

**ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR İÇİN  
MİKRODENETLEYİCİ İLE EKONOMİK BİR SÜRÜCÜ  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**Kamil POLAT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2010  
ANKARA**

Kamil POLAT tarafından hazırlanan “ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR İÇİN MİKRODENETLEYİCİ İLE EKONOMİK BİR SÜRÜCÜ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Güngör BAL

Tez Danışmanı, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, oy birliği ile jürimiz tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Güngör BAL

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇETİN

Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 08/10/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Kamil POLAT

# **ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR İÇİN MİKRODENETLEYİCİ İLE EKONOMİK BİR SÜRÜCÜ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Kamil POLAT**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ekim 2010**

## **ÖZET**

Anahtarlamalı relüktans motorların (ARM) kullanım alanları; yapılarının basitliği, kullanım kolaylıkları ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda yarı iletken teknolojisinde meydana gelen hızlı gelişmelerden hem güç elektroniği elemanları hem de mikrodeneleyiciler olumlu yönde etkilenmişlerdir. Güç elektroniği ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin sonucunda ARM'lerin denetiminde başarılı çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, 3-fazlı 12/8 kutuplu bir anahtarlamalı relüktans motor için ekonomik bir sürücü devre tasarlanmıştır. Sürücü devresinde anahtar elemanı olarak MOSFET'ler, denetleyici olarak düşük maliyetli bir PIC16F877A mikrodeneleyici kullanılmıştır. ARM'nin açık döngü hız denetimi yüklü ve yüksüz çalışma koşulları altında gerçekleştirilmiştir.

**Bilim Kodu : 703.1.033**  
**Anahtar Kelimeler : Anahtarlamalı relüktans motor (ARM), PIC  
Mikrodeneleyici, Sürücü**  
**Sayfa Adedi : 75**  
**Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Güngör BAL**

**AN ECONOMIC DRIVER APPLICATION FOR SWITCHED RELUCTANCE  
MOTOR WITH MICROCONTROLLER**

**(M.Sc. Thesis)**

**Kamil POLAT**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**October 2010**

**ABSTRACT**

Switched reluctance motors (SRMs) are simple electrical machines which have application areas increasingly growing because of their cheapness and easy usage. Both power electronic components and microcontrollers have been positively affected from developments of semiconductor technologies in recent years. As a result of improvement of power electronics and computer technology, there have been increased attentions to control the SRMs.

In this study, an economic driver was designed to drive a three phase SRM with 12/8 poles. In driving circuit, MOSFET's were used for switching and low cost PIC16F877 microcontroller was used to control driver. Open loop speed control of the SRM was achieved with and without load.

**Science Code : 703.1.033**  
**Key Words : Switched reluctance motor (SRM), PIC Microcontroller,  
Driver**  
**Page Number : 75**  
**Adviser : Prof. Dr. Güngör BAL**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince sabırla beni yűnlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danıőmanım Prof. Dr. Gűngűr BAL'a, Őđr. Gűrevlisi Sertaç BAYHAN'a, karőılaőtıđım sorunlar konusunda yardımcı olan deđerli hocalarıma ve arkadaőlarıma teőekkűrű bir borç bilirim.

Ayrıca manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda hissettiđim sevgili aileme teőekkűr ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORLAR (ARM).....	6
2.1. ARM'nin Yapısı .....	6
2.2. ARM'nin Çalışması .....	10
2.3. ARM'nin Karakteristik Özellikleri.....	12
2.3.1. ARM endüktans ve momentinin rotor konumu ile ilişkisi .....	12
2.3.2. ARM'de moment analizi .....	15
2.3.3. ARM'de enerji dönüşümü .....	16
2.3.4. ARM'de tork-hız karaktersitiği .....	19
2.3.5. ARM eşdeğer devresi ve temel denklemler.....	20
2.3.6. Temel parametreler .....	22
3. ARM DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRELERİ .....	26
3.1. ARM Dönüştürücü Devreleri .....	27
3.1.1. Klasik köprü tipi dönüştürücü .....	27
3.1.2. Ortak anahtarlı dönüştürücü (Miller devresi) .....	28
3.1.3. C-dump dönüştürücü .....	30

**Sayfa**

3.1.4.	Düzenlenmiş C-dump dönüştürücü.....	31
3.1.5.	Bifilar sargılı dönüştürücü.....	32
3.1.6.	Split DA link dönüştürücü.....	32
3.1.7.	Söndürme dirençli dönüştürücü.....	33
3.2.	Sürücü Devrelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	34
4.	SÜRÜCÜ DEVRE TASARIMI VE UYGULAMASI .....	36
4.1.	Sürücü Tasarımı Yapılan Anahtarlama Relüktans Motor Özellikleri ...	36
4.2.	Sistem Tasarımı .....	37
4.2.1.	Pozisyon sensörü.....	38
4.2.2.	Sürücü devre topolojisi.....	39
4.2.3.	Güç anahtarı (MOSFET) .....	40
4.2.4.	Geri dönüşüm diyodu .....	41
4.2.5.	MOSFET sürücü entegreleri.....	41
4.2.6.	Mikrodenetleyici .....	42
4.3.	Deneysel Çalışmalar .....	44
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	50
	KAYNAKLAR.....	51
	EKLER.....	54
	EK-1 H21A1 Pozisyon Sensörü Bilgi Sayfası .....	55
	EK-2 IRFP 450 MOSFET Bilgi Sayfası .....	56
	EK-3 TLP 250 Optokuplör Bilgi Sayfası.....	57
	EK-4 16F877A Mikroişlemci Bilgi Sayfası.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	60



**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Faz ve kutup sayılarına göre bir devirdeki darbe sayısı .....	8
Çizelge 4.1.Uygulamada kullanılan motorun özellikleri .....	36
Çizelge 4.2. Akım, gerilim, hız ve güç değerleri.....	48

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. 12/8 ve 6/4 ARM kesiti .....	7
Şekil 2.2. 6/4 ARM prensip şeması .....	10
Şekil 2.3. a) c-fazı yüzyüze konum b) c-fazı yüzyüze konum akı haritası .....	11
Şekil 2.4. a)a-fazı yüzyüze konum b) a-fazı enerjilendiği anda oluşan akı haritası ...	11
Şekil 2.5. Rotor konumu, üretilen endüktans, sargı akımları ve üretilen moment .....	14
Şekil 2.6. Bir faz için endüktans, tork ve akım eğrileri .....	14
Şekil 2.7. Akım ve halkalanma akısı arasındaki doğrusal olmayan ilişki.....	16
Şekil 2.8. Enerji dönüşüm grafiği .....	17
Şekil 2.9. Sabit akımda koenerjinin değişimi ile ani torkun değişimi .....	18
Şekil 2.10. ARM'nin tork-hız karakteristiği .....	19
Şekil 2.11. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi .....	20
Şekil 3.1. ARM dönüştürücü devrelerin anahtar sayısına göre sınıflandırılması .....	27
Şekil 3.2. Klasik köprü tipi dönüştürücü devresi.....	28
Şekil 3.3. Faz sayısı+1 anahtarlı dönüştürücü devresi.....	29
Şekil 3.4. Temel C-dump dönüştürücü devresi .....	30
Şekil 3.5. Düzenlenmiş C-dump dönüştürücü devresi.....	31
Şekil 3.6. Bifilar sargılı dönüştürücü devresi .....	32
Şekil 3.7. Split DA link dönüştürücü devresi.....	33
Şekil 3.8. Söndürme dirençli dönüştürücü devresi .....	34
Şekil 4.1. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı .....	37
Şekil 4.2. H21A1 pozisyon sensörü.....	38

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.3. Uygulaması yapılan faz sayısı+1 anahtarlı dönüştürücü devre .....	39
Şekil 4.4. IRFP 450 MOSFET bacak bağlantıları ve kılıfı .....	41
Şekil 4.5. TLP 250 MOSFET sürücü entegre bacak bağlantıları .....	42
Şekil 4.6. PIC 16F877A bacak bağlantıları.....	43
Şekil 4.7. Pozisyon sensörü çıkışları .....	45
Şekil 4.8. 90 V gerilim altında yüksüz 1800 d/d hızla çalışan motorun bir faz gerilim ve akımı .....	45
Şekil 4.9. 116 V gerilim altında yüksüz 2100 d/d hızla çalışan motorun bir faz gerilim ve akımı.....	46
Şekil 4.10. 0,4Nm yük altında 1250 d/d hızla çalışan çalışan motorun faz gerilim ve akımı.....	46
Şekil 4.11. 0,4Nm yük altında 1400 d/d hızla çalışan motorun faz gerilim ve akımı.....	47
Şekil 4.12. Yüksüz durumda güç değerleri, gerilim ve akım .....	47
Şekil 4.13. 0,4 Nm yük altında motorun güç değerleri, gerilim ve akım.....	48
Şekil 4.14. Hız-gerilim grafiği.....	49
Şekil 4.15. Tork-hız grafiği.....	49

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. Tasarlanan sistemin genel görünümü .....	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$n_s$	Stator kutup sayısı
$n_r$	Rotor kutup sayısı
$m$	Faz sayısı
$N_{wPP}$	Bir fazı oluşturan çift kutup sayısı
<b>S</b>	Darbe sayısı
$f$	Frekans (Hertz)
$\epsilon$	Adım açısı
$L_{max}$	Maksimum endüktans(Henry)
$L_{min}$	Minumum endüktans(Henry)
$I_m$	Motor akımı (Amper)
$I_g$	Generatör akımı (Amper)
<b>T</b>	Tork veya moment
$\theta$	Dönüş açısı (Derece)
$I_{ref}$	Referans akım değeri (Amper)
$W^*$	Koenerji
$I_a$	a fazının akımı (Amper)
$\Psi$	Ak1 (Weber)
$\omega$	Açısal hız
$\omega_b$	Taban hız
<b>V</b>	Gerilim (Volt)
<b>I</b>	Akım (Amper)
<b>R</b>	Direnç (Ohm)
<b>M (<math>\theta</math>)</b>	Karşılıklı endüktans
<b>J</b>	Atalet momenti

**Simgeler****Açıklama**

<b>B</b>	Sürtünme katsayısı
<b>T<sub>L</sub></b>	Yük momenti
<b>γ<sub>r</sub></b>	Rotor konum açısı
<b>γ<sub>s</sub></b>	Stator konum açısı
<b>l<sub>r</sub></b>	Rotor kutup uzunluğu
<b>d<sub>i</sub></b>	Rotor iç yarıçapı
<b>D<sub>i</sub></b>	Stator iç çapı
<b>g<sub>min</sub></b>	Minumum hava aralığı
<b>θ<sub>r</sub></b>	Rotor kutup açısı
<b>k</b>	Sabit değer
<b>l<sub>b</sub></b>	Motor sac paketinin uzunluğu
<b>Q</b>	Güç anahtarı
<b>P</b>	Güç (Watt)
<b>GND</b>	Nötr

**Kısaltmalar****Açıklama**

<b>ARM</b>	Anahtarlama relüktans motor
<b>SRM</b>	Switched reluctance motor
<b>DA</b>	Doğru akım
<b>DC</b>	Doğru akım
<b>AC</b>	Alternatif akım
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
<b>GTO</b>	Gate Turn-off Thyristors (Kapıdan Tıkanabilir Tristör)
<b>MOSFET</b>	Metal Oxide Field Effect Transistor (Metal Oksit Alan Etkili Transistör)
<b>PIC</b>	Peripheral Interface Controller (Çevresel Arayüz Denetleyicisi)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>IGBT</b>	Insulated Gate Bipolar Transistor (Geyt'i yalıtılmış bipolar transistör)
<b>FWD</b>	Free Wheeling Diode (Serbest Döngü Diyod)
<b>BJT</b>	Bipolar Junction Transistor
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)

## 1. GİRİŞ

Anahtarlamaalı Relüktans Motorların (ARM) basit yapı, düşük atalet momenti, ucuz imalat ve yüksek hızlı çalışma özelliklerinden dolayı kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. ARM'ler, asenkron motor veya klasik DA motoruna kıyasla daha basit bir yapıya sahiptir[1]. ARM'lerde torkta meydana gelen çökme, titreşim ve akustik gürültü gibi sakıncalar vardır[2].

Güç elektroniği ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler doğrultusunda ARM'lerin kontrol edilmesinde başarılı uygulamalar yapılmıştır. Güç elektroniği devreleri kullanılarak kontrol edilen elektrik motorlarında hız ve tork iyileştirilerek verimlilik artırılabilir. Kullanılan kontrol devreleri ile elde edilen üstünlükler; kontrol devresinde kullanılan elemanların maliyeti, kontrol devresinin boyutu ve karmaşıklığı nedeni ile yetersiz kalabilmektedir. Elektronik kontrollü elektrik motorlarının bu nedenlerle kullanım alanları sınırlı kalmıştır. Bu motorların daha yaygın kullanım alanı bulmaları basit, ucuz ve kararlı kontrol devreleri tasarlanması ile mümkündür.

İlk zamanlarda; faz endüktansları ve rotor hareketine bağlı olarak değişen relüktans prensibi ile çalışmaları nedeni ile Değişken Relüktanslı Motor olarak isimlendirilen bu motorlar, rotor konumuna bağlı olarak faz sargılarının yarıiletken elemanlar tarafından enerjilendirilmesi nedeni ile güç elektroniği ile birleştirilmesinden sonra ARM adını almıştır. ARM, sadece statorunda sargılar bulunması ve rotorunda sargı olmaması nedeni ile yapısı bakımından en basit döner elektrik motoru olarak sayılabilir. ARM'ler çift çıkıntılı veya çift çıkıklı olarak sınıflandırılabilir. Rotor üzerinde herhangi bir sargı veya mıknatısın bulunmaması nedeni ile yüksek hızlı çalışmalar için uygundur. ARM'lerde stator sargılarını uyartmak için sadece bir uyartım kaynağı vardır. Bu nedenle bir ARM'de sadece stator üzerindeki sargılarda direnç kaybından dolayı ısı meydana gelir. Statorun soğutulması rotora göre daha kolay yapılabilir. ARM aynı güç için diğer motorlara göre ebat olarak daha küçüktür. ARM'lerde stator kutup sayısının ( $n_s$ ), rotor kutup sayısına ( $n_r$ ) oranı



$(n_s/n_r)$ , motorun tanımlanmasında kullanılan bir veridir ve motor özellikleri ile beraber  $(n_s/n_r)$ , oranı da verilir[3].

Çalışma prensibi relüktans kuvvetine dayanan ARM'de, üzerinde herhangi bir sargı veya mıknatıs bulunmayan serbest hareketli, çıkık kutuplu rotor, bulunduğu manyetik devre içerisindeki akımın, en kolay yol bulabileceği en küçük relüktans konumuna kadar kuvvet uygulanarak çekilir. Bu nedenle ARM'lerde elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi relüktans kuvveti ile gerçekleşmektedir. Relüktans kuvveti, dönme hareketini sağlayan döndürme momentini oluşturmaktadır. Rotor kutuplarının, stator kutuplarına göre pozisyonunun izlenerek stator sargılarının sıra ile uyarılması ile sürekli döndürme momenti sağlanır[4].

ARM'de üretilen toplam moment, her bir fazın ürettiği bağımsız momentlerin toplamına eşittir. Bu durum, her bir fazın dönme periyodunun maksimum bir yarısı ile moment üretimine katkıda bulunma sınırlamasını getirmektedir. Her bir fazın ürettiği moment, faz akımının karesine ve faz endüktansın değişimine bağlıdır. Doymanın olmadığı, akıma bağlı akımın değişiminin doğrusal varsayıldığı doğrusal çalışma durumunda akım sabit tutulursa, üretilen moment de düzgün olacaktır. Ancak akımın bir fazdan diğer faza geçtiği komütasyon aralığında akımı sabit tutmak mümkün olmamaktadır. Momentte meydana gelen çökmeler genel olarak komütasyon aralığında meydana gelmektedir[5].

ARM'lerin dinamik karakteristiği, çalışma şartlarına bağlı olarak değişmektedir. ARM'lerin yalnızca statorunda yoğun ve basit yapıli sargılar bulunur. Rotorda herhangi bir sargı, mıknatıs, kafes, fırça, komütatör, olmamasından dolayı az bakım gerektirir. Bu özelliklerinden dolayı ile ARM'lerin imalatı diğer motorlara göre kolaydır ve maliyeti azdır. Rotorunda herhangi bir sargı veya mıknatıs bulunmaması motora sağlam bir yapı kazandırmıştır. Ayrıca rotorun sargısız ve fırçasız yapıya sahip olması sebebiyle çok yüksek hızlarda çalışabilmektedir. ARM'lerde bir stator fazı diğer fazlardan bağımsız çalışması sebebi ile herhangi bir faz arızası durumunda motor dönme hareketini sürdürebilir. Bu nedenle hata toleransları yüksektir. Eylemsizlik momenti düşüktür ve yüksek kalkış momenti üretebilir. Buna karşılık

motorun kontrolü için rotor konum bilgisinin gerekliliği nedeni ile pozisyon algılama elemanları kullanılması, torkta meydana gelen ani çökmeler nedeniyle üretilen torkta meydana gelen dalgalanma ve akustik gürültü motorun dezavantajlarıdır.

Günümüzde ARM'ler uzay sanayinde, madencilikte, nükleer tesislerde, endüstriyel çamaşır ve bulaşık makinalarında, elektrikli taşıtlarda ve ofis araçlarında kullanılmaktadır[6,7]. Endüstride kullanılan ARM'lerin güçleri 100 W ile 300 kW arasında, hızları ise 250 d/d - 50 000 d/d arasında değişmektedir[8,9].

Orjini 1824 yılına dayanan ARM ilk olarak Davidson tarafından 1838 yılında İskoçya'da bir lokomotifin hareket ettirilmesinde kullanılmıştır[6].

Relüktans motorun patenti 1840 yılında W.H. Toylar tarafından alınmıştır. Ancak komütasyondaki zorluklar sebebi ile pek rağbet görmemiştir.

1960'lı yıllardan itibaren güç elektroniği ve bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile ARM'ler ile ilgili çalışmalar artmıştır[10,11]. 1960'lı yılların sonlarına kadar çok küçük güçlerde imal edilen ve üzerinde pek durulmayan ARM'ler, yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak tekrar gündeme gelmiştir. 1970'li yıllarda ucuz ve hızlı elektronik güç anahtarlarının, anahtarlama döngülerini sağlayan yüksek performanslı mikroişlemcilerin ve yüksek güçlerde değişken relüktanslı motorların üretilmesi ile relüktans motorlar üzerine yapılan çalışmalar artmıştır[12].

ARM'lerle ilgili kapsamlı çalışmalar 1967 yılında İngiltere'de Leeds Üniversitesinde ve daha sonra 1973 yılında Nottingham Üniversitesinde başlamıştır[13].

Günümüzdeki ARM'lerin temel özelliklerini taşıyan ilk ARM patenti 1972 yılında ABD'de Bedford ve Hofit tarafından alınmıştır[6]. İlk ARM'ler 1974 yılında Ford Motor şirketinde çalışan Unnewehr ve Koch tarafından üretilmiş, daha sonra ise 1978 yılında Bausch tarafından üretilmiştir[6,7].

1980 yılında, Lawrenson ve arkadaşları ARM'lerin değişken hızlı uygulamalarda kullanılabilceğini göstermişlerdir[12]. ARM ticari amaçlı olarak ilk kez 1983 yılında Oulton Drives Ltd. lisansı ile Tasc Drives tarafından İngiltere'de üretilmeye başlanmıştır.

1985 yılında Bose ve arkadaşları Intel 8751 mikroişlemci kullanarak 5 hp gücünde bir ARM'nin kapalı döngü denetim ile hız ve moment kontrolü gerçekleştirilmiştir[14].

1988 yılında Arumugan ve arkadaşları tarafından kutup adım oranının performans üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışma yapılmıştır[15].

Ray ve arkadaşları GTO ve BJT ile gerçekleştirilen iki değişik ARM konverter devresini karşılaştırmışlardır. Konum sensörü ve akım sensörü kullanılmayan çalışmada MacMinn ve arkadaşları 6/4 kutuplu, 5.5 A ve 450 W gücünde bir ARM'yi mikroişlemci kullanarak kontrol etmiştir. Bu çalışmada, rotor konumu faz endüktansı ölçümlerinden tespit edilmiş ve güç MOSFET'leri üzerindeki elemanlarla faz akımı algılanmıştır[5].

Krishnan ve arkadaşları Siemens SAB 80535 mikroişlemci kullanarak 6/4 kutuplu bir ARM'nin kapalı çevrim akım ve hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir[16].

Kjaer ve arkadaşları 6/4 ARM ve 8 bitlik 80C517A mikroişlemci kullanılan bir uygulamada, gerilim kontrollü ARM'de elektrik enerjisi tüketimini azaltan ve verimi artıran iletim açısı kontrol algoritması gerçekleştirmişlerdir[17].

Kjaer ve arkadaşları dört çalışma bölgesinde, 3 hp gücünde 8/6 kutuplu bir ARM'nin kontrolünün yapıldığı, 32 bitlik Motorola MC68332 mikroişlemci kullanılan bir çalışmada geniş hız aralığında, momentte az dalgalanma ve yüksek verim sağlayacak şekilde ARM moment kontrolünü gerçekleştirmişlerdir[18].

Duran TMS320F2812 sayısal işaret işlemci ile akım ve gerilim algılayıcıları kullandığı çalışmada, endüstriyel çamaşır makinalarında kullanılan ARM'nin zeki denetimini gerçekleştirmiştir[9].

Karagöz 3 fazlı 6/4 kutuplu marş motoru olarak kullanılacak ARM için kontrol devresi tasarımında, ARM'nin sürücü sinyallerinin üretildiği sürüş işlemcisi ile haberleşme ve gösterge mikroişlemcisi olmak üzere iki adet PIC16F877A mikroişlemci ve opamp kullanılan kontrol devresi gerçekleştirmiştir[10]. Kullanılan mikroişlemci ve opamp performansını artırdığı gibi maliyeti de artırmıştır.

Omaç ve arkadaşları 18/12 kutuplu ARM tasarımı, incelenmesi ve kontrolünü yaptıkları çalışmada, kapalı çevrim hız kontrol uygulamasını TMS320LF2407A sayısal sinyal işlemcisi kullanarak gerçekleştirmişlerdir[19].

Bu tez çalışmasında, PIC mikrodenetleyici ve güç elektroniği elemanları ile 3 fazlı 12/8 kutuplu bir ARM için ekonomik bir sürücü devresi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sürücü devresinde denetleyici olarak PIC16F877A mikroişlemci ve güç anahtarı olarak MOSFET kullanılmıştır.

Tez çalışmasının 2.Bölüm'ünde ARM'nin yapısı, çalışma prensibi açıklanarak ARM karakteristik özellikleri, eş değer devresi, temel motor denklemleri ve temel parametreleri verilmiştir.

3.Bölüm'de ARM sürücü devreleri hakkında bilgi verilmiştir.

4.Bölüm'de tez çalışmasında kullanılan ARM özellikleri verilerek, uygulaması yapılan sürücü devrede kullanılan mikroişlemci ve güç anahtarı gibi elemanlar açıklanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalar yapılarak sonuçları verilmiştir.

5.Bölüm'de yapılan tez çalışması değerlendirilerek daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## 2. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORLAR (ARM)

Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makinalarıdır. Elektrik makinalarının temel ilkeleri ilk kez Faraday tarafından ortaya konulmuştur. Faraday, manyetik alanla ilgili Oersted'in buluşlarından yararlanarak 1822 yılında, içinden akım geçen bir iletkenin manyetik alan tarafından itildiğini bulmuştur. Bu buluştan yararlanan Barlov, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren ilk makinayı 1824 yılında yapmıştır. Barlov'un yaptığı ve Barlov tekerleği olarak bilinen bu yapı, ilk elektrik makinası olarak bilinmektedir.

Bu bölümde ARM'lerin yapısı, çalışma prensibi ve temel motor denklemleri verilecektir. Öncelikle ARM yapısı ve çalışma prensibi açıklanarak ARM'lerin özellikleri, eşdeğer devresi ile temel motor denklemleri ve parametreleri verilecektir.

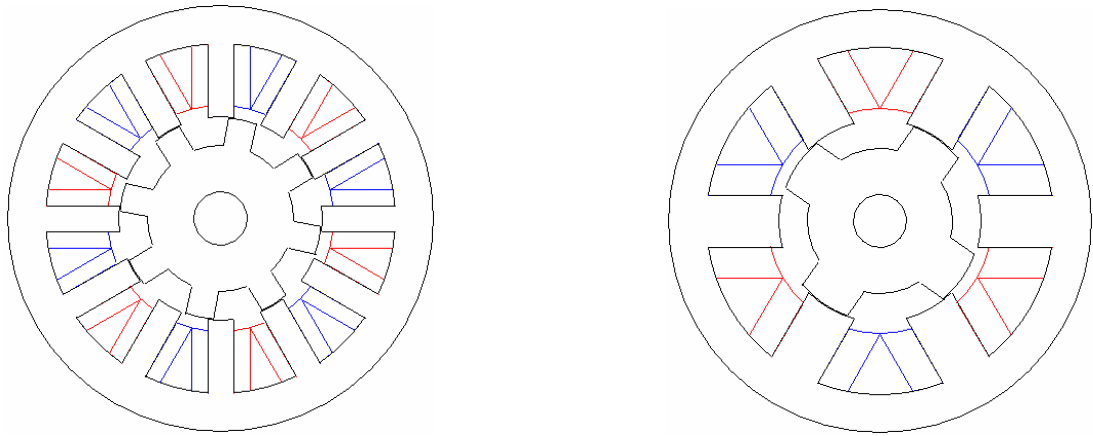
### 2.1. ARM'nin Yapısı

Mekaniksel olarak ARM oldukça basit yapıda bir elektrik makinasıdır. ARM'lerde diğer elektrik motorlarında olduğu gibi stator ve rotor yapılarından oluşur. Bunun yanında ARM'nin rotorunda herhangi bir sargı veya mıknatıs bulunmaması diğer elektrik makinaları ile karşılaştırma yapıldığında bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bir çeşit senkron motor olan ARM'lerin rotorları herhangi bir mıknatıs, sargı yada kısa devre halkası içermemekte olup, masif demir veya sac paketinden oluşmaktadır. Stator ve rotor yüksek geçirgenlikli manyetik malzemeden yapılır[20]. Stator ve rotor nüveleri demir kayıplarını önlemek için, bir tarafı silisli sacların preslenmesi ile elde edilebilir. Rotoru, üzerinde sargı veya fırça bulunmayan bir demir veya sac paketi şeklinde olan ARM'nin statorunda basit yapıya yoğun sargılar vardır. Manyetik alan kuvvetinden daha fazla faydalanmak için sargılar stator kutupları etrafında yoğunlaştırılmıştır. Sargılarının statorda bulunması nedeni ile motorun soğutma işlemi etkin bir şekilde yapılabilmektedir. Bu sargılar aynı eksende, karşılıklı kutuplarda, aynı yönde sarılı ve seri bağlı sargılardır.

ARM'lerde genellikle stator kutupları rotor kutuplarına göre daha dar tutulmaktadır. Bunun nedeni, uyarılan herhangi bir stator fazı etrafında oluşan manyetik alandan daha fazla yararlanabilmek için, stator sargılarına daha geniş yer sağlamaktır[20].

ARM'nin dönebilmesi için stator ve rotor kutup sayılarının farklı olması gerekir. Stator kutup sayısının, rotor kutup sayısına eşit olduğu ARM'lerde kalkınma torku üretilmez. Motorun kalkınabilmesi için fazladan denetim algoritmalarının eklenmesi veya stator ve rotor geometrik yapısının değiştirilmesi gerekir. Genellikle stator kutup sayısı, rotor kutup sayısından büyük yapılır. Stator kutup sayısının ( $n_s$ ), rotor kutup sayısına ( $n_r$ ) oranı'na ( $n_s/n_r$ ) göre kutuplar bir fazlı ARM'lerde 2/2, 4/4, 6/6, 8/8; iki fazlı ARM'lerde 4/2, 8/4; üç fazlı ARM'lerde 6/4, 12/8, 18/12 ve dört fazlı ARM'lerde 8/6, 16/12 şeklinde olabilir. Şekil 2.1'de 12/8 ve 6/4 ARM kesitleri verilmiştir.



Şekil 2.1. 12/8 ve 6/4 ARM kesiti

ARM'de faz sayısı için,

$$m = \frac{n_s}{2 \cdot N_{WPP}} \quad (2.1)$$

yazılabilir. Burada  $m$  ARM'nin faz sayısını;  $N_{WPP}$ , bir fazı oluşturan çift kutup sayısını ve  $n_s$  stator kutup sayısını göstermektedir.

Motorun bir devir yapması için gerekli darbe sayısı  $S$  ile gösterilirse,

$$S = m \cdot n_r \quad (2.2)$$

olur.

Herhangi bir fazın anahtarlama frekansı için,

$$f_1 = \frac{n}{60} \cdot n_r \quad (2.3)$$

yazılabilir.  $f_1$ 'in birimi Hertz(Hz)'dir. Bir saniyedeki darbe sayısı,

$$f = m f_1 \quad (2.4)$$

ile hesaplanır. Adım açısı için,

$$\varepsilon = \frac{360^\circ}{S} \quad (2.5)$$

yazılabilir[21].

Anahtarlı relüktans motorda stator ve rotor kutup sayısına göre hesaplanan adım açısı değeri ve bir devirdeki darbe sayısı Çizelge 2.1'de verilmiştir[19].

Çizelge 2.1. Faz ve kutup sayılarına göre bir devirdeki darbe sayısı

$m$	$n_s$	$n_r$	$n_{wpp}$	$\varepsilon^\circ$	$S$
3	6	4	1	30	12
3	12	8	2	15	24
3	18	12	3	10	36

Stator ve rotor kutuplarının sayısı, faz sayısı ve her stator kutbunun diş sayısı dikkate alınması gereken başlıca tasarım parametreleridir. Yüksek hız gerektiren ARM uygulamalarında genelde rotor kutup sayısı, stator kutup sayısına göre küçük seçilir.

Yüksek moment istenen ARM uygulamalarında ise rotor kutup sayısı, stator kutup sayısına yakındır[22].

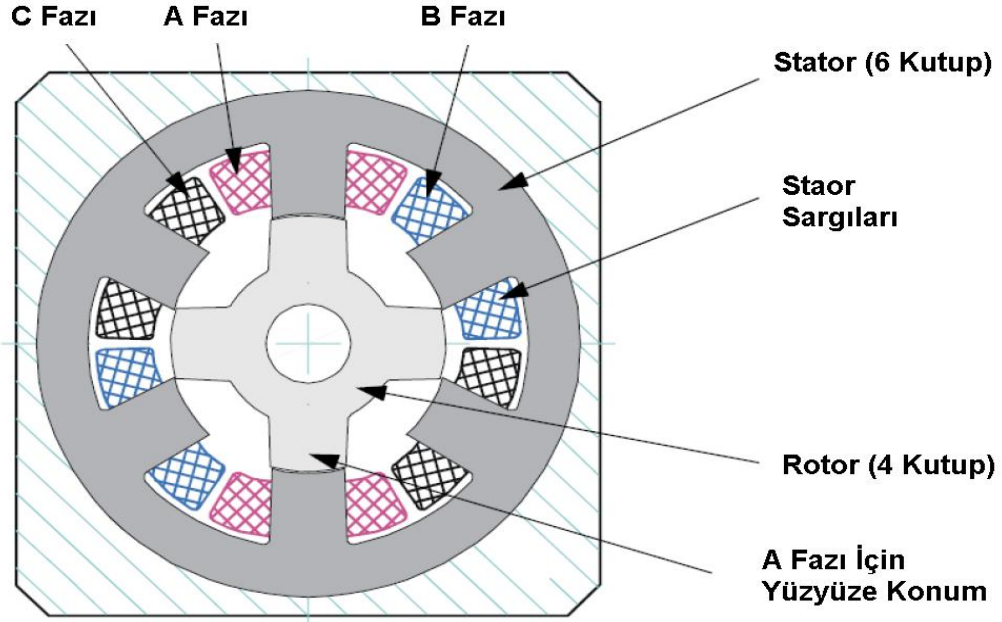
Stator ve rotor kutup sayısı arttırıldığında aynı tepe değer moment için rotor kutuplarına etki eden radyal kuvvet küçüldüğünden ARM'de titreşimler sonucu oluşan gürültü azalmaktadır. Ancak stator ve rotor kutup sayıları arttıkça fazların artan anahtarlama frekansına bağlı demir kayıpları bir miktar artar. Buna karşılık rotor ve stator kutup sayıları arttıkça fazların akı yolları kısılacağından akımın takip ettiği yola bağlı demir kayıplarında azalma olmaktadır[19].

ARM'nin ürettiği moment akımın karesi ve endüktansa bağlı olarak değişir. Rotor ve stator kutup sayıları küçük olduğunda endüktanstaki değişim daha büyük olmakta ve dolayısıyla büyük momentlerin üretilmesi sağlanmaktadır. Stator ve rotor kutup sayıları arttıkça en düşük faz endüktansı değeri ile en büyük faz endüktansı değeri arasındaki fark küçülmekte ve dolayısıyla aynı faz akımı için üretilen moment azalmaktadır[22].

ARM'de elektriksel enerjinin mekanik enerji olarak kullanımı relüktans kuvveti ile olmaktadır. Sürekli döndürme momentinin sağlanabilmesi, rotor kutbunun stator kutbuna göre konumu izlenerek uygun zamanlama ile faz sargılarının sırasıyla anahtarlanması ile olmaktadır. ARM ve step motorlar, genel olarak tek bir stator kutbu etrafında sarılan her faz sargısının, kısa kutup adımlı sarılmasıyla elde edilmektedir. Böylece fazlar arasındaki manyetik kuplaj tamamen ortadan kaldırılmakta ve moment uyarılan fazların öz endüktansın değişim oranı ile üretilmektedir. Herhangi bir fazda oluşan arıza motorun dönmesini engellememektedir.



## 2.2. ARM'nin Çalışması



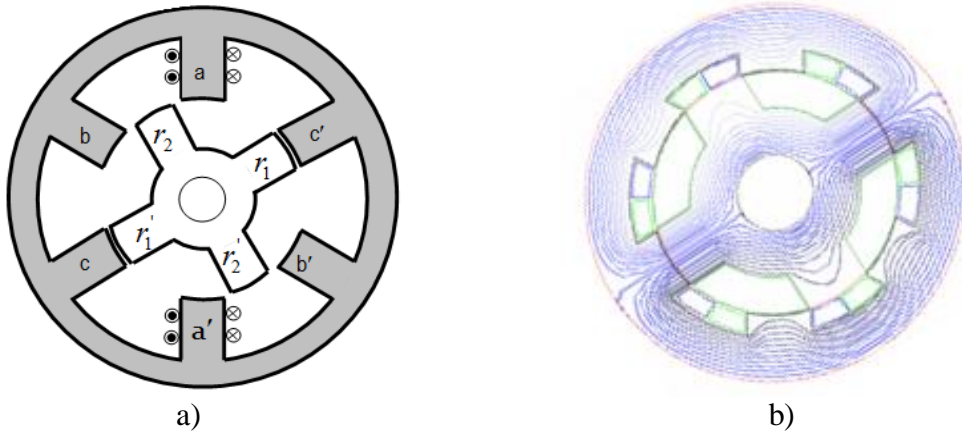
Şekil 2.2. 6/4 ARM prensip şeması

ARM çalışma prensibini açıklamak için, üç fazlı 6/4 kutuplu ARM kullanılacaktır. Genel çalışma prensibi farklı stator-rotor kutup sayılarına sahip ARM'ler için de aynıdır.

ARM, rotor kutbunun statordaki uyarılan sargı kutbu tarafından elektromıknatısta olduğu gibi manyetik relüktansın minimum olacağı konuma çekilmesi ile döner. Stator kutupları sırasıyla uyarılır ve her seferinde başka rotor kutupları çekilerek dönme devam eder. Bu çekme işlemi, uyarma akımı her seferinde aynı yönde uygulanarak yapılabildiği için kullanılacak kontrol devresinde akım yönünün değiştirilmesine gerek olmayacağından, konvertörde ki yarı iletken anahtar sayısı diğer elektronik kontrollü motorlara göre yarı yarıya azalır[12,23]. Buda konvertör tasarımı aşamasında maliyeti azaltan önemli bir özelliktir.

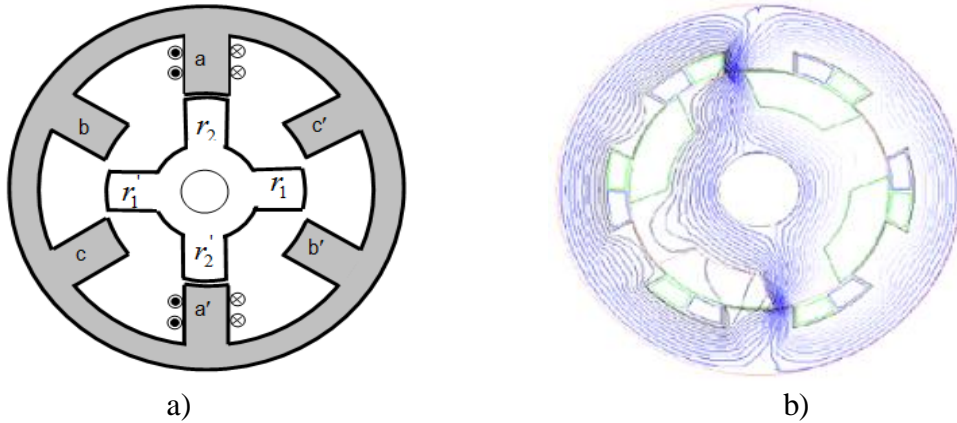
Şekil 2.2'de 6/4 ARM prensip şeması verilmiştir. Şekil 2.3(a)'daki motorda ilk anda  $r_1$  ve  $r_1'$  rotor kutupları ile c ve c' stator kutuplarının aynı ekseninde olduğu (yüzüze konum) kabul edilirse, c fazının enerjili olduğu bu durumda akı dağılımı Şekil 2.3

(b)'deki gibi olur[3,24]. Daha sonra a-fazına akım uygulanırsa, a ve a' stator kutupları ile  $r_2$  ve  $r_2'$  rotor kutupları içinde akı üretilir. Bu akı,  $r_2$  ve  $r_2'$  rotor kutuplarını a ve a' stator kutuplarına doğru çekmeye çalışır.



Şekil 2.3. a) c-fazı yüzyüze konum b) c-fazı yüzyüze konum akı haritası

a-fazı enerjilendiğinde oluşan akı dağılımı Şekil2.4 (b)'de verilmiştir. Kutuplar aynı eksene geldiklerinde, a-fazının akımı kesilir ve bunun sonucunda oluşan durum Şekil2.4 (a)'da gösterilmiştir. Bu durumda statorun b-sargısı uyarılır,  $r_1$  ve  $r_1'$  kutupları b ve b' stator kutuplarına doğru saat dönüş yönünde çekilir.



Şekil 2.4. a) a-fazı yüzyüze konum b) a-fazı enerjilendiği anda oluşan akı haritası

Bir stator fazı uyarıldığı zaman uyarılan faza karşılık gelen rotor kutup çifti manyetik akı devresinin manyetik direncini, yani “relüktansını” minimum yapmak için enerjilenmiş stator fazına doğru çekilir. Benzer şekilde, c-fazının uyarılması sonucu

$r_2$  ve  $r_2'$  kutupları ve stator kutupları ile aynı eksene gelir. Bu anahtarlama sırasına göre rotoru  $90^\circ$  hareket ettirmek (döndürmek) için a-b-c sırasına göre üç fazın uyarılması gerekir. Rotorun bir devirlik hareketi, her fazın akımlarının rotor kutupları sayısı kadar anahtarlanmasıyla üretilir. Akımların a-c-b sırasında anahtarlanması rotor dönüş yönünün ters çevrilmesini sağlar. Stator fazları sürekli dönüş sağlanacak şekilde, hızlı ve uygun anahtarlama devreleri ile ardı ardına uyarılırlar. Böylece motor uyarma yönüne bağlı olarak hareket eder.

### 2.3. ARM'nin Karakteristik Özellikleri

ARM'lerin karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### 2.3.1. ARM endüktans ve momentinin rotor konumu ile ilişkisi

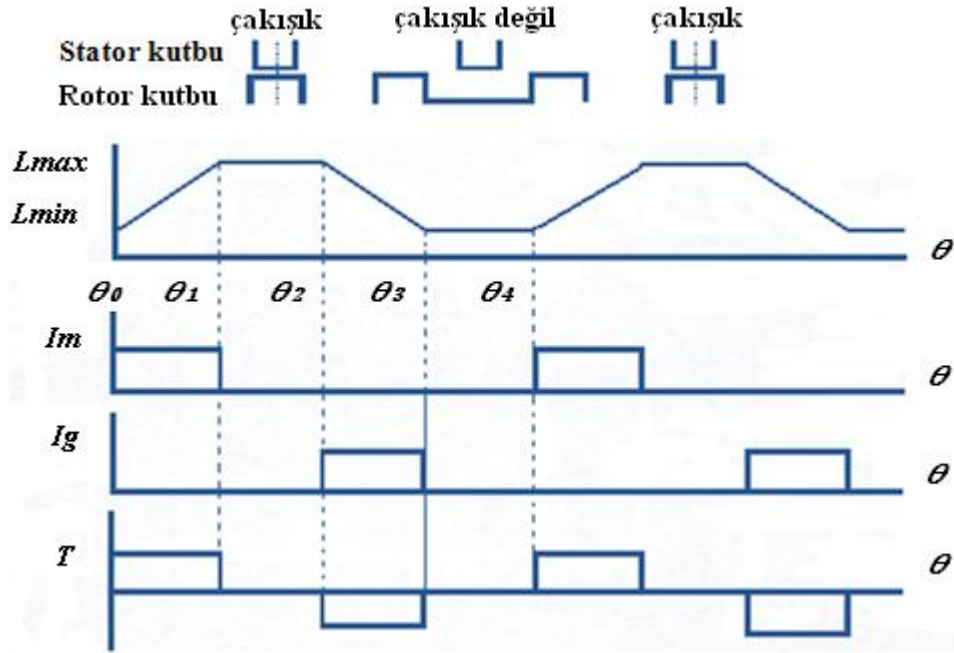
ARM'de rotor konumu, üretilen endüktans, sargı akımları ve üretilen moment eğrileri Şekil 2.5'te verilerek analizi yapılmıştır.

$\theta_0$ - $\theta_1$ :  $\theta_0$ 'da rotor kutuplarının stator kutuplarına yanaşmaya başladığı ve dönmeye bağlı olarak endüktansın maksimum değerine doğru lineer olarak artarak,  $\theta_1$ 'de stator ve rotor kutuplarının tamamen çakıştığı ana kadar devam ettiği ve maksimum değeri olan  $L_{max}$ 'a ulaştığı bölgedir. Eğer makina motor olarak çalıştırılmak isteniyorsa, fazlar bu bölgede uyarılmalıdır.

$\theta_1$ - $\theta_2$ : Rotor ve stator kutuplarının tamamen çakışık olduğu bölgedir. Rotor ile statorun bu konumuna "Yüz yüze (Aligned) Konum" denir. Yüz yüze konumda manyetik relüktansın en küçük değerinde olması nedeniyle relüktans ile ters orantılı olan faz endüktansı en büyük değerini alır. Rotor bu konumdayken yüz yüze bulunduğu stator kutup sargılarından akım geçirilmesi halinde bir moment üretilmez. Bu bölge genellikle motorun moment üretimine katkısı olmaması nedeni ile "ölü bölge" olarak adlandırılır.  $\theta_1$ ' den  $\theta_2$ 'ye kadar  $L = L_{max}$  ve  $T = 0$ 'dır.

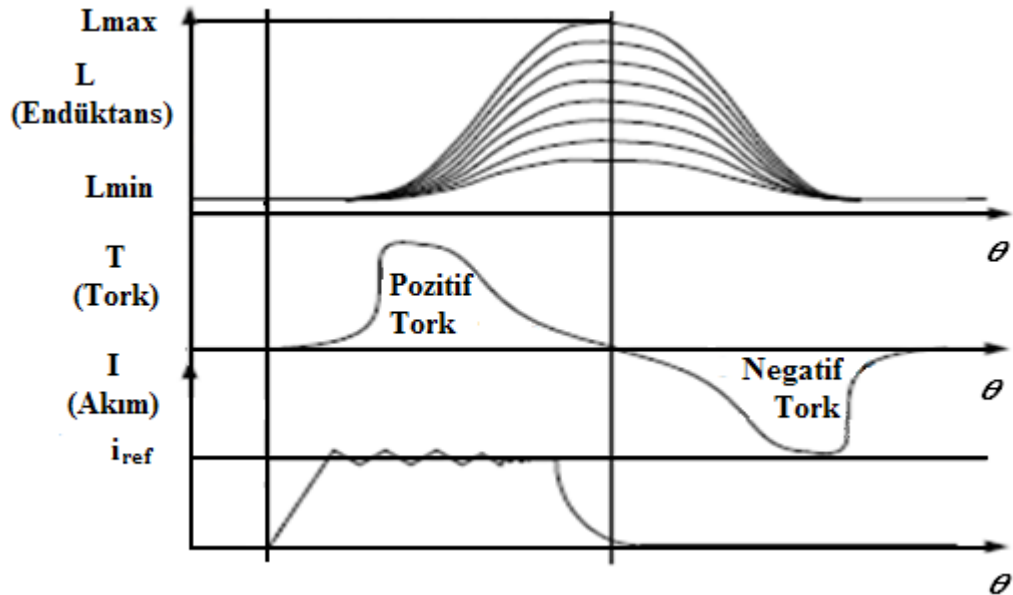
$\theta_2-\theta_3$ :  $\theta_2$ ' den  $\theta_3$ ' e kadar endüktans minimum değerine doğru lineer olarak azalarak, minimum değeri olan  $L_{min}$ 'e iner. Eğer makina generatör olarak çalıştırılmak veya frenlenmek isteniyorsa fazlar bu bölgede uyarılmalıdır.

$\theta_3-\theta_4$ :  $\theta_3$ 'den  $\theta_4$ 'e kadar rotor ve stator kutupları çakışmamaktadır. Rotor ile statorun bu konumuna “Ortalanmış (unaligned) Konum” denir. Ortalanmış konum, rotorun kararsız bir durumudur. Bu konumda faz endüktansı en küçük değerini alarak,  $L = L_{min}$  değerinde sabit kalmaktadır. Bunun sebebi rotor ve stator arasındaki büyük hava aralığından dolayı relüktansın en büyük değerinde olmasıdır. Eğer rotor ortalanmış konumdan bir miktar uzaklaştırılırsa rotoru yüz yüze konuma getirmek üzere bir moment meydana gelecektir[11,22].



Şekil 2.5. Rotor konumu, üretilen endüktans, sargı akımları ve üretilen moment

ARM'de bir faz için, endüktans değişimi, üretilen pozitif, negatif tork ve faz sargısından geçen akım Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bir faz için endüktans, tork ve akım eğrileri

### 2.3.2. ARM'de moment analizi

Stator fazlarından herhangi birisi enerjilendirildiğinde, o faz ile bir rotor kutbunun yüz yüze konumda olmaması koşulu ile rotor üzerinde bir moment meydana gelir. Bu moment, rotoru relüktansın azaldığı, diğer bir ifade ile enerjilenen faz endüktansının arttığı yöne doğru döndürmeye çalışır. Dönme hareketi, endüktansın en büyük değerini aldığı pozisyona kadar devam eder. Bu olay stator akımının yönünden bağımsız olarak ortaya çıkar[19,25].

Moment, rotoru daima en yakın yüz yüze konuma doğru hareket ettirecek yöndedir. Pozitif moment (motor çalışma) ancak ortalanmış konum ile bir sonraki yüz yüze konum arasındaki rotor pozisyonlarında üretilebilir. Diğer bir ifade ile makina faz endüktansının büyüdüğü yönde pozitif moment üretebilmektedir. Eğer rotor faz endüktansının büyüdüğü yönün aksine dönüyorsa moment işaret değiştirir. Bu durum ise frenleme veya generatör çalışmaya karşılık gelir.

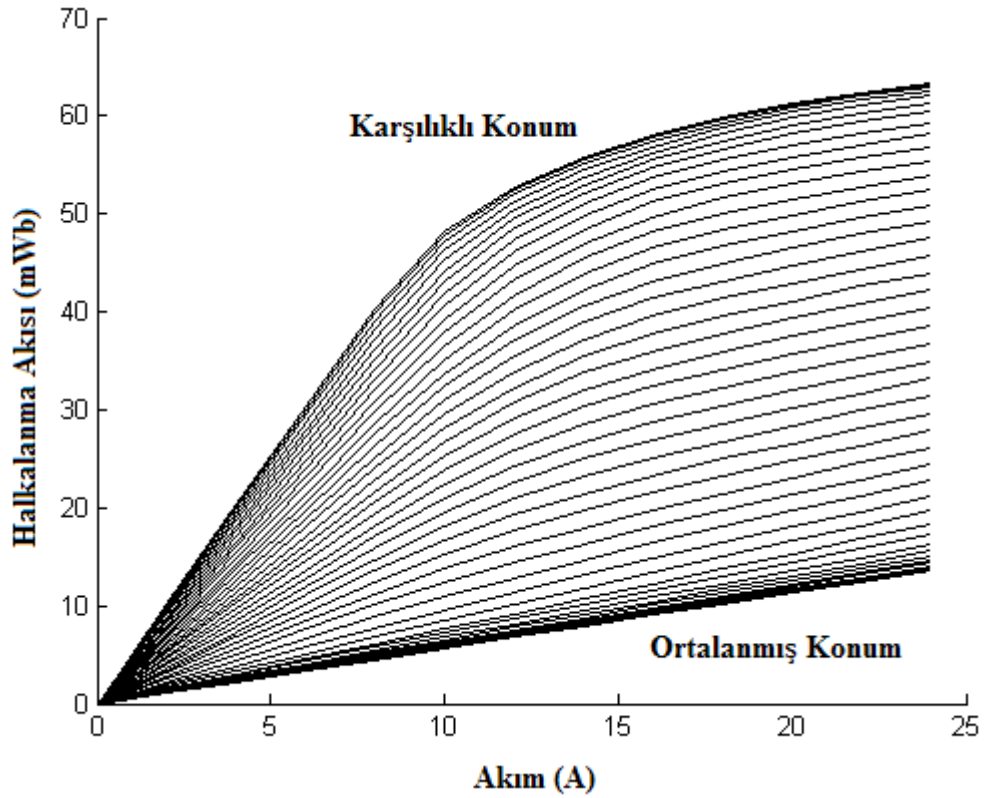
Üretilen moment;

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (2.6)$$

olur. T: moment, i: faz akımı, L: faz endüktansı,  $\theta$ : dönüş açısıdır.

Buradan eşitlikte görüleceği üzere makinanın ürettiği toplam moment, doymanın ihmal edilmesi durumunda faz akımının karesi ile orantılıdır.

Mıknatıslanma eğrisinde, ortalanmış konumda yüz yüze konumdakinin aksine belirgin bir doyma etkisi görülmez. Bunun sebebi ortalanmış konumda büyük miktarda kaçak akıların meydana çıkmasıdır. Şekil 2.7'de gösterilen mıknatıslanma eğrisinin yüksek akı seviyelerinde, ortalanmış ve yüz yüze konumlara ait eğriler birbirlerine yakınsarlar fakat kesinlikle kesişmezler.



Şekil 2.7. Akım ve halkalanma akısı arasındaki doğrusal olmayan ilişki

Doymanın ARM performansına etkisi aşağıda olduğu gibi açıklanabilir[3]:

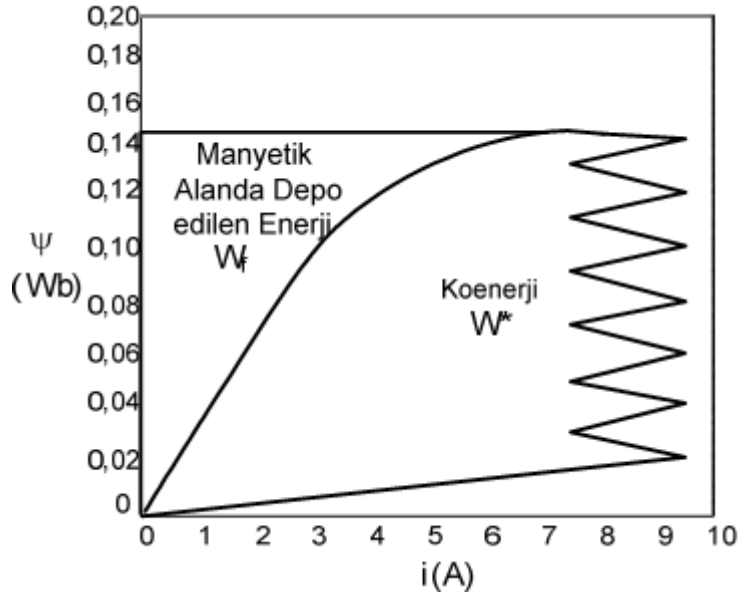
- Doyma verilen akım değerine göre, akı yoğunluğunu ve buna bağlı olarak ARM'den elde edilebilecek moment miktarını sınırlar.
- Verilen ARM çıkış gücü için gerekli invertör gücünü azaltarak invertörün daha küçük ve daha ucuz olmasını sağlar.

### 2.3.3. ARM'de enerji dönüşümü

ARM'de rotorun herhangi bir konumundan diğerine hareket ettiği andaki bir faz için ani tork koenerjinin değişimi ile orantılı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$T_e = \left[ \frac{\partial W^*(\theta, i_{a,b,c,d})}{\partial \theta} \right]_{i=\text{sabit}} \quad (2.7)$$

Burada;  $T_e$ : tork,  $\theta$ : rotor pozisyonu,  $W^*$ : koenerji ve  $i_{a,b,c,d}$ : faz akımlarıdır. Koenerji herhangi bir rotor konumunda, manyetik akı eğrisinin altında kalan alandır. Şekil 2.8'deki enerji dönüşüm grafiğinde herhangi bir pozisyondaki koenerji gösterilmektedir.

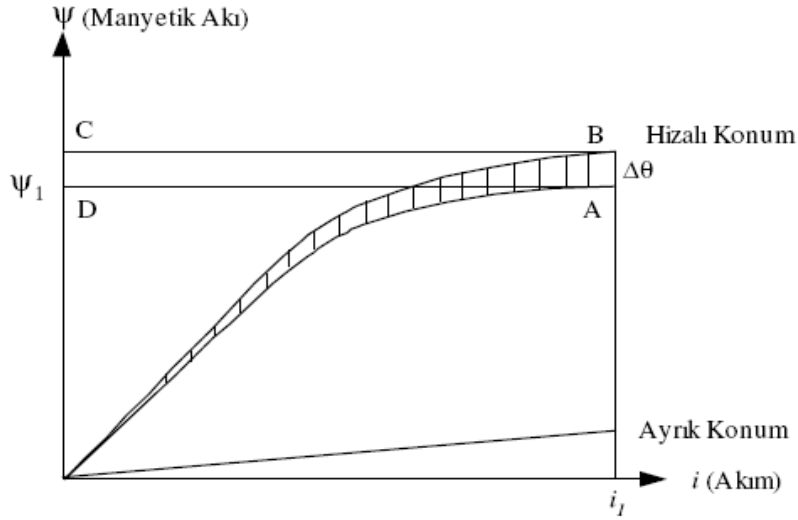


Şekil 2.8. Enerji dönüşüm grafiği

Koenerji, akıma ve konuma bağlı olan manyetik akının ( $\Psi$ ) integrali alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$W^*(\theta, i) = \int_0^i \Psi(\theta, i) \cdot di \quad (2.8)$$





Şekil 2.9. Sabit akımda koenerjinin değişimi ile ani torkun değişimi

Sekil 2.9'da rotorun sabit akımda A'dan B'ye doğru  $\Delta\theta$  aralığı kadar yer değiştirmesinde manyetik alanda meydana gelen enerji dönüşümü;

$$\Delta W_e = ABCD \quad (2.9)$$

Manyetik alanda depo edilen enerjideki değişiklik ise,

$$\Delta W_f = OBC - OAC \quad (2.10)$$

olur. Yapılan mekanik iş aşağıdaki gibi olmaktadır;

$$\Delta W_m = T\Delta\theta \quad (2.11)$$

$$\Delta W_m = \Delta W_e - \Delta W_f \quad (2.12)$$

$$\Delta W_m = ABCD - (OBC - OAD) \quad (2.13)$$

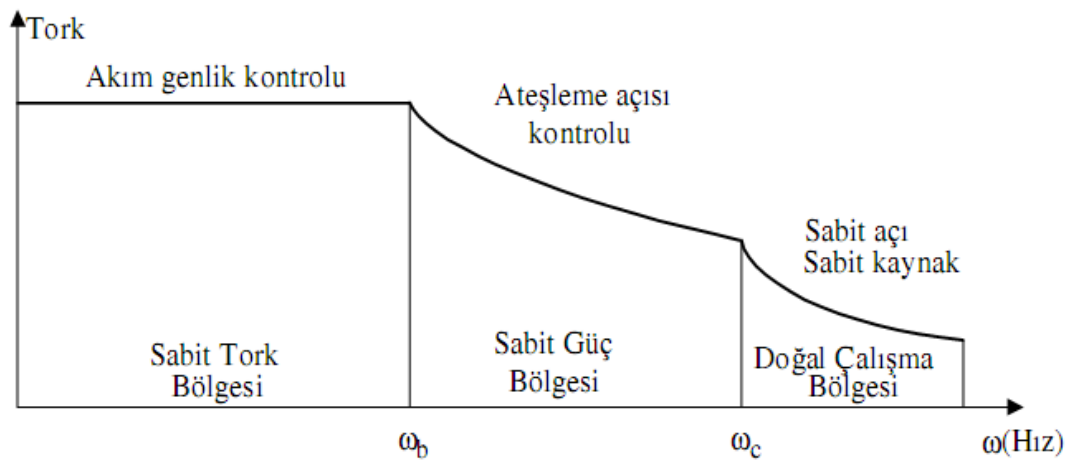
$$\Delta W_m = (ABCD + OAD) - OBC \quad (2.14)$$

$$\Delta W_m = OAB \quad (2.15)$$

olur. Kaynaktan elde edilmiş olan enerjinin tamamı mekanik işe dönüşmemektedir. Bunun bir kısmı manyetik alanda depo edilmektedir. Manyetik alanda depo edilen bu enerji A'dan B'ye hareket süresince enerji dönüşümü için kullanılmamaktadır[3].

### 2.3.4. ARM'de tork-hız karakteristiği

ARM'lerin tork-hız eğrileri üretici firma tarafından belirlenmemiştir. Tork-hız eğrileri motora uygulanan denetim şekline göre değişiklik göstermektedir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi motor hızına göre bir ARM'nin çalışma bölgeleri; sabit tork bölgesi, sabit güç bölgesi ve doğal çalışma bölgesi olarak üç farklı bölgeye ayrılmaktadır[15].



Şekil 2.10. ARM'nin tork-hız karakteristiği

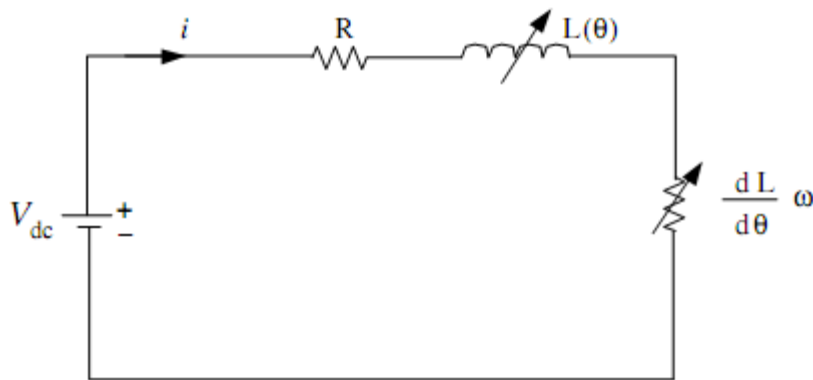
**Sabit Tork Bölgesi:** Taban hız  $\omega_b$ 'nin altındaki hızlarda, konvertör tetikleme açısı sabit bir değerde tutularak motor torkunun en az dalgalanma ile en büyük değere çıkması sağlanmaktadır. Motor faz akımlarının genlik kontrolü ile motorun ortalama torku denetlenmektedir. Motor stator fazları sıralı bir şekilde enerjilendirilmektedir ve böylece bir anda sadece bir faz iletimde olmaktadır. Bu durumun istisnası olarak komütasyon periyotlarında iki faz geçici olarak aktif olabilir. Bu şekilde tork kontrollü çalışmada faz akımı regülatör tarafından kontrol edilmektedir.

Sabit Güç Bölgesi: Taban hız  $\omega_b$ 'nin üzerindeki hızlarda faz akımlarını kontrol etmek için kullanılan akım regülâtörü yeterli olamamaktadır. Çünkü bu çalışma bölgesinde zıt emk yükselmekte ve zorlama voltajı sabit akım sağlamak için yeterli olmamaktadır. Motor hızına bağlı bir fonksiyon ile konvertör tetikleme açısı değiştirilerek, motor hızı artırılabilmekte ve böylece  $T.\omega$  değeri sabit hale getirilebilmektedir.

Doğal Çalışma Bölgesi: Motor hızı  $\omega_c$  hızından büyük olduğu zaman, konvertör tetikleme açısı en büyük değerine getirilebilmektedir. Bunun sonucunda ARM doğal tork-hız karakteristiği ile çalışabilmektedir. Yani  $T.\omega^2$  değeri seri DA motordaki gibi yaklaşık sabit olmaktadır[13].

### 2.3.5. ARM eşdeğer devresi ve temel denklemler

ARM'lerin çalışma prensibi relüktans kuvvetine dayanmakta ve serbest hareketli, çıkık yapılı rotorun, bulunduğu manyetik devre içerisindeki akının, en kolay yol bulabileceği en küçük relüktans konumuna kadar kuvvet uygulanarak çekilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi

ARM'de bir faz için gerilim denklemi;

$$V = R \cdot i + \frac{d\Psi(\theta,i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;  $V$ : DA kaynak gerilimi,  $R$ : stator sargı direnci,  $\Psi$ : manyetik akı,  $i$ : faz akımı,  $M(\theta)$ : karşılıklı endüktans,  $\theta$ : rotor pozisyon açısı,  $i'$ : bir önce uyarılan sargı akımını göstermektedir.

Doyum ihmal edildiğinde manyetik akı eşitliği  $\Psi=L(\theta).i$  olduğundan Eş. 2.16 yeniden düzenlenirse;

$$V = R \cdot i + \frac{d(L(\theta),i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2.17)$$

olacaktır. Burada,  $L(\theta)$ : faz endüktansını göstermektedir. Türevsel ifade parçalara ayrıldığında ise Eş. 2.17;

$$V = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2.18)$$

şeklini alacaktır.

Karşılıklı endüktans değeri minimum endüktanstan daha küçüktür. Bu nedenle karşılıklı endüktans ihmal edilebilir ve bu durumda;

$$V = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} \quad (2.18)$$

olmaktadır. Aynı zamanda,

$$\frac{dL(\theta,i)}{dt} = \frac{dL(\theta,i)}{d\theta} \cdot \omega \quad (2.19)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{di}{d\theta} \cdot \omega \quad (2.20)$$

dir. Burada,  $\omega$ : açısal hızdır. Bu durum kararlı çalışma durumunda geçerlidir. Böylece, Eş. 2.18 yeniden düzenlenirse;

$$V = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{dt} \omega + i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \cdot \omega \quad (2.21)$$

olur.

ARM'nin dinamik davranışını tanımlayan eşitlik Eş. 2.22'deki gibi ifade edilebilir.

$$T_e = J \frac{d\theta^2}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + T_L \quad (2.22)$$

Rotor konumunun türevi alınarak açısal hıza bağlı eşitlik;

$$T_e = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (2.23)$$

olmaktadır. Burada;  $T_e$ : motor torku,  $J$ : toplam atalet momenti,  $B$ : sürtünme katsayısı ve  $T_L$  ise yük torkudur.

Bu denklemlerin doğruluğu motor endüktansının doğru şekilde elde edilmesine bağlıdır[16].

### 2.3.6. Temel parametreler

ARM faz sayısı, stator ve rotor kutup sayıları motora ait parametrelerin en önemlilerindedir. Stator ve rotor kutup sayıları arasındaki oran tasarımcıya çok geniş bir seçim aralığı sunmaktadır. 2, 3 ve 4 fazlı ARM'ler en çok kullanılan motorlar olup, iki fazlı ARM'lerde kalkış problemi yaşanmaktadır. Dolayısıyla bu tür ARM'lerde motorun herhangi bir konumdan kalkış yapmasını sağlayacak şekilde rotor kutup geometrisinin seçilmesi gerekmektedir. Faz sayılarının büyük değerlikli olduğu motorlarda tork dalgalılığı azalmaktadır. Bununla birlikte bu motorların maliyeti artmaktadır[26].

ARM'de statora ait herhangi bir faz uyarıldığında rotor ekseninin stator üzerindeki belirli bir eksene göre hareket ettiği mesafeye rotor konum açısı denmektedir.  $n_r$ : rotor kutup sayısını ve  $m$  faz sayısını belirtmek üzere rotor konum açısı Eş.2.24 ile verilebilir[26]:

$$\theta = \frac{360^\circ}{m.n_r} \quad (2.24)$$

$\gamma_r$ : rotor konum açısı ve  $\gamma_s$ : stator konum açısı ise; rotor ve statora ait çevre açılarının rotor ve statora ait olan kutup sayılarına bölümü ile elde edilebilir:

$$\gamma_r = \frac{360^\circ}{n_r} \quad (2.25)$$

$$\gamma_s = \frac{360^\circ}{n_s} \quad (2.26)$$

$l_r$ : rotor kutup uzunluğu;  $d_i$ : rotor iç yarıçapını göstermek üzere, rotor iç çevre uzunluğunun rotor kutup sayısına oranı ile elde edilebilir. Aynı durum stator için de geçerlidir:

$$l_r = \frac{d_i \pi}{n_r} \quad (2.27)$$

$$l_s = \frac{d_i \pi}{n_s} \quad (2.28)$$

Rotor iç yarıçapı ile dış yarıçapı arasındaki fark rotor kutbunun derinliğini verirken ilgili fark değerinin ikiye bölünmesi ile  $y_r$ : rotor derinliği hesaplanabilir:

$$y_r = \frac{d_a - d_i}{2} \quad (2.29)$$

$D_i$  stator iç çapını ve  $g_{min}$  minimum hava aralığının göstermek üzere  $y_s$ : stator kutup derinliği ise Eş. 2.30'daki gibi verilebilir.

$$y_s = \frac{D_i - d_d - g_{min}}{2} \quad (2.30)$$

Rotor kutup açısı  $\theta_r$  ile verilirse  $d_r$  rotor eni;

$$\sin\left(\frac{\theta_r}{2}\right) = \frac{d_r}{\frac{d_d}{2}} \quad (2.31)$$

olmak üzere,

$$d_r = d_d \sin\left(\frac{\theta_r}{2}\right) \quad (2.32)$$

ile verilebilir. Stator kutup eni ise;

$$\sin\left(\frac{\theta_s}{2}\right) = \frac{\frac{d_s}{2}}{g_{min} + \frac{d_d}{2}} \quad (2.33)$$

olmak üzere,

$$d_r = (2g_{min} + d_d) \sin\left(\frac{\theta_r}{2}\right) \quad (2.34)$$

şeklinde ifade edilebilir.

ARM'ler normalde yüksek hızlarda çalıştırılmasına karşın temel bir hız karakteristiğine sahiptir. Dolayısıyla temel hıza sahip bir motor oranlanmış bir moment ve çıkış gücü göstermektedir.  $k$  sabit bir değer olmak üzere  $l_b$  motor sac paketinin uzunluğu Eş. 2.35'de verilmiştir.

$$l_b = d_d k \quad (2.35)$$

Eş. 2.35’de yer alan  $k$  sabitinin değeri ilgili uygulama alanına göre değişiklik göstermesine karşılık, servo uygulamalar için 1 ile 3 arasında olurken servo olmayan uygulamalarda 0.25 ile 0.75 arasında olmaktadır[26].



### 3. ARM DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRELERİ

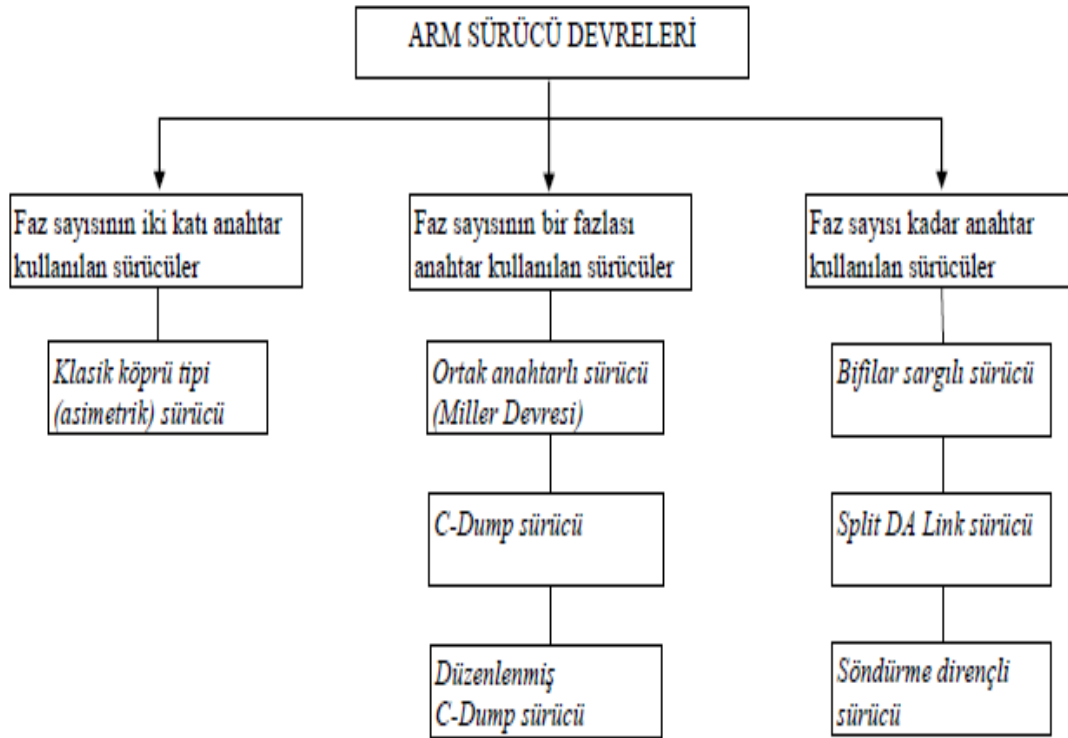
Bu bölümde ARM'de kullanılan dönüştürücü devreleri açıklanmıştır. Her dönüştürücü devre topolojisinin, devre maliyeti ve ebatına karşılık sağladığı kontrol kabiliyetine göre diğerlerinden farklılıkları vardır. Genel olarak bütün ARM dönüştürücüleri, rotor konumunun izlenmesi ile elde edilen konum bilgilerine bağlı olarak motordan istenen hız ve tork performansına göre fazlara uygulanan akımın dalga şeklini ve genliğini biçimlendirerek, bu akımların fazlara seri olarak bağlanmış yarı iletken anahtarlar ile kontrol edilmesi esası ile çalışır. Dönüştürücü devreler bunun yanında komütasyon esnasında, bir önceki enerjili olan faza ait stator sargıları üzerinde depolanan enerjinin motor üzerinde negatif tork etkisi oluşturmaması ve bu depolanan enerjinin kaynağa dönüşümünün hızlı bir şekilde sağlanabilmesi için hızlı geri dönüşüm diyotlarına sahip olmalıdır[22].

ARM'lerde üretilen tork, akımın yönünden bağımsız olduğundan ARM sürücüler diğer motorlar için kullanılan sürücülere göre birtakım avantajlara sahiptir[28]. Bunlar bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Her bir faz için sadece tek bir yarı iletken anahtar elemanı kullanılmasının yeterli olabilmesi,
- ARM'nin sıfır kısa devre akımı ve sıfır açık devre voltajına sahip olması sebebiyle herhangi bir hata karşısında aşırı voltaj ve ısınma problemlerine sahip olmaması,
- Motor fazlarının birbirinden bağımsız olması nedeni ile herhangi bir fazın devre dışı kalması durumunda, diğer fazların bu durumdan bağımsız olarak çalışmalarına devam edebilmesi.

### 3.1. ARM Dönüştürücü Devreleri

ARM'lerde kullanılan dönüştürücü devreleri, bu devrelerde kullanılan anahtar sayısına göre sınıflandırılacak olursa, bu şekilde yapılmış olan sınıflandırma Şekil 3.1'de gösterilmektedir[9,29].



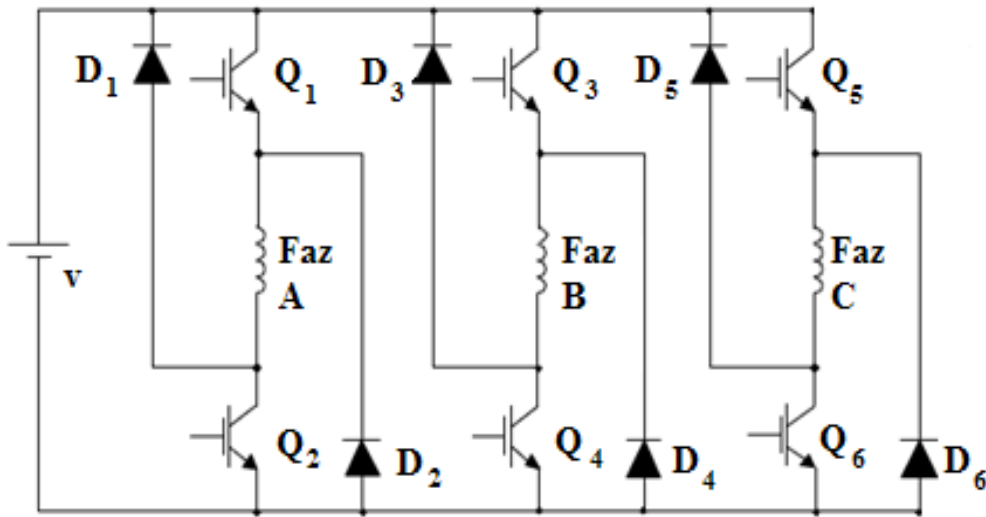
Şekil 3.1. ARM dönüştürücü devrelerin anahtar sayısına göre sınıflandırılması

#### 3.1.1. Klasik köprü tipi dönüştürücü

ARM faz sayısının iki katı kadar güç anahtarı elemanı bulunan klasik köprü tipi dönüştürücü devrelerinde fazlar birbirlerinden bağımsız olduğundan her fazın ayrı ayrı kontrol edilebilmesi mümkün olmakta ve kullanılan anahtarlar düşük gerilim altında çalışmaktadır[30].

Bu dönüştürücüde stator faz sayısının iki katı kadar güç diyotu ve güç anahtarı kullanılmaktadır. Her faz için kullanılan anahtarlardan bir tanesi istenilen fazın

enerjilendirilmesinde, diğeri ise faza uygulanacak akımın kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Fazlar birbiriyle bağımsız olduğu için her fazın ayrı kontrol edilebilmesi mümkün olmaktadır. Bu özellikleriyle ARM dönüştürücü devreleri AA eviricilerinden ayrılırlar. Çünkü AA eviricilerinde faz sargıları invertör ayaklarının ortasından beslenmektedir. ARM dönüştürücülerinde ise sargılar güç anahtarları ile seri bağlıdır. AA eviricilerde sargıların alt ve üst uçlarındaki anahtarların aynı anda açılmasından sakınılmalıdır. Aksi halde DA kaynak kısa devre olmaktadır. Bu durumu önlemek için ilave denetim devreleri eklemek gerekmektedir. ARM denetiminde böyle bir duruma gerek yoktur. Şekil 3.2’de klasik köprü tipi dönüştürücü devresi gösterilmiştir[19].



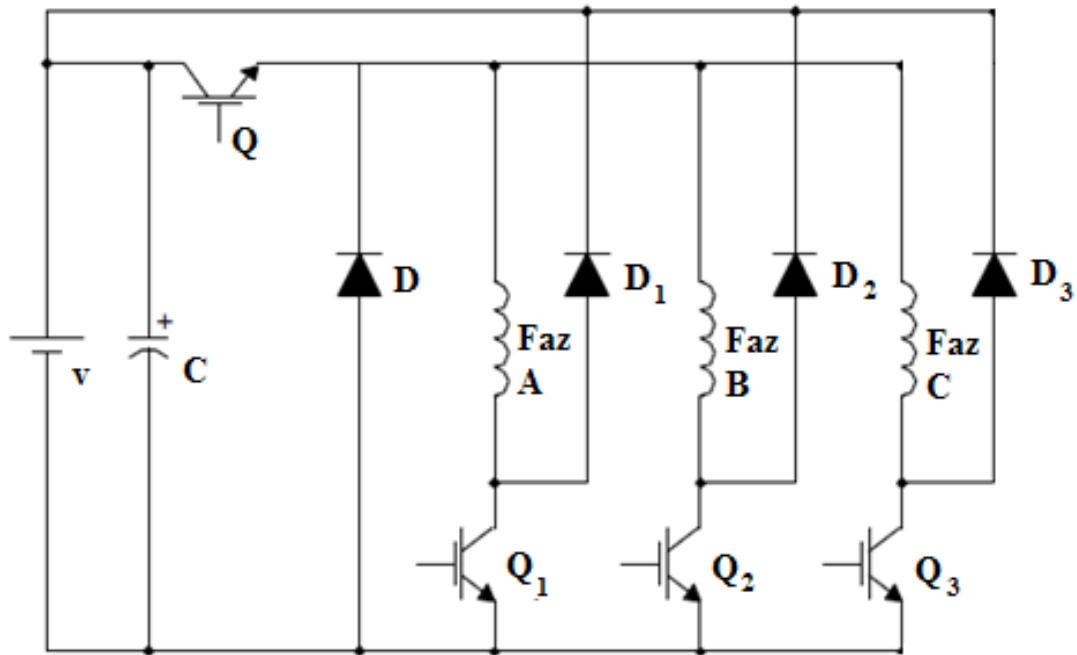
Şekil 3.2. Klasik köprü tipi dönüştürücü devresi

### 3.1.2. Ortak anahtarlı dönüştürücü (Miller devresi)

Bu dönüştürücü devresi köprü tip dönüştürücü devresine göre daha az sayıda yarı iletken anahtar ve diyot elemanı içermektedir. Bu yüzden maliyeti düşüktür. Ancak daha düşük bir kontrol olanağı sunmaktadır. Karmaşık denetim yöntemleri kullanılmayan düşük maliyetli devrelerde basit yapılı olması nedeni ile yüksek gerilim uygulamalarında, torktaki vurunuların ve performansın önemli olmadığı sistemler için uygundur.

Düşük hız uygulamalarında kullanılan dönüştürücülerde, bütün hız aralığı boyunca darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation : PWM) kontrolü yapılabilmektedir. Bu durumda ARM dönüştürücü devresindeki anahtar elemanlarının sayısının azaltılabilmesi mümkün olmaktadır. Böylece bütün fazlar için kıyıcı olarak ortak tek güç anahtarı kullanılabilir. Faz sayısının bir fazı kadar anahtar ve diyot elemanı gerektiren Faz Sayısı+1 topolojisindeki dönüştürücü devresi Şekil 3.3' de gösterilmiştir.

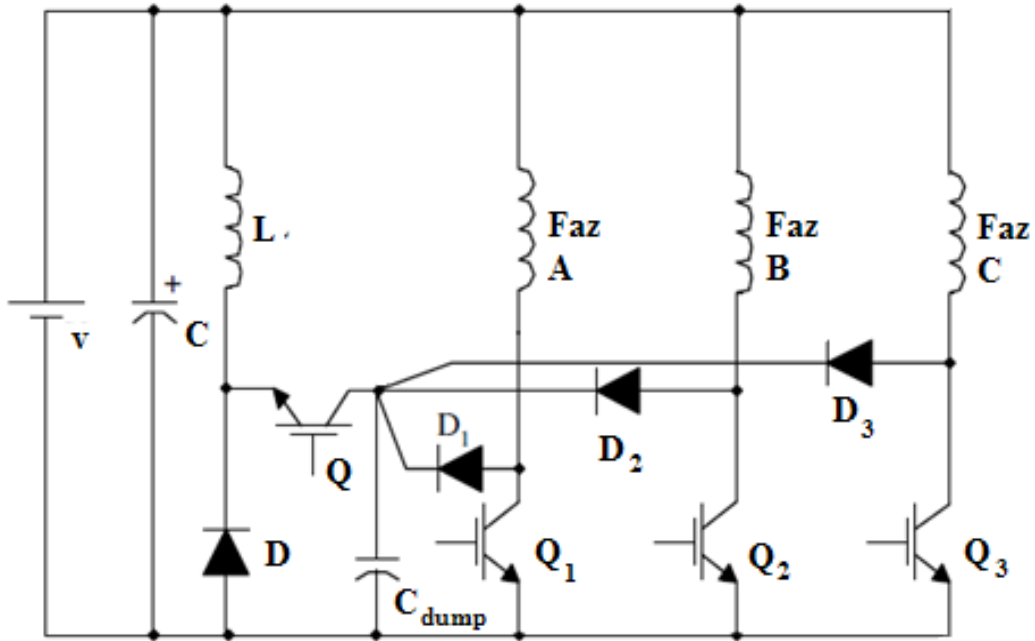
Bu dönüştürücü devresinde faz sargılarına bağlı anahtarlar iletim durumunda iken kıyım işlemi  $Q_1$  anahtarı tarafından yapılmaktadır. Bu devrenin temel dezavantajı yüksek hızlarda fazlar arasında üst üste binmenin meydana gelmesidir. Yüksek hızlarda sargılar diyotlar üzerinden yeteri kadar hızlı deşarj olamamaktadırlar. Çünkü denetim anahtarı iletim pozisyonunda uzun bir süre kalmaktadır (29).



Şekil 3.3. Faz sayısı+1 anahtarlı dönüştürücü devresi

### 3.1.3. C-dump dönüştürücü

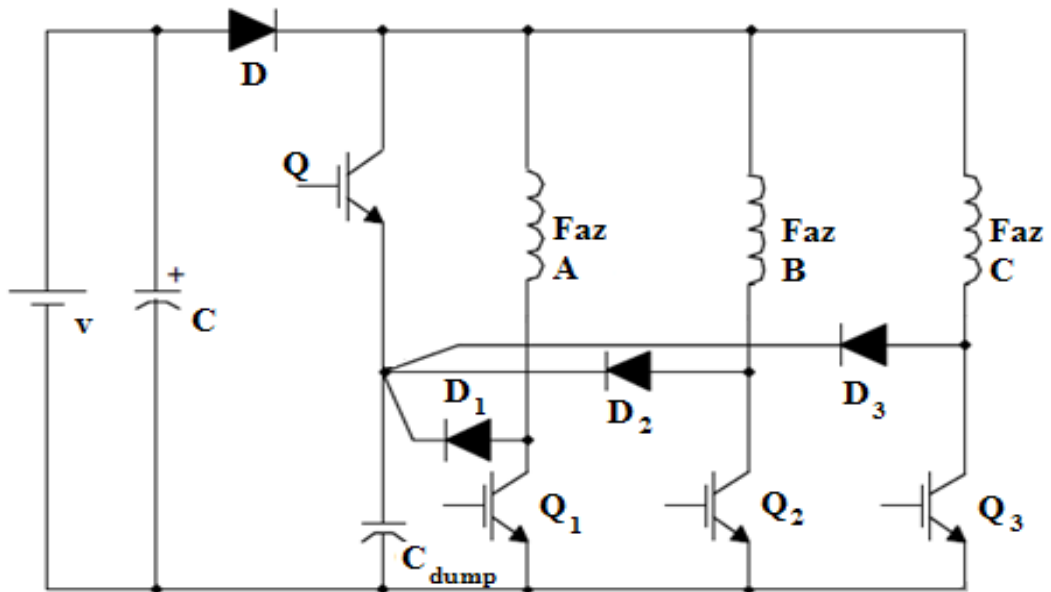
Şekil 3.4'te verilen C-Dump dönüştürücü devresinde depolanmış enerjiyi boşaltmak için kaynağa paralel bağlı bir kapasitör kullanılmıştır. Ortalama kondansatör gerilimi, komütasyondan sonra hızlı boşalmaya (dev-fluxing) izin vermek için kaynak geriliminden yüksek tutulur. Bu devrenin verimi yüksektir. Ancak, dönüştürücü devresinde fazladan pasif elemanlar gerekmede veya kontrol sınırlamalarından dolayı bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Enerji deşarj devresinde oluşacak bir denetim hatası, boşaltma kapasitöründe hızlı bir şarj oluşumuna yol açabilir ve eğer koruyucu tedbirler alınmaz ise bütün sürücü elemanları yüksek gerilimden dolayı zarar görebilmektedir. Bu nedenle kullanılan elemanların gerilimi değerlerinin klasik köprü tipi dönüştürücü devresinde kullanılan elamanlara oranla iki kat daha yüksek değeri seçilmesi gerekmektedir. Buda dönüştürücü devre maliyetini ve boyutunu artırmaktadır[15].



Şekil 3.4. Temel C-dump dönüştürücü devresi

### 3.1.4. Düzenlenmiş C-dump dönüştürücü

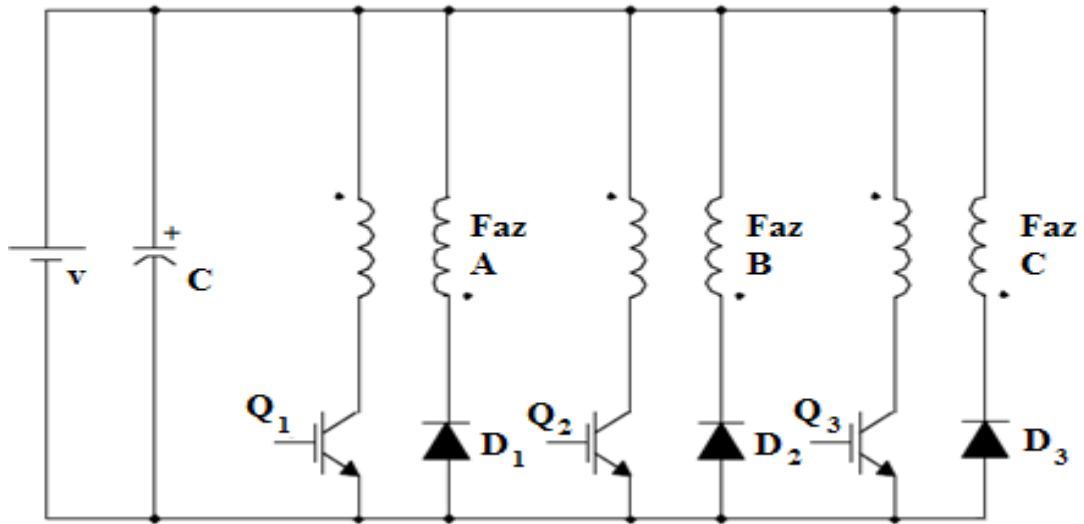
Denetimi yapılacak ARM faz sayısının 3'ten fazla olması durumunda, düzenlenmiş C-Dump dönüştürücü devresi ile her faz için eleman sayısında önemli azalma sağlanmaktadır. Şekil 3.5'te düzenlenmiş C-dump dönüştürücü devresi görülmektedir. Bu devrede C-dump devresindeki L bobini kaldırılmıştır. C-dump dönüştürücü devresi ile arasındaki bir diğer fark ise, faz sargısında depo edilen enerjinin bir sonra iletilecek olan faz sargısına aktarılmasıdır. Bu dönüştürücüde komütasyon anında faz sargılarındaki gerilimin değeri kondansatör gerilimi ile kaynak gerilimi arasındaki fark olduğundan kondansatör gerilim değeri, hızlı boşalma anında ani olarak yükselmektedir. Bu durumda kullanılan kondansatör, anahtar ve diyot değerlerinin uygun değerde, diğer bir ifadeyle klasik dönüştürücü devresinde kullanılan değerlere oranla iki kat yüksek değerde seçilmesi gereklidir. Bu dönüştürücü yapısı ile C-dump dönüştürücü devresinde kullanılan bobinin kaldırılması sürücü maliyetini azaltıyor gibi görünse de, kullanılan elemanların değerleri dolayısıyla maliyeti artacağından gerçekte pek fazla bir maliyet üstünlüğü ortaya çıkmamaktadır. Dolayısı ile bu dönüştürücüler sadece düşük gerilim uygulamaları için uygun olabilen dönüştürücülerdir[9,15].



Şekil 3.5. Düzenlenmiş C-dump dönüştürücü devresi

### 3.1.5. Bifilar sargılı dönüştürücü

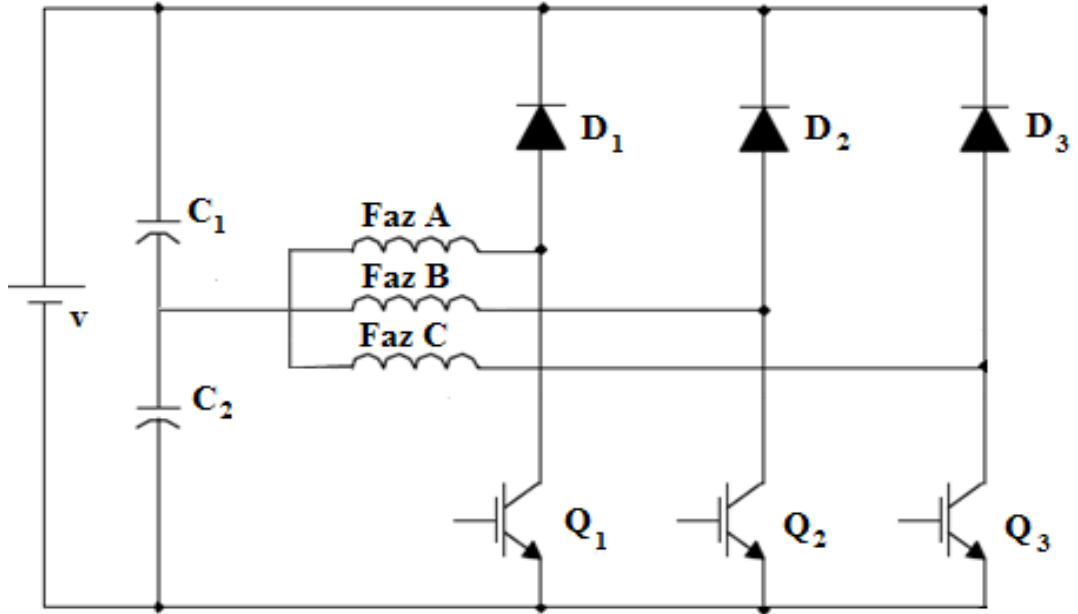
Şekil 3.6'da gösterilen bifilar (çift tel) sargılı dönüştürücü devreleri, yine faz başına tek bir anahtarlama elemanı kullanmakta ve tek yönlü çalışmayı gerçekleştirebilmektedir. Sargılar arasındaki manyetik bağlantı nedeni ile oluşan gerilim yükselmeleri, kaynak geriliminin 2 katına veya daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. Bifilar sargı bağlantı sayısını ikiye katlamakta ve kullanılan sargıdan dolayı bakır kayıpları çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ayrıca, sargılar arasında eşit olmayan etkileşimden doğan gerilim sıçramaları sebebiyle problemler ortaya çıkabilmektedir[9].



Şekil 3.6. Bifilar sargılı dönüştürücü devresi

### 3.1.6. Split DA link dönüştürücü

Tek kutuplu sürme devresi kullanmanın bütün avantajlarından faydalanmak için anahtar sayısını faz sayısına indirmeye yönelik başka devreler de geliştirilmiştir. Şekil 3.7'deki split DA link dönüştürücü devresi Tasc Drives Ltd. tarafından 4-8 kW sürücü aralığında GTO (Gate Turn-Off) kullanılarak başarı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, eleman sayısı faz başına bir elemana indirildiğinde fazlardan pasif elemanlar gerekmemekte veya denetim sınırlamalarından dolayı bazı problemler ortaya çıkmaktadır[15,30].

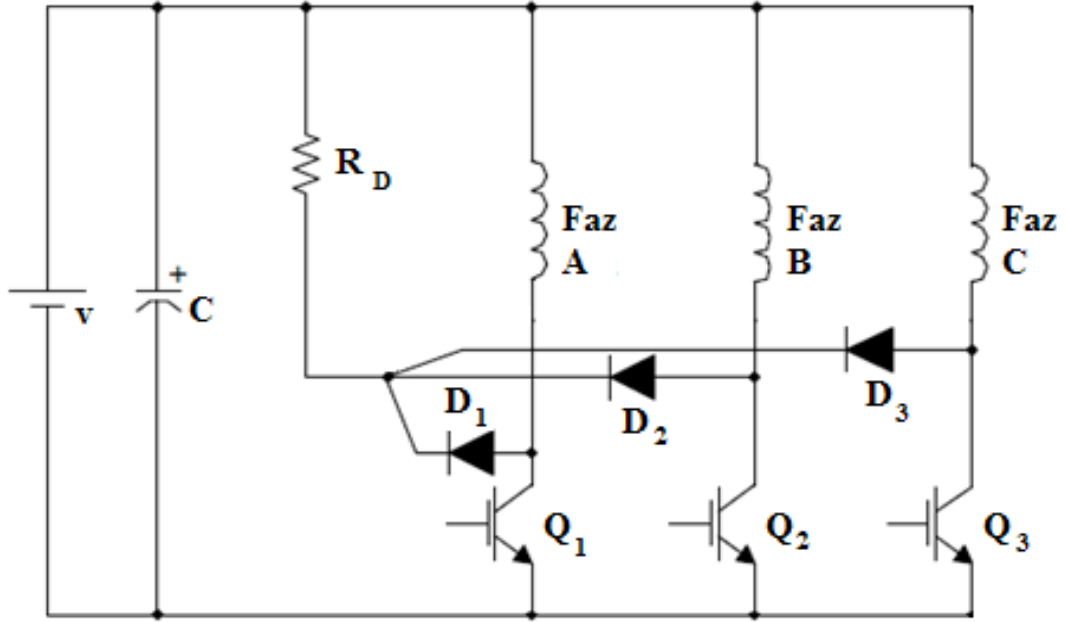


Şekil 3.7. Split DA link dönüştürücü devresi

### 3.1.7. Söndürme dirençli dönüştürücü

Dönüştürücü devreler içerisinde en ekonomik olan devre, söndürme dirençli dönüştürücü devresidir (suppression resistor circuit). Bu devre düşük performans ve maliyet istenilen uygulamalar için iyi bir seçenek olup kontrol edilmesi de oldukça kolaydır [30]. Bu dönüştürücüde her bir faz için bir diyot ve bir anahtar yeterlidir. Depolanan enerji serbest dönüşüm esnasında  $R_D$  direnci üzerinde harcanmaktadır. Şekil 3.8'de söndürme dirençli dönüştürücü devresi gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilen söndürme dirençli dönüştürücü devresinde  $R_D$  direncinin değeri büyük önem arz etmektedir. En yüksek verimi elde etmek için kutupların yüzyüze konumuna yakın bölgede anahtarlama yapılmalı ve akımı hemen sifıra götürecektir direnç gereklidir. Direncin küçük değerde olması durumunda, hız yüksek iken bozucu tork üretimine sebep olur ve dolayısıyla verim düşer. Direncin büyük değerlikli olması durumunda ise komütasyondaki faza bağlı anahtarda yarı iletken elemanlar için tehlikeli olan büyük değerlikli gerilim sıçramaları oluşur.





Şekil 3.8. Söndürme dirençli dönüştürücü devresi

### 3.2. Sürücü Devrelerin Avantaj ve Dezavantajları

ARM'ler yapıları sebebiyle diğer makinalar ile karşılaştırıldığında kendilerine ait sürücü devrelerine de birtakım avantajlar kazandırmaktadır. Bu avantajlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

- ARM'nin uygun olarak çalıştırılmasında akımın çift yönlü olmasına gerek olmadığından dört bölgede çalışma için çoğu sürücü devresinde her bir faz için ikiden daha az anahtara ihtiyaç vardır.
- Güç anahtarlarının faz sargılarına seri, DC kaynağa paralel bağlı olmalarından shoot-through hatası oluşmaz.
- Anahtarların birbirinden bağımsız olması nedeni ile herhangi bir anahtarın çalışmaması durumunda ARM'nin çalışması aksamaz.
- Güç anahtarlarının sayılarının azaltılması vasıtasıyla sürücü devrede ihtiyaç duyulan lojik devre, bunlara ait güç kaynakları ile kapı sürücülerinin de sayısı azalır. Buda sürücü hacmini ve maliyetini azaltır.

Sayılan bu avantajları yanında, ARM sürücülerinin sahip olduğu dezavantajların başında her bir anahtar elemanı için ayrı bir serbest geri dönüşüm diyotuna gereksinim duyulması yer almaktadır. Bu durum tüm sürücü topolojileri için geçerlidir ve dolayısıyla da bu durum sürücülere ait maliyeti artırmaktadır.

#### 4. SÜRÜCÜ DEVRE TASARIMI VE UYGULAMASI

Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makinalarıdır. Bu tanım herhangi bir sürücü devre gerektirmeden doğrudan şebekeye bağlanarak çalışabilen motorlar için tam olarak doğru bir tanımdır. Asenkron motorların aksine ARM'ler veya adım motorları gibi özel motorlar doğrudan bir DA kaynağına veya şebekeye bağlandıklarında çalışamazlar. Bu özel motorlar için sürücü devrelere ve yardımcı devrelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu bölümde, 3-fazlı, 12/8 kutuplu ARM için ekonomik bir sürücü devre uygulaması yapılmıştır.

##### 4.1. Sürücü Tasarımı Yapılan Anahtarlamalı Relüktans Motor Özellikleri

Sürücü devre uygulaması yapılacak olan ARM 3-fazlı, 12/8 kutupludur. Motora ait diğer bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

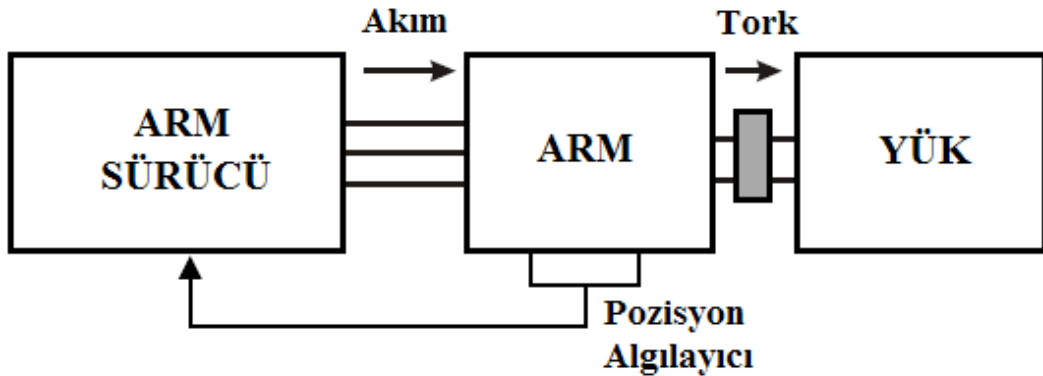
Çizelge 4.1.Uygulamada kullanılan motorun özellikleri

Büyüklik	Değer
Rotor kutup sayısı( $n_r$ )	8
Stator kutup sayısı( $n_s$ )	12
Faz sayısı	3
Güç ( $P$ )	300 W
Maksimum akım ( $I_{max}$ )	2.5 A
Maksimum kaynak gerilimi( $V_{dc}$ )	120 V
Faz direnci ( $R$ )	2.9 $\Omega$
Maksimum endüktans ( $L_{max}$ )	59.4 mH
Minimum endüktans ( $L_{min}$ )	6.3 mH

## 4.2. Sistem Tasarımı

Yarı iletken teknolojisinde son yıllarda meydana gelen hızlı gelişmelerden hem güç elektroniği elemanları hem de mikrodenetleyiciler olumlu yönde etkilenmişlerdir. Yarı iletken anahtarlar kontakları arasına uygulanan çok yüksek gerilimler altında kontaklarını nano saniyeler seviyesinde çok kısa sürelerde açıp kapatabilmekte ve bu süre zarfında akıttığı akım değerleri yüzlerce amperle ifade edilebilmektedir. Aynı zamanda mikrodenetleyicilerin performansları ile birlikte kapasiteleri de arttırılmış ve motor kontrol devrelerinde sıklıkla kullanılan PWM gibi birçok fonksiyonu donanımsal olarak destekler hale gelmişlerdir.

Genel olarak ARM sürücülerinin yapısı AC ve DC sürücü yapılarına benzemektedir. Şekil 4.1’de 3-fazlı, 12/8 kutuplu ARM’nin denetimi için tasarımı yapılan devrenin blok diyagramı görülmektedir. ARM sürücü devresi; girişi pozisyon bilgisi, çıkışı motor akımı olan bir kutu olarak, ARM ise girişi faz akımı, çıkışı tork veya pozisyon bilgisi olan bir kutu olarak düşünülebilir. Akım bütün faz akımlarını içermekte ve dalga biçimi saf DC veya AC olmadığından ve hem hız hem de yükte değiştiğinden dalga biçiminin de kontrolünün yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. ARM sürücüsünün hangi faz veya fazları tetiklemesi gerektiği, motor miline akuple edilmiş olan pozisyon sensörleri ile algılanır. Bu işlem faz akımlarının ölçülmesi ile sensörsüz olarak da yapılabilir.



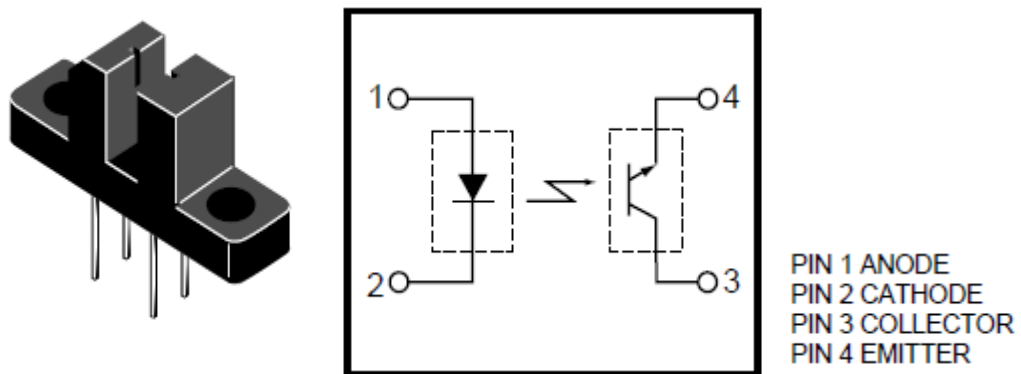
Şekil 4.1. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı

Sürücü devresi; kontrol ve dönüştürücü devreleri olmak üzere temelde iki kısımdan oluşmaktadır. Dönüştürücü devresi, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), MOSFET, FWD (Free Welling Diode) gibi güç elektroniği elemanlarından oluşurken, kontrol devresi mikrodenetleyici ile güç anahtarı sürücü entegrelerinden oluşmaktadır.

Tasarımı yapılan sürücü devresinde kullanılan kontrol ve sürücü devre elemanları ile karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### 4.2.1. Pozisyon sensörü

Pozisyon sensörü kullanmadan rotor konum bilgisi ilave algoritmalar yardımıyla elde edilebilse de bu uygulamada maliyetinin düşük ve basit olması hedeflendiğinden dolayı pozisyon sensörleri kullanılmıştır. Pozisyon sensörü olarak optik, Hall etkili veya diğer algılayıcı sensörler kullanılmaktadır. Sistemde pozisyon sensörü olarak H21A1 optik sensör kullanılmış olup katalog bilgileri ve bacak bağlantıları Şekil 4.2'de verilmiştir. Bilgi sayfası ise EK-1'de verilmiştir[32].

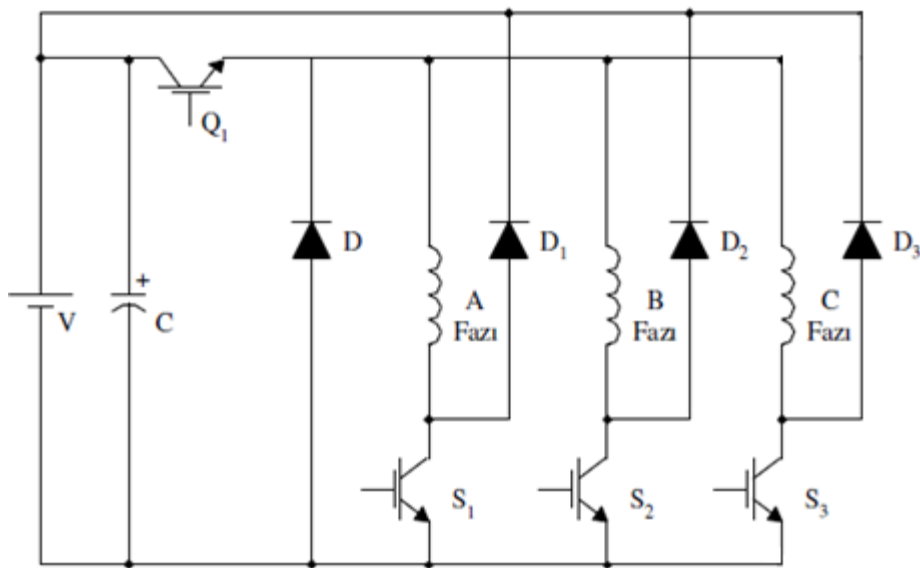


Şekil 4.2. H21A1 pozisyon sensörü

#### 4.2.2. Sürücü devre topolojisi

Uygulaması yapılan sürücü devre topolojisi faz sayısının bir fazlası kadar yarı iletken anahtar ve diyot elemanı içermektedir. Bu yüzden maliyeti düşüktür. Ancak daha düşük bir kontrol olanağı sunmaktadır. Karmaşık denetim yöntemleri kullanılmayan düşük maliyetli devrelerde basit yapılı olması nedeni ile yüksek gerilim uygulamalarında, torktaki vurutuların ve performansın önemli olmadığı sistemler için uygundur.

Düşük hız uygulamalarında kullanılan dönüştürücülerde, bütün hız aralığı boyunca darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation : PWM) kontrolü yapılabilmektedir. Bu durumda ARM dönüştürücü devresindeki anahtar elemanlarının sayısının azaltılabilmesi mümkün olmaktadır. Böylece bütün fazlar için fazlara bağlı anahtarlar sırası ile iletim durumuna alınırken kıyım işlemi  $Q_1$  anahtarı tarafından yapılmaktadır. Faz sayısının bir fazlası kadar anahtar ve diyot elemanı gerektiren Faz Sayısı+1 topolojisindeki uygulamada kullanılan dönüştürücü devresi Şekil 4.3' de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Uygulaması yapılan faz sayısı+1 anahtarlı dönüştürücü devre

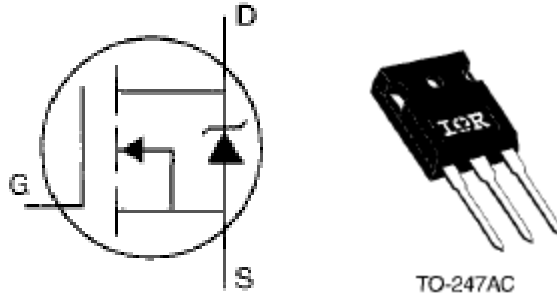
### 4.2.3. Güç anahtarı (MOSFET)

Sürücü devrenin performans ve maliyetini önemli oranda etkileyen güç anahtarlarının seçimi büyük önem taşımaktadır. Sürücü devrelerinde kullanılabilecek yarıiletkenler; tristörler, kapıdan tıkamalı tristörler (GTO – Gate Turn-off Thyristors), bipolar transistörler (BJT), MOSFET ve yalıtılmış kapılı bipolar transistörlerdir (IGBT-Isolated Gate Bipolar Transistors). Anahtar seçiminde motorun çalışma akım ve gerilimi, anahtarın maliyeti, sürülmesinin kolaylığı, snubber ihtiyacı, anahtarlama hızı, iletim kayıpları dikkate alınmalıdır.

Düşük güçlü ARM'lerde (2-3 kW'a kadar) MOSFET'ler kullanılabilmektedir. 3 kW'dan daha güçlü motorlar için yüksek iletim kayıplarından dolayı MOSFET'ler ekonomik olmamaktadır. Bu sebeple orta güçlerde IGBT'ler tercih edilmektedir. Çok yüksek güçlü ARM'ler için yüksek gerilim ve akım kabiliyetlerinden dolayı GTO'lar daha uygun olmaktadır[20].

İletim karakteristiğindeki üstünlüğü ayrı tutulursa, IGBT'lerin anahtarlama karakteristikleri, güç MOSFET'leri ile hemen hemen aynıdır. IGBT'ler MOSFET'lere göre yüksek gerilim ve sert anahtarlama daha avantajlıdır[18]. Uygulaması yapılan sürücü devresinde, maliyetinin ucuz olması ve istenen performans karşılaması yüzünden IRFP450 MOSFET tercih edilmiştir. Kullanılan MOSFET'in karakteristik değerleri aşağıda verilmiş olup bacak bağlantıları Şekil 4.4'teki gibidir. Bilgi sayfası ise EK-2'de verilmiştir [33].

- N Kanallı
- $V_{DSS} = 500 \text{ V}$
- $R_{DS(on)} = 0.40 \text{ } \Omega$
- $I_D = 14 \text{ A}$
- Kılıf : TO 247AC



Şekil 4.4. IRFP 450 MOSFET bacak bağlantıları ve kılıfı

#### 4.2.4. Geri dönüşüm diyodu

Sürücü devrede dikkat edilmesi gereken en önemli durum bir fazın enerjisi kesilerek diğer faz enerjilendirildiği zaman, enerjisi kesilen fazda mevcut olan depolanmış olan enerjinin çok kısa bir süre içerisinde boşaltılarak motor torkunu bozucu etki yapmasını engellemektir. Bunun için kullanılan geri dönüşüm diyotlarının hızlarının ve değerlerinin yeterli olmasına dikkat edilmelidir. Kullanılan TFK 647 hızlı dönüşüm diyodunun özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Azami iletim gerilimi=1200 V
- Azami iletim akımı=11 A

#### 4.2.5. MOSFET sürücü entegreleri

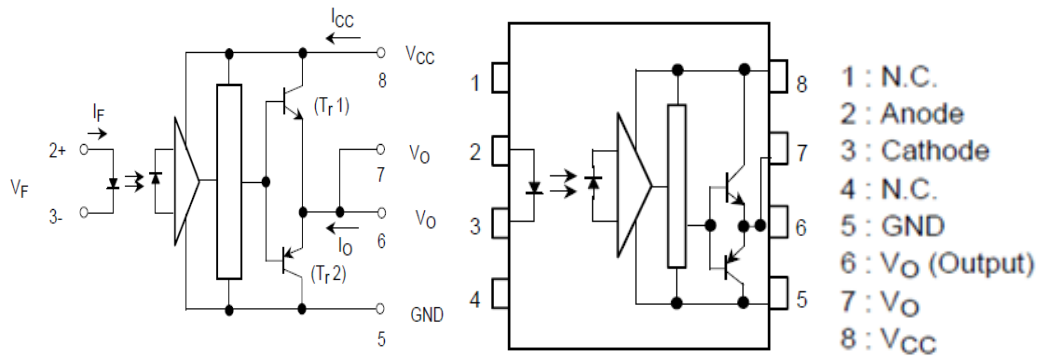
MOSFET sürücü entegrelerinin görevi mikrodenetleyiciden alınan bilgilere göre MOSFET'leri ilettime veya kesime geçirmektir. Mikrodenetleyiciler genellikle 5V ile çalışır. MOSFET'lerin ise ilettime geçirilebilmesi için kapılarına en az 3V uygulamak gerekmektedir.

Çeviricinin güç beslemesinin sağlandığı DC bara gerilimi MOSFET'lerin kontrolü açısından çok önemlidir. Özellikle yüksek gerilimlerde sürücü entegre kullanmadan MOSFET'leri kullanmak nerede ise imkansız görünmektedir. Normal MOSFET sürücü entegreleri IGBT'ler içinde kullanılabilir. Bu tasarımda kullanılan TLP 250



MOSFET sürücü entegrelerin katalog bilgileri ve bacak bağlantıları Şekil 4.5'te, bilgi sayfaları ise EK-3'de verilmiştir [34].

- $I_{CC} = 15\text{mA (max)}$
- $V_{CC} = 10\text{-}35\text{V}$
- $I_O = \pm 1.5\text{A}$
- Kılıf : 11-10C4



Şekil 4.5. TLP 250 MOSFET sürücü entegre bacak bağlantıları

#### 4.2.6. Mikrodenetleyici

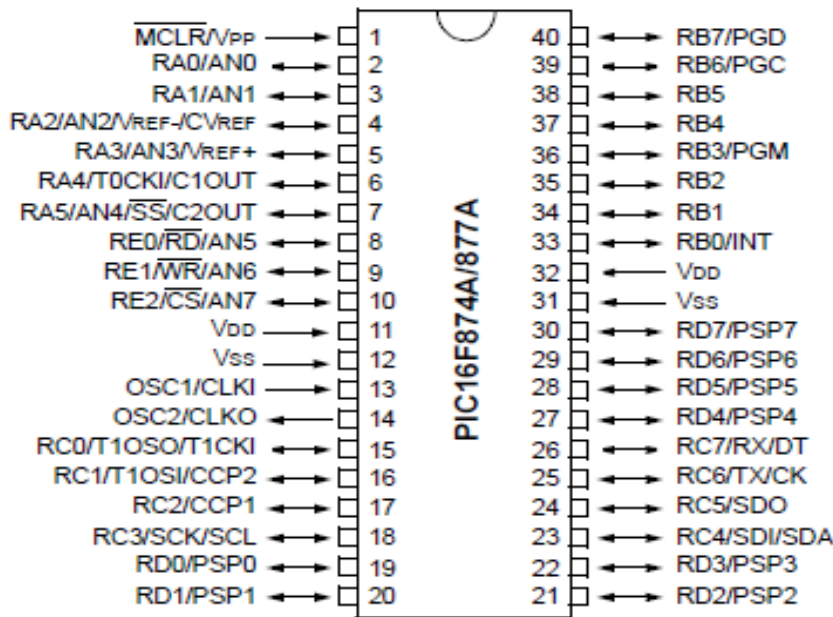
Motor sürücülerinden beklenen temel özellikler, dört bölgede çalışabilme, hızlı tepki verme, düşük tork dalgalanması ve iyi bir kararlılığa sahip olmasıdır. ARM'lerden farklı olarak diğer DA ve AA motor denetim devreleri bu özellikleri karşılamaktadırlar. ARM'de akım, hız ve tetikleme açıları doğrusal yapıya sahip olmadığından ve torkun yük ile hızın fonksiyonu olarak değişmesinden dolayı bu durum geçerli değildir. Bu nedenle, diğer AA ve DA motorlara uygulanan denetim metotlarından elde edilen verimin ARM'lere uygulanan denetim metotlarında da elde edilebilmesi için çok sayıda çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir[27].

PIC Mikrodenetleyicinin tercih sebepleri maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir[31]:

- Lojik uygulamalarının hızlı olması,

- 8 bitlik mikrodenetleyiciler olması, bellek ve veri için ayrı yerleşik verilerin kullanılması,
- Veri ve belleğe hızlı erişimin sağlanması,
- PIC'e göre diğer mikro denetleyicilerde veri ve programı taşıyan bir tek veri bulunması, dolayısı ile PIC'in bu özelliği ile diğer mikrodenetleyicilerden iki kat daha hızlı olması,
- Herhangi ek bellek veya giriş/çıkış elemanı gerektirmeden sadece 2 kondansatör ve bir direnç ile çalışabilmesi,
- Yüksek frekansla çalışabilme özelliği,
- Standby durumunda çok düşük akım çekmesi,
- Interrupt kapasitesi ve 14 bit komut işleme hafızası,
- Kod sıkıştırma özelliği ile aynı anda birçok işlem gerçekleştirebilmesi,
- Yazılımın Microchip'ten veya internetten ücretsiz olarak alınabilmesi,
- Çok basit reset, clock sinyali ve güç devreleri gerektirmesi.

Uygulamada kullanılan PIC mikrodenetleyiciye ait bacak bağlantıları Şekil 4.6'da, bilgi sayfaları ise EK-4'de verilmiştir.

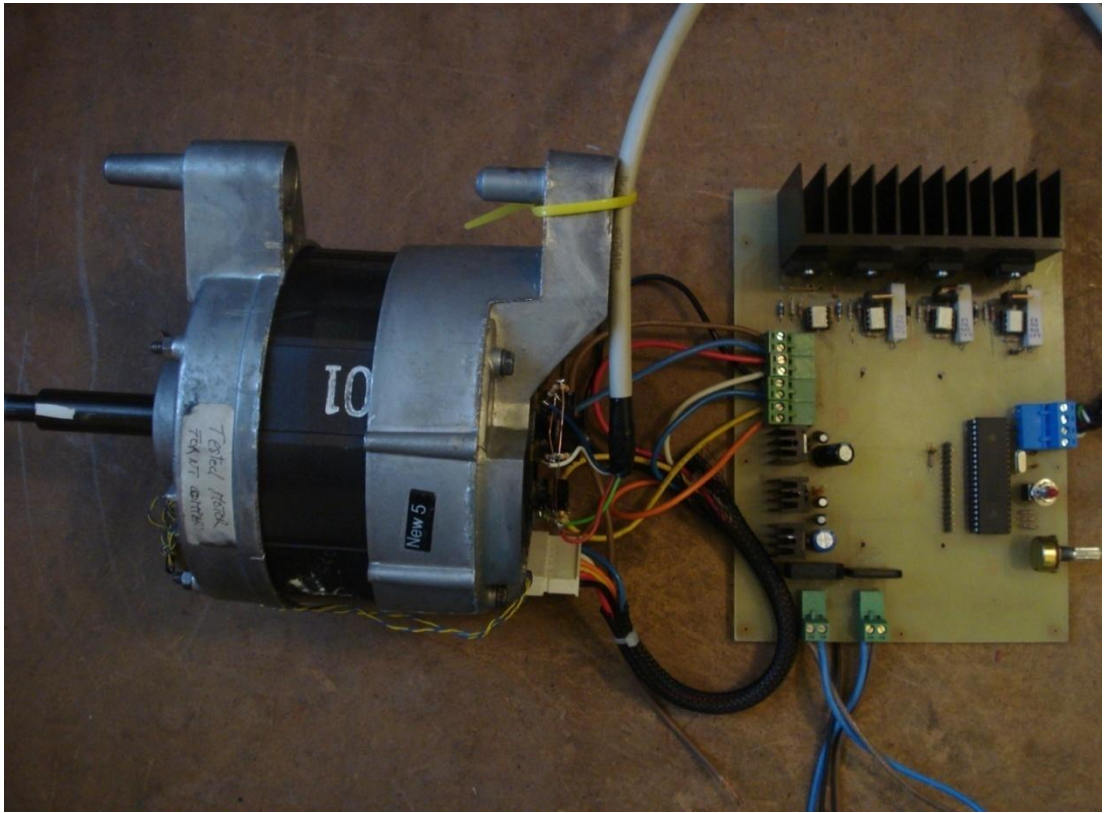


Şekil 4.6. PIC 16F877A bacak bağlantıları

### 4.3. Deneysel Çalışmalar

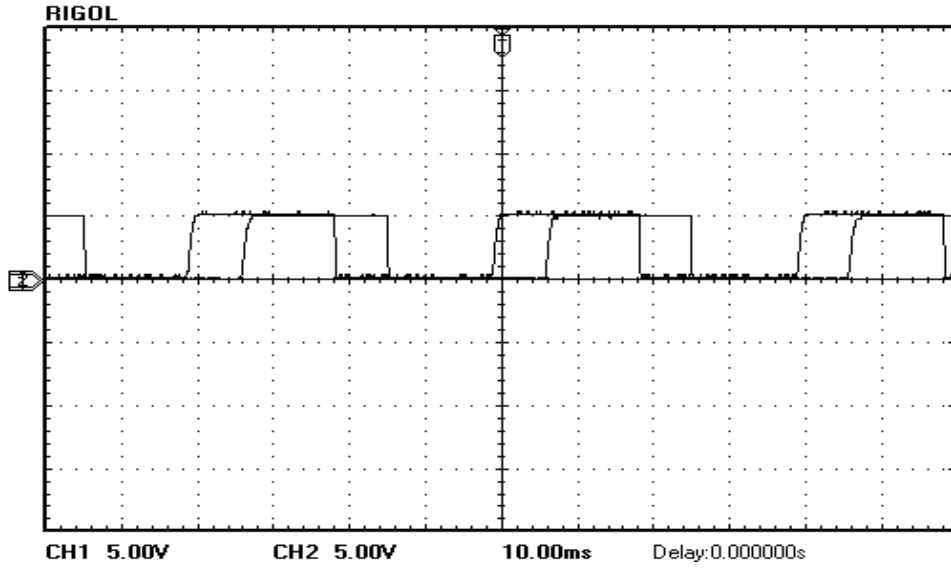
Tasarlanan sistem; bir güç kaynağı, ARM Sürücü ve ARM'den oluşmaktadır. Uygulamada kullanılan ARM 3-faz, 12/8 kutuplu bir motordur. Anahtarlama elemanı olarak IRFP450 tipi MOSFET kullanılmıştır. Maliyeti azaltmak için sistem; faz başına bir adet ve hız ayarlamasında kullanılmak üzere bir adet olmak üzere toplam 4 adet IRFP450 MOSFET, faz başına bir adet TFK 647 geri dönüşüm diyotu ve her faz için bir adet H21A1 pozisyon sensöründen oluşmaktadır. Denetleyici olarak PIC16F877A kullanılmıştır. Kullanılan buton ve potansiyometre ile yön ve açık döngü hız kontrolü yapılmıştır.

Denetleyici ve sürücü devre, ARM ve pozisyon sensörü ile birlikte oluşturulan tüm sistemin genel görünümü Resim 4.1'de verilmiştir.



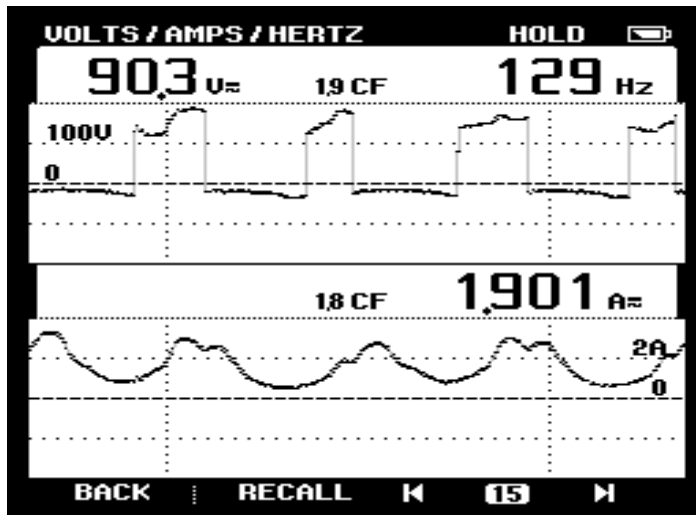
Resim 4.1. Tasarlanan sistemin genel görünümü

Motor üzerine bağılı iki faza ait pozisyon sensörlerinin çıkış dalga şekilleri osiloskop görüntüleri Şekil4.7’de verilmiştir.



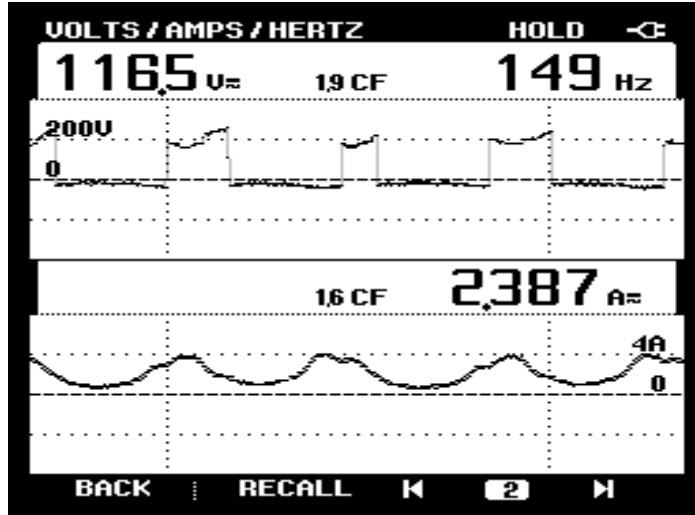
Şekil 4.7. Pozisyon sensörü çıkışları

Şekil 4.8’de 90 V gerilim altında yüksüz olarak 1800 d/d hızla çalışan anahtarlamalı relüktans motorun faz gerilim ve akımları verilmiştir.



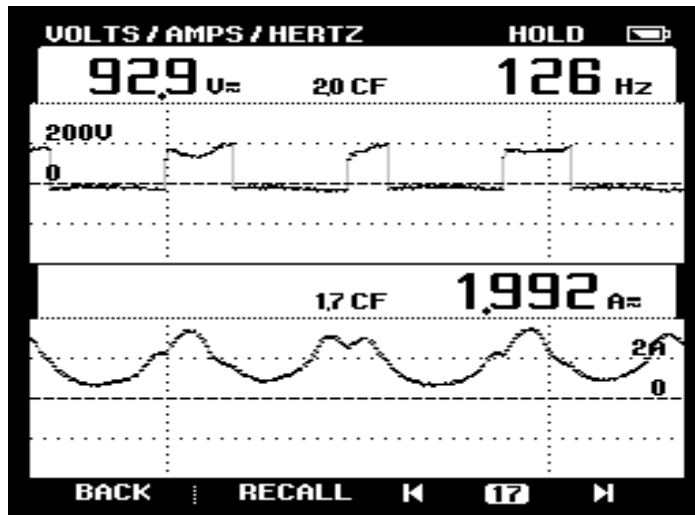
Şekil 4.8. 90 V gerilim altında yüksüz 1800 d/d hızla çalışan motorun bir faz gerilim ve akımı

Şekil 4.9’da 116 V gerilim altında yüksüz olarak 2100 d/d hızla çalışan anahtarlamalı relüktans motorun faz gerilim ve akımları verilmiştir.



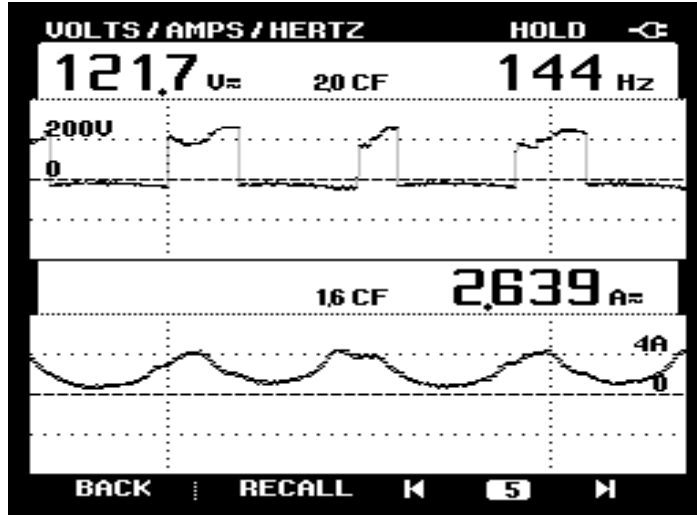
Şekil 4.9. 116 V gerilim altında yüksüz 2100 d/d hızla çalışan motorun bir faz gerilim ve akımı

Motorun 0,4 Nm yüke bağlanarak 93 V gerilim altında 1250 d/d hızla çalışan motora ait faz gerilim ve akımları Şekil 4.10’da verilmiştir.



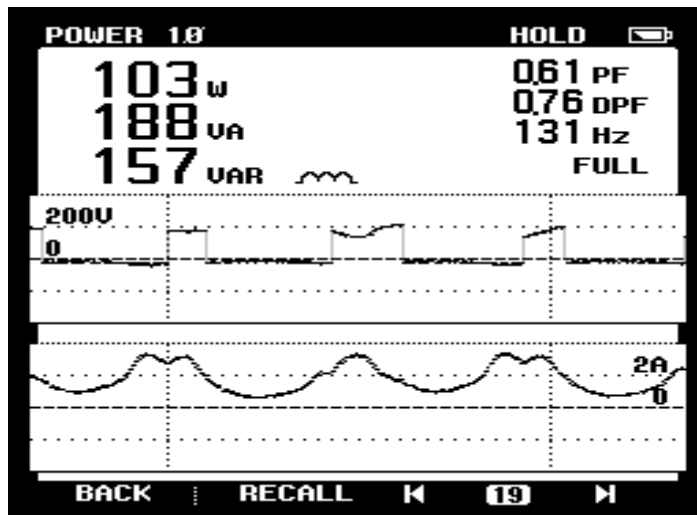
Şekil 4.10. 0,4Nm yük altında 1250 d/d hızla çalışan çalışan motorun faz gerilim ve akımı

Motorun 0,4 Nm yüke bağlanarak 121 V gerilim altında 1400 d/d hızla çalışan motora ait faz gerilim ve akımları Şekil 4.11’de verilmiştir.



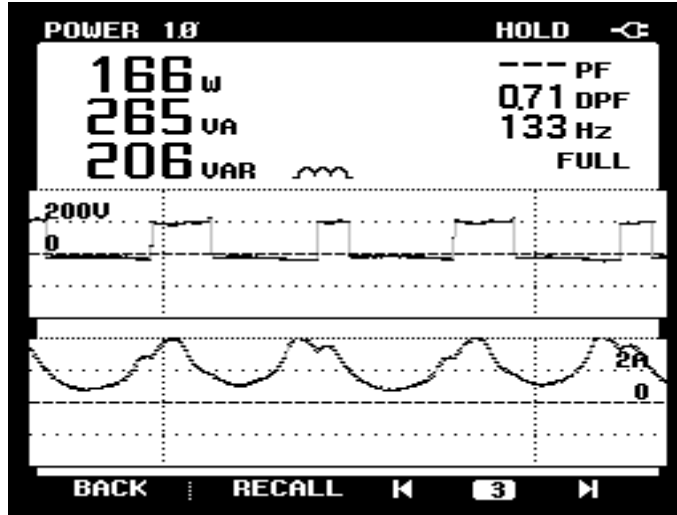
Şekil 4.11. 0,4Nm yük altında 1400 d/d hızla çalışan motorun faz gerilim ve akımı

Motorun yüksüz durumda çalışırken alınan güç değerleri, gerilim ve akım eğrileri Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Yüksüz durumda güç değerleri, gerilim ve akım

Motorun 0,4 Nm yüklenmiş durumda çalışırken alınan güç değerleri, gerilim ve akım eğrileri Şekil 4.13'te verilmiştir.

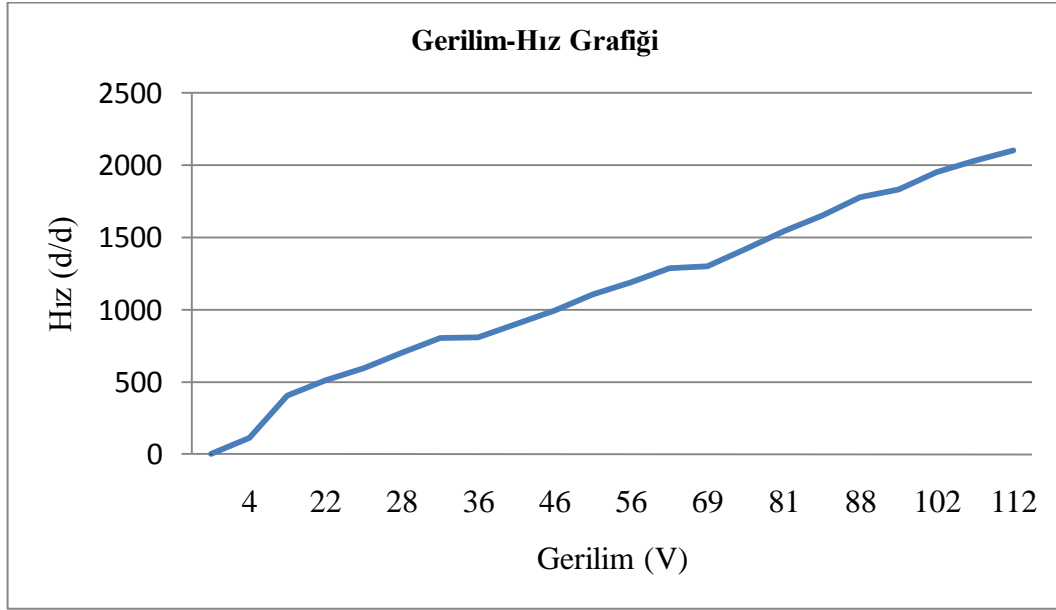


Şekil 4.13. 0,4 Nm yük altında motorun güç değerleri, gerilim ve akım

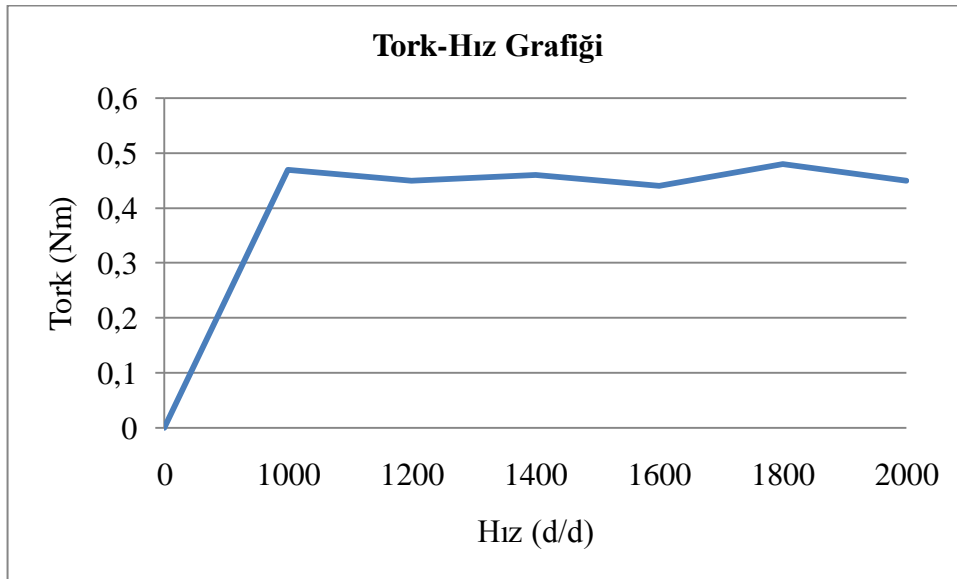
Motorun yüksüz olarak çalışmasına ait akım, gerilim, hız ve güç değerleri Çizelge 4.2'de verilmiş olup, Şekil 4.14'de hız-gerilim grafiği, Şekil 4.15'te tork-hız grafiği gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Akım, gerilim, hız ve güç değerleri

Gerilim (V)	Akım (A)	Hız (d/d)	Güç (W)
4	0,8	115	3,2
22	1,21	510	26,62
36	1,34	810	48,24
56	1,4	1190	78,4
69	1,57	1300	108,33
88	1,9	1780	167,2
112	2,31	2100	258,72



Şekil 4.14. Hız-gerilim grafiği



Şekil 4.15. Tork-hız grafiği



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 3-faz, 12/8 kutuplu, 2,5 A, 120V, 300 W gücündeki bir ARM için PIC mikrodenetleyici ile sürücü devre uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sürücü devresinde maliyeti azaltmak için faz sayısı+1 güç anahtarına sahip bir devre topolojisi kullanılmıştır. Güç anahtarı olarak maliyetinin ucuz olması ve istenen performansı karşılaması nedeni ile MOSFET tercih edilmiştir. Sürücü devresinde fazlara bağlı anahtarlar rotor pozisyonuna göre sırası ile iletim durumuna alınırken kıyma işlemi tek güç anahtarı tarafından yapılmaktadır. Hangi fazın iletme geçireceği motor üzerine monte edilmiş olan pozisyon sensörleri ile algılanmıştır. Pozisyon Sensörü çıkış sinyalleri kontrol amacıyla kullanılan PIC16F877A mikrodenetleyicinin analog girişlerini beslemiş ve geliştirilen program algoritması ile ilgili fazlar anahtarlanmıştır. Ayrıca kontrol devresinde kullanılan buton ve potansiyometre ile yön ve hız ayarı yapılmıştır. Bir fazın enerjisi kesilerek diğer faz enerjilendirildiği zaman, enerjisi kesilen fazda mevcut olan depolanmış olan enerjinin çok kısa bir süre içerisinde boşaltılarak motor torkunu bozucu etki yapmaması için hızlı geri dönüşüm diyodu ve wattlı direnç kullanılmıştır.

Maliyet açısından uygulamalarda genel olarak kullanılan klasik köprü tipi sürücü devrelere göre daha az güç anahtarı ve buna bağlı olarak motor sargılarında biriken enerjinin bozucu etkisini azaltmak için kullanılan geri dönüşüm diyodu ve direnç sayısındaki azalma ile kontrol için PIC16F877 kullanılması sürücü devre maliyetini düşürmüştür.

Bu uygulama ile faz sayısı+1 güç anahtarı ile çalışan sürücü devrenin ARM sürme için uygulanabilirliği gösterilmiştir. Uygulaması yapılan sürücü devre ile kontrol edilen ARM'de moment dalgalanması ve gürültü meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Bu tip bir sürücü ile çalıştırılan ARM'ler bulaşık makinası ve araba yıkama motoru gibi sabit yüklü makinalarda kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Miller, T. J. E., "Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives", *Clarendon Press, Oxford*. 1-18 (1989).
2. Rodrigues, M., Branco, P.J.C., Suemitsu, W., "Fuzzy Logic Torque Ripple Reduction by Turn-Off Angle Compensation for Switched Reluctance Motors", *IEEE Transactions of Industrial Electronics*, USA, 711-714, (2001).
3. Bal, G., "Özel Elektrik Makinaları" , *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 155-175 (2004).
4. Diril, O., "Anahtarlama Relüktans Motorda Moment Dalgallığını Enazlama Üzerine Bir Çalışma", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-12, (1999).
5. Omaç, Z., "Yeni Bir Anahtarlama Relüktans Motorun Tasarımı ve Akım Kontrolü", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-32, (2006).
6. Miller, T.J.E., "Electronics Control of Switched Reluctance Machines", *Newnes PES*, Oxford, 1-35, (2001).
7. Çınar, M.A., "Elektrikli Taşıtın Tekerlek Tahriği İçin Geliştirilen Dışı Rotorlu Anahtarlama Relüktans Motor Tasarımı ve Analizi", Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-5, (2008).
8. Yağcı, M., Güven, M.E., "Anahtarlama Relüktans Motorun Hız Kontrolünde Titreşimlerin Azaltılması", *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Yüksek Okulu Teknik-Online Dergi*, (3):2009, (2009).
9. Duran, F., "Endüstriyel Çamaşır Makinelerinde Anahtarlama Relüktans Motor Kullanımı ve Sistemin Zeki Denetimi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-95, (2008).
10. Karagöz, F., "Mikrodenetleyici Kontrollü Anahtarlama Relüktans Motorların Tasarımı ve Marş Motoru Olarak Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-75, (2009).
11. Polloc, C. and Williams, B. W., "Power Converter Circuits for Switched Reluctance Motors with the Minimum Number of Switches", *IEE Proceedings*, 374-384, (1990).
12. Miller, T.J.E., "Switched Reluctance Motors and their control", *Magna Physics Publishing and Clarendon Press*, Oxford, 1-50, (1993).

13. Miller, T. J. E., “Electronic Control of Switched Reluctance Machines”, *Newnes Power Engineering Series*, 24-32, (2001).
14. Bose, B. K., Miller, T. J. E., Szczesny, P. M., Bicknell, W. H., “Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor”, *IEEE Transaction on Industry Applications*, (4), 708–715, (July/August,1986).
15. Güvenç, U., “Anahtarlamaalı Relüktans Motorun Denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-21, (2005).
16. Krishnan, R., Mang, X., Bharadwaj, A. S., “Design and Performance of Microcontroller Based Switched Reluctance Motor Drive System, Electric Machines and Power Systems”, 359– 373, *CRC Press*, (1990).
17. Kjaer, P. C., Nielsen, P., Andersen, L., Blaabjerg, F., “A New Energy Optimizing Control Strategy for Switched Reluctance Motors”, *IEEE Transaction on Industry Applications*, (5), 1088–1095, (September/October, 1995).
18. Kjaer, P. C., Gribble, J. J., Miller, T. J. E., “High- Grade Control of Switched Reluctance Machines”, *IEEE Transaction on Industry Applications*, (6), 1585–1593,(November/December, 1996).
19. Omaç, Z., Kürüm, H., Selçuk, A.H., “18/12 Kutuplu Anahtarlamaalı Relüktans Motor Tasarımı, İncelenmesi ve Kontrolü”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, (3), 339-346, (2007).
20. Özoğlu, Y., “Anahtarlamaalı Relüktans Motorunda Kutup Başlarına Şekil Vererek Moment Dalgalanmasının Azaltılması”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-26, (1999).
21. Miller, T. J. E. Optimal design of switched reluctance motors, *IEEE Trans. Ind. Electronics*, (1), 15-27. (2002).
22. Mutlu, Ü., “Anahtarlamaalı Relüktans Motor Sürücü Devre Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 30-37, (2006).
23. Krishnan,R., “Switched Reluctance Motor Drives: Modelling, Simulation, Analysis, Design and Applications”, *CRC Press*, 1-16, (2001).
24. Sezen, S., “Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile Analizi Yapılmış Yüksek Güçlü Anahtarlamaalı Relüktans Motorun Yeni Bir Bulanık Mantık Algoritması Kullanılarak Hız Denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 4-48, (2006)

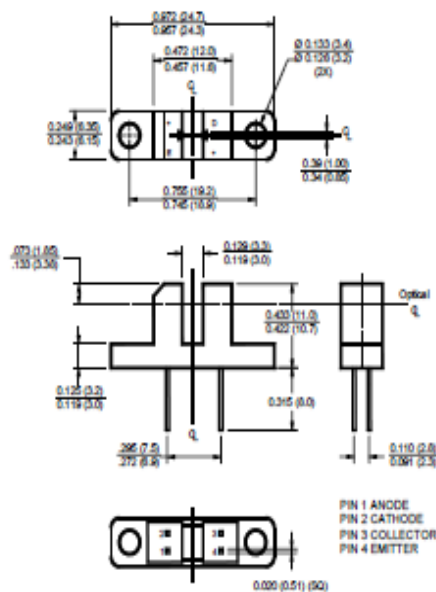
25. Skvarenina, T. L., "The Power Electronics Handbook Industrial Electronics Series", Purdue University West Lafayette, *Indiana CRC Press*, 24-36, (2002).
26. Gizlier, E., "Anahtarlamalı Relüktans Motorunun Manyetik Analizi ve Simülasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 6-22, (2001).
27. Fenercioğlu A., "Helisel Yapılı Anahtarlamalı Relüktans Motorun (HY-ARM) Tasarımı Ve Analizi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-54, (2006).
28. Yadlapalli, N., "Implementation of a Novel Soft-Switching Inverter for Switched Reluctance Motor Drives", Ms. Thesis, *Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*, Virginia, 10-42, (1999).
29. Yigit, T., "Genetik Uyarlamalı Denetleyici ile Anahtarlamalı Relüktans Motorun Hız Denetiminin Gerçekleştirilmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-100 (2005).
30. Sefa, İ., Sliding Mode Yaklaşımı ile Anahtarlamalı Relüktans Motorun Hız Kontrolü, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-58, (1997).
31. Soysal, M., "Doğru Akım Motorunun Dört Bölge Kontrolünün PIC ile Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 9-64, (2007).
32. İnternet : "Pozisyon Sensörü Datasheet"  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/H21A1.pdf>
33. İnternet : "Güç Anahtarı Datasheet"  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/irfp450.pdf>
34. İnternet : "Güç Anahtarı Sürücü Datasheet"  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/toshiba/2109.pdf>
35. İnternet : "Mikrodenetleyici Datasheet"  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

**EKLER**



## H21A1 / H21A2 / H21A3 PHOTOTRANSISTOR OPTICAL INTERRUPTER SWITCH

### PACKAGE DIMENSIONS



#### NOTES:

1. Dimensions for all drawings are in inches (mm).
2. Tolerance of  $\pm .010$  (.25) on all non-nominal dimensions unless otherwise specified.

### DESCRIPTION

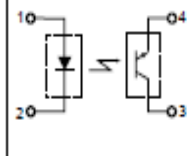
The H21A1, H21A2 and H21A3 consist of a gallium arsenide infrared emitting diode coupled with a silicon phototransistor in a plastic housing. The packaging system is designed to optimize the mechanical resolution, coupling efficiency, ambient light rejection, cost and reliability. The gap in the housing provides a means of interrupting the signal with an opaque material, switching the output from an "ON" to an "OFF" state.



### FEATURES

- Opaque housing
- Low cost
- .035" apertures
- High  $I_{C(ON)}$

### SCHEMATIC



1. Derate power dissipation linearly 1.33 mW/°C above 25°C.
2. RMA flux is recommended.
3. Methanol or isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
4. Soldering iron tip  $1/16"$  (1.6mm) minimum from housing.

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Operating Temperature	$T_{OPR}$	-55 to +100	°C
Storage Temperature	$T_{STG}$	-55 to +100	°C
Soldering Temperature (Iron) <sup>(2,3 and 4)</sup>	$T_{SOL-I}$	240 for 5 sec	°C
Soldering Temperature (Flow) <sup>(2 and 3)</sup>	$T_{SOL-F}$	260 for 10 sec	°C
<b>INPUT (EMITTER)</b>			
Continuous Forward Current	$I_F$	50	mA
Reverse Voltage	$V_R$	6	V
Power Dissipation <sup>(1)</sup>	$P_D$	100	mW
<b>OUTPUT (SENSOR)</b>			
Collector to Emitter Voltage	$V_{CEO}$	30	V
Emitter to Collector Voltage	$V_{ECO}$	4.5	V
Collector Current	$I_C$	20	mA
Power Dissipation ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ ) <sup>(1)</sup>	$P_D$	150	mW

## EK-2 IRFP 450 MOSFET Bilgi Sayfası



## IRFP450

**N - CHANNEL 500V - 0.33Ω - 14A - TO-247  
PowerMESH™ MOSFET**

TYPE	V <sub>DS</sub>	R <sub>DS(on)</sub>	I <sub>D</sub>
IRFP450	500 V	< 0.4 Ω	14 A

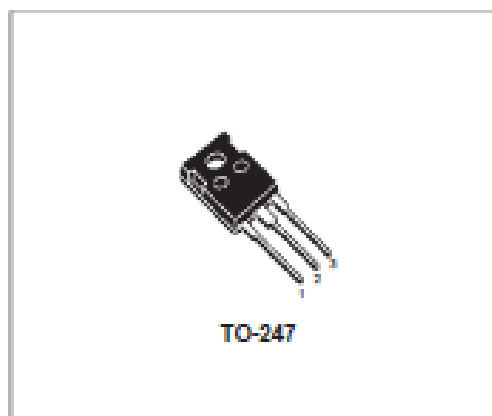
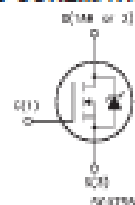
- TYPICAL R<sub>DS(on)</sub> = 0.33 Ω
- EXTREMELY HIGH dv/dt CAPABILITY
- 100% AVALANCHE TESTED
- VERY LOW INTRINSIC CAPACITANCES
- GATE CHARGE MINIMIZED

**DESCRIPTION**

This power MOSFET is designed using the company's consolidated strip layout-based MESH OVERLAY™ process. This technology matches and improves the performances compared with standard parts from various sources.

**APPLICATIONS**

- HIGH CURRENT SWITCHING
- UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)
- DC/DC CONVERTERS FOR TELECOM, INDUSTRIAL, AND LIGHTING EQUIPMENT.

**INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM****ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>DS</sub>	Drain-source Voltage (V <sub>GS</sub> = 0)	500	V
V <sub>DGSR</sub>	Drain- gate Voltage (R <sub>GS</sub> = 20 kΩ)	500	V
V <sub>GS</sub>	Gate-source Voltage	± 20	V
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>C</sub> = 25 °C	14	A
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>C</sub> = 100 °C	8.7	A
I <sub>DM(*)</sub>	Drain Current (pulsed)	56	A
P <sub>TOT</sub>	Total Dissipation at T <sub>C</sub> = 25 °C	190	W
	Derating Factor	1.5	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	3.5	V/ns
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T <sub>J</sub>	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

(\*) Pulse width limited by safe operating area

(1) I<sub>D</sub> ≤ 14 A, dv/dt ≤ 130 A/μs, V<sub>GS</sub> ≤ V<sub>GSmax</sub>, T<sub>J</sub> ≤ T<sub>Jmax</sub>

**TOSHIBA**

TLP250

TOSHIBA Photocoupler GaAIAs Ired & Photo-IC

# TLP250

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

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

This unit is 8-lead DIP package.

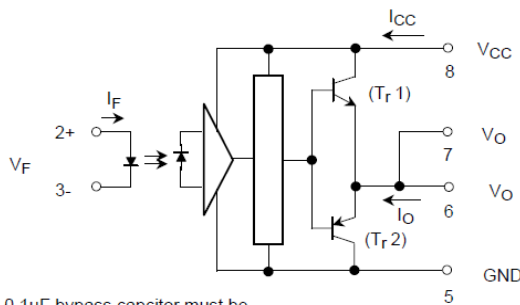
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

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

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

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

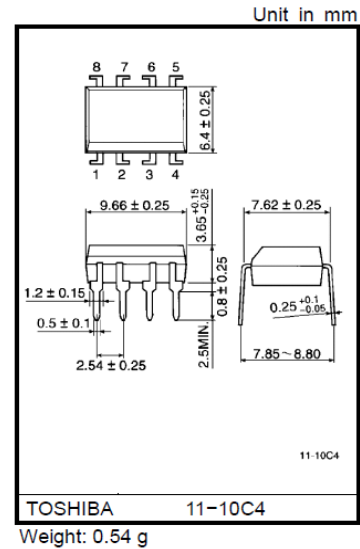
### Schematic



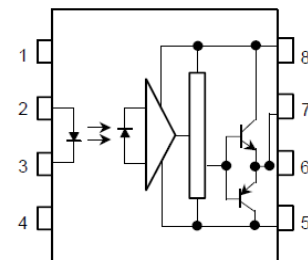
A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

### Truth Table

	Tr1	Tr2
Input LED	On	Off
	Off	On



### Pin Configuration (top view)



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



## EK-4 16F877A Mikroişlemci Bilgi Sayfası



# PIC16F87XA

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external  $\overline{RD}$ ,  $\overline{WR}$  and  $\overline{CS}$  controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

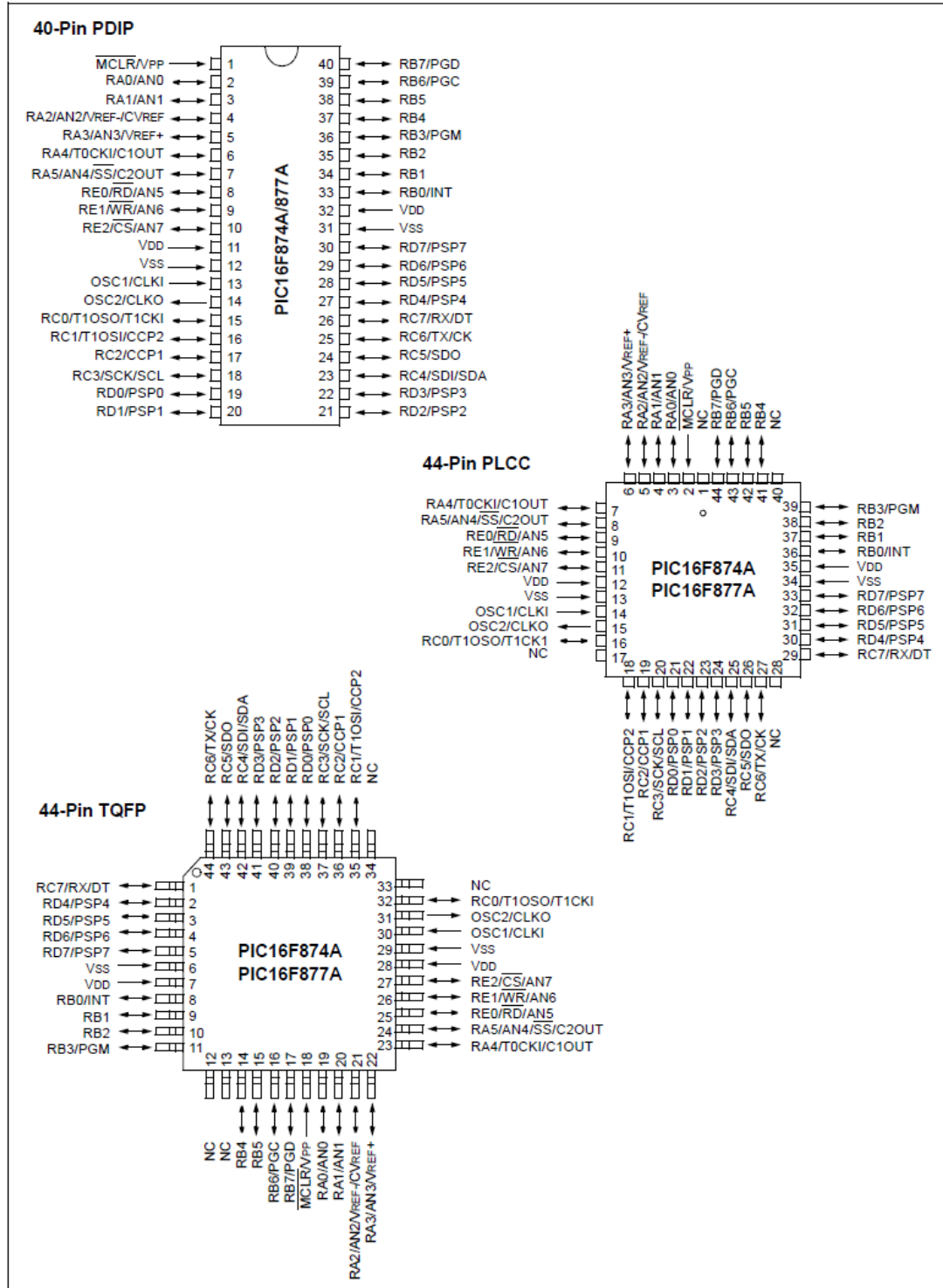
### CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

EK-4 (Devam) 16F877A Mikroişlemci Bilgi Sayfası

Pin Diagrams (Continued)



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : POLAT, Kamil  
Uyruđu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1982, Birecik  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 506 240 73 66  
e-mail : kapol1907@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ TEF Elektrik Eğitimi Bölümü	2006
Lise	Osmaniye Teknik Lisesi/ Elektrik Bölümü	1999

### Yabancı Dil

İngilizce