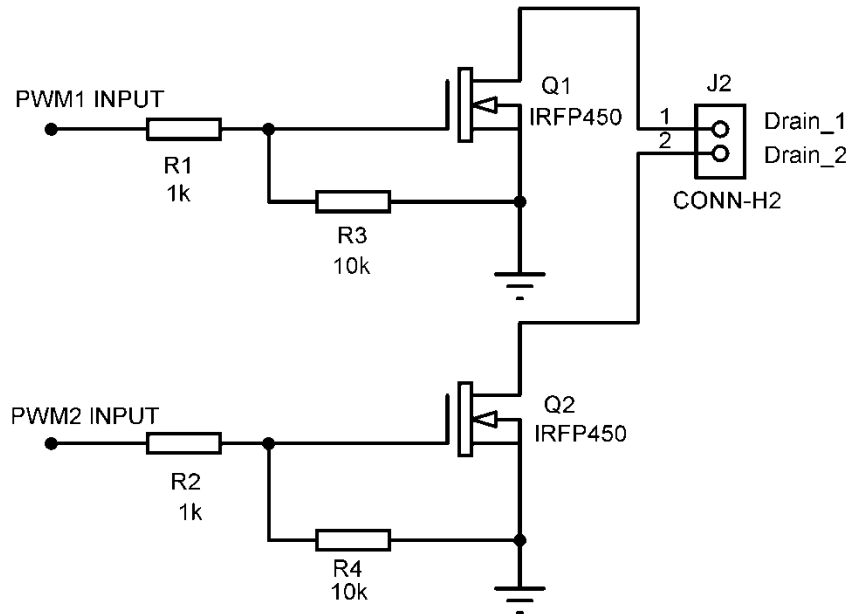
$$C_{rss} = C_{GD} \quad (6.3)$$

$$C_{OSS} = C_{DS} + C_{GD} \quad (6.4)$$

$$P_{SW} = \frac{1}{2} I_D V_D (t_{off} + t_{on}) f + \frac{1}{2} C_{oss} V_D^2 f \quad (6.5)$$

- P_{SW} : Anahtarlama kaybı
 I_D : Yük akımı
 V_D : Kaynak gerilimi
 t_{on} : i_D akımının yükselme ve V_{DS} geriliminin sıfıra düşme süresi
 t_{off} : V_{DS} gerilimi ve i_D akımının 0'a düşme süresi
 f : Anahtarlama frekansı

6.2.1.3 Tasarımda Kullanılan Yarım Köprü Mosfet Devresi



Şekil 6.5. Yarım köprü mosfet devresi

PWM katından üretilen sinyalin yükseltilecek çıkıştaki yüke uygulaması için Şekil 6.5'deki mosfet devresi kullanılmaktadır. Q_1 ve Q_2 mosfetleri gate uçlarına giriş olarak uygulanan PWM sinyali ile tetiklenmekte ve sırasıyla açıp kapanmaktadır. Bu sayede akımı düşük olan PWM sinyali mosfet çıkışlarında daha güçlü elde edilir.

Bölünmüş PWM sinyalleri nFET olan IRFP450 transistörleri ile besleme gerilimi

seviyesinde güçlendiriliyor. nFET kullanılmasının avantajı gerilim ile kontrol sağlanması. İki adet nFET kullanılmasının sebebi ise PWM sinyalinin daha önce sinyal bölücü devrede ikiye bölünmüş olmasıdır.

6.2.2 Transistör

Transistör girişine uygulanan sinyali yükselterek akım ve gerilim kazancı sağlayan yan yana birleştirilmiş iki adet PN diyodundan oluşan, genellikle anahtarlama elemanı olarak kullanılan yarı iletken bir devre elemanıdır. Yapılan uygulamalarda yüzbine yakın türü bulunan ve teknoloji ilerledikçe yeni özelliklerde üretilen transistörler temel olarak bipolar ve unipolar olmak üzere iki gruba ayrılır. Bipolar transistörler NPN ve PNP olmak üzere iki tiptir. Üç kutuplu devre elemanları olan transistörlerin kutupları; emiter (E), beyz (B) ve kollektör (C) olarak adlandırılır.

Emiter (yayıcı); akım taşıyıcıların harekete başladığı bölge, beyz (taban); transistörün çalışmasını etkileyen bölge ve kollektör (toplayıcı); akım taşıyıcıların toplandığı bölgedir.

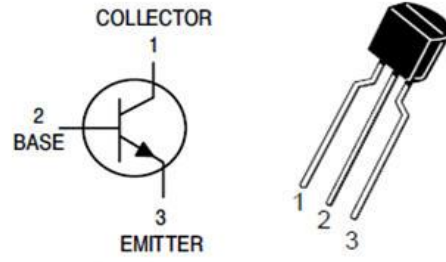
6.2.2.1. Transistörlerin Yapısı ve Çalışması

Transistörler NPN veya PNP biçiminde yerleştirilmiş üç yarı iletken maddenin bileşiminden oluşmaktadır. Beyz kutbu tetiklendiği zaman kollektör ve emiter arasında direnç değeri azalır ve akım geçirir hale gelir. Kollektör ve emiter arasından geçen akımın miktarı beyz kutbuna uygulanan akımın miktarına bağlıdır. Tasarımda kullanılan BC547 NPN tipi transistörün pin gösterimi Şekil 6.6'da verilmektedir.

6.2.2.2. NPN Tipi Transistörler

NPN tipi transistörlerin yapısı iki N tipi yarı iletken madde arasına ince bir katman

halinde yerleştirilmiş elektron geçişini kontrol eden P tipi yarı iletken beyz maddesinden oluşmaktadır. Transistörler geçen akımı denetleyerek küçük akımları yükseltebilir ya da küçük bir akım ile anahtarlama yaparak büyük bir alıcının çalışmasını sağlayabilir.



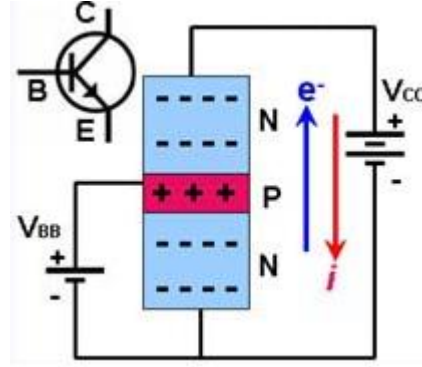
Şekil 6.6. BC547 transistör pin gösterimi

NPN tipi transistörlerde Şekil 6.7’de görüldüğü gibi V_{BB} kaynağının artı ucu beyz kutbunu pozitif yüklerken V_{CC} kaynağının eksi ucu ise emiter kutbundaki elektronları yukarı iter. Sıkışan elektronlar beyz tarafından çekilir. Yani, emiterin iletim bandındaki elektronlar emiter-beyz (E-B) gerilim setini aşarak beyz bölgesine girerler, ancak beyz bölgesi dar olduğundan emiter bölgesinden gelen elektronların yaklaşık %2’si beyz bölgesi tarafından çekilirken kalan %98’i kollektöre geçer. V_{CC} kaynağının artı ucu elektronları kollektör bölgesine doğru çeker ve böylece elektron akışı sürekli hale gelir ve V_{BB} kaynağının verdiği beyz akımı sürdükçe emiterden kollektöre akışı devam eder. Emiter akımı, beyz ve kollektörün toplamına eşittir.

NPN tipi transistörlerde, beyze uygulanan artı sinyal kollektörden emitere doğru akım geçirmesinden dolayı oyuklar aşağı, elektronlar ise yukarı doğru gider.

6.2.2.3. PNP Tipi Transistörler

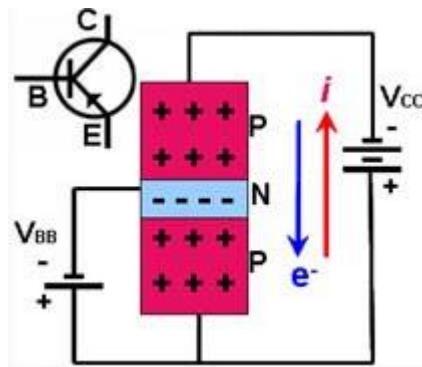
PNP transistörler, yapısında P tipi iki yarı iletken madde arasına ince bir tabaka halinde N tipi yarı iletken maddenin yerleştirilmesiyle oluşmuştur.



Şekil 6.7. NPN transistörün sembolü ve polarmalandırılması

PNP tipi transistörlerde V_{BB} kaynağının eksi ucu beyz kutbunu negatif yüklerken V_{CC} kaynağının artı ucu da emiter bölgesindeki artı yüklü oyukları yukarı iter. Bu şekilde sıkışan artı yükler beyz tarafından çekilip buradan kollektör bölgesine geçerler. V_{CC} kaynağının eksi ucu kollektör bölgesindeki oyukları kendine çektiğinden dolayı oyuk hareketi süreklilik kazanır. V_{BB} akımı devam ettikçe emiterden kollektöre doğru bu hareket sürer.

PNP tipi transistörlerde elektronlar aşağı, oyuklar ise yukarı doğru gider. Bu nedenle beyze uygulanan eksi sinyal emiterden kollektöre doğru akım geçirir [33].



Şekil 6.8. PNP transistörün sembolü ve polarmalandırılması

6.2.2.4. Transistörlerin Akım Kazancı

Transistörün yükseltme işlemi doğrudan akım kazancına bağlıdır. Akım kazancı ise çıkış akımı değişimlerinin giriş akımı değişimlerine oranıdır. Bu işlemde çıkış devresi gerilimi sabittir. Akım kazancı, transistörün bağlantı şekline göre isimler alır.

Bağlantı şekillerine göre akım kazancı;

- Emiteri ortak bağlantıda Beta- β
- Beyzi ortak bağlantıda Alfa- α
- Kollektörü ortak bağlantıda Gama- γ ismini alır.

Transistörün NPN veya PNP oluşu ile akım kazancı değişmez.

$$\text{Akım Kazancı} = \frac{\text{Çıkış devresi akım değişimleri}}{\text{Giriş devresi akım değişimleri}}$$

(Çıkış devresi gerilimi: Sabit)

Çizelge 6.1. Transistör bağlantı şekillerine göre akım kazançları

Bağlantı Şekli	Çıkış Devresi Gerilimi	Giriş Akımı	Çıkış Akımı	Akım Kazancı
Emiteri Ortak	VCE: Sabit	IB	IC	$\beta=IC/IB$
Beyzi Ortak	VCE: Sabit	IE	IC	$\alpha=IC/IE$
Kollektörü Ortak	VCE: Sabit	IB	IE	$\gamma=IE/IB$

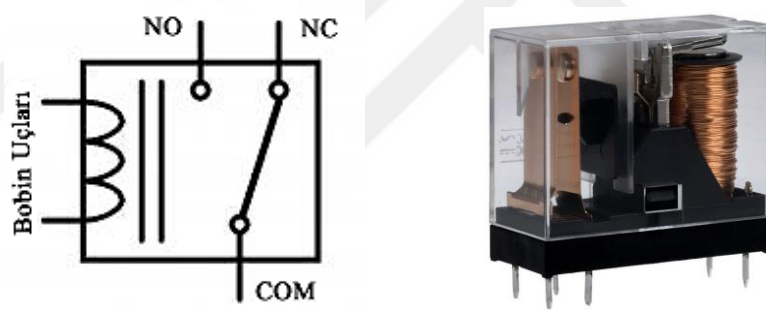
6.2.3. Röle

Elektromanyetik olarak üzerinden akım geçtiği zaman çalışan devre elemanına röle denir. Röle; bobin, palet ve kontak olmak üzere üç bölümden meydana gelir. Bobin kısmı rölenin giriş kısmıdır. Palet ve kontak kısımlarının ise bobin ile herhangi bir elektriksel bağlantısı yoktur.

Röle, düşük akımlar ile çalışan elektromanyetik bir anahtardır. Üzerinde bulunan elektromanyetik bobine rölenin türüne uygun olarak bir gerilim uygulandığında bobin mıknatıs özelliği kazanır ve karşısında duran metal bir paleti kendine doğru çekerek bir veya daha fazla kontağı birbirine bağlayarak bir anahtar görevi yapar.

Rölenin kontakları normalde açık (Normally Open-NO), normalde kapalı (Normally Closed - NC) veya kontakta değişen cinsten olabilir. Şekil 6.9’da rölenin açık ve kapalı kontakları ve dış görünümü verilmiştir.

Röleler, transistör gibi görev görürler örneğin basit 3 bacaklı rölede akım verdiğiniz zaman şasedeki kol diğer taraftaki akımı açar yani kontrol için kullanılabilirler. Transistörlerden bir farkları vardır, direnç ile kullanmak gerekmez. Bobin iki kontağı mıknatısladığı zaman rölenin bir kontağı açılır bir kontağı kapanır.



Şekil 6.9. Röle kontakları ve dış görünümü

Tristör ve triyakların üretilmesinden sonra popülerliğini kaybeden röleler yine de endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Tristör ve triyakra göre tek avantajı tek bir yapı içinde birden fazla anahtar kontağına sahip olabildiği için birden fazla yükü aynı anda açabilir veya kapatabilir hatta aynı anda bazı yükleri açıp bazılarını kapatabilir. Bu işlem tamamen rölenin kontaklarının tasarımına bağlıdır. Röleler hem AC hem DC’de çalıştırmak üzere kullanılabilirler [34].

Tasarlanan kart üzerinde yer alan mikrodenetleyici bağlantı noktalarına bağlanan

rölelerin amacı gereken durumlarda 5 Volt direkt gerilim ile ana hat enerjisini kesmek ya da vermektir. Röle üzerinde bulunan bacaklara mikrodenetleyici çıkış biriminden 5 Volt gerilim gönderildiğinde kendisi üzerinde bulunan hattın kısa devre yapmasını ve böylelikle gerilimin üzerinden geçmesini sağlamaktadır. Mikrodenetleyici tarafından gönderilen 5 Volt gerilim kesildiğinde kısa devre de sona ererek gerilimin geçişi engellenmektedir. Bu sayede yazılan programa göre çeşitli donanımlar kart üzerinde kontrol edilecektir.

6.3. PWM Sinyalinin Üretilmesi

Çalışmada PWM modülünün daha yüksek frekanslarda sinyal üretebilmesi için PIC16F887 kullanılmıştır. PIC16F887'nin zamandan ve maliyetten tasarruf sağlayan dahili bir osilatörü bulunmaktadır ve yazılımsal olarak 8 MHz olarak ayarlanmıştır.

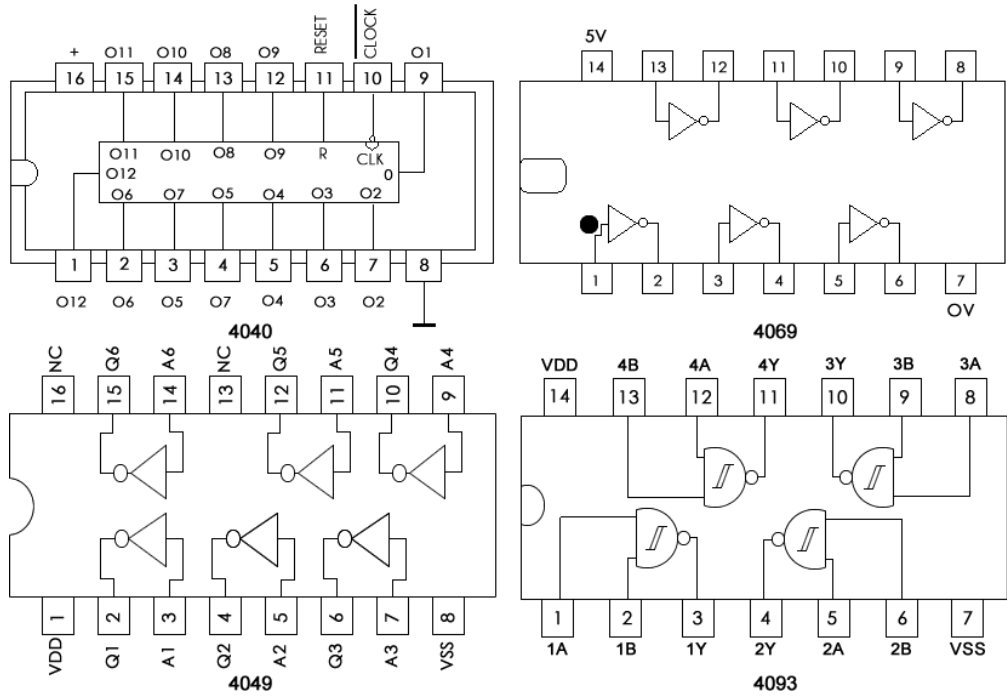
PIC16F887'nin RA ve RB portları giriş olarak RC ve RD portları ise çıkış olarak kullanılmıştır. RA0 ve RA1 giriş portları, üretilen PWM sinyalinin duty cycle değerini 0-255 arasında oransal olarak arttırmak ve azaltmak için kullanılmıştır. RA2 ve RA3 giriş portları, üretilen PWM sinyalinin frekansını arttırmak ve azaltmak için kullanılmıştır. RA4 ve RA5 giriş portları, üretilen PWM sinyalinin frekansını 5+ arttırmak ve azaltmak için kullanılmıştır. RB0 giriş portu, PWM sinyal çıkışını kesmek (off) için kullanılmıştır. RB1 giriş portu, PWM sinyal çıkışını açmak (on) için kullanılmıştır.

Şekil 6.10'da PWM sinyalini üretmek için tasarlanan devre şeması görülmektedir.

Frekans kontrolü, butonlardan gelen arttırma ve azaltma değerine göre PWM frekansı 500 Hz ile 200 kHz arasında ayarlanabilmektedir. Yine portlardan gelen değere göre duty cycle oranı 0-255 arasında oransal olarak değiştirilebilmektedir.

Devrenin sol tarafında bulunan tuş grubu basit bir izahla referans gerilimi olan ilgili pindeki sayısal işareti +5 Volt besleme gerilimine çekerek tuşa basıldı bilgisi

4040 entegresinin çıkışı evrilmemiş girişin yükselen köşelerinde değişmeye başlar. 4040 entegresinde sürekli olarak değişen Q_0 çıkışı frekans bölücü olarak kullanılır. Q_0 çıkışında görülecek olan sinyal evrilmemiş giriş sinyalinin frekansının 2'ye bölünmüşü bir frekansa sahip olur; çünkü giriş sinyalinin bir yükselen köşesi ve birde alçalan köşesi olmasına rağmen sadece yükselen köşesi kullanılmıştır. 4040 çıkışındaki sinyal ve evriği ile en başta regülasyona uğramış giriş sinyali 2 adet 4093 2 giriş Schmitt tetikleyici bloğunun girişine uygulanarak %25 genişlikli normal frekansın 1/4'ü bir çıkış ile bu çıkışın frekansının yarısı kadar faz kaymalı ikinci bir çıkış elde edilir. Bu iki çıkış toplandığı zaman giriş sinyalinin kendisi olur. Böylece sinyal faz farklı iki sinyale bölünmüş olur. 3 adet peş peşe 4049 yapıları ise kapasitif yük sürme yeteneğinin iyileştirilmesi ve çıkış sinyallerinin süper pozisyonunun giriş sinyallerine eş olması için kullanılmıştır, bu sayede normalde kullanılması gerekenden daha düşük değerli kapasitans ya da kapasitör çıkışa bağlanabilir. Bu da bu devreyle daha fazla sayıda sayısal veya kapasitif yük içeren başka devrelerin sürülebilmesini sağlar. Şekil 6.11'de sinyal bölücüde kullanılan kapı entegreleri gösterilmektedir [35].



Şekil 6.11. Sinyal bölücü devresi kapı entegreleri

Şekil 6.12’de sinyal bölücünün girişine uygulanan ve sinyalin çıkışta almış olduğu durumlar gösterilmiştir.

1 numaralı sinyal regülasyona uğramış giriş sinyali

2 numaralı sinyal 1 numaralı sinyalin evriğinin saat girişine uygulanması sonucu elde edilen Q_0 çıkışı ($f/2$ frekanslı)

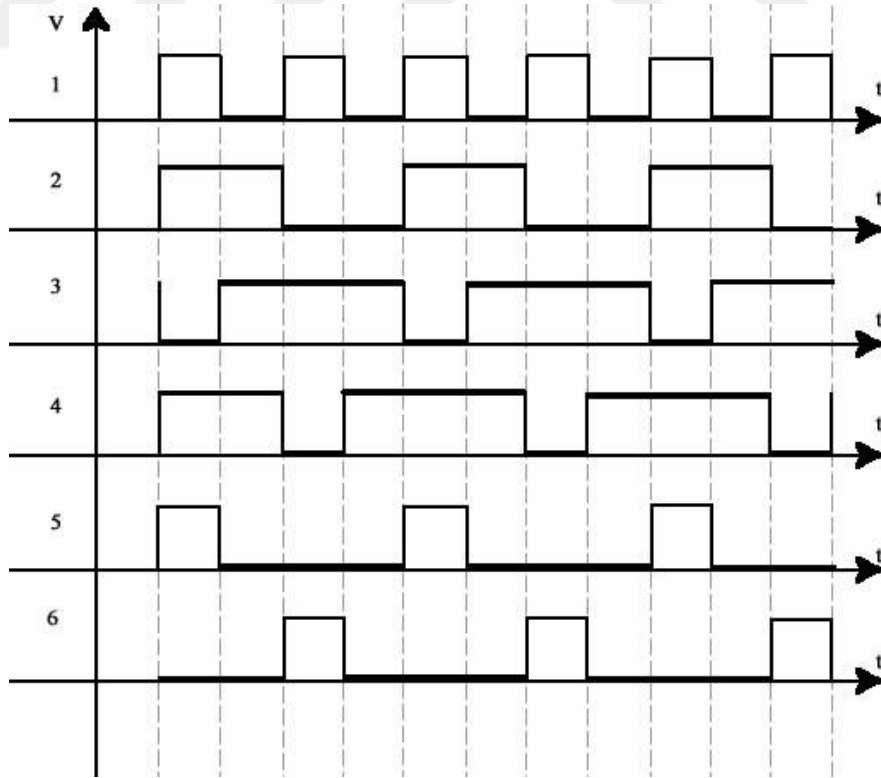
3 numaralı sinyal 1 numaralı sinyal ile 2 numaralı sinyalin NAND Schmitt tetikleyiciye sokulması sonucu oluşan sinyal

4 numaralı sinyal 1 numaralı sinyalin evriği ile 2 numaralı sinyalin NAND Schmitt tetikleyiciye sokulması sonucu oluşan sinyal

5 numaralı sinyal 3 numaralı sinyalin evriği ve J_2 çıkışının 1 numaralı çıkış sinyali

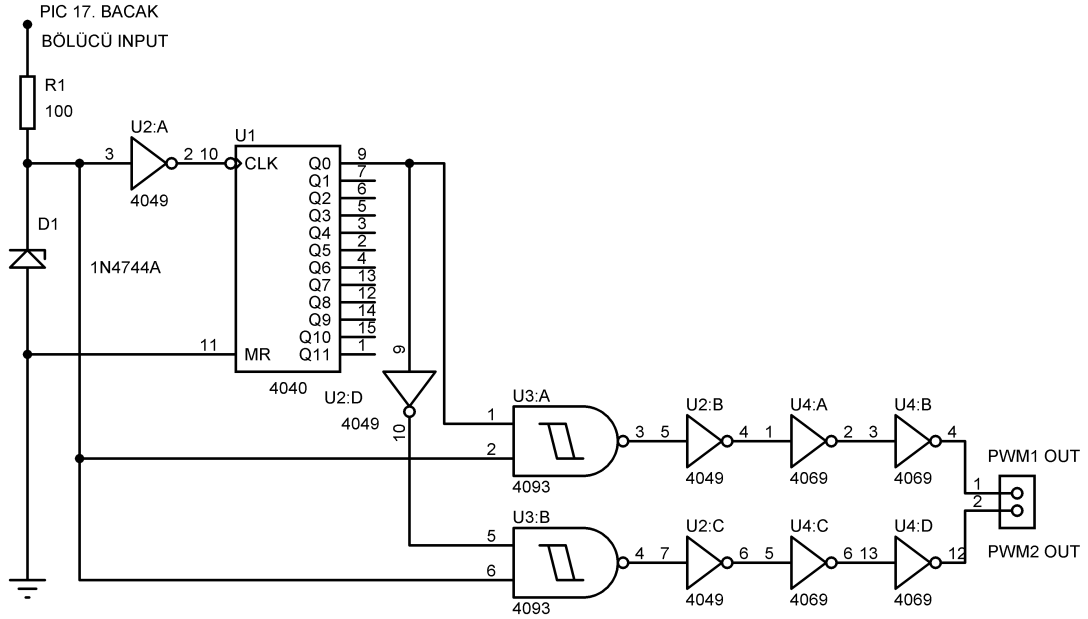
6 numaralı sinyal 4 numaralı sinyalin evriği ve J_2 çıkışının 2 numaralı çıkış sinyali

Sonuç olarak 1 numaralı sinyal 5 ve 6 numaralı sinyallerin süper pozisyonu yani üst üste bindirilmesi sonucu tekrar elde edilebilir.



Şekil 6.12. Sinyal bölücü giriş-çıkış sinyalleri

6.4.2. Sinyal Bölücü Devre Şeması



Şekil 6.13. Sinyal bölücü devre şeması

6.5. Tasarlanan Donanımın Girişleri

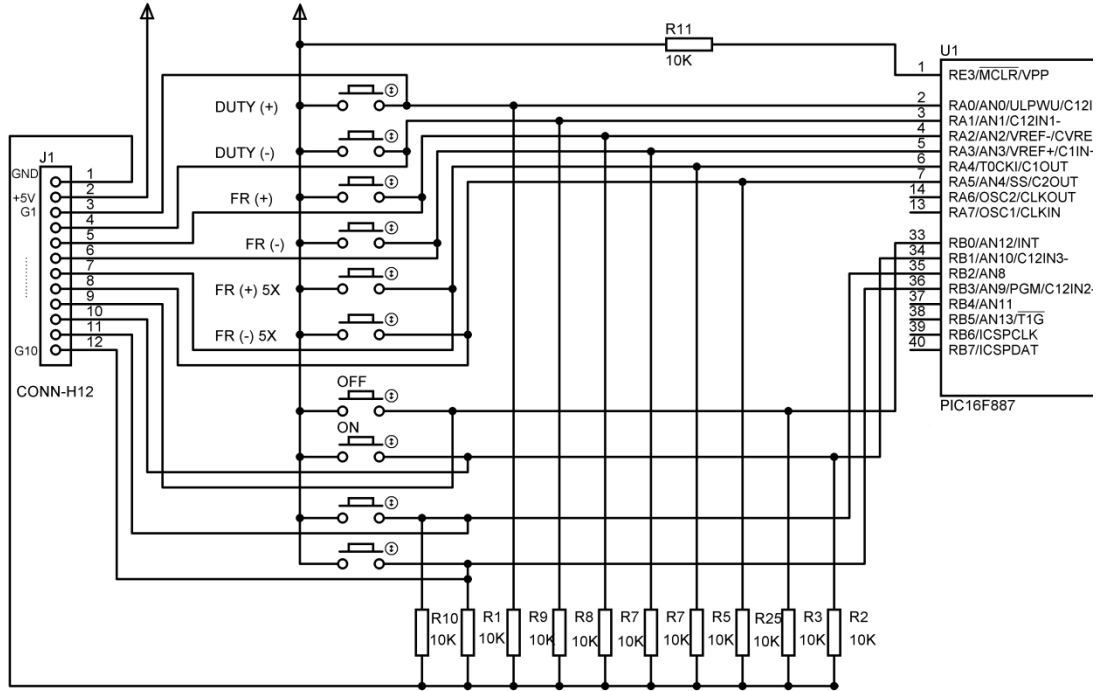
Tasarlanan donanımın üzerinde 10 adet giriş bulunmaktadır. Bu girişlerden 8 tanesi dijital 2 tanesi analog giriş olarak ayarlanmıştır. Fakat yazılımda yapılacak değişikliklerle girişler istenildiği gibi set edilebilir.

Şekil 6.14'te tasarlanan donanımın girişleri görülmektedir. PIC16F887'nin RA ve RB portu giriş olarak programlanmıştır. Girişlerden 8 tanesi varsayılan olarak PWM modülünün ürettiği PWM sinyalinin frekansını, genliğini ve sinyal durumunu on-off yapmak için kullanılmıştır.

Farklı uygulamalar için kart üzerinde iki adet opsiyonel girişte bulunmaktadır. Yazılımsal olarak ayarlandıktan sonra kart üzerinde bulunan bütün girişler farklı kontrol işlevlerini yerine getirebilmektedir.

Dijital giriş terminaline bağlı buton basılı değil iken PIC'in giriş pininde 0 Volt gerilim seviyesi vardır bu da lojik "0" olarak algılanacaktır. Eğer anahtar kapatılırsa yani enerji verilirse bu durumda +5 Volt besleme gerilimi devre girişine uygulanmış olur. Sonuçta, çıkış olarak PIC'in dijital giriş olarak kullanılan pinlerinde +5 V gerilim seviyesi görülür ve bu da PIC16F887 tarafından lojik "1" olarak algılanmaktadır. Bu şekilde butona basılıp, basılmadığı bilgisi sistem tarafından algılanmaktadır.

PIC16F887'nin dijital giriş olarak kullanılan pinleri sırasıyla RA0, RA1, RA2, RA3, RA4, RA5 ve RB0, RB1'dir. Analog giriş olarak kullanılan pinler ise RB2, RB3'dür.

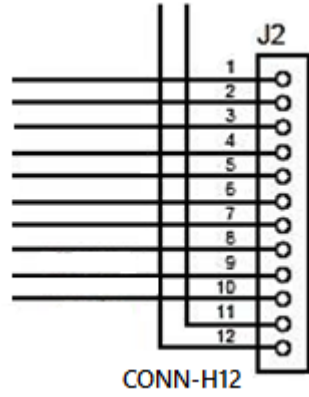


Şekil 6.14. Tasarlanan donanımın girişleri

6.6. Tasarlanan Donanımın Çıkışları

PIC16F887 dijital çıkış olarak kullanılan pinleri sırasıyla RC2, RC7, RD0, RD1, RD2, RD3, RD4, RD5, RD6, RD7'dir. RC2 pini PWM sinyali çıkışı için

kullanılmaktadır. RC7 pini ise kartın çalışıp çalışmadığını gösteren durum ledi için kullanılmaktadır. RD portu ise mikrodenetleyiciye uygulanan yazılıma göre röle ve transistor çıkışları ile anahtarlama kontrolü yapmak için kullanılmaktadır. Röleler PIC çıkısına bağlanan transistörler yardımıyla sürülmektedir. PIC ile kontrolü gerçekleştirilecek donanımın çıkışları Şekil 6.15'te gösterilmektedir.



1. Röle Çıkışı 1
2. Röle Çıkışı 2
3. Röle Çıkışı 3
4. Röle Çıkışı 4
5. Transistör Çıkışı 1
6. Transistör Çıkışı 2
7. Transistör Çıkışı 3
8. Transistör Çıkışı 4
9. PWM1 Çıkış
10. PWM2 Çıkış
11. Drain1 Çıkış
12. Drain2 Çıkış

Şekil 6.15. Tasarlanan donanımın çıkışları

6.7. Tasarlanan Donanımın Osilatör Devresi

Osilatör, elektriksel titreşim üreten bir devredir yani mikrodenetleyicilerin işlem yapabilmesi için sürekli bir saat pulsü üretir. Elektriksel titreşim, gerilimin DC akım dalga biçimindeki tekrarlamalı bir değişimdir. Genel anlamda osilatör bir DC giriş gerilimini bir AC çıkış gerilimine dönüştürür. PIC bu titreşimlerin her bir palsinde işlem yapar.

PIC ile yapılan tasarımlarda kesinlikle bir osilatör devresi bulunmalıdır. Bu devre iki kondansatör ve bir kristal yardımıyla oluşturulabilir. Fakat bu çalışmada PIC 16F887'nin mevcut bulunan dahili osilatörü kullanılmıştır. Bu şekilde zaman ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır.

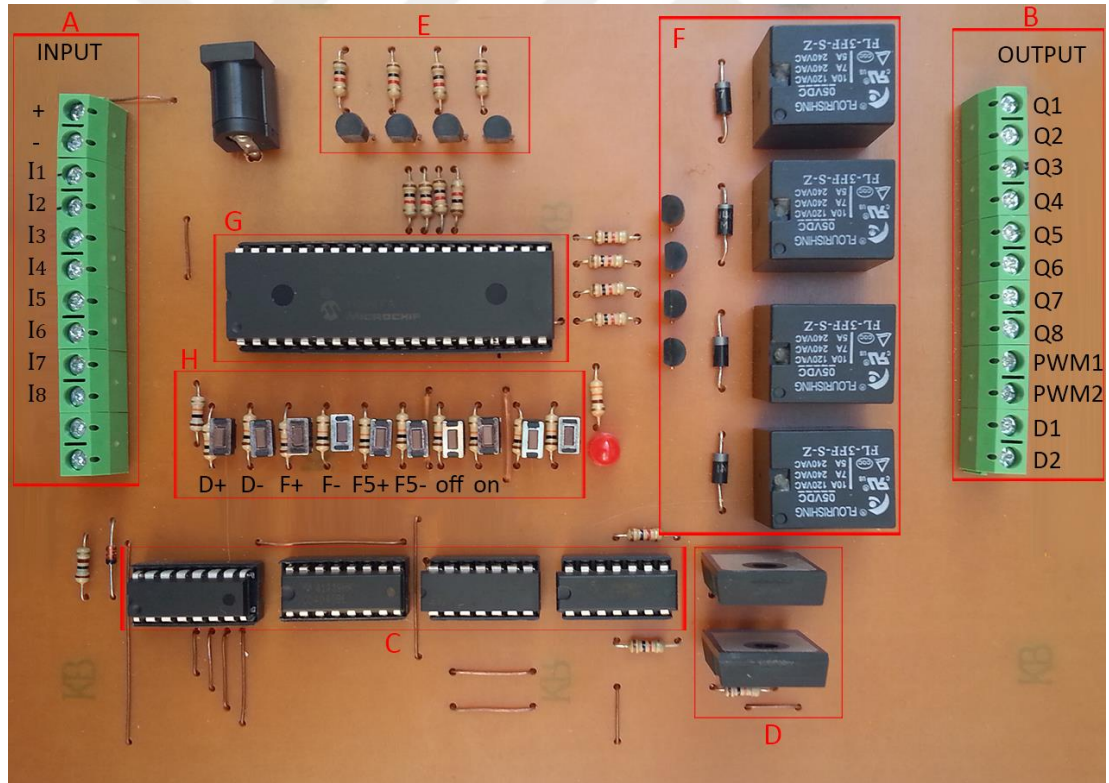
Çıkıştaki dalganın şekli sinüs, kare veya üçgen dalga olabileceği gibi DC periyodik

aralıklarla tekrarlandığı sürece herhangi bir dalga şekli de olabilir. Geri beslemeli bir osilatörün çalışabilmesi için 3 şartın sağlanması gerekmektedir. Bunlar yükseltme, pozitif geri besleme ve frekansa bağlı değildir [36]. Devrede PIC16F887'nin dahili bir osilatörü bulunmaktadır. Projede yazılımsal olarak dahili osilatörün register değeri 8 MHz olarak ayarlanmıştır.

```
OSCCON = 0x70; // Osilatör değerini 8 MHz olarak ayarlayan kod
```

6.8. Tasarlanan Donanımın Görünümleri

6.8.1. Tasarlanan Elektronik Kartın Görünümü



Şekil 6.16. Tasarlanan donanımın görünümü

Tasarımı yapılan PIC tabanlı çok amaçlı kontrol kartı Şekil 6.16'da gösterilmektedir.

Şekil 6.16 üzerindeki gösterimde harflendirme yapılarak kartın tanıtımı şu şekilde yapılmaktadır.

A harfi ile gösterilen kısım donanım girişlerini ifade etmektedir.

B harfi ile gösterilen kısım donanım çıkışlarını ifade etmektedir.

C harfi ile gösterilen kısım sinyal bölücü devresini göstermektedir. PIC 16F887'nin 17. pininden üretilen PWM sinyalini ikiye bölmektedir. Örneğin, 100 kHz olarak üretilen PWM sinyali bu kısımda 50 kHz'lik iki ayrı sinyal şeklinde bölünmektedir.

D harfi ile ifade edilen kısım mosfet devresini göstermektedir. PWM sinyali sayesinde sürülen mosfetlerle DC-AC yarım köprü evirici devresi yapılmıştır. İstenilirse mosfet sürücü sayesinde drain uçları arasına bağlanan lambanın ışık şiddeti veya bir rezistansın ısısı ayarlanabilmektedir.

E harfi ile gösterilen kısım PIC16F887'nin uygun programlama yapılarak transistör üzerinden anahtarlama ile kontrol sağlayan bölümüdür.

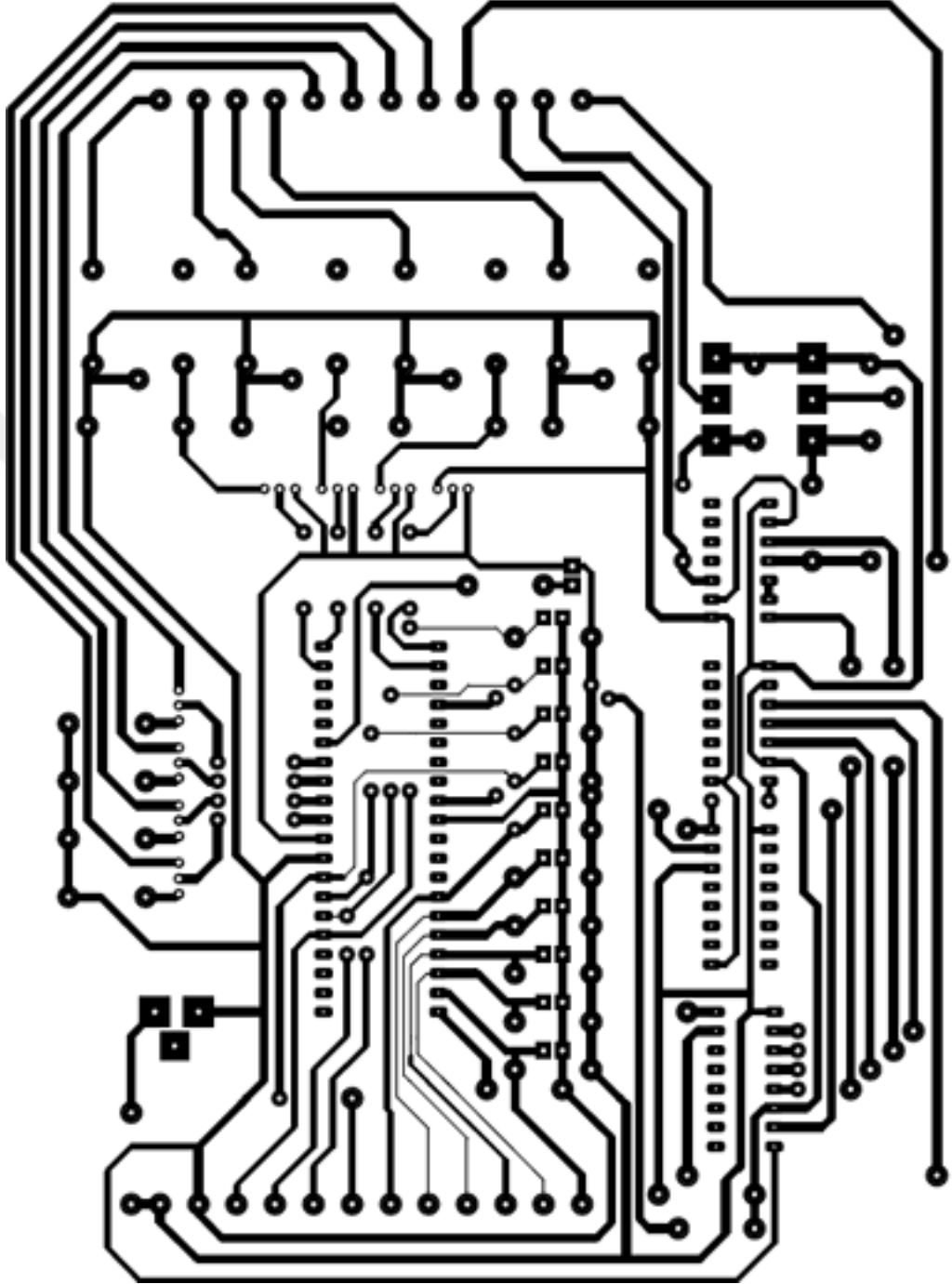
F harfi ile gösterilen kısım PIC16F887'nin uygun programlama yapılarak röle üzerinden anahtarlama yaparak kontrol sağlayan bölümüdür.

G harfi ile gösterilen PIC16F887 mikrodenetleyicisidir.

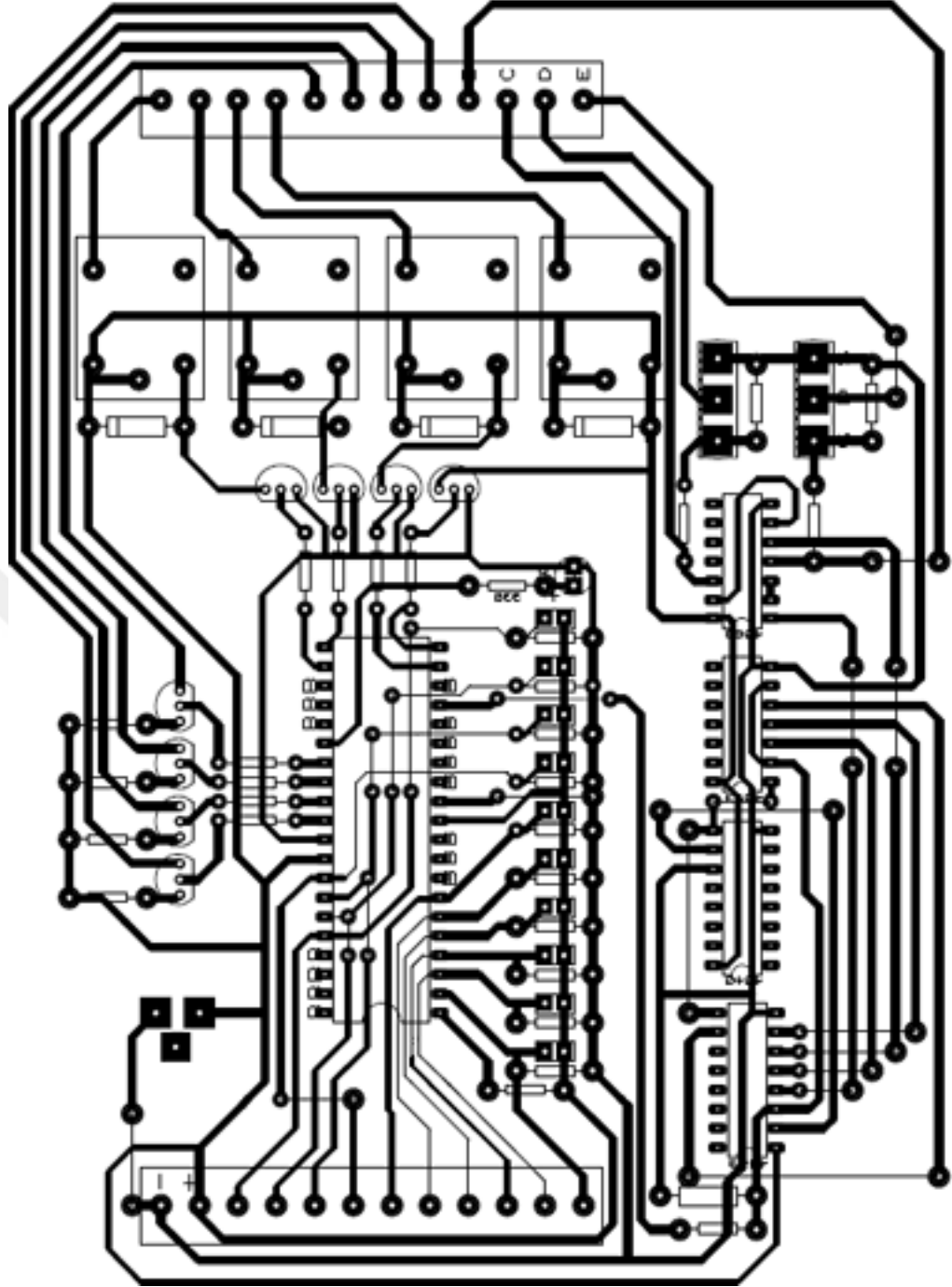
H harfi ile gösterilen kısım 10 adet butonumuzun olduğu kısımdır. Bu kısımda bulunan butonlar ile PWM sinyalinin genliği ve frekansı ayarlanabilir ve üretilen PWM sinyalinin on-off durumu kontrol edilebilir. 2 adet opsiyonel buton ise transistör ve röle anahtarlama için bulunmaktadır.

Tasarlanan donanımın devre şemaları ve baskı devre kartı (PCB) çizimi elektronik devre çizim ve simülasyon programının ares kısmı sayesinde yapılmıştır. Çizimi yapılan kart lazer yazıcıdan çıktı alınıp kart üzerine elektronik malzemelerin tek tek lehimleme işlemi yapılmıştır.

6.8.2. Tasarlanan Elektronik Kartın PCB Görünümü



Şekil 6.17 Tasarlanan donanımın PCB alt görünümü



Şekil 6.18 Tasarlanan donanımın PCB alt-üst görünümü

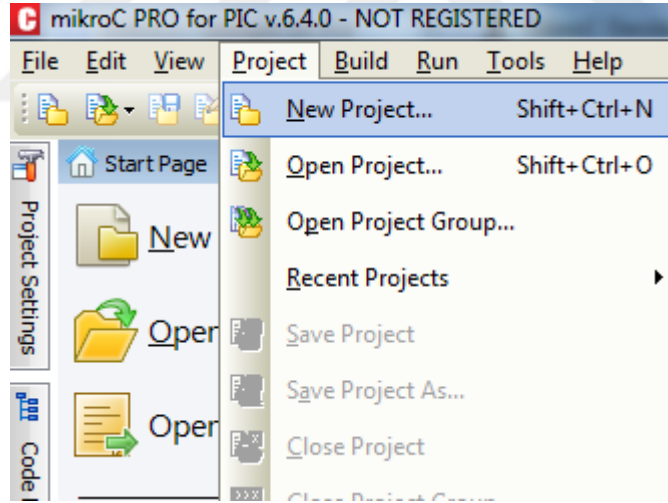
7. TASARLANAN DONANIMIN YAZILIMI

7.1 Yazılımın Geliştirildiği IDE

PIC mikrodenetleyicileri için bir C derleyicisi olan MikroC programı kullanılmıştır. MikroC programı C dosyası elde etmek, C kodlarını derlemek ve hex kodu elde etmek için kullanılmıştır.

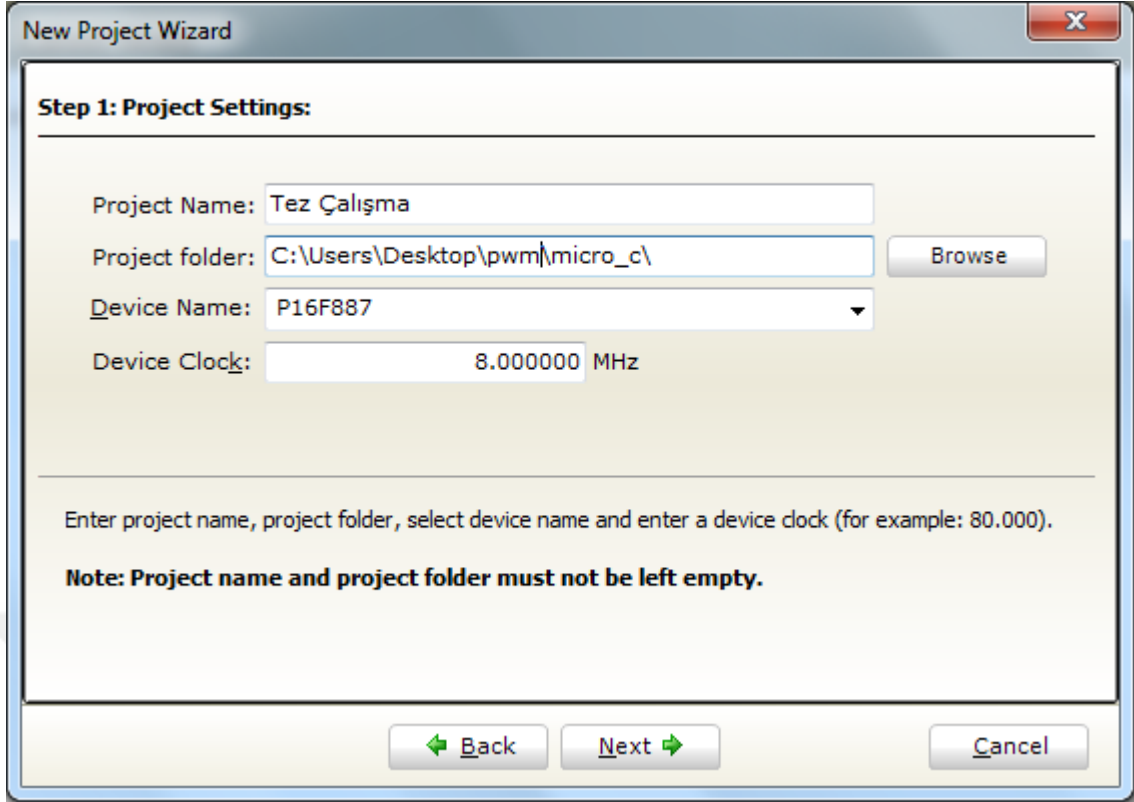
Yeni proje oluşturmak ve PIC'e yüklemek için aşağıdaki işlem basamakları izlenir.

- 1) MikroC IDE (Integrated Development Environment) programı çalıştırılır.
- 2) Şekil 7.1'de görüldüğü gibi project menüsünden > new project yolu ile yeni proje penceresi açılır.

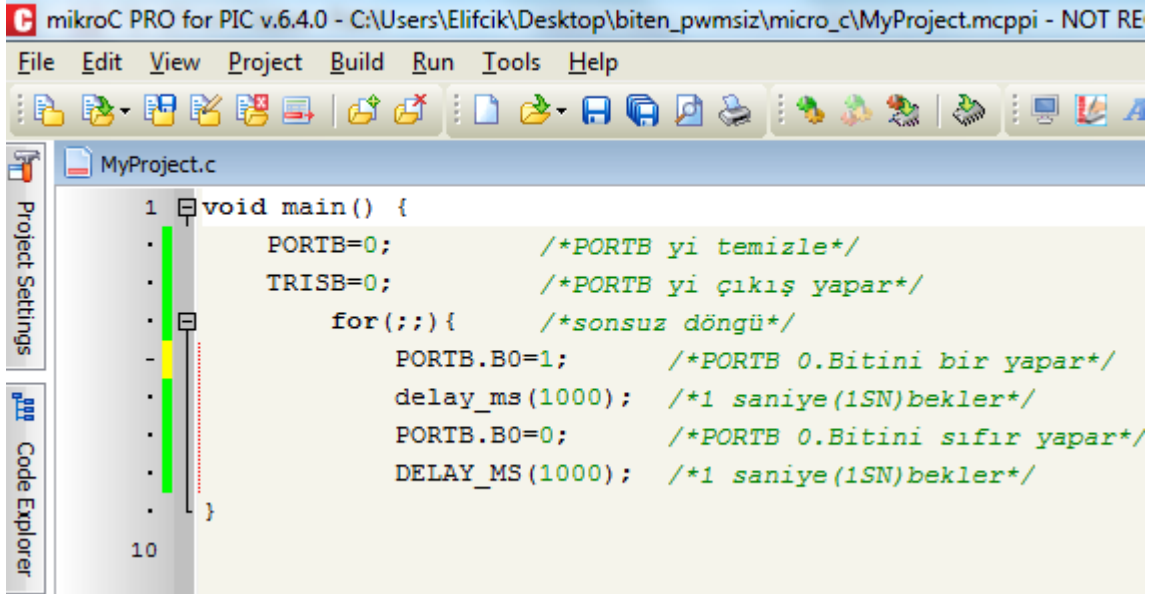


Şekil 7.1. Project menüsü - yeni proje açma penceresi

- 3) Proje ismi ve kayıt yolu girildikten sonra device menüsünden PIC16F887 seçilir.
- 4) Şekil 7.2'de görüldüğü gibi clock değeri olarak 8 MHz değeri girilir.
- 5) Device flags kısmında default düğmesi tıklanır.
- 6) Derleyicinin oluşturduğu .c dosyasına proje kodları yazılır.

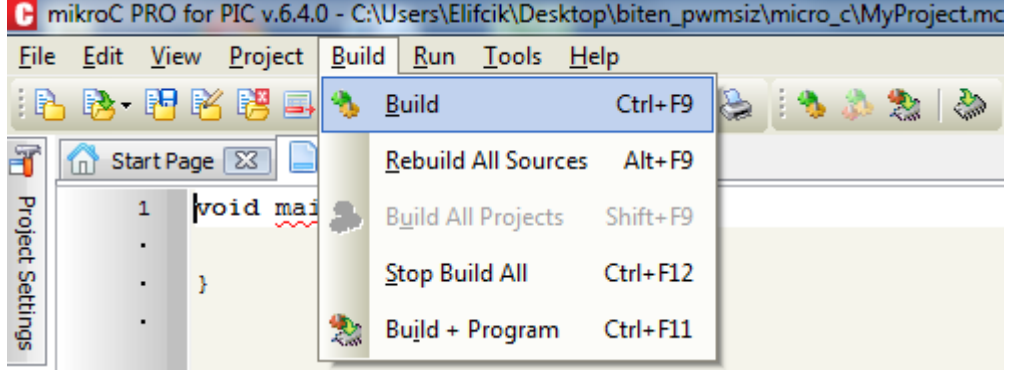


Şekil 7.2. Yeni proje ayar penceresi



Şekil 7.3. mikroC derleyicisinin kod yazma ekranı

7) Şekil 7.4'te görüldüğü gibi Project menüsünden > build sekmesi yolu ile proje derlenir.



Şekil 7.4. Build menüsü

Hatasız bir şekilde kod yazımı yapıldıysa program penceresinin alt tarafında derleme başarılı uyarısı alınır.

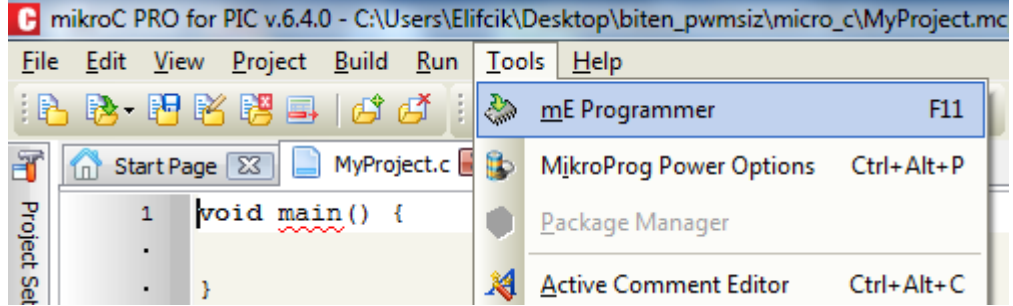
The image shows a screenshot of the 'Messages' window in the mikroC PRO for PIC v.6.4.0 software. The window has tabs for 'Messages' and 'Quick Converter'. Below the tabs, there are checkboxes for 'Errors', 'Warnings', and 'Hints', all of which are checked. The main area displays a table of messages.

Line	Message No.	Message Text
0	1144	Used RAM (bytes): 2 (1%) Free RAM (bytes):
0	1144	Used ROM (program words): 57 (1%) Free RO
0	125	Project Linked Successfully
0	128	Linked in 437 ms
0	129	Project 'MyProject.mcppi' completed: 734 ms
0	103	Finished successfully: 12 Mar 2015, 13:00:49

Şekil 7.5. Derleme sonuç ekranı

Ancak programın bir yerlerinde hata varsa uyarı mesajı alınır. Kırmızı renkli olan bu hata mesajlarına dikkat edilmesi ve sorunların tespit edilerek hataların düzelterek tekrar derleme yapılması gerekmektedir.

8) Şekil 7.6’da görüldüğü gibi Tools menüsünden > mE Programmer sekmesi yolu ile derlenen hex dosyası mikrodenetleyiciye yüklenir.



Şekil 7.6. Tolls Menüsü – Hex kodu mikrodenetleyiciye yükleme

MikroC derleyicisi uygulamanın geliştirileceği mikrodenetleyici için özel veya genel uygulama kütüphanelerine sahiptir. Bu kütüphanelerin açıklamalarına mikroC IDE üzerinden Help > help menüsünden contents tab içerisindeki mikroC libraries yolu ile erişilebilir [37].

7.2. C Dili ile Programlama

Dünyada en yaygın kullanılan programlama dilleri arasında yer alan genel amaçlı, orta seviyeli ve yapısal bir kodlama dili olan C dili ile birçok yazılım etkili bir biçimde programlanabilir. Örnek olarak işletim sistemleri, donanım sürücüler, ve çoklu ortam yazılımları verilebilir. Ayrıca C dili ile mikrodenetleyiciler de kolaylıkla programlanabilir.

1972 yılında Dennis Ritchie tarafından Bell Telefon Laboratuvarı’nda ‘Unix’ işletim sistemi ile kullanılmak için tasarlanmıştır. C, özellikle sistem programlamada sembolik makine dili (assembler) ile kullanılmaktadır. C dilinin yaygınlaşması ve gelişmesinde, büyük bölümü C dili ile yazılmış olan UNIX işletim sisteminin popüler olmasının büyük etkisi olmuştur.

Nesneye yönelik programlama dilleri (C++, Java) ve script dilleri (JavaScript, JavaApplet, PHP) gibi programlama dilleri C dilinden esinlenmiştir. C taşınabilir (portable) bir dildir. Yani herhangi bir C programı değişikliğe uğramadan veya çok az bir değişimle, başka bir derleyicide veya işletim sisteminde derlenebilir. Örneğin; 'Windows' işletim sistemlerinde yazılan bir C kodu, 'Linux', 'UNIX' veya 'VAX' gibi işletim sistemlerinde de derlenebilir [38].

C programlama dilini yaygın kılan nedenler aşağıda listelenmiştir;

- C, güçlü ve esnek bir dildir. C ile işletim sistemi veya derleyici yazılabilir, kelime işlemciler oluşturulabilir veya grafik çizilebilir.
- C, iyi bir yazılım geliştirme ortamına sahiptir.
- C, özel komut ve veri tipi tanımlamasına izin verir.
- C, taşınabilir bir dildir. Aynı kod çoğunlukla farklı C derleyicilerinde çalışabilir.
- C, gelişimini tamamlamış ve standardı oluşmuş bir dildir.
- C, yapısal bir dildir. C kodları 'fonksiyon' olarak adlandırılan alt programlardan oluşmuştur.
- C++, Java, Java Script, Java Applet, PHP, C# gibi diller C dilinden esinlenmiştir.

C programları veya kaynak kodları (source code) uzantısı '.c' olan dosyalarda saklanır. Kaynak kod, bir C derleyicisi (C compiler) ile nesne koduna (object code) daha sonra uygun bir bağlayıcı (linker) programı ile işletim sisteminde çalıştırılabilen (executable) bir koda dönüştürülür [38].

7.3. Yazılımın Algoritması ve Kodların Açıklaması

1. Yazılan C kodunun algoritması genel olarak değişken, sabit tanımlama ve ana fonksiyon bölümü gibi üç fonksiyondan oluşmaktadır.
2. Program başında değişken ve sabit tanımlamaları yapılmıştır. Main fonksiyonunda genel PIC tanımlamaları yapılarak PIC'in giriş çıkış pinleri belirlenmiştir. PWM modülü aktif edilmiş ve dahili PIC osilatörü 8 MHz olarak ayarlanmıştır.

3. Frekans_degis fonksiyonunda frekans kontrolünün değerine göre PWM frekansı 500 Hz ile 200 kHz arasında ayarlanabilmektedir.
4. Main fonksiyonu kodumuzun ana fonksiyonudur. Mantıksal algoritmalar bu fonksiyon içinde kullanılmıştır. Fonksiyon başında duty ve frekans ile ilgili değerler tanımlanarak PWM1 modülü başlatılmıştır.

Sonsuz bir döngü içinde 250 ms'lik gecikme kullanılarak RA ve RB portlarının girişleri kontrol edilmektedir. Her bir girişe uygun algoritmalar çalıştırılarak ıkışlar değiştirilmektedir.

RA0 port kontrolü; RA0 portu set edildiğinde duty değişkeni 10 birim arttırılarak PWM1'e uygulanmaktadır. Eğer duty değişkeni 245 değerinden büyükse 255 olarak atanmaktadır.

RA1 port kontrolü; RA1 portu set edildiğinde duty değişkeni değeri 10 birim azaltılarak PWM1'e uygulanmaktadır. Eğer duty değişkeni 10 değerinden küçükse 0 olarak atanmaktadır.

RA2 port kontrolü; RA2 portu set edildiğinde frekans_kontrol değişkenimiz 1 birim arttırılmaktadır. Eğer frekans_kontrol değerimiz 30'dan büyükse frekans_kontrol değişken değeri 30'a eşitlenmektedir. frekans_degis fonksiyonu çalıştırılarak yeni frekans değeri PWM modülüne uygulanmaktadır.

RA3 port kontrolü; RA3 portu set edildiğinde frekans_kontrol değişkenimiz 1 birim azaltılmaktadır. Eğer frekans_kontrol değerimiz 0'dan küçükse frekans_kontrol değişken değeri 0'a eşitlenmektedir. frekans_degis fonksiyonu çalıştırılarak yeni frekans değeri PWM modülüne uygulanmaktadır.

RA4 port kontrolü; RA4 portu set edildiğinde frekans_kontrol değişkenimiz 5 birim arttırılmaktadır. Eğer frekans_kontrol değerimiz 30'dan büyükse frekans_kontrol değişken değeri 30'a eşitlenmektedir. frekans_degis fonksiyonu çalıştırılarak yeni frekans değeri PWM modülüne uygulanmaktadır.

RA5 port kontrolü; RA5 portu set edildiğinde frekans_kontrol değişkenimiz 5 birim azaltılmaktadır. Eğer frekans_kontrol değerimiz 0'dan küçükse frekans_kontrol değişken değeri 0'a eşitlenmektedir. frekans_degis fonksiyonu çalıştırılarak yeni frekans değeri PWM modülüne uygulanmaktadır.

RB0 port kontrolü; RB0 portu set edildiğinde PWM modülü çıkışında ki PWM sinyali durdurulur.

RB1 port kontrolü; RB1 portu set edildiğinde PWM modülü çıkışında ki PWM sinyali aktifleştirilir.

5. Kart üzerinde başka uygulamalar yapabilmek için koyulmuş olan opsiyonel girişler, sensör devrelerini test edebilmek için yazılımsal olarak geliştirilebilir. RD0 çıkışı, RB2 girişine ve RD1 çıkışı, RB3 girişine yazılımsal olarak eşitlenmiştir. Böylelikle iki adet örnek devre uygulaması yapılmıştır.

8. TASARLANAN DONANIM İLE YAPILAN UYGULAMALAR

8.1 LDR ile Işık Kontrol Uygulaması

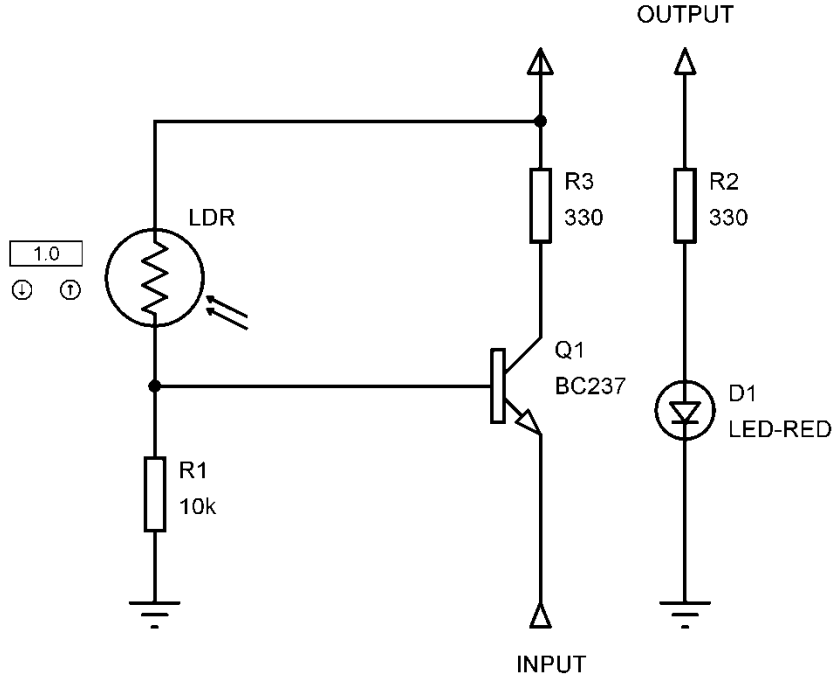
LDR, ışık ile kontrol yapılması gereken projelerde ve otomasyon sistemlerinde oldukça kolay bir şekilde kullanılacak bir sensördür. Optik sensör türleri arasında akla gelen ilk elektronik elemandır. İngilizce photo resistor anlamı taşımasına karşın foto dirençler pratikte genel olarak LDR adı ile kullanılmaktadır. LDR, “Light Depended Resistance” kelimelerinin baş harflerinin kısaltılmış halidir.

LDR, ortamdaki ışığın şiddetine göre üzerine düşen direnç değerini ters orantılı olarak ayarlayabilen en basit optik sensör çeşididir. Tam aydınlık bir ortamda yani üzerine güneş ışığı düştüğü zaman direnç değeri 5-10 Ω değerleri arasına kadar düşebilir. Tam karanlık bir ortamda ise yani üzerine az ya da hiç ışık düşmediği zaman direnç değeri 200 M Ω gibi oldukça yüksek bir direnç değeri gösterir. Yani foto direncin üzerine düşen ışık arttıkça direnç değeri lineer olmayan bir şekilde azalır. Dolayısıyla ışık şiddetinin artması direnç değerinin düşmesine, ışık şiddetinin azalması ise direnç değerinin artmasına sebep olur.

Uygulamada PIC16F887'nin RB2 giriş pini, RD0 çıkış pinine yazılımsal olarak eşitlenmiştir. LDR üzerine ışık düştüğünde iç direnci azalarak BC237 transistörü beyz ucundan tetiklenerek ilettime geçer bu sayede PWM devresinde kullanılmayan ve opsiyonel olarak bırakılan girişten PIC16F887'nin RB2 pinine 5 Volt gönderilmesi sağlanarak bu değer yazılımsal olarak çıkışa iletilir.

Çıkışta RD0 pinine uygulanan 5 Volt sinyali ile rölenin kontakları çekmesi sağlanmıştır. Bu sayede röle kontaklarına bağlanan led yakılmakta ve ortam ısı kontrol altına alınmaktadır. İstenildiği takdirde akım ve gerilime dayanıklı daha güçlü röleler kullanılarak led yerine bir klima veya ısıtıcı kontrol edilebilir.

Yapılan uygulamada tasarımı yapılan kartın giriş ve çıkışlarının kararlı bir şekilde çalıştığı görülmüş olup farklı kodlama ile kartın farklı çıkışlar vermesi sağlanabilir.



Şekil 8.1. LDR ile ışık kontrol devresi

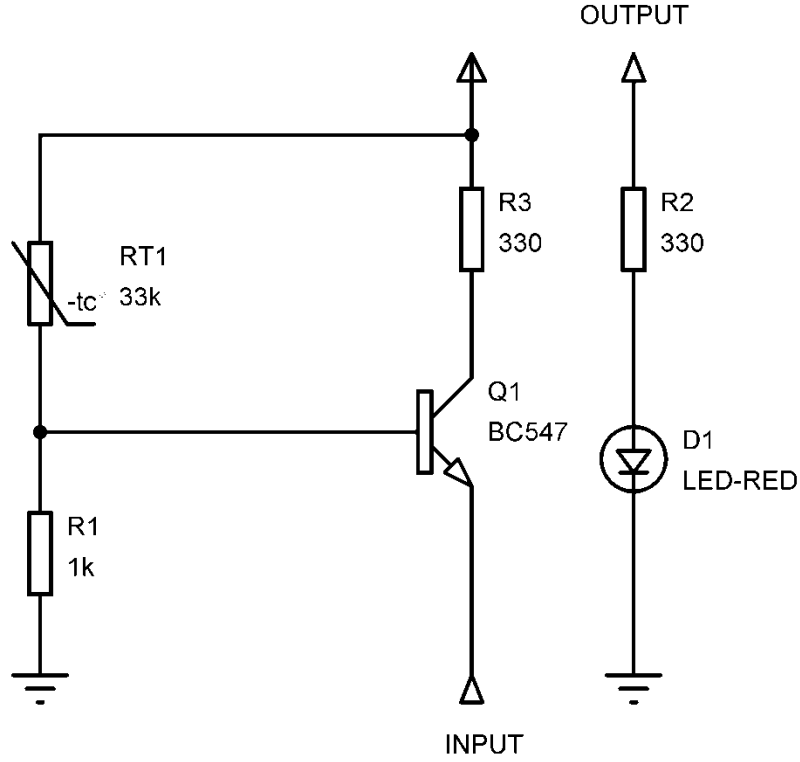
8.2. NTC ile Sıcaklık Kontrol Uygulaması

Sıcaklık ile iletkenliği veya direnci değişen termistör veya ısıl direnç bir tür sensördür. Sıcaklığın artmasıyla direnci azalan negatif ısı katsayılı dirençlere NTC denir. NTC'nin sıcaklığı arttıkça NTC'nin uçlarındaki direnç değeri azalmaktadır. NTC'ler - 300° C ile +50° C arasındaki sıcaklıklarda kararlı bir şekilde çalışırlar. Bir derecenin onda biri yani 0.1 C° duyarlılık oranında olanları vardır.

Yarı iletkenin sıcaklığı arttığında, elektrik yükünü taşıyan elektronların sayısı da artar. Bir malzemede ne kadar fazla yük olursa, elektrik akımını o denli iyi iletir.

Uygulamada PIC16F887'nin RB3 giriş pini, RD1 çıkış pinine yazılımsal olarak eşitlenmiştir. Ortam sıcaklığı arttığında sıcaklığa bağlı olarak NTC'nin direnci düşerek BC547 transistörünü beyz pininden tetikleyerek ilettime geçirmektedir. Bu sayede PIC16F887'nin RB3 giriş pini çıkışa 5 Volt gönderilmesini sağlar ve bu değer yazılımsal olarak çıkışa iletilir. Çıkışta RD1 pinine uygulanan 5 Volt sinyali ile bağlı rölenin kontaklarının çekmesi sağlanarak çıkış ledi yakılmaktadır. Bu sayede

ortam ısısı arttığında ışıkla uyarı yapılmaktadır. İstenilirse led yerine buzzer bağlanarak sesli sinyal verilebilir ya da akım ve gerilime dayanıklı daha güçlü röleler kullanılarak led yerine bir lamba kontrol edilebilir.



Şekil 8.2. NTC ile yapılan sıcaklık kontrol devresi

8.3. PWM Modülü İle Lamba Işık Ayarı

Bu uygulamada kart üzerinde bulunan PWM modülü kullanılarak 12 Volt'luk lambanın ışık şiddeti ayarlanmaktadır. PIC16F887'nin 2. ve 3. pinlerine bağlı olan duty cycle (doluluk oranı) arttırma azaltma butonlarıyla, üretilen PWM sinyalinin genliği değiştirilmektedir. Bu şekilde lambanın ışık şiddeti ayarlanmaktadır.

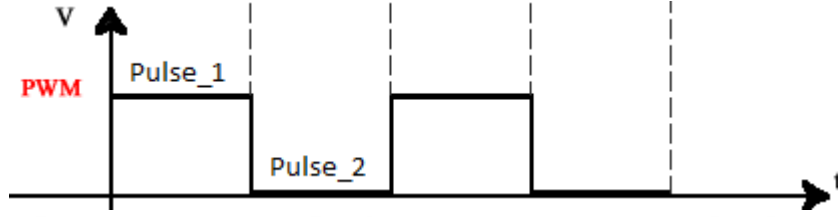
Pulse_1;

Yapılan uygulamada PWM1 girişi 5 Volt (Lojik1) iken Q_1 mosfetinin gate ucu R_1 direnci üzerinden gelen akımın R_3 direnci üzerinden gelen akımdan büyük olması

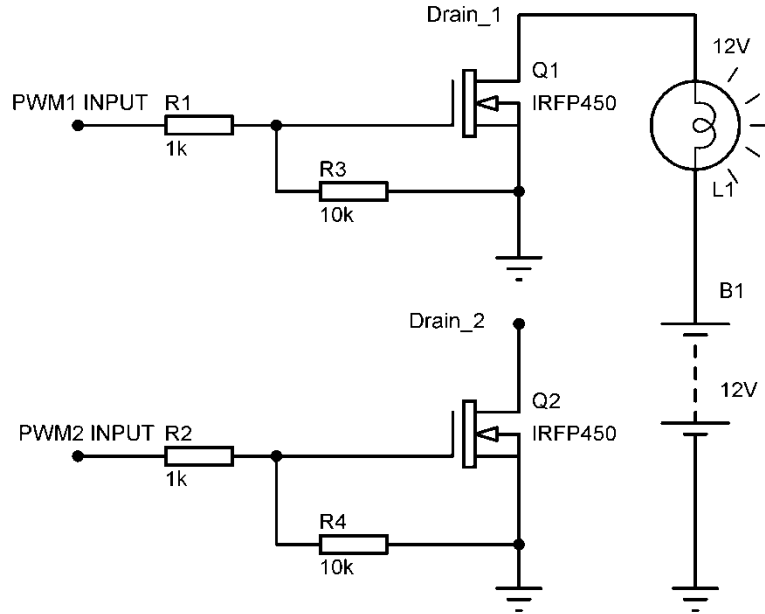
sebebiyle pozitif durumdadır ve Q_1 mosfeti iletime geçecektir. B_1 güç kaynağı üzerindeki gerilim L_1 lambasının ışık vermesini sağlayacaktır.

Pulse_2;

Q_1 mosfeti iletimde olmayacaktır.



Şekil 8.3. Uygulanan PWM sinyali

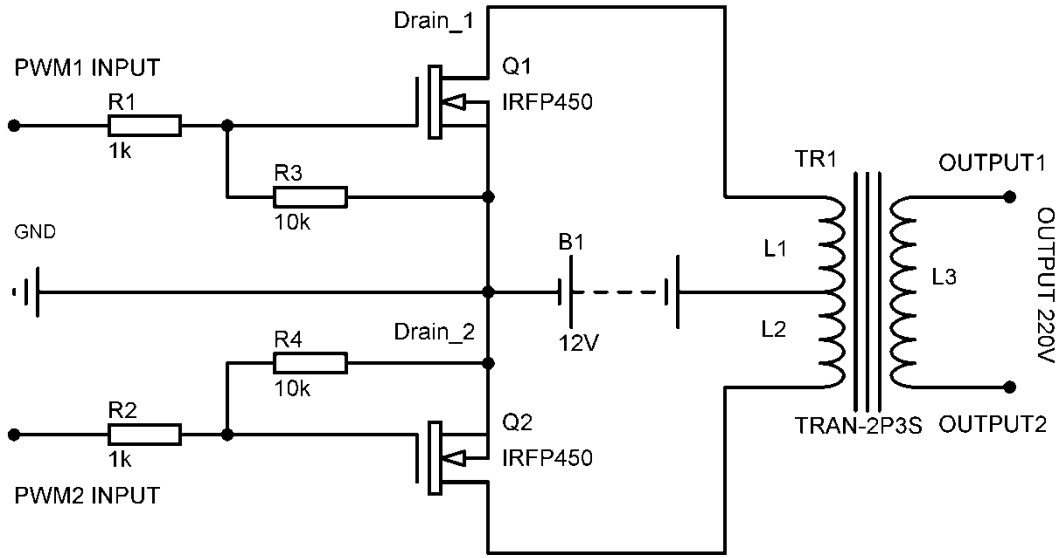


Şekil 8.4. PWM modülü ile yapılan lamba ışık şiddeti ayar devresi

8.4. PWM Modülü İle Yarım Köprü DC-AC Evirici Devresi

Bu uygulamada kart üzerinde bulunan PWM modülü kullanılarak 2x12 Volt'luk

transformatöre, kart üzerinde üretilen PWM sinyali uygulanmaktadır. Duty ve frekans arttırma azaltma butonlarıyla, üretilen PWM sinyalinin genliği ve frekansı değiştirilmektedir. Bu sayede çıkışta 12 Volt ile 220 Volt arasında ayarlanabilen farklı gerilim değerleri elde edilebilmektedir.



Şekil 8.5. PWM modülü ile yapılan DC-AC evirici devresi

Pulse_1;

Yapılan DC-AC evirici uygulamasında PWM₁ girişi 5V (Lojik 1) iken, PWM₂ girişi 0 Volt (Lojik 0) seviyesindedir. Bu durumda Q₁ mosfetinin gate ucu R₁ direnci üzerinden gelen akımın R₃ direnci üzerinden gelen akımdan büyük olması sebebiyle pozitif durumdadır. Sonuç olarak Q₁ mosfeti tetiklenmiş olur. B₁ güç kaynağının üzerindeki gerilim L₁ bobini üzerinden geçerek Q₁ mosfeti aracılığı ile tamamlanır.

Aynı anda R₂ direnci üzerinden gelen negatif gerilim (lojik 0) R₄ direnci üzerinden gelen negatif gerilimle birleşerek Q₂ mosfetinin gate ucunun negatif olmasını sağlayarak bu mosfetin iletme geçmesini engelleyecektir. Bu sebepten B₁ güç kaynağı üzerindeki gerilim L₂ bobini üzerinden geçmeyip bir akım oluşturmayacaktır.

Bu durumda L_1 üzerinden geçen akım $220/12$ oranında L_3 üzerinde gerilim oluşturacaktır.

Bu gerilim;

$$\frac{12 \times 220}{12} = 220 \text{ Volt}$$

olarak çıkışa yansiyacaktır.

Üretilmiş olan sinyal bu sayede trafo çıkışına 220 Volt olarak taşınmaktadır.

Pulse_2;

PWM_1 girişi 0 Volt (Lojik 0) iken, PWM_2 girişi 5 Volt (Lojik 1) seviyesindedir. Bu durumda Q_2 mosfetinin gate ucu R_2 direnci üzerinden gelen akımın R_4 direnci üzerinden gelen akımdan büyük olması sebebiyle pozitif durumdadır. Sonuç olarak Q_2 mosfeti tetiklenmiş olur. B_1 güç kaynağının üzerindeki gerilim L_2 bobini üzerinden geçerek Q_2 mosfeti aracılığı ile tamamlanır.

Aynı anda R_1 direnci üzerinden gelen negatif gerilim (lojik 0) R_3 direnci üzerinden gelen negatif gerilimle birleşerek Q_1 mosfetinin gate ucunun negatif olmasını sağlayarak bu mosfetin iletme geçmesini engelleyecektir. Bu sebepten B_1 güç kaynağı üzerindeki gerilim L_1 bobini üzerinden geçmeyip bir akım oluşturmayacaktır.

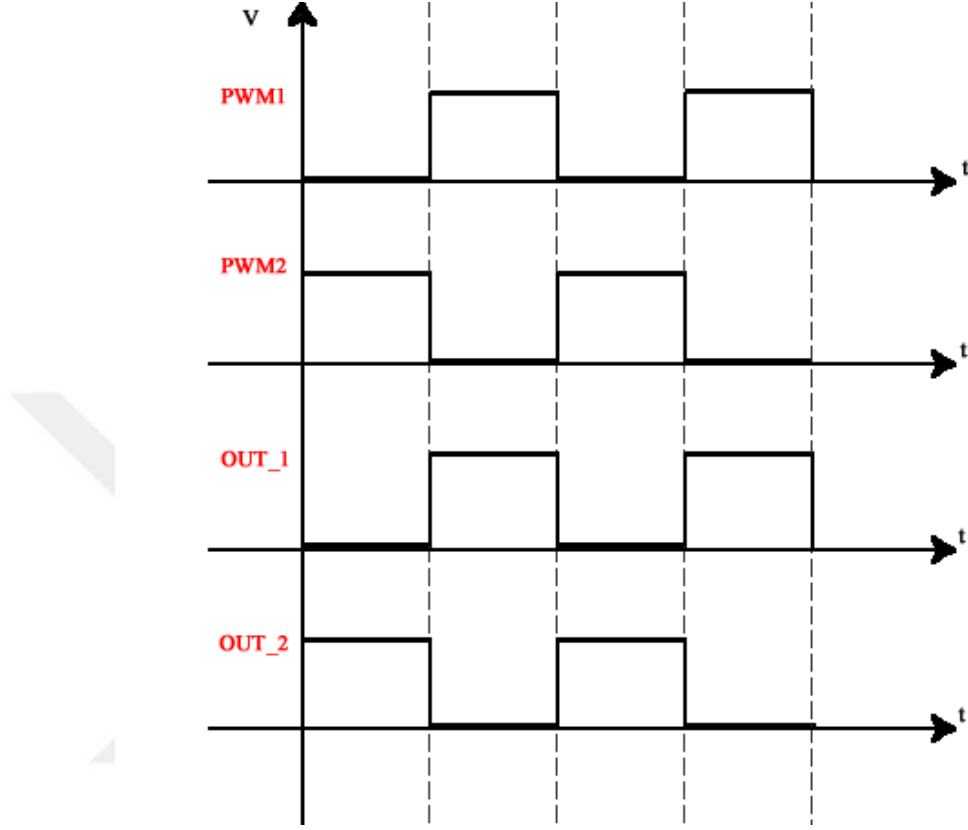
Bu durumda L_2 üzerinden geçen akım $220/12$ oranında L_3 üzerinde gerilim oluşturacaktır.

Bu gerilim;

$$\frac{12 \times 220}{12} = 220 \text{ Volt}$$

olarak çıkışa yansiyacaktır.

Üretilmiş olan sinyal bu sayede trafo çıkışına 220 Volt olarak taşınmaktadır.



Şekil 8.6. Evirici devresi giriş çıkış sinyalleri

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanabilecek PIC tabanlı çok amaçlı kontrol kartı tasarlanmıştır. Kullanılan PIC16F887'nin toplam 18 adet pini giriş çıkış olarak kullanılmıştır. 8 adet 5 Volt DC gerilim ile çalışan dijital girişi vardır. Ayrıca 2 adet de analog girişi bulunmaktadır. 8 adet dijital çıkış 5 Volt DC ile çalışan röle ve transistörlerle kontrol edilmektedir. Röle çıkışlarında 220 Volt gerilim kapasitesine sahiptir.

PWM sinyali üretmek için PIC16F887'nin RC2 pini kullanılmaktadır. Üretilen PWM sinyalinin genlik ve frekansı artırılıp azaltılabilir olarak tasarlanmıştır. PWM frekansı 500 Hz ile 200 kHz arasında ayarlanmaktadır. Bu sayede frekans ve genlik kontrollü uygulamalarda bu kart rahat bir şekilde kullanılabilir.

Gerçekleştirilen donanım üzerinde farklı uygulamaları kontrol edebilmek için röle ve transistörlü çıkışlar tasarlanmıştır. Tasarlanan ve gerçekleştirilen PIC16F887 mikrodenetleyicisi temelli çok amaçlı geliştirme kartının gerçek sistemlerin kontrolünde kullanılabilirliğinin test edilmesi amacıyla dört örnek uygulama yapılmıştır. Dört uygulama için farklı çalışma senaryoları hazırlanmış ve yazılan kontrol programı sayesinde bu sistemlerin kontrolü başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmüştür.

Sonuç olarak tasarımı yapılan projede PIC16F887 ile gerçekleştirilen çok amaçlı kontrol kartı yardımıyla küçük ve orta ölçekli kontrol sistemleri sorunlarının çözümü için ucuz ve fonksiyonel bir ürün ortaya konmuştur. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bu tasarım; merkezi işlem birimiyle (CPU), giriş/çıkış (I/O) birimiyle, PWM modülü ve yazılımıyla birçok geliştirme kartından beklenen işlemlere cevap verebilecek niteliktedir.

Bu tez çalışmasının maliyetinin düşük olması ve üzerinde bulunan PWM modülü, çalışmayı yapılan diğer çalışmalardan ayıran kısmıdır.

EKLER

EK 1. Yazılım Kodlarının Bulunduğu C Dosyası

```
unsigned short duty;           // Duty oranını (1-255) tutan değişken
unsigned short frekans_kontrol; // Frekans Değerini tutan değişken
const int F1=500;             // Başlangıç frekans değeri

void InitMain(){
    ANSEL = 0;                // Pinler dijital olarak ayarlandı
    ANSELH = 0;               // Pinler dijital olarak ayarlandı
    C1ON_bit = 0;            // Karşılaştırma iptal edildi
    C2ON_bit = 0;            // Karşılaştırma iptal edildi
    OSCCON = 0x70;           // Internal osilatör 8 Mhz olarak ayarlandı

    PORTA = 0;                // PORTA temizlendi
    TRISA = 255;              // PORTA giriş olarak ayarlandı
    PORTB = 0;                // PORTB temizlendi
    TRISB = 255;              // PORTB giriş olarak ayarlandı
    PORTC = 0;                // PORTC temizlendi
    TRISC = 0;                // PORTC çıkış olarak ayarlandı
    PORTD = 0;                // PORTD temizlendi
    TRISD = 0;                // PORTD çıkış olarak ayarlandı
    PWM1_Init(F1);            // PWM1 Frekansı 500Hz olarak ayarlandı
}

void frekans_degis (){       //PWM Frekansı değiştirme fonksiyonu
    PWM1_Stop();              //PWM1 durduruldu
    if(frekans_kontrol==0) PWM1_Init(500);
    if(frekans_kontrol==1) PWM1_Init(1000);
    if(frekans_kontrol==2) PWM1_Init(2000);
    if(frekans_kontrol==3) PWM1_Init(3000);
}
```

```
if(frekans_kontrol==4) PWM1_Init(4000);
if(frekans_kontrol==5) PWM1_Init(5000);
if(frekans_kontrol==6) PWM1_Init(6000);
if(frekans_kontrol==7) PWM1_Init(7000);
if(frekans_kontrol==8) PWM1_Init(8000);
if(frekans_kontrol==9) PWM1_Init(9000);
if(frekans_kontrol==10) PWM1_Init(10000);
if(frekans_kontrol==11) PWM1_Init(11000);
if(frekans_kontrol==12) PWM1_Init(12000);
if(frekans_kontrol==13) PWM1_Init(13000);
if(frekans_kontrol==14) PWM1_Init(14000);
if(frekans_kontrol==15) PWM1_Init(15000);
if(frekans_kontrol==16) PWM1_Init(16000);
if(frekans_kontrol==17) PWM1_Init(17000);
if(frekans_kontrol==18) PWM1_Init(18000);
if(frekans_kontrol==19) PWM1_Init(19000);
if(frekans_kontrol==20) PWM1_Init(20000);
if(frekans_kontrol==21) PWM1_Init(21000);
if(frekans_kontrol==12) PWM1_Init(22000);
if(frekans_kontrol==13) PWM1_Init(23000);
if(frekans_kontrol==14) PWM1_Init(24000);
if(frekans_kontrol==15) PWM1_Init(25000);
if(frekans_kontrol==16) PWM1_Init(26000);
if(frekans_kontrol==17) PWM1_Init(27000);
if(frekans_kontrol==18) PWM1_Init(28000);
if(frekans_kontrol==19) PWM1_Init(29000);
if(frekans_kontrol==20) PWM1_Init(30000);
if(frekans_kontrol==21) PWM1_Init(31000);
if(frekans_kontrol==22) PWM1_Init(32000);
if(frekans_kontrol==23) PWM1_Init(33000);
if(frekans_kontrol==24) PWM1_Init(34000);
if(frekans_kontrol==25) PWM1_Init(35000);
if(frekans_kontrol==26) PWM1_Init(36000);
```

```

if(frekans_kontrol==27) PWM1_Init(37000);
if(frekans_kontrol==28) PWM1_Init(38000);
if(frekans_kontrol==29) PWM1_Init(39000);
if(frekans_kontrol==30) PWM1_Init(40000);
if(frekans_kontrol==31) PWM1_Init(50000);
if(frekans_kontrol==32) PWM1_Init(100000);
if(frekans_kontrol==33) PWM1_Init(150000);
if(frekans_kontrol==34) PWM1_Init(200000);
PWM1_Set_Duty(duty);           // duty değışkeni PWM'e uygulandı
PWM1_Start();
}

void main() {
  InitMain();
  duty = 20;                    // başlangıçta duty değışkeni 20 olarak ayarlandı
  PWM1_Start();                // PWM1 başlatılıyor
  PWM1_Set_Duty(duty);         // başlangıçta duty değeri PWM1 uygulandı ayarlandı
  frekans_kontrol=0;          // frekans_kontrol değışkeni sıfırlandı
  RC7_bit=1;                   // Devre Durum LED'i yakıldı

  while (1) {                  // sonsuz döngü başlatıldı
    if (RA0_bit) {             // RA0 girişı 1 olduğunda çalışan fonksiyon
      Delay_ms(250);           // 250 milisaniyelik gecikme
      if (duty<245){
        duty=duty+10;          // duty değeri arttırıldı
      }
      else duty=255;           // duty değeri 245'den büyükse 255 olarak ayarlandı
      PWM1_Set_Duty(duty);     // duty değeri PWM1'e uygulanıyor
    }

    if (RA1_bit) {             // RA1 girişı 1 olduğunda çalışan fonksiyon
      Delay_ms(250);
      if (duty>10){

```



```

    duty=duty-10;           // duty değeri 10 birim azaltıldı
}
else duty=0;              // duty değeri 10 dan küçükse 0 olarak ayarlandı
PWM1_Set_Duty(duty);     // duty değeri PWM1'e uygulandı
}

if (RA2_bit) {           // RA2 girişi 1 olduğunda çalışan fonksiyon
    Delay_ms(250);       // 250 milisaniye buton gecikmesi
    frekans_kontrol++;   // frekans_kontrol değeri arttırıldı
    if (frekans_kontrol>30) frekans_kontrol=30; // frekans_kontrol değeri 30 dan
büyükse 30'a eşitlendi
    frekans_degis();     // frekans_kontrol değeri PWM1'e
uygulanması için fonksiyon çalıştırıldı
}

if (RA3_bit) {           // RA3 girişi 1 olduğunda çalışan
fonksiyon
    Delay_ms(250);       // 250 milisaniye buton gecikmesi
yapılıyor
    frekans_kontrol--;   // frekans_kontrol değeri azaltıldı
    if (frekans_kontrol<0) frekans_kontrol=0; // frekans_kontrol değeri 0 dan
küçükse 0'a eşitleniyor
    frekans_degis();     // frekans_kontrol değeri PWM1'e
uygulanması için fonksiyon çalıştırıldı
}

if (RA4_bit) {           // RA4 girişi 1 olduğunda çalışan
fonksiyon
    Delay_ms(250);       // 250 milisaniye buton gecikmesi
    frekans_kontrol=frekans_kontrol+5; // frekans_kontrol değeri 5 birim
arttırıldı
    if (frekans_kontrol>30) frekans_kontrol=30; // frekans_kontrol değeri 30 dan
büyükse 30'a eşitlendi

```

```

    frekans_degis();                                // frekans_kontrol değeri PWM1'e
    uygulanması için fonksiyon çalıştırıldı
}

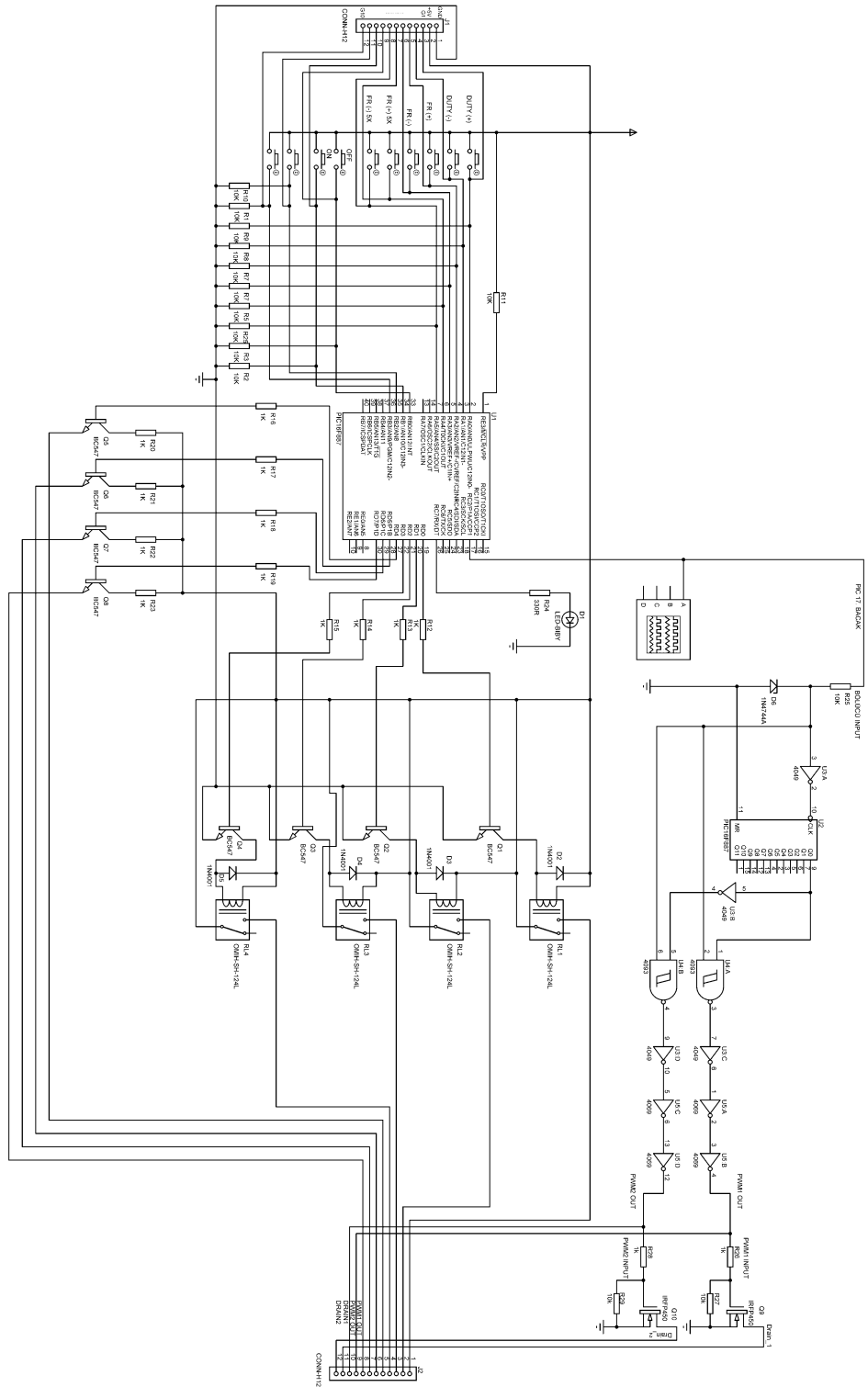
if (RA5_bit) {                                     // RA5 girişi 1 olduğunda çalışan
fonksiyon
    Delay_ms(250);                                 // 250 milisaniye buton gecikmesi
    yapılıyor
    frekans_kontrol=frekans_kontrol-5;           // frekans_kontrol değeri 5 birim
    azaltıldı
    if (frekans_kontrol<1) frekans_kontrol=1;    // frekans_kontrol değeri 1 den
    kkse 1'e eşitlendi
    frekans_degis();                                // frekans_kontrol değeri PWM1'e
    uygulanması için fonksiyon çalıştırılıyor
}

if (RB0_bit) {                                     // RB0 girişi 1 olduğunda çalışan fonksiyon
    PWM1_Stop();                                   // PWM1 Stop edildi
    RC7_bit=0;                                     // Durum LED'i sndrld
}

if (RB1_bit) {                                     // RB1 girişi 1 olduğunda alışan fonksiyon
    PWM1_Start();                                  // PWM1 Start edildi
    RC7_bit=1;                                     // Durum LED'i yakıldı
}
RD0_bit=RB2_bit;                                  // RB2 girişi RD0 çıkışına aktarıldı
RD1_bit=RB3_bit;                                  // RB3 girişi RD1 çıkışına aktarıldı
Delay_ms(5);                                       // gecikme
}
}

```

EK 2. Tasarlanan Donanımın Devre Şeması



KAYNAKLAR

- [1] Özel, E., PWM Yöntemiyle DC Motorun PC Üzerinden Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 2009.
- [2] Rashid, H. M., Power Electronics Devices, Circuit and Applications, 523. Prantice Hall International Inc, New Jersey, 1993.
- [3] Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P., Power Electronics, Converters, Applications, and design. 842. John Wiley & Sons, Canada, 1989.
- [4] Zhijuan, Z., Heming, L., and Yonglong, P., Application of MOSFET Solid State High Frequency Power Supply in Pipe Welding. TENCON 2006 IEEE Region 10 Conference, 14-17 Nov, Hong Kong, s. 1-3, 2006.
- [5] Handley, P. G., Boys, J. T., Space Vector Modulation An Engineering Review. 4th International Conference on Power Electronics and Variable - Speed Drivers, 17-19 Jul, London, s. 87-91, 1990.
- [6] N. Torun, Mikrogenetleyici Kontrollü Hat Etkileşimli Kesintisiz Güç Kaynağı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2001.
- [7] Doğan, S., Çelik, Ü., DA Motorlarda Analog Hız Kontrolü. Elektronik Devreler Projeler. <http://320volt.com/pic16f877-dc-motor-hiz-kontrolu-pi-kontrolorlu> (Erişim tarihi: 12.09.2015)
- [8] Bates, M., Interfacing PIC Microcontrollers Embedded Design by Interactive Simulation . 80-100. Elsevier, London, 2006.
- [9] Hirota, I., Omori, H. ve Nakaoka, M., Practical Evaluations of A ZVS-PFM Quasi Load - Resonant High Frequency Inverter Using A new Generation IGBT for An Induction - Heated Cooking Appliance, Int. J. Electronics, s.239-340, 1996.
- [10] Ünver H. Murat, İndüksiyonlu Çelik Tav Fırınlarında Güç Ünitelerinin PLC ile Denetimi. Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2004.
- [11] Fujita, H. ve Akagi, H., Pulse - Density - Modulated Power Control of a 4 kW, 450 kHz Voltage - Source Inverter for Induction Melting Applications. IEEE Transactions on Industry Applications, s. 279-286, 1996.
- [12] Deguchi, Y., Moisseev, S., Hiraki, E. and Nakaoka, M., Cost effective edge - resonant PWM high frequency inverter for induction heating appliances and its performance evaluations. Power Conversion Conference, 2002, Osaka, s. 1508-15011, 2002.

- [13] Rashid, M. H., Power Electronics Circuit Devices and Applications, Third Edition, New Jersey, Prantice Hall,226-257, 2003.
- [14] Bodur, H., Güç Elektroniği, İstanbul, Birsen Yayınevi, 38-40, 251-284, 2010.
- [15] Agrawal, J. P., Power Electronic Systems Theory and Design, Prentice Hall, 2000.
- [16] Ahmed, A., Power electronics for technology, Prentice-Hall Inc., 1 *st* ed., pp. 100-200, WA, USA, 1998.
- [17] Gülgün, R., Güç elektroniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Evi, 2. baskı, s. 272, İstanbul, 1999.
- [18] Gülgün, R., Güç elektroniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Evi, 2. baskı, s. 334, İstanbul, 1999.
- [19] Arifoğlu, U., Güç elektroniği ders notları, Sakarya Üniversitesi, sf. 84, Sakarya, 2005.
- [20] Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W. P., Güç elektroniği, Literatür Yayıncılık, 2. basımdan çeviri, s. 227, İstanbul, 2007.
- [21] Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W. P., Güç elektroniği, Literatür Yayıncılık, 2. basımdan çeviri, s. 231, İstanbul, 2000.
- [22] Bayram, Y., PIC Kontrollü Kesintisiz Güç Kaynağı Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [23] Bose K. B., Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, ISBN 0-13-016743-6, USA, 2002.
- [24] Fang Z. Peng., Introduction to Power Electronics, Dept. of Electrical and Computer Engineering Michigan State University, August 2004.
- [25] Gülgün R., Güç Elektroniği, YTÜ Basım-Yayın Merkezi, 4. Baskı, ISBN 975-461-173-4, İstanbul, Türkiye 1999.
- [26] <http://www.elektrotekno.com> (Erişim tarihi: 27.10.2015).
- [27] Bayram, Y. PIC16F877 İle DC Motor Kontrolü. S.U. Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisans Tezi, s. 100, Konya, 2000.
- [28] M. Uzam, "PIC16F877A Mikro-Denetleyicisi Temelli PIC PLC - 10 Kaydırma ve Döndürme Makroları", Endüstri & Otomasyon, sayı 162, s. 24-29, Eylül 2010.

- [29] Anonymous, PIC16F84 Datasheet, www.microchip.com, Microchip Technology Incorporated, U.S.A, s. 1- 54, 2002.
- [30] Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Mikroşlemciler 2013/2014 Bahar Y.Y. Laboratuvar Deney Kitabı
- [31] Çolak, İ. ve Kabalcı, E., S. J., “Evirici Topolojileri ve Gelişimleri Üzerine Bir İnceleme”, 1-2.
- [32] Yalçın F., Bir Fazlı Inverter Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009.
- [33] http://www.robotiksistem.com/transistor_nedir_transistor_cesitleri.html (Erişim tarihi: 14.07.2015)
- [34] <https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6le> (Erişim tarihi:14.07.2014)
- [35] Ünver H. Murat, İndüksiyonlu Çelik Tav Fırımlarında Güç Ünitelerinin PLC ile Denetimi. Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2004.
- [36] Özkul, A., PIC Kontrollü Termoelektrik Modül İle Arı Kovan İç Sıcaklığının Stabil Tutulması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2014.
- [37] Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Mikroşlemciler 2013/2014 Bahar Y.Y. Laboratuvar Deney Kitabı
- [38] Harmanda, A., 16 Bitlik Bir PIC Mikrodenetleyicisi İle Bir Programlanabilir Lojik Denetleyici Tasarımı Ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, 2011.