

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI**

**HALL EFFECT SENSÖRLÜ ANAHTARLAMALI
RELÜKTANS MOTOR SÜRÜCÜ TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Mehmet Akif BUZPINAR**

**Danışman
Doç. Dr. Ferhat DALDABAN**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FYL-2013-4356 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Aralık 2013
KAYSERİ**

Doç. Dr. Ferhat DALDABAN danışmanlığında **Mehmet Akif BUZPINAR** tarafından hazırlanan “**Hall Effect Sensörlü Anahtarlama Relüktans Motor Sürücü Tasarımı**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

13/01/2014

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Ferhat DALDABAN

Üye : Prof. Dr. Celal YILDIZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 31/01/2014 tarih ve 2014/06-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin gerçekleşmesinde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve uyarıları ile yol gösteren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ferhat DALDABAN'a, yardım ve desteğini esirgemeyerek değerli katkılarda bulunan Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU'ya, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün saygıdeğer öğretim üyelerine ve her zaman yanımda olan tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2013-4356) teşekkür ederim.

Mehmet Akif BUZPINAR

Kayseri, Aralık 2013

HALL EFFECT SENSÖRLÜ ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR SÜRÜCÜ TASARIMI

Mehmet Akif BUZPINAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2013

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ferhat DALDABAN

ÖZET

Bir elektrik motoru olan Anahtarlı Relüktans Motor (ARM)'un kontrolü ile ilgili çeşitli çalışmalar literatürde yapılmıştır. Günümüzde teknolojinin artık laboratuvarlarda kalmayıp günlük hayatın her alanında kendini göstermesi elektronik elemanların üretim maliyetlerini de düşürmekte ve yaygınlaşmasına sebep olmaktadır.

Endüstriyel alandaki bu gelişmeler, PLC, motor, motor sürücü, dijital basınç ve sıcaklık sensörleri gibi aygıtları üreten yerel firmaları destekler nitelikte olmuştur. Bu gelişmeler üretimi basit ve ucuz olan ARM'nin kontrolünü gerçekleştiren bu çalışmanın yapılmasına teşvik etmiştir.

Bu çalışmada endüstriyel alanda sıkça kullanılan hall effect sensörleri ARM'nin rotor konum algılama ünitesinde kullanılmıştır. 6/4 oranlı bir ARM'yi kontrol edecek sürücü devre ve yazılımı gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında öncelikle tezin literatürdeki yerinden bahsedilmiş ve çalışmanın amacı açıklanmıştır. ARM'nin özellikleri hakkında bilgi verilmiş, çalışma prensipleri açıklanmıştır. ARM çevirici topolojilerinden, avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Gerçekleştirilen çevirici devre ve kontrol devresi yazılımı hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimince FYL-2013-4356 proje numarası ile desteklenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hall Effect Sensör; Anahtarlı Relüktans Motorları; IGBT Sürücüler; Sürücüler; Güç Elektroniği; Çevirici Topolojileri.

**SWITCHED RELUCTANCE MOTOR
DRIVER CIRCUIT DESIGN OF HALL EFFECT SENSOR**

Mehmet Akif BUZPINAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, September 2013

Thesis Supervisor: Associate Professor Dr. Ferhat DALDABAN

ABSTRACT

There is a lot of different inverter design about Switched Reluctance Motor (SRM), a kind of electric motor, in literature. Nowadays technology has been seen, especially in electronic, not only in laboratories but also casual life. This improvement has been come down in prices of electronic components and it has become electronic components widespread.

In industrial area these improvements have led to support national companies to produce industrial devices such as PLC's, AC Inverters, digital temperature and pressure controllers, sensors etc. As a matter of course these improvements have encouraged to make this study about SRM, easy and cheap to produce, drive unit.

In this study hall effect sensors, widely used in industrial area, have been used to perceive position of the rotor. The 6/4 Switched Reluctance Motor has been chosen to control. Inverter hardware and software have been developed in laboratory environment.

In this study, firstly the position of the thesis in literature, some used areas and purpose of the study were mentioned. Then working principles and basic characteristics of switch reluctance motors were discussed. The inverter structures which are used in SRM driver circuit were mentioned. Lastly driver circuit hardware and control circuit's software were discussed and the results of the study were added. This work was supported by Research Fund of the Erciyes University by Project Number: FYL-2013-4356.

Key Words: Hall Effect Sensor; Switched Reluctance Motors; IGBT Drivers; Inverters; Power Converters; Inverter topologies.

İÇİNDEKİLER

HALL EFFECT SENSÖRLÜ ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR SÜRÜCÜ TASARIMI

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	xi

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Literatürdeki Yeri	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2

2. BÖLÜM

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN TEMELLERİ

2.1. Anahtarlamaalı Relüktans Motorun Elektrik Motorları İçerisindeki Konumu	
2.2. Anahtarlamaalı Relüktans Motorun Temel Tanımı	5
2.3. Anahtarlamaalı Relüktans Motorun Yapısı	6
2.4. ARM'lerde Eşdeğer Devre Ve Enerji Dönüşümü	10
2.5. ARM'de Tork-Hız Karakteristiği	14

3. BÖLÜM

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORU SÜRÜCÜ DEVRE MODELLERİ

3.1. Anahtarlamaalı Relüktans Motorları İçin Güç Dönüştürücüler	16
3.2. Anahtarlamaalı Relüktans Motorları İçin Güç Dönüştürücü Gereksinimleri.....	16
3.3. ARM Güç Sürücülerini Sınıflandırılması	17
3.4. Sert (Hard) Anahtarlamaalı Çeviriciler	18
3.4.1. Her Faz İçin Çoklu Anahtarlı Çeviriciler	18
3.4.1.1. Klasik Köprü Çeviriciler	18
3.4.1.2. (n+1) Anahtarlı Çeviriciler	20
3.4.1.3. (nu x nl) Anahtarlı Çeviriciler	22
3.4.2. Her Faz İçin Bir Anahtarlı Çeviriciler	24
3.4.2.1. Bifilar Sargılı Çeviriciler	24
3.4.2.2. C-Dump Çeviriciler	25
3.4.2.2.1. Temel C-Dump Çeviriciler	25
3.4.2.2.2. Değiştirilmiş C-Dump Çeviriciler	27
3.4.2.3. Ortalanmış Kaynaklı Çeviriciler	27
3.4.2.4.1. Sönümleme Dirençli Çeviriciler	29
3.4.2.4.2. Dual Decay Çevirici	30
3.5. Yumuşak (Soft) Anahtarlama Çeviricileri	31
3.6. Sonuç	31

4. BÖLÜM

ARM KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI

4.1. Anahtarlamaalı Relüktans Motor Çevirici Ünitesi	33
4.1.1. Güç Kaynağı Devresi	34
4.1.2. Kontrol Devresi Güç Kaynağı	34

4.1.3. Mikrokontrolör/İşlemci Devresi	34
4.1.3.1. Deneysel Çalışmada Mikrokontrolör Devresi	35
4.1.4. Çevirici Devre	36
4.1.4.1. Deneysel Çalışmada Çevirici Devre	37
4.2. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Rotor Konumunu Algılama	39
4.2.1. Deneysel Çalışmada Rotor Konumunu Algılama	40
4.3. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Kontrolü	43
4.3.1. Deneysel Çalışmada Anahtarlamalı Relüktans Motorun Kontrolü	46
4.4. Deneysel Çalışma	47

5. BÖLÜM

TARŞTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	52
EKLER	54
ÖZGEÇMİŞ	60

KISALTMALAR

AC	Alternatif Akım			
DC	Doğru Akım			
ARM	Anahtarlamalı Relüktans Motoru			
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor			
SMPS	Switched Mode Power Supply			
HIN	High Input (Üst kol IGBT kapı tetikleme giriři)			
LIN	Low Input (Alt kol IGBT kapı tetikleme giriři)			
SD	Shut Down (Kapı sürücü entegresi çıkış susturma girişi)			
PWM	Pulse Width Modulation			
Ah	Amper	Saat	(Ampere	Hour)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 ARM'nin Elektrik Motorları İçerisindeki Konumu	4
Şekil 2.2.a ARM'nin Temel Çalışma Prensibi	5
Şekil 2.2.b Fırçasız DC Motorunun Temel Çalışma Prensibi	5
Şekil 2.3 8/6 ARM'nin Stator ve Rotoru	7
Şekil 2.4.a Tek Fazlı ARM'nin Örtük Rotor Pozisyonu	8
Şekil 2.4.b Tek Fazlı ARM'nin Ortalanmış Rotor Pozisyonu	8
Şekil 2.5 Tek Fazlı ARM'de Rotor Pozisyonuna Göre İndüktans Ve Tork Değişimi	8
Şekil 2.6 4 Fazlı 8/6 ARM İçin Rotor Pozisyonuna Göre İndüktans Ve İdeal Akım/Tork Değişim Grafiği	9
Şekil 2.7 Manyetik Akı Çizgilerinin Stator Ve Rotor Kutupları Üzerine Dağılımı..	10
Şekil 2.8 ARM'de Bir Faz İçin Eşdeğer Devre	11
Şekil 2.9 Manyetizasyon Eğrisi	13
Şekil 2.10 Sabit Akımda Enerji Dönüşüm Grafiği.....	13
Şekil 2.11 ARM Motor Çalışma Bölgeleri	15
Şekil 3.1 ARM Çeviricileri Sürücülerini Sınıflandırma Şeması	17
Şekil 3.2 Klasik Köprü Çevirici	19
Şekil 3.3 (n+1) Anahtarlı Çevirici	21
Şekil 3.4 $2 \times 2 = 4$ Fazlı Anahtarlı Çeviriciler	22
Şekil 3.5 $2 \times 3 = 6$ Fazlı Anahtarlı Çeviriciler	23
Şekil 3.6 Bifilar Sargılı Çeviriciler	25
Şekil 3.7 Temel C-Dump Çevirici Devresi	27
Şekil 3.8 Değiştirilmiş C-Dump Çevirici Devresi	28
Şekil 3.9 Ortalanmış Kaynaklı Çevirici	29
Şekil 3.10 Sönümlenmiş Dirençli Çevirici	30
Şekil 3.11 Dual Decay Çevirici Devre	31
Şekil 4.1 Bir ARM'nin Temel Çevirici Ünitesinin Bölümleri	34

Şekil 4.2 Klasik Çevirici Devre	37
Şekil 4.3 Sert Kıyıcı Modu	39
Şekil 4.4 Yumuşak Anahtarlama	40
Şekil 4.5.a Hall Effect Latch Sensörü	41
Şekil 4.5.a Lineer Hall Effect Sensörü	41
Şekil 4.6 Rotor Konum Algılama	42
Şekil 4.7 Hall Effect Sensörü Temel Algılama Yöntemleri	43
Şekil 4.8 Rotor Konum Algılama Düzeneği	43
Şekil 4.9 3 Fazlı 6/4 ARM'de Temel Anahtarlama Devresi	44
Şekil 4.10 Faz Anahtarının Durumuna Göre Rotor Konumu	45
Şekil 4.11 ARM'nin Rotor Konumuna Göre Komutasyon İşlemi	46
Şekil 4.12 IR2110 IGBT/MOSFET Sürücü Entegre	50
Şekil 4.13 Gerçekleştirilen ARM Sürücü Devre	51

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 Çevirici Devre Topolojilerinin Karşılaştırılması	33
Tablo 4.1 Sensör Çıkışları Ve İlgili Fazların İletim Durumu	47

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Literatürdeki Yeri

Günümüzde sadece belirli amaçlar için kullanılan anahtarlamalı relüktans motorlar (ARM)'in kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Yapısal olarak, mıknatıs ve fırça bulundurmeyen ARM'ler çıkıntılı bir rotora ve statora sahiptir. ARM, hava aralığındaki relüktans değişimi prensibiyle çalışmasından dolayı değişken relüktanslı, faz sargılarının sıralı olarak anahtarlanması şeklinde çalışmasından dolayı anahtarlamalı relüktans motorlar olarak isimlendirilmiştir.

Anahtarlamalı relüktans motorların çalışma prensibi 1840 yılında Wheatsone ve Davidson tarafından tanımlanmıştır. Fakat güç elektroniği teknolojisinin gelişmemiş olması motor kontrolünde büyük güçlükler yaşanmasına sebep olmuştur. Bu bağlamda ilk önemli adım 1969 yılında Nasar ve Ofsenani tarafından atılmıştır [1,2]. Bu dönemdeki güç elektroniğindeki gelişmeler kontrol ünitesi tasarımında kolaylıklar ortaya koymuştur. Günümüzde sadece belirli amaçlar için kullanılan ARM'ler, elektrikli araçlar, pompa motorları, türbinler, jeneratörler, uçak kanatçıkları gibi alanlarda kullanılmaktadır [3].

ARM'ler bir senkron makinanın yapısına sahiptir. Statorunda ve rotorundaki çıkıntılı yapı, rotorunda sargı olmaması, statorunda sargı bulundurması, mıknatıs ve fırça bulundurmaması açısından diğer elektrik makinalarından ayrılmakta ve çalışma prensipleri de diğer elektrik makinalarına göre değişiklik arz etmektedir. Motorun çalışma prensibi relüktans kuvvetine dayanmaktadır. Serbest hareketli, çıkıntılı yapıdaki rotorun, bulunduğu manyetik devre içerisindeki akının, en kolay yol bulabileceği en küçük relüktans konumuna kadar çekilmesi ve bu çekim kuvvetinin rotoru hareket ettirmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu kuvvete relüktans kuvveti denmektedir. Relüktans kuvveti, dönme hareketini sağlayan döndürme momentini oluşturmaktadır. Rotor kutbu, enerjilenen stator kutbuyla hizalanma eğilimi göstermektedir.

Hizalanma tamamen gerçekleştiğinde sıradaki faz enerjilenerek rotorun sıradaki enerjili faz ile hizalanma eğilimine girmesi sağlanmaktadır. Böylece sürekli döndürme momenti elde edilmektedir [3].

Bu basit, maliyeti düşük, bakım gerektirmeyen, yüksek hızlarda çalışabilen yapının dezavantajları rotor konum algılama, dalgalı tork üretimi, akustik olarak gürültülü çalışma ve sürücü üniteye ihtiyaç duymasındır. Bu durum ARM'lerin yaygınlaşmasında engel teşkil etse de elektrikli otomobil ve motosikletler, raylı ulaşım araçları, çamaşır makineleri, elektrikli süpürgeler, elektrikli ev aletleri, yazıcılar, yüksek hızlı pompa ve havalandırma sistemlerinde kullanım alanı bulmaktadır. Literatürde özel amaçlar için farklı ARM ve sürücü üniteler üretilmiştir. [4].

Bu tez çalışmasında, ARM sürücü devre örnekleri incelenmiş, amaca uygun esnek bir sürücü modeli tercih edilmiştir. Toz, kir gibi dış etkenlerden etkilenmeyen ve bakım gerektirmeyen hall effect sensörlerinin kullanıldığı bir rotor konum algılama ünitesi, 6/4'lük bir ARM'nin kontrol devresi ve yazılımı tasarlanmıştır. Laboratuvar ortamında elde edilen test sonuçları sonuç bölümüne sunulmuştur.

1.2. Çalışmanın Amacı

Teknolojinin her alanda kendini göstermesi ve artık günlük hayatımızın vazgeçilmezi oluşu üretim maliyetlerini de düşürmüştür. Bu gelişme elektronik parça bazındaki ucuzlukla birlikte sistem bazındaki ucuzluğu da beraberinde getirmiştir. Bu durum rekabet koşullarını daha da zorlaştırmıştır. Artık geliştirilen sistemlerin yüksek performansa ve kararlılığa sahip olmasının yanı sıra, küçük boyutta, düşük gürültüde, az maliyetle üretilmiş olması bir zorunluluk haline gelmiştir. Çalışması yapılmış olan elektrik makinesi bu özelliklerin tamamını içermesine rağmen ticari alanda henüz gereken ilgiyi görememiştir. Bu çalışma, sektördeki bu boşluğu doldurmaya bir nebze yardımcı olmak, yerli tasarım ve üretimin alternatif sistemlere göre daha ucuz ve basit olduğunu göstermek adına yapılmıştır. Bu çalışmada farklı sürücü devre modelleri incelenmiş, artıları ve eksilerine dikkat çekilerek amaca en uygun model tercihi yapılmıştır.

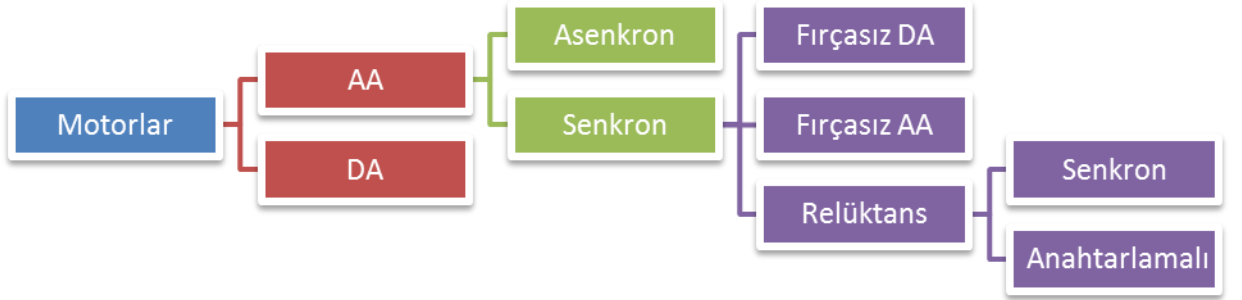
Endüstriyel alanda güvenilirliğini kanıtlamış olan hall effect sensörlerinin, yapısı ve kullanım avantajları açıklanmış, rotor konum algılamadaki rolünden ayrıntılı olarak söz edilmiştir. Günümüz elektrik motor sürücülerinde bulunan özelliklerden, bilgisayar ile takip ve kontrol gibi özellikler eklenmiştir. Akım ve gerilim ölçümü, hata ve uyarıların kayıt altına alınması gibi özelliklerden tasarımda sadeliği korumak adına kaçınılmıştır. Bu çalışmada geliştirilebilir bir ticari ürünün ilk prototipi üretilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN TEMELLERİ

2.1. Anahtarlamaalı Relüktans Motorun Elektrik Motorları İçerisindeki Konumu

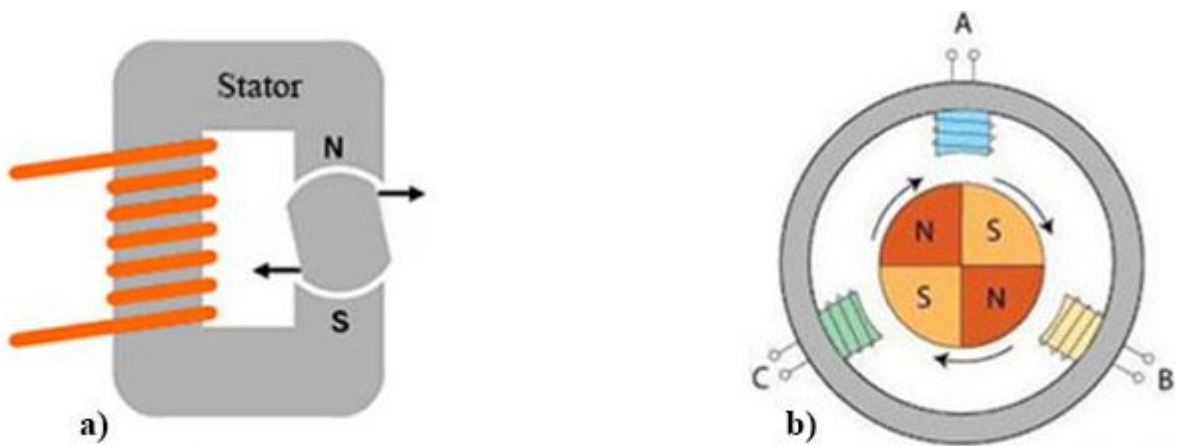
Enerji dönüşümünü dönme hareketi ile yaparak girişindeki elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalara elektrik motorları denir. Torkun üretimi açısından konu ele alınırsa elektrik makinaları iki sınıfa ayrılabilir. Şekil 2.1’de ARM’nin elektrik motorları içerisindeki konumu görülmektedir [6].



Şekil 2.1 ARM’nin Elektrik Motorları İçerisindeki Konumu

İlk kategoride ilki rotorda, ikincisi statorda oluşan iki manyetik alanın çakışması sonucu tork oluşması prensibine dayanan indüksiyon ve DC motorları yer alır. Bu iki makine arasındaki farklar kullanılan geometride ve farklı yollardan bu iki manyetik alanın üretilmesindedir. Kalıcı mıknatıslar, akım ile uyarılmış rotor sargıları gibi.

Birinci kategorideki AC ve DC motorların çalışma prensibi temelde iki mıknatısın birbirini itme ve çekme prensibiyle açıklanabilir (Şekil 2.2.b) [6]. ARM'nin tork üretim prensibi basitçe bir elektromıknatısın demiri çekmesi prensibiyle açıklanabilir (Şekil 2.2.a) [7,8].



Şekil 2.2.a ARM'nin Temel Çalışma Prensibi

Şekil 2.2.b Fırçasız DC Motorunun Temel Çalışma Prensibi

ARM'nin de içinde bulunduğu ikinci kategori, rotor hareketi (dönme eğiliminin) sebebi, rotor kutupları ve akım ile uyarılmış stator kutuplarının aynı hizaya gelme eğilimidir. Bu sebeple stator sargıları enerjilendiğinde bir relüktans torku oluşacak ve rotor en düşük relüktans pozisyonuna doğru hareket edecektir. İlk enerjilenmiş faz, rotor kutbunu ilgili fazın stator kutbuna hizalayacak ve sıradaki faz enerjilenecektir. Rotor kutbu yeni enerjilenmiş fazın stator kutbuna doğru hizalanacaktır. Bu işlem ARM faz sayısı kadar rotor konumuna göre tekrarlanarak rotor dönüş hareketi elde edilecektir.

2.2. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Temel Tanımı

ARM stator ve rotor yapısı bakımından doğru akım motorları ve asenkron motorlara göre daha basit ve dayanıklı, sadece statorunda yoğun sarım bulunan basit bir elektrik makinesidir. Sadece stator kutupları üzerinde sargıları bulunması ve basit bir sarıma sahip olması üretimini kolaylaştırmaktadır. Yapısında mıknatıs bulundurmaması üretim maliyetini düşürmekte ve mıknatısın getireceği kısıtlamalardan kurtarmaktadır. ARM'lerde, fırça ve kollektör düzeneği kullanmaya gerek yoktur. Fırça ve kollektör

düzeneği barındıran motorlar, bakım ve onarıma ihtiyaç duymaktadır. Buna karşılık ARM'lerde bakım ve onarım yok denecek kadar azdır. ARM, stator ve rotordaki çıkıntılı kutup yapısı ve manyetik devresi ile klasik motorlardan oldukça farklıdır. Örneğin asenkron motorda stator ile rotor arasındaki hava aralığı sabittir. Fakat ARM'de stator ile rotor arasındaki hava aralığı sabit değildir ve bundan dolayı rotor kutbu, rotor adımı kadar yol alırken stator kutbu ile oluşturduğu manyetik direnç sürekli değişir [9].

Asenkron motorların hız denetiminde kullanılan çevirici devre anahtarlarının denetimi daha karmaşık ve arıza yapma ihtimali daha yüksektir. Buna karşılık ARM'ye güç sağlayan çevirici devre, çok az güç elemanına ihtiyaç duymaktadır. Bu durum çevirici devreyi ekonomik, güvenilir, denetimi kolay ve arıza riski düşük kılmaktadır. Fazlar birbirinden bağımsız olduğundan herhangi bir fazdaki arıza sadece o fazın devre dışı kalmasına sebep olmaktadır. Bu yapı ARM'nin güvenli ve arızası giderilmesi kolay bir makine olmasına imkân sağlamaktadır.

ARM'lerin artılarının yanında bazı eksikleri de mevcuttur. Rotor ve stator çıkıntılı kutuplu yapısından dolayı fazlar arası geçiş esnasında tork dalgalanması gerçekleşir. Bu dalgalanma rotorda sürekli bir darbeye maruz kalma ve gürültü oluşmasına sebep olur. Bir fazdan diğer faza geçerken, rotor konumu iyi tespit edilemez ise momentte çökme veya durdurma etkisi gibi ters yönlü moment uygulama gerçekleşebilir. Bu nedenle hangi fazın ne zaman uyarılacağı motor miline bağlanacak bir algılayıcı ile tespit edilmeli ya da konum algılayıcısız bir sistem için yüksek güvenilirlikli bir denetim tekniği kullanılmalıdır.

2.3. Anahtarlı Relüktans Motorun Yapısı

ARM, hem stator hem de rotorlarında çıkıntılar bulundurmaktadır. Bu sebepten dolayı çift çıkıntılı bir yapıya sahiptir. Gerçekte bir çeşit senkron motor olan ARM'lerin rotorlarında herhangi bir mıknatıs, sargı yada kısa devre halkası bulunmayıp sadece masif demir veya saç paketi içermektedir [11]. Şekil 2.3'te 8/6 bir ARM'nin stator ve rotoru gösterilmiştir. Faz uyarıldığında ortaya çıkan manyetik akıdan daha çok faydalanmak için ARM'nin statorunu, stator çıkıntılılarına yerleştirilmiş, ince telli, yoğun sarılmış sargılar oluşturmaktadır. Adım motorundakine benzer faz yerleşimi, ARM'lerde de mevcuttur. Karşılıklı iki stator kutbu bir fazı oluşturmaktadır. Stator ve rotor nüvelerinin her biri,

demir kayıplarını azaltmak için ince yaprak halinde lamine saçlardan imal edilmektedir. Genelde stator ve rotor kutup sayılarına göre isimlendirilen ARM'lerde, yüksek hız gerektiren uygulamalarda genelde rotor kutup sayısı stator kutup sayısına göre küçük seçilirken, yüksek tork gerektiren uygulamalarda ise rotor kutup sayısı stator kutup sayısına yakın seçilmektedir.

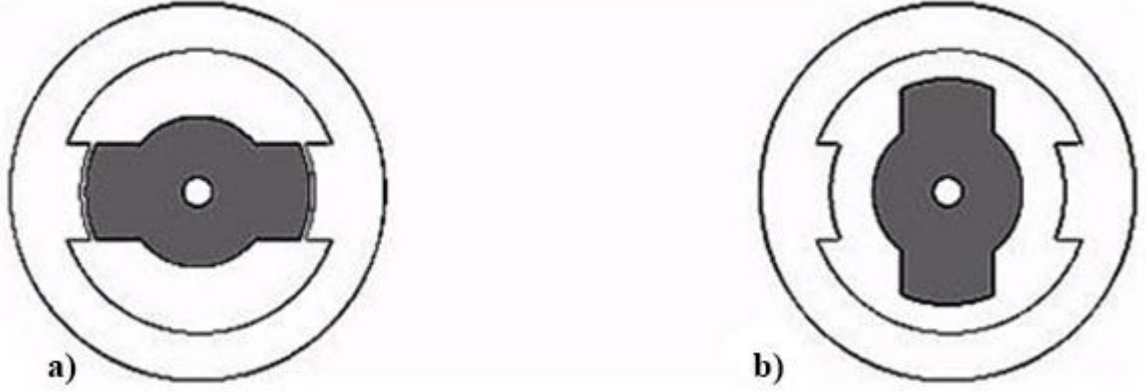


Şekil 2.3 8/6 ARM'nin Stator ve Rotoru

ARM'lerde genellikle stator kutupları rotor kutuplarına göre daha dar tutulmaktadır. Bunun nedeni, statordaki herhangi bir faz uyarıldığında oluşan manyetik alandan daha fazla yararlanabilmek ve sargılara daha geniş yer sağlamaktır [11].

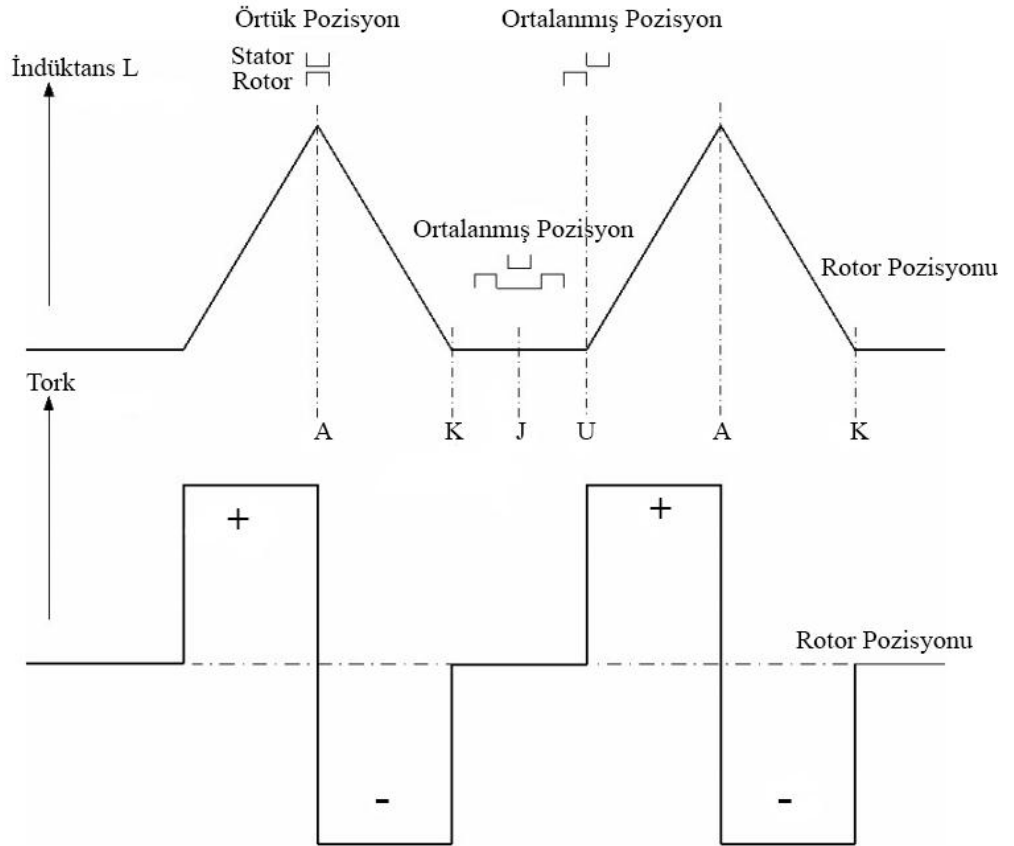
Stator ve rotor kutup genişliklerinin seçimi tahrik sisteminin özelliklerine bağlıdır. Ancak bunun yanında negatif moment üretiminden kurtulmak ve her fazın pozitif ve negatif moment üretme bölgelerini ayırabilmek için rotor kutuplarının genişliği, stator kutuplarının genişliğinden daha büyük seçilmektedir. ARM'lerde genellikle stator kutupları rotor kutuplarına göre daha dar tutulmaktadır. Böylece statordaki herhangi bir faz uyarıldığında oluşan manyetik alandan daha fazla yararlanılmakta ve sargılara daha geniş yer sağlanmaktadır [11].

ARM'lerde stator sargılarına sırasıyla akım darbe şeklinde verilir. Çalışma prensibi temel olarak stator sargılarına akım uygulayarak hava aralığında oluşan relüktansın değiştirilmesi ile rotor hareketinin sağlanması ve tork elde edilmesi şeklindedir. Şekil 2.4.a'da tek fazlı ARM'de rotorun örtük ve Şekil 2.4.b'de ortalanmış pozisyonları gösterilmektedir. Şekil 2.4'deki tek fazlı ARM den hareketle Şekil 2.5'te rotor konumuna bağlı olarak indüktans - tork değişimi görülmektedir.



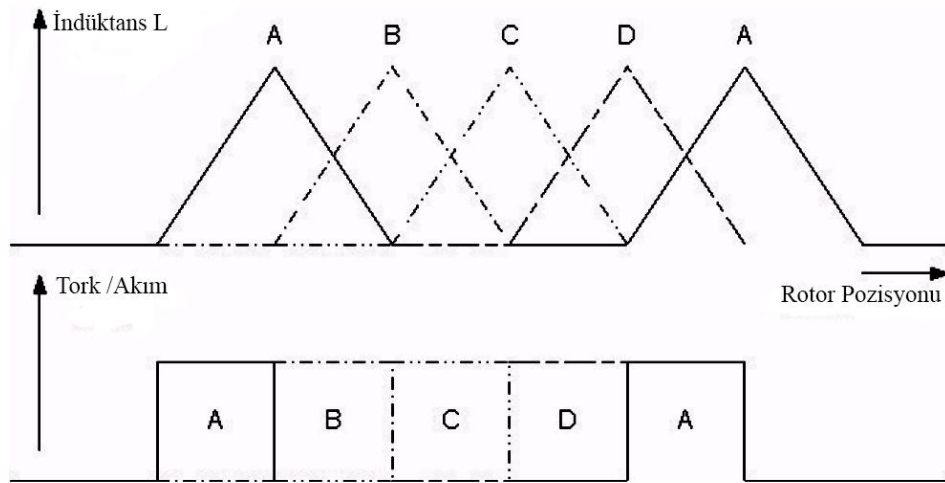
Şekil 2.4.a Tek Fazlı ARM'nin Örtük Rotor Pozisyonu

Şekil 2.4.b Tek Fazlı ARM'nin Ortalanmış Rotor Pozisyonu



Şekil 2.5 Tek Fazlı ARM'de Rotor Pozisyonuna Göre İndüktans Ve Tork Değişimi

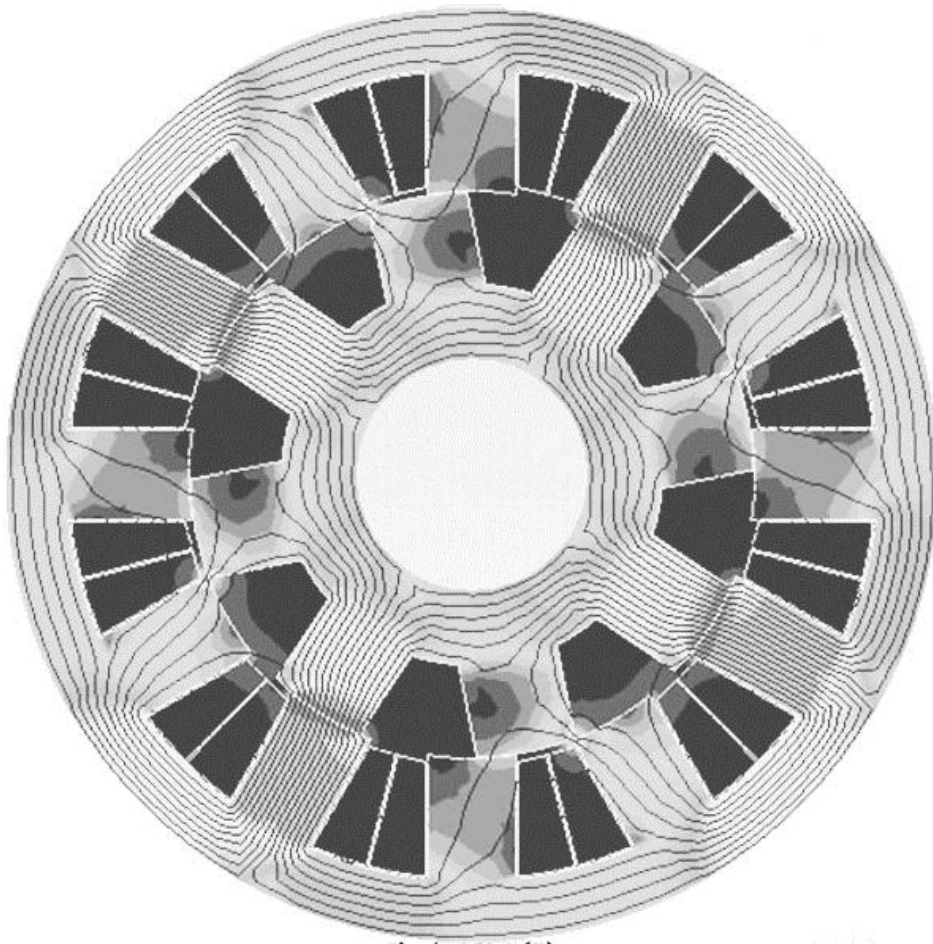
Şekil 2.4'teki bir fazlı ARM sargılarında sabit akım aktığını varsayılırsa, Şekil 2.5'te rotor dönüş açısı θ , değişken indüktans L , kabul edilirse rotor konumuna bağlı olarak indüktans ve tork değişimi Şekil 2.5'te görüldüğü gibi olacaktır. Pozitif tork (rotor döndürme etkisi) U-A arasında indüktans artarken gözlenmektedir. U'da rotor kutup çıkıntısının ilk kısmı stator çıkıntılı kutbuyla hizalanmaya başlamıştır. A'da hizalanma tam karşılıklı pozisyona geçmiş ve Şekil 2.4.a'deki örtük konum oluşmuştur. U çakışmaya başlangıç noktasını, A tam örtük pozisyonu, K Şekil 2.4.b'deki ortalanmış pozisyonu göstermektedir. Oluşan torkun etkisi rotorun pozisyonuna göre anlam kazanmaktadır. U noktasından A noktasına kadar üretilen tork pozitif (döndürme), A noktasından K noktasına kadar üretilen tork negatif (durdurma) yönlü olmaktadır. Durdurucu bu torku elimine etmek için A-K arasında sargı akımı kesilmelidir. Sargı akımının indüktans artışıyla eş zamanlı olarak uygulanmasına uyartım denir. Uyartım yapılmadığında rotor serbest dönüş yapmakta ve bir tork çökmesi gerçekleşmektedir. Bu da ARM'nin olumsuz yönlerinden birisidir. Bu tork dalgalanmasını en aza indirmek için stator ve rotor kutup sayıları ve faz sayısı artırılır [12]. Dört fazlı 8/6 ARM için indüktans değişimi ve ideal akım-tork darbeleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir. İdeal olarak tork sabit ve 360° 'lik dönüşün tamamını kapsamaktadır.



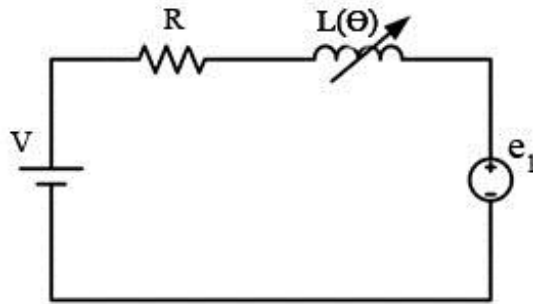
Şekil 2.6 Dört Fazlı 8/6 ARM İçin Rotor Pozisyonuna Göre İndüktans Ve İdeal Akım/Tork Değişim Grafiği

2.4. ARM'lerde Eşdeğer Devre Ve Enerji Dönüşümü

ARM'lerin çalışma prensibi relüktans kuvvetine dayanmaktadır. Manyetik devre içerisindeki manyetik akının serbest hareketli rotoru, stator faz sargısı enerjilendiğinde en düşük relüktans konumuna çekerek döndürmesi prensibiyle çalışmaktadır. Manyetik akı çizgilerinin stator ve rotor kutupları üzerindeki dağılımı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Manyetik Akı Çizgilerinin Stator Ve Rotor Kutupları Üzerine Dağılımı



Şekil 2.8 ARM’de Bir Faz İçin Eşdeğer Devre

Şekil 2.8’de verilen devre bir ARM’nin tek fazı için eşdeğer devreyi göstermektedir. R, her bir faz için stator sargılarına ait direnci, $L(\theta)$ indüktans değerini temsil etmektedir. ARM’nin kontrol gereksinimlerini daha iyi anlayabilmek için ARM’lerin temel formüllerinin bilinmesi gerekmektedir. Basitçe kutup kenarlarında oluşan kaçak akıların etkisi ve manyetik doyum göz ardı edilir, tüm akının stator ve rotor çıkıntılı kutupları üzerinden radyal doğrultuda aktığı kabul edilirse bir faz için gerilim denklemi eşitlik 2.1’deki gibi olacaktır.

$$V = R \cdot i + L \frac{di}{dt} + \omega_m \cdot i \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad (2.1)$$

V, bir faz için gerilim değerini, i akımını, R faz direncini, L indüktansı, θ rotor pozisyonunu ve ω_m açısal hızı göstermektedir. Kutuplar çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu için, manyetik yol motor hareketi esnasında farklıdır. Bunun sebebi rotor örtük konumda relüktansın çok düşük, ortalanmış konumda en yüksek değerinde olmasıdır. Formül olarak indüktans eşitlik 2.2’deki gibidir.

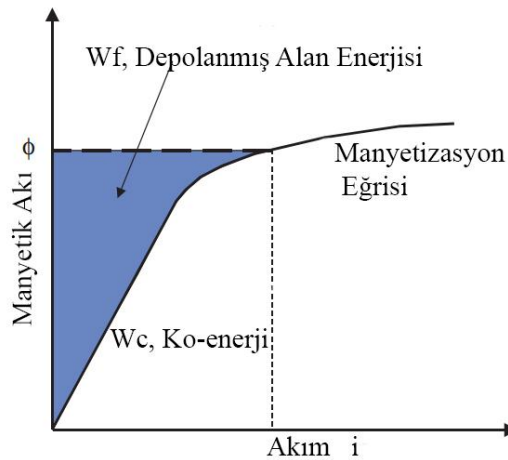
$$L(\theta) = \frac{N^2}{\mathfrak{R}(\theta)} \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2’de L indüktansı, N fazdaki sargı tur sayısını, \mathfrak{R} faz relüktansını gösterir. Yukarıdaki eşitlik ve relüktans değişimi indüktif eğriler ile ilişkilidir. Enerji ve indüktansın arasındaki bu ilişki ile eşitlik 2.3’teki tork eşitliğine varılır.

$$T = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad (2.3)$$

Faz ile rotor kutup pozisyonlarının senkronize edilmesi motor kontrol devresinin esas görevidir. Hava aralığı gücü elektromanyetik torkun ve hızın bir sonucu olduğundan, ARM'lerin döndürme momenti akımın yönüne değil sadece genliğine bağlıdır. Eşitlik 2.3'te torkun, akım yönünden bağımsız olduğu görülmektedir. Dolayısıyla motorun sürücü devresinde kullanılacak yarı iletken sayısı diğer sürücülere nazaran daha azdır. Bunun yanında tork değeri indüktansın değişimine bağlı olduğundan, eğer akım indüktansın artma yönünde uygulanırsa döndürme (moment pozitif) olurken, akımın indüktansı azaltma yönünde olması durumunda ise durdurma (moment negatif) olacaktır. Akım darbelerinin, indüktans değişiminin hangi bölgelerinde uygulanacağını tespit edilmesi ve bu bölgelere ait rotor konumunun bilinmesi gerekmektedir.

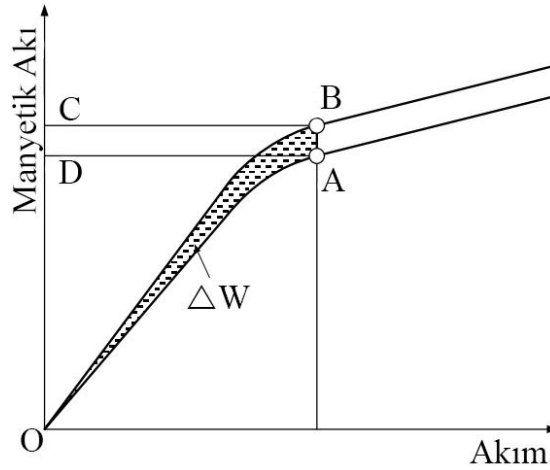
Stator sargılarına akım uygulandığında stator kutbunda bir manyetik akı oluşur. Oluşan bu manyetik akı ile uygulanan akım arasındaki ilişki Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bu eğriye manyetizasyon eğrisi denir. Statorda depo edilen enerji W_{em} iki kısımdan oluşur. Depo edilen enerji W_f ve Koenerji W_c 'dir.



Şekil 2.9 Manyetizasyon Eğrisi

Manyetizasyon eğrisi altında kalan Koenerji W_c eşitlik 2.4'teki gibi ifade edilir.

$$W_c = \int \phi di \quad (2.4)$$



Şekil 2.10 Sabit Akımda Enerji Dönüşüm Grafiği

Uyartımın etkisiyle rotor kutupları hizalanma yönünde hareket eder ve sargıdaki enerji dönüşmüş olur. Enerjinin dönüşüm alanı Şekil 2.10'da OBAO arasındaki alan anlık olarak torkun üretildiği alandır.

Ani tork, ΔW_m ifadesinin integrasyonu sonucu elde edilmiştir. Torkun rotor açısına göre değişimi eşitlik 2.5 ile ifade edilir.

$$T = \frac{dW_m}{d\theta} \quad (2.5)$$

Manyetizasyon eğrisinin herhangi bir noktasında koenerji ve depolanmış enerji eşittir. Eşitlik 2.6 bu eşitliği göstermektedir.

$$W_f = W_c = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 \quad (2.6)$$

Seçilen indüktans L, sabit akım i, alınırsa indüktans

$$L = \frac{\tau}{\omega} \quad (2.7)$$

Anlık tork denklemi

$$T = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad (2.8)$$

şeklinde basitleştirilebilir.

Denklem 2.8'den de açıkça görüldüğü gibi tork değeri iki temel parametreye, akım ve indüktansa bağlıdır. Bunlarda sistemin kontrolü için gerekli olan ana parametrelerdir.

2.5. ARM'de Tork-Hız Karakteristiği

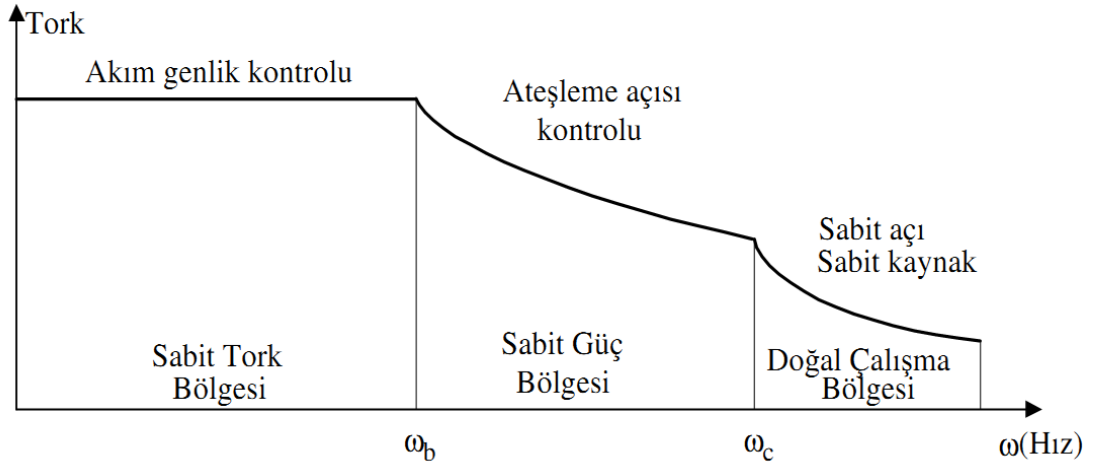
ARM'lerde uygulanan denetim şekline göre tork-hız eğrileri oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Bir ARM için çalışma şartları Şekil 2.11'de görüldüğü gibi motor hızına göre sabit tork bölgesi, sabit güç bölgesi ve doğal çalışma bölgesi olarak üç farklı bölgeye ayrılmaktadır. Sabit Tork Bölgesi, temel hız ω_b 'nin altındaki hızlar için, çevirici devre tetikleme (ateşleme) açısı sabit bir değerde tutulmakta ve böylece motor torku en az dalgalanma ile en büyük değere çıkarılmaktadır. Motor faz akımları ayarlanarak motor ortalama torku denetlenmektedir.

Motor stator fazları sıralı bir şekilde enerjilendirilmektedir ve böylece bir anda sadece bir faz aktif olmaktadır. İki fazın da geçici olarak aktif olduğu komütasyon periyotları bunun dışındadır. Tork denetimli çalışmada, aktif fazdaki akım bir akım regülatörü tarafından kontrol edilmektedir.

Sabit güç bölgesi, temel hız ω_b 'nin üzerindeki hızlar için akım regülatörü etkili olmamaktadır. Çevirici tetikleme açısı, hızın bir fonksiyonu olarak artırılarak, motor hızı artırılabilen ve böylece $\omega \cdot T$ değeri sabit hale getirilebilmektedir.

Doğal çalışma bölgesinde motor hızı ω_c hızından büyük olduğu zaman dönüştürücü

tetikleme açısı en büyük değerine getirilebilmektedir. ARM böylece doğal tork–hız karakteristiği ile çalışabilmektedir [5].



Şekil 2.11 ARM Motor Çalışma Bölgeleri

BÖLÜM 3

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR SÜRÜCÜ DEVRE MODELLERİ

3.1. Anahtarlama Relüktans Motorları İçin Güç Dönüştürücüler

Anahtarlama relüktans motoru araştırmaları temel konularından birisi de çevirici devre topolojileridir. Performans ve maliyet sürücü ünite tasarımında en büyük rolü oynayan parametrelerdir. Fazların bağımsız oluşu ve akım yönünden bağımsız çalışabilmeleri pek çok çevirici devre tasarımının kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. Farklı çevirici topolojiler üzerinde hızlı anahtarlama, az anahtar sayısı, düşük maliyet gibi parametreler değerlendirilmiştir. Her topolojinin artı ve eksileri mevcuttur. Amaca uygun motor ve çevirici topolojisinin avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak en uygun seçim yapılmaktadır [13].

3.2. Anahtarlama Relüktans Motorları İçin Güç Dönüştürücü Gereksinimleri

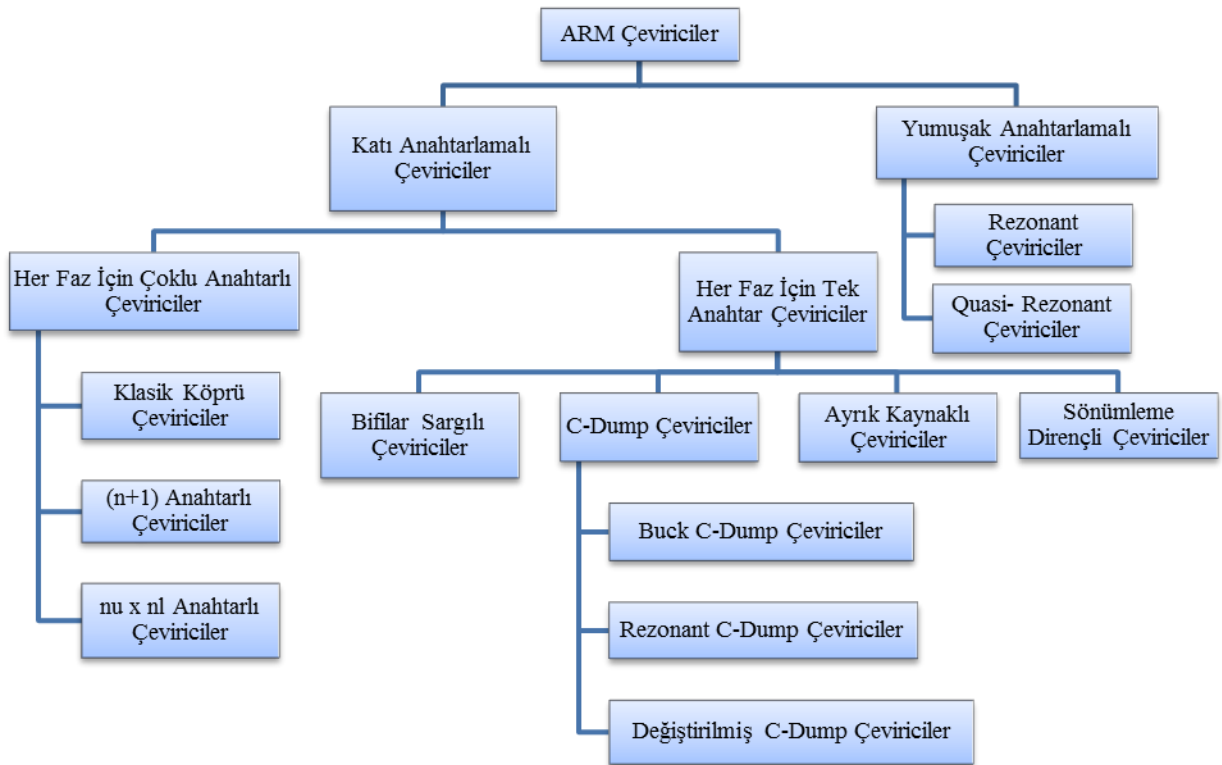
Belirli bir amaç için güç dönüştürücü topoloji seçimi önemli bir konudur. Bir ARM güç dönüştürücüsünün aşağıdaki temel özelliklere sahip olması gerekir;

- Her bir faz birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmelidir. Bunun anlamı her faz için en az bir anahtarlama elemanı bulunmalıdır.
- Faz değişimi yapılmadan önce dönüştürücü topolojisi sargıda depo edilmiş demanyetizasyon enerjisini jeneratör bölgesine geçmeden kaynağa aktarabilmelidir.

Performansı arttırmak için çevirici devre daha yüksek verim, daha hızlı uyartım süresi, daha hızlı demanyetizasyon, yüksek güç ve hata toleransı gibi özellikleri de barındırmalıdır.

Temel gereksinimlere ek olarak;

- Dönüştürücü, fazların aynı anda kontrol edilmesine (faz örtüşmesine) izin vermelidir.
- Demanyetizasyon enerjisini verimli bir şekilde kaynağa döndürmelidir.
- Komutasyon periyodunu azaltmak için dönüştürücü kapatılan fazın demanyetizasyon enerjisi boşaltım süresini kısaltmak için ters yönde yüksek bir voltaja sahip olmalıdır.
- Dönüştürücü yüksek uyartım voltaj ve akımına dayanıklı ve destekler olmalıdır. Bu durum motor çıkış gücünü olumlu yönde etkileyecektir.



Şekil 3.1 ARM Çeviricileri Sürücüleri Sınıflandırma Şeması

3.3. ARM Güç Sürücüleri Sınıflandırılması

Anahtarlama relüktans motorların kontrolü için temel gereksinimler göz önünde bulundurularak şekil 3.1 sınıflandırma şeması oluşturulmuştur. Çeviriciler işlemleri ve tasarımları baz alınarak sınıflandırılmış, sert ve yumuşak anahtarlama olarak iki ana

bölüme ayrılmıştır. Sert (hard) anahtarlamaalı çeviriciler içerisinde bir faza bir eleman düşerken diğer çeviricilerde bir faza birden fazla eleman düşmektedir. Bir faza bir eleman düşen çeviriciler sınıfında Bifilar Sargılı Çeviriciler, C-Dump Çeviriciler, Ortalanmış Güç Kaynaklı Çeviriciler ve Sönümlenme Dirençli Çeviriciler girmektedir. Bir faza birden çok eleman düşen çeviriciler olarak Klasik Çeviriciler, (n+1) Anahtarlı Çeviriciler, (nu+nl) Anahtarlı Çeviriciler girmektedir. C-Dump Çeviriciler farklı alt bölümlere ayrılarak performans ve verim artırıcı şekilde düzenlenmiş ve Buck C-Dump, Rezonant C- Dump, Değiştirilmiş C-Dump, Enerji-Verimli C-Dump Çeviriciler olarak alt dallara ayrılmıştır.

3.4. Sert (Hard) Anahtarlamaalı Çeviriciler

Sert (Hard) Anahtarlamaalı Çeviriciler, giriş voltajını anahtarlayarak kabul edilebilir bir anahtarlama kaybı ve dönüştürücü performansını artırıcı bir etkiyle çalışırlar. Bu durum rezonant kapasitörlerine ve indüktörlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırarak çevirici maliyetini düşürür.

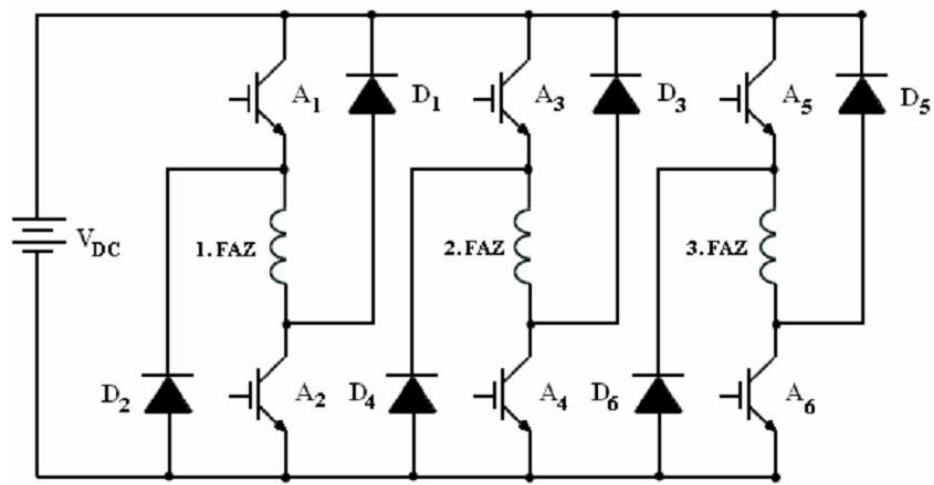
3.4.1. Her Faz İçin Çoklu Anahtarlı Çeviriciler

Her faz için iki veya daha fazla eleman düşen çeviricilerdir. Çeviricilerin çoğu bu kategoridedir. Bu kategorideki çeviricilerin faz başına kullanılan eleman sayılarının fazla oluşu sebebiyle fazda oluşan gerilim düşümü, düşük genlikli uygulamalarda kullanılmalarını olumsuz etkiler.

3.4.1.1. Klasik Köprü Çeviriciler

Klasik köprü çeviriciler faz sargısı başına düşen eleman sayısının problem olmadığı en kullanışlı ve esnek çevirici türüdür. Bu dönüştürücüde şekil 3.2'deki görüldüğü gibi dört durum vardır. A1 ve A2 anahtarının seri olarak bağlı olduğu Faz 1'in iletim durumunda iken A1 ve A2 anahtarları iletim durumundadır. V_{DC} , DC kaynağı fazı manyetize eder. Bu durum genelde motor kontrol edilmeye başlamadan hazırlık aşamasında rotor ve stator çıkıntılı kutupları örtüşmeye başladığı anda gerçekleştirilir. Faz indüktansı artmadan faz

akımı referans seviyeye gelir. Bu durum tork dalgalanmasını azaltır. Akım referans değere ulaştığında çevirici akım regülasyon moduna geçer. Bu modda akım, anahtarlardan birinin komutasyon süresince iletim, diğerinin açılıp kapatılarak (kırpma) akım referans değerinde tutulur. Komutasyonu başlatmak için her iki anahtar da kesim durumunda tutulur. Bu esnada faz sargısındaki demanyetizasyon enerjisi D1 ve D2 diyotları aracılığıyla kaynağa aktarılır. Komutasyonun kesim durumunda faz sargısında $-V_{DC}$ görülür. Bir faz manyetize olurken diğer faz demanyetize olabilir. Bu durum da tork dalgalanmasını azaltır.



Şekil 3.2 Klasik Köprü Çevirici

Bu topolojinin avantajları:

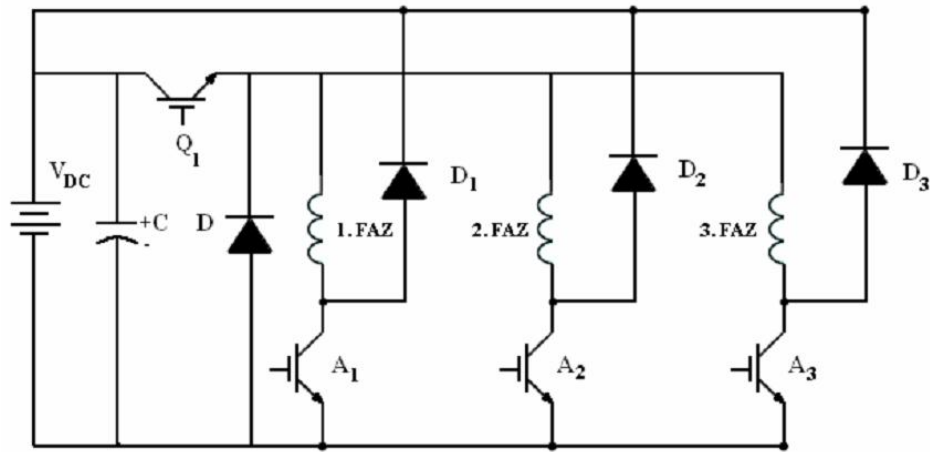
- Bir fazın kontrolü diğerinden tamamen bağımsızdır.
- Tüm elemanların voltaj değerleri düşüktür.
- Düşük hızlarda anahtarlama frekansı küçüktür ve anahtarlama kayıpları azdır.
- Anahtarlama elemanları kesim pozisyonunda iken sargıda depo edilmiş (demanyetizasyon) enerji kaynağa aktarılır. Bu da enerjinin verimli kullanılmasına yol açar.

Bu topolojinin en önemli dezavantajı çok sayıda eleman kullanımınıdır. Bir faz için kullanılan diyot ve anahtarlama elemanları üzerinde gerilim düşümü olacağı için düşük genlikli uygulamalarda kullanılmaya uygun değildir. Çok sayıda eleman kullanılması çevirici maliyetini de arttırır.

Bu çevirici yüksek voltajlı ve verimin çok önemli olduğu durumlarda en iyi tercihtir. Yüksek genlikli uygulamalarda maliyetin, dönüştürücü devrenin verim ve performansı ile karşılaştırıldığında önemsenmeyecek derecede düşük kalacaktır.

3.4.1.2. (n+1) Anahtarlı Çeviriciler

Klasik dönüştürücü topolojisinin yüksek sayıda anahtarlama elemanı gerektirmesi, klasik dönüştürücüden farklı bir dönüştürücü arayışını ortaya koymuştur. Çözüm olarak faz sayısından bir fazla sayıda anahtarlama elemanı gerektiren (n+1) anahtarlı çeviriciler geliştirilmiştir. Şekil 3.3'te üç fazlı ARM için tasarlanmış (n+1) Anahtarlı Çevirici devresi görülmektedir.



Şekil 3.3 (n+1) Anahtarlı Çevirici

Bu topoloji n fazlı bir sistem için n+1 anahtar gerektirir. Bir anahtarlama elemanı tüm fazlar tarafından ortak kullanılmaktadır. Demanyetizasyon için kullanılacak diyot sayısı da n+1'dir.

Bir fazın iletimi esnasında Q_1 ortak anahtar ve ilgili fazın anahtarlama elemanı iletim durumuna getirilir. DC kaynak, fazı manyetize eder. Akım referans değere ulaştığında çevirici akım regülasyon moduna geçer. Bu modda Q_1 ortak anahtarı kesime geçirilir. Faz anahtarı ve faz diyotu üzerinde serbest akış gerçekleşir. Faz anahtarı iletimde iken referans akım ortak anahtar tarafından kırılarak oluşturulur. Komutasyon faz anahtarı ve ortak

anahtarın kesime geçmesiyle başlar. Demanyetizasyon, faz diyotu ve ortak anahtar diyotu ile demanyetizasyon enerjisinin DC kaynağa aktarılmasıyla biter. Komutasyon esnasında faz sargıları $-V_{DC}$ gerilimiyle karşılaşır. Sonraki faz, anahtarı kapatılan faz sargısı demanyetize olmadan iletim durumuna getirilmez.

Sonraki fazı manyetize edebilmek için ortak anahtar ilettime geçirilmelidir. Bu durum anahtarı kapatılmış fazdaki demanyetizasyon enerjisinin, kapalı faz üzerinden yol bulmasına ve sıfır voltaj geçişine zorlar. Bu yüzden demanyetizasyon yavaş olur.

Bu topolojinin avantajları:

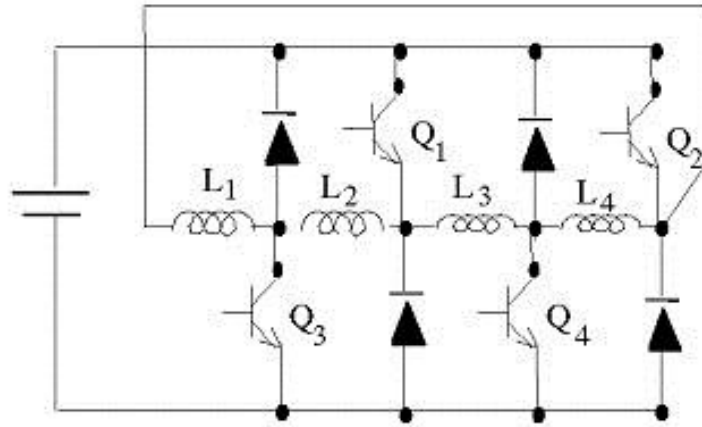
- Az sayıda eleman ve anahtar kullanıldığı için maliyet düşüktür.
- Kırpma esnasında serbest akışa izin verir. Bu durum anahtarlama frekansını ve kayıplarını azaltır.
- Tüm anahtarlama elemanları ve diyotların gerilim değerleri V_{DC} ile orantılı olarak düşüktür.
- Anahtarı kapalı olan fazın demanyetizasyon enerjisi kaynağa aktarılır. Bu da verimi artırıcı bir etkidir.

Bu topolojinin en önemli dezavantajı anahtarı kapatılmış bir fazın demanyetizasyonu esnasında sonraki fazın anahtarlanamamasıdır. Bu da komutasyon esnasında daha büyük tork dalgalanması anlamına gelir. Yüksek hızlarda anahtarı kapatılmış faz yeterince hızlı demanyetize olamayacaktır. Çünkü ortak anahtar Q_1 sonraki faz için tekrar iletim konumuna getirilir. Bu da zorlanmış demanyetizasyona imkân vermez. Ortak anahtar her faz için kullanıldığından yüksek miktarda anahtarlama baskısına maruz kalacaktır.

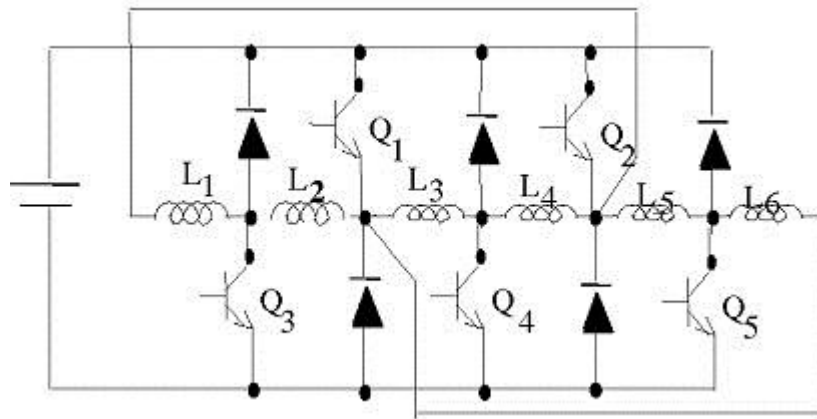
Bu dönüştürücüde, seri olarak her faz için iki eleman kullanıldığından düşük voltaj uygulamalarında kullanılmaya uygun değildir. Çünkü ileri yönde gerilim düşümü fazla olacaktır. Bu dönüştürücü yüksek voltaj uygulamalarında, düşük performanslı, maliyetin önemli olduğu tork dalgalanmasının önemli olmadığı uygulamalarda kullanılmaya elverişlidir.

3.4.1.3. (nu x nl) Anahtarlı Çeviriciler

Her anahtarlama elemanının birden fazla sargıya bağlandığı çevirici devre topolojilerinden biri de (nu x nl) anahtarlı çeviricilerdir. Bu dönüştürücülerden iki farklı tasarım şekil 3.4 ve şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 $2 \times 2 = 4$ Fazlı Anahtarlı Çeviriciler



Şekil 3.5 $2 \times 3 = 6$ Fazlı Anahtarlı Çeviriciler

Maksimum faz sayısı 4 ve 6 olan dönüştürücü topolojileri şekil 3.4 ve şekil 3.5’de verilmiştir. 4 fazlı dönüştürücü de 2 üst ve 2 alt anahtarlama elemanı kullanır (Şekil 3.4). Her anahtar 2 faz sargısına bağlıdır. 6 fazlı dönüştürücü ise 2 üst ve 3 alt anahtardan oluşur (Şekil 3.5). Üst anahtarların her biri 3 faza alt anahtarların her biri ise 2 faza bağlıdır. Eğer faz sayısı artarsa her fazdaki anahtarlama eleman sayısının azalmasına sebep olur. Fakat daha fazla sayıda faza bağlanacağı için anahtarlama elemanının stresi artar.

Bu dönüştürücülerin farklı iletim durumları şöyle açıklanabilir. L_2 fazı iletim durumunda iken Q_1 ve Q_3 anahtarları iletime geçirilir. DC kaynak fazı manyetize eder, akım referans değerine ulaştığında, dönüştürücü akım regülasyon moduna geçer. Bu durumda akım Q_1 anahtarı ve D_3 diyotundan serbest akış yapar. Q_1 iletim durumunda iken akım Q_3 anahtarı tarafından referans değerinde kırpmaya yapılarak muhafaza edilmiştir. Komutasyon Q_1 ve Q_3 anahtarları kesime götürülürken başlatılır. Faz D_1 ve D_3 üzerinden DC kaynağa demanyetize olur. Komutasyon süresince faz sargılarında $-V_{DC}$ genliği görülür. Anahtarların bazı kombinasyonları tüm fazlarda faz ilerlemesine izin vermez. Bu konfigürasyonlarda kapatılan fazın demanyetizasyonu bitinceye kadar sıradaki faz iletime geçirilemez. 4 fazlı konfigürasyonda 3 fazın komutasyonu faz ilerlemesine izin verir. 4. fazın komutasyonu esnasındaki herhangi bir faz ilerletme denemesi, kapatılan fazın demanyetizasyonunu yavaşlatır. Çünkü faz akımı diyot üzerinden serbest akış yapacaktır. 6 fazlı konfigürasyon, uygun anahtarlama sırası takip edilirse tüm fazlarda faz ilerlemesine izin verir.

Bu topolojinin avantajları:

- Düşük anahtarlama elemanı ile düşük çevirici maliyeti
- Faz sayısı arttıkça faz başına düşen anahtarlama elemanı sayısı da azalır
- Çok fazlı bir sistem için kullanışlı bir topoloji sunar. Düşük faz sayılı sistemler için yüksek miktarda anahtar gerektirir.
- Dönüştürücü kıyım işlemi esnasında serbest akış yapabilir. Bu da anahtarlama frekansını ve kayıplarını azaltır.
- Anahtarlama elemanları voltaj değerleri DC kaynak gerilimi seviyesindedir.
- Demanyetizasyon enerjisi kaynağa aktarılması verimi artırır.

Dezavantaj olarak en yaygın faz sayısı olarak 4 fazlı bir topolojiden söz edilirse;

- Faz kaydırmanın daha az eleman sayısına sahip bir sistemle mümkün olmaması,
- Anahtarlama elemanlarında elektriksel baskının fazla olması
- Her faza 2 eleman düşmesinden dolayı düşük gerilimli uygulamalara uygun olmaması sayılabilir.

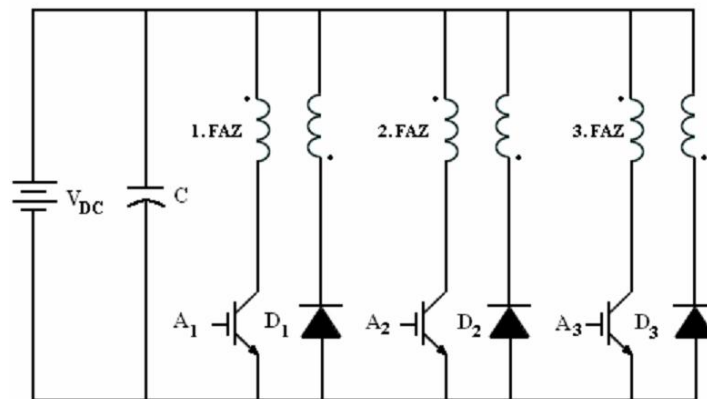
3.4.2. Her Faz İçin Bir Anahtarlı Çeviriciler

Her faza bir anahtarlama elemanı kullanılan bu topolojiler, otomotiv ve endüstri için çok uygun çevirici devreleridir. Farklı topolojilerden aşağıda bahsedilmiştir. Bu topolojiler çoğunlukla enerji yolu ve faz sargı şekli açısından birbirinden ayrılır.

3.4.2.1. Bifilar Sargılı Çeviriciler

Bu dönüştürücülerde komutasyon esnasında kapatılan fazdaki demanyetizasyon enerjisini geri kazanmak için motorun her fazına ekstra bir sargı eklenmiştir.

Bu devre yaygın olarak step motorlarda kullanılır. Şekil 3.6'da 4 fazlı bir ARM için bifilar sargılı çevirici devresi görülmektedir.



Şekil 3.6 Bifilar Sargılı Çeviriciler

Çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir; Birinci fazın iletimi için A_1 anahtarı iletime geçirilir. Akım istenen değere ulaştığında A_1 anahtarı kesime götürülür. Faz sargısında depo edilmiş olan demanyetizasyon enerjisi manyetik olarak çiftlenmiş faz sargısı üzerinden yardımcı sargıya aktarılır. Yardımcı sargı üzerinden de D_1 diyotu üzerinden kaynağa aktarılır. Akım A_1 'in histeresis kontrolüyle sabit tutulmaya devam ettirilir. Komutasyon faz akımı sıfır oluncaya kadar A_1 anahtarının kesimde tutulmasıyla tamamlanır. Önceki faz iletimde veya hala faz komutasyonunda iken diğer faz iletime geçirilebilir.

Bu topolojinin avantajları:

- Düşük anahtarlama elemanı ile düşük çevirici maliyeti
- Komutasyon esnasında hızlı demanyetizasyona izin verir

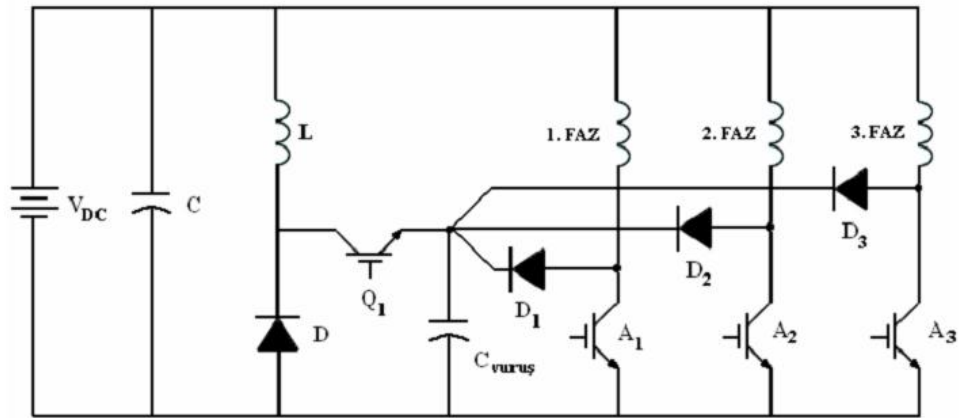
Dezavantajları:

- Kıyım esnasında faz sargısında $-V_{DC}$ görülür ve serbest akışa izin verilmez. Bu durum kıyım esnasında akımda dolayısıyla torkta dalgalanma anlamına gelir.
- Her fazına yardımcı bir sargı gerektirir bu da ekstra üretim maliyeti ve özel üretim motor demektir.
- Komutasyon esnasında sargılarda $2V_{DC}$ genlik görülür bu da elemanların değerlerinin $2V_{DC}$ 'ya yükseltilmesini gerektirir.
- İki sargının iyi kuple edilmemesi durumunda faz anahtarları kapatılırken sargılar arasında voltaj sıçraması gerçekleşecektir.
- Yardımcı sargılarla birlikte bakır kayıpları pek çok uygulama için kabul edilemez derecede yükselecektir.

3.4.2.2. C-Dump Çeviriciler

Literatürde çok çeşitli C-Dump çevirici bulunmaktadır. Tüm bu topolojilerde kapanan fazın enerjisi bir kondansatöre boşaltılır. Kondansatör ise bu enerjiyi tekrar kaynağa aktarır.

3.4.2.2.1. Temel C-Dump Çeviriciler Şekil 3.7'de temel C-dump çevirici devresi görülmektedir.



Şekil 3.7 Temel C-Dump Çevirici Devresi

İletim, birinci faz için A_1 'in ilettime geçmesiyle başlar. Faz A_1 'in kesime götürülmesiyle faz demanyetize olur. Komutasyon periyodu boyunca D_1 diyotu ileri yönde doyuma uğramış ve enerjisi C kondansatörüne transfer etmiştir. C 'nin depolanmış enerjisi $2V_{DC}$ 'ye ulaşır. Kapanan fazın sargılarında depo edilen enerji $-V_{DC}$ gerilimini daha hızlı boşaltmak için C kondansatöründeki enerji Q_1 anahtarı aracılığıyla kaynağa aktarılır. Q_1 boşaltma anahtarının faz anahtarlarından çok daha hızlı çalışması ve kontrol edilmesi gerekmektedir.

Bu topolojinin avantajları:

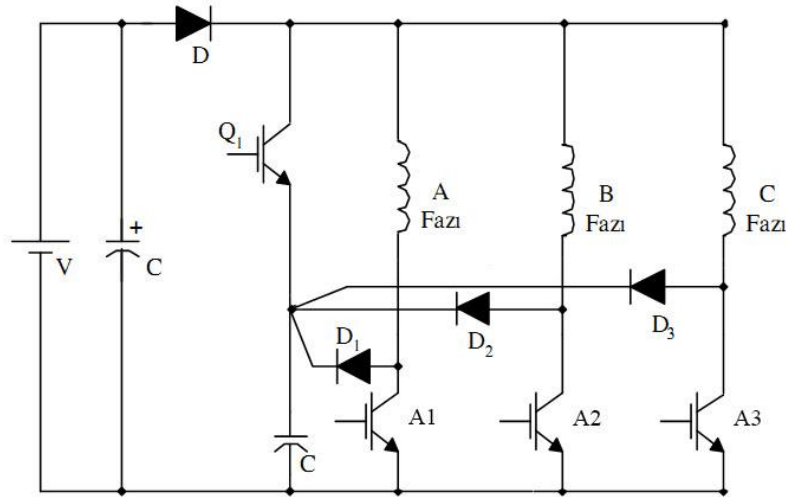
- Düşük anahtarlama elemanı içerir ve ileri yönlü gerilim düşümü azdır.
- Tam rejeneratif bir yapıya sahiptir.
- Faz iletirmeye izin veren bir yapısı vardır.

Dezavantajları:

- Temel dezavantajı boşaltım sistemi için boşaltım bobini ve kondansatöre ihtiyaç duymasıdır.
- Elemanların sınır değerleri $2V_{DC}$ olmalıdır.
- Hızlı demanyetizasyon için kondansatörün gerilim sınırı en az $2V_{DC}$ olmalıdır.
- Q_d 'nin açılma ve kapanmaz zamanlarının tayini için V_{DC} 'nin voltaj doyumunu gözlemek çok karmaşık bir işlemdir.
- Serbest akışa izin vermeyen bir tasarımdır.

3.4.2.2. Değiştirilmiş C-Dump Çeviriciler

Pek çok C-Dump çevirici topolojisi vardır. Şekil 3.8’de görülen değiştirilmiş C-Dump Çevirici devresidir. Bu devre temel C-Dump çevirici devresinden boşaltım bobininin çıkarılmasından geliştirilmiştir. Bu devrenin en büyük avantajı boşaltım bobininin elimine edilerek fazın iletim anında kondansatöre demanyetize olmasıdır. Aktif faz bu durumda V ’den daha büyük bir faz genliği ile karşılaşır. Bu da hızlı manyetizasyona sebep olur. Kondansatör voltajı bu hızlı manyetizasyonu sağlamak için $2V$ ’de tutulur. Komutasyon esnasındaki faz gerilimi, kondansatör gerilimi ile V_{DC} arasındaki farktır. Bu da kapasitör geriliminin çok yüksek değerlere sıçrayıp hızlı anahtarlama yapılmasına imkân sağlar. Bu yüksek kapasite kondansatör ve yüksek değerlikli diyot kullanılmasını gerektirir. Daha yüksek hızlarda faz enerjilenirse kondansatörü yeni komutasyondan önce $2V$ ’ye deşarj etmek mümkün olmayacaktır. Ayrıca serbest akış, komutasyon esnasında kondansatör voltajından etkilenecektir. Sonuç olarak C-Dump yüksek verimli düşük voltajlı sürücü maliyetinin önemli olmadığı uygulamalarda kullanılır.

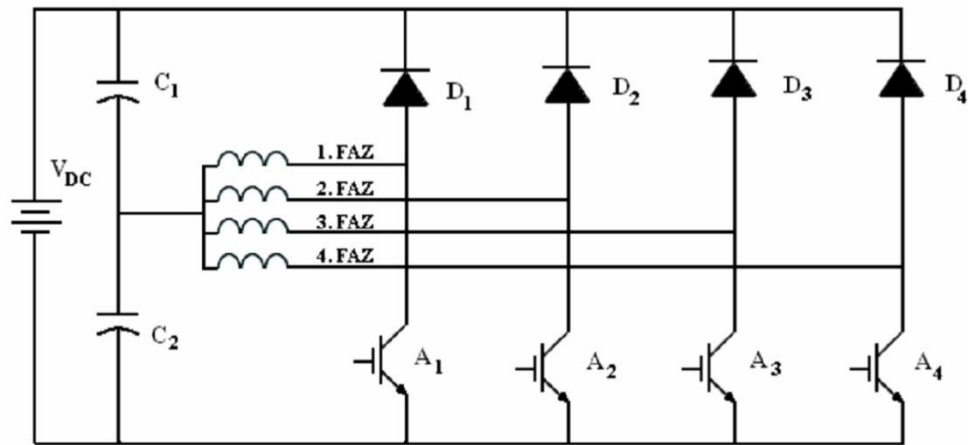


Şekil 3.8 Değiştirilmiş C-Dump Çevirici Devresi

3.4.2.3. Ortalanmış Kaynaklı Çeviriciler

Şekil 3.9 Ortalanmış güç kaynaklı dönüştürücü devreyi göstermektedir. Ana güç kaynağı V_{DC} kondansatörler aracılığıyla ikiye ayrılmıştır. İletim esnasında kaynağın yarı gerilimi faza, komutasyon esnasında ise demanyetizasyon enerjisi diğer güç kaynağına aktarılır.

Her faz bir anahtar ve diyot gerektirir. Birinci fazın iletimi A_1 anahtarının açılmasıyla gerçekleşir. Bu anda C_1 faz enerjisini sağlar. Akım referans değerine ulaştığında A_1 anahtarı kesime götürülür ve faz enerjisi D_1 diyotu üzerinden C_2 kondansatörüne boşalır. Q_1 histerezis kontrolüyle akım referans değerinde sabit tutulur. Komutasyon, birinci fazın tüm enerjisinin C_2 'ye aktarınca tamamlanır.



Şekil 3.9 Ortalanmış Kaynaklı Çevirici

Bu topolojinin avantajı: Az elemanlı ve komutasyon esnasında hızlı demanyetizasyon özelliği olmasıdır.

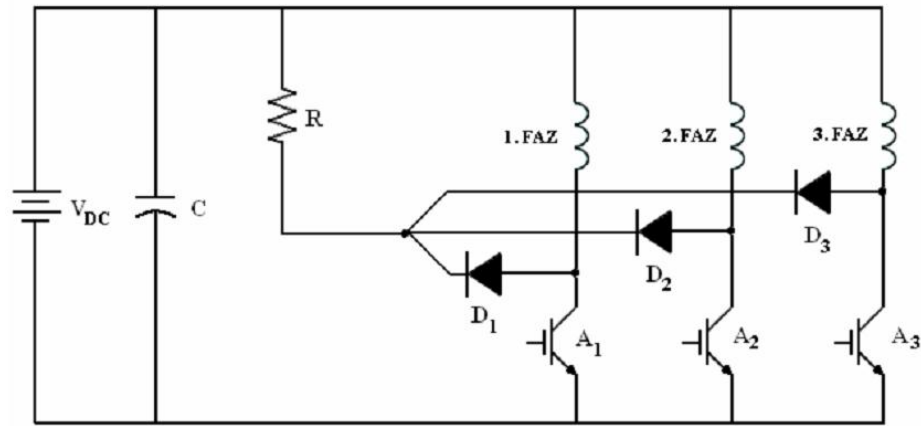
Dezavantaj Olarak:

- Tasarım kırım esnasında serbest boşaltım müsait değildir. Çünkü faz V_{DC} genliğini görür. Bu daha yüksek anahtarlama frekansı ve bu da daha fazla anahtarlama kaybı anlamına gelir.
- Her faz iletim esnasında V_{DC} genliğini görür. Bu yüzden besleme voltajı çevirici voltajının iki katı olmalıdır.
- Çevirici sadece eşit sayıda faza sahip olabilir.
- Çeviricinin hata toleransı daha azdır. Birbirine bağlı fazların birindeki dengesizlik hataya sebep olur. Her fazda bir eleman üzerinde gerilim düşümü olmasına rağmen düşük gerilimli uygulamalarda kullanılmaya uygun değildir.

Bu topoloji gerilim değerleri düşük, kaynak gerilimi yüksek sistemlerde maliyet ve performans açısından kullanılmaya uygundur.

3.4.2.4.1. Sönümlenme Dirençli Çeviriciler

Şekil 3.10'da sönümlenme dirençli çevirici görülmektedir. Bu dönüştürücü demanyetizasyon enerjisini bir direnç üzerinde daha hızlı komutasyon gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır. Dönüştürücünün kontrolü çok basittir. Serbest akış ve komutasyon esnasında demanyetizasyon enerjisi direnç üzerinde sönümlenir. Birinci fazın iletkenliği A_1 'in on yapılmasıyla başlar. Akım komutasyon yapacak kadar A_1 'in histerezis kontrol ile yönetilmesiyle sağlanır. A_1 'in kapatılması ile birinci fazın voltajının sıfıra düşmesiyle komutasyon biter. Birinci fazın sönümlenme işlemi bittiğinde İkinci faz anahtarlanabilir.



Şekil 3.10 Sönümlenme Dirençli Çevirici

Bu topolojinin avantajı:

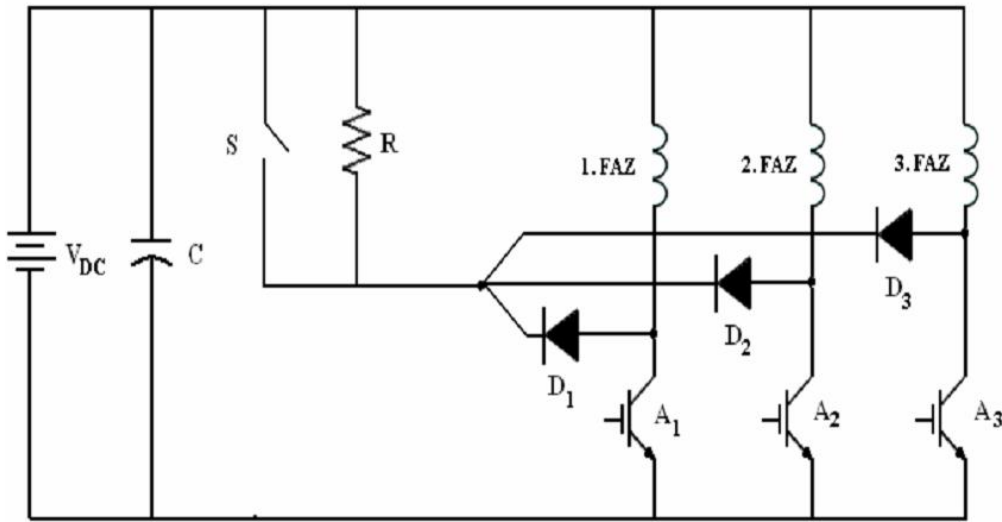
- Az anahtarlama elemanı kullanılmasıyla düşük maliyet
- Basit kontrollü tasarım.
- Hızlı demanyetizasyon ile yüksek hızlarda komutasyon

Dezavantaj Olarak:

- Demanyetizasyon enerjisi direnç üzerinde sönümlendiği için enerji verimli kullanılamamaktadır.
- Sönümlenme direnci serbest akış akımını L/R oranında geciktirerek sönümler.
- Ayrıca kıyım esnasında anahtarlama frekansı daha yüksek uygulamalarda verim daha da düşer.

3.4.2.4.2. Dual Decay Çevirici

Sönümlenme dirençli çeviricilerin verimini arttırmak için bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu çevirici Dual Decay çevirici olarak isimlendirilir. Şekil 3.11’de Dual Decay çevirici devre görülmektedir.



Şekil 3.11 Dual Decay Çevirici Devre

S anahtarı sönümlenme direncine paralel olarak eklenmiştir. Her fazda performansı arttırmak için serbest akış esnasında kontrol edilir. Bu anahtarın kullanım amacı direnç üzerindeki enerji kaybını azaltmaktır. Kırım esnasında S anahtarı serbest akış akımını kaynağa aktarmak için direnç üzerinde sönümlenmesini engeller. Komutasyon periyodunun bir kısmında enerji sönümlenme direnci üzerinde sönümlenir. Böylelikle hem hızlı demanyetizasyon sağlanmış hem de enerji kaynağa aktarılmış olur. Eklenen anahtar kontrolü karmaşıktır. Enerji tasarrufu sağlamak için yapılan bu geliştirmeye rağmen diğer çeviricilerle karşılaştırıldığında verimi düşüktür. Düşük performanslı, düşük maliyetli, düşük verimli, tork dalgalanmaları diğer çeviricilere göre yüksek olan bir topolojidir. Uygulamalar için tercih edilirken bu faktörler göz önünde bulundurularak tercih edilmelidir.

3.5. Yumuşak (Soft) Anahtarlama Çeviricileri

Yumuşak anahtarlama çeviriciler sıfır voltaj veya akımda anahtarlama yaparak anahtarlama kayıplarını azaltır ve verimi artırır. Çevirici devre sıfır akım ve gerilim geçişine ihtiyaç duyduğu için rezonant kondansatör ve bobini kullanılır. Bu da maliyeti artırır.

3.6. Sonuç

ARM için pek çok çevirici devre tasarımı yıllarca yapılmıştır. Her çevirici tasarımının avantajları, dezavantajları, üstünlükleri ve zayıflıkları bulunmaktadır. Bu zayıflıklar arasında yüksek sayıda anahtarlama elemanı, yüksek akım ve gerilim sınırlı malzeme, yardımcı sargı gereksinimi düşük verim ve karmaşık kontrol sayılabilir. Karşılaştırılan tüm çeviricilerde performans ve maliyet arasında bir ilişki görülmektedir. Klasik çeviriciden, C-dump çeviriciye kadar anahtarlama elemanlarındaki sayının düşüşü, ileri yönlü gerilim düşümünün ve kontrolün karmaşıklaşması gibi bir durumu ortaya çıkmaktadır. Rezonant dönüştürücüler sıfır akımda anahtarlama başaramamıştır. Fakat eklenen rezonant elemanlarının maliyeti, fazladan anahtarlar ve kontrolü istenmeyen maliyetlerdir. Bir çeviricinin seçimi pek çok durumda uygulama amacına yönelik olmalıdır. Performans ve tork dalgalanmasının çok önemli olmadığı uygulamalarda düşük maliyetli tasarımlar tercih edilir. Yüksek tork kontrolü, verim ve performansın önemli olduğu uygulamalarda fazların hızlı demanyetizasyonu gerekmektedir. Eleman sayısı düşürülmüş çeviricilerde genellikle hata toleransı daha azdır. Tutarlılık ve güvenilirlik önemli olan sürücülerde hata toleransı birinci öncelik olmalıdır. Düşük gerilimli uygulamalarda her faza bir eleman düşmesi istenir. Bir çeviricide diğer aranması gereken özellikler performans, maliyet, kontrol karmaşıklığı, eleman sayısı olarak ifade edilebilir. Tablo 3.1’de farklı ARM topolojilerinin bazı özellikleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.1 Çevirici Devre Topolojilerinin Karşılaştırılması

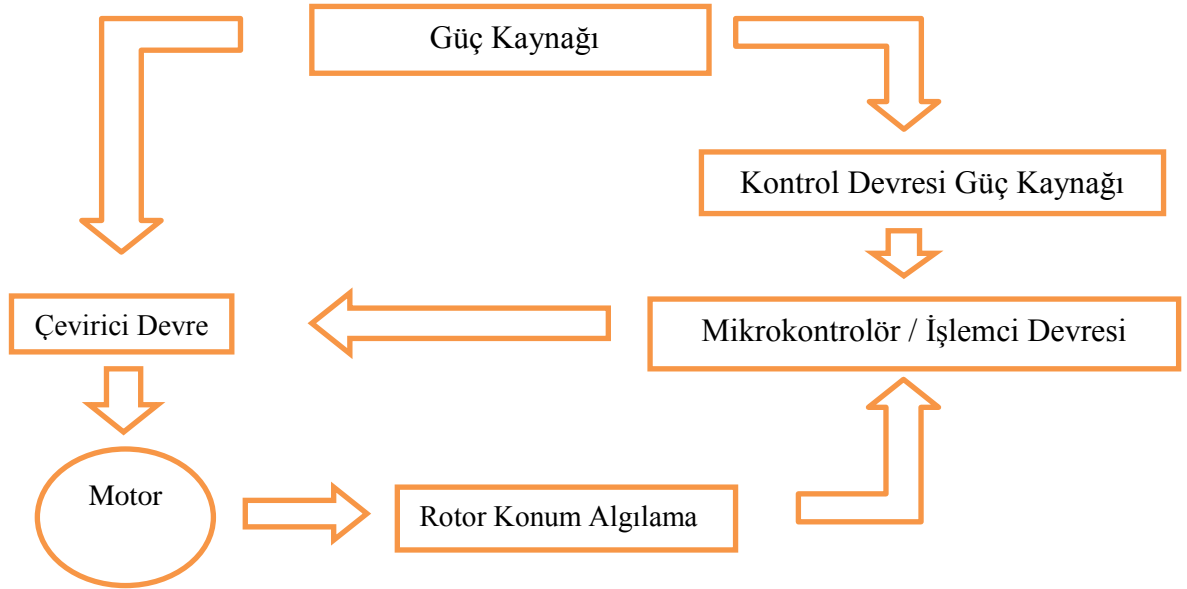
Özellikler	Klasik Köprü Çeviriciler	(n+1) Anahtarlı Çeviriciler	(n x n) Anahtarlı Çeviriciler	Bifilar Sargılı Çeviriciler	C-Dump Çeviriciler	Ortalanmış Kaynaklı Çeviriciler	Sönümlenmiş Dirençli Çeviriciler
Faz Empedansı	Tamamı	Tamamından az	Kısmen	Tamamı	Kısmen	Kısmen	Tamamı
Komutasyon Süresi	Makul	Makul	Makul	Makul	Çok Hızlı	Makul	Hızlı
Sargı Depo Enerjisi	Kaynağa Aktarılır	Kaynağa Aktarılır	Kaynağa Aktarılır	Kaynağa Aktarılır	Kaynağa Aktarılır	Kaynağa Aktarılır	Harcandır
Serbest Akış	İzin Verir	İzin Verir	İzin Verir	İzin Vermez	Kısmen	İzin Vermez	İzin Vermez
Eleman Sayısı	Yüksek (2n)	Az (n+1)	En Az	Az (n)	Az (n+1)	Az (n)	Az (n)
Eleman Sınır Değerleri	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
Performans	Çok İyi	Zayıf	Makul	İyi	Çok İyi	İyi	Makul
Faz Başına Düşen Anahtarlama Elemanı	2	2	2	1	1	1	1
DC Kaynaktan Yararlanma	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	Zayıf	İyi
Kontrol	Basit	Basit	Karmaşık	Basit	Karmaşık	Basit	Basit
Ek Gereksinimler	Yok	Yok	Karmaşık Bağlantı	Ek Sargı	Ek Eleman	Ortalanmış DC Kaynak	Yok
Verim	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	Çok Düşük

BÖLÜM 4

ARM KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI

4.1. Anahtarlama Relüktans Motor Çevirici Ünitesi

Temel bir ARM çevirici devresi; DC veya AC bir güç kaynağı, mikrokontrolör veya işlemci tabanlı bir kontrol devresi, çevirici devre, motor ve rotor konum algılama işlevini gerçekleştiren bir geri besleme devresinden oluşur.



Şekil 4.1 Bir ARM'nin Temel Çevirici Ünitesinin Bölümleri

Şekil 4.1'de bir ARM'nin temel çevirici ünitesinin bölümleri gösterilmiştir.

Şekildeki;

- Güç Kaynağı: AC veya DC enerji kaynağı, kontrol sisteminin ve motorun ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlar. Kullanılacak çevirici devrenin özelliğine ve motorun kullanım amacına göre genliği ayarlanabilir veya sabit olabilir.
- Kontrol Devresi Güç Kaynağı: Kontrol devresinin enerji ihtiyacını ve IGBT sürücü ünitenin enerji ihtiyacını karşılayan devredir.
- Mikrokontrolör/İşlemci Devresi: Rotor konum bilgisine göre hız kontrolü, akım ve

gerilim ölçümü, başlatma, durdurma, çevirici devrenin anahtarlama kontrolü, çevre birimlerle haberleşme gibi işlevleri yerine getirir.

- iv. Çevirici Devre: Mikrokontrolör/işlemci devresinden aldığı tetikleme komutlarıyla motor için gerekli olan enerjiyi motor sargılarına aktarır.
- v. Rotor Konum Algılama: Rotorun konum bilgisini mikrokontrolör/işlemci devresine aktarır.

4.1.1. Güç Kaynağı Devresi

Bir ARM'nin kontrolünün akım yönünden bağımsız olduğu önceki bölümlerde açıklanmıştır. ARM'lerin kontrolünde literatürdeki çalışmalarda DC güç kaynaklarının kullanıldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada güç kaynağı olarak 84 Volt, 3,5 Amper çıkışlı, akım korumalı bir SMPS DC güç kaynağı kullanılmıştır.

4.1.2. Kontrol Devresi Güç Kaynağı

Kontrol devresi güç kaynağı olarak, mikrokontrolör ve anahtarlama elemanı komutasyon devresini (çevirici devre) beslemek için 12 Volt 1,5 Amper iki adet SMPS güç kaynağı kullanılmıştır. Sistemi elektriksel gürültüden korumak için mikrokontrolör ve çevirici devre güç devresinden optik olarak izole edilmiştir. Bu durum iki ayrı güç kaynağı kullanılması gerekliliğini beraberinde getirmiştir.

4.1.3. Mikrokontrolör/İşlemci Devresi

ARM'lerin DC veya AC bir kaynağa doğrudan bağlanarak çalıştırılmayacağından bahsedilmiştir. Bu durum motorun devir, hız, yön gibi parametrelerinin bir sistem tarafından kontrolünü zorunlu kılar. Bu çalışmada ARM çevirici devresi kontrolü için günümüz teknolojilerinden, kullanımı ve tasarımı kolay, verimi yüksek bir mikrokontrolör tercih edilmiştir.

Bu sistemin temel görevleri:

- Rotor konum bilgisini takip etmek ve yorumlamak
- Motorun başlama ve durma durumlarını kontrol etmek
- Motorun istenilen yön ve hızlara çıkmasını sağlamak
- Motorun hızını ölçmek
- Çevirici devreyi yönetmektir.

Ek olarak güvenilirliği ve performansı arttırmak, sistemi korumak adına:

- Motor faz akımlarını ölçmek
- Aşırı akım algılanması durumunda akım akışını kesmek
- Motor sıcaklığını ölçmek, tehlikeli durumlarda uyarı vermek veya sistemi kapatmak
- Çevirici devre sıcaklığını ölçmek, tehlikeli durumlarda uyarı vermek veya sistemi kapatmak
- Çevre sistemlerle haberleşmek
- Anlık verileri ölçmek ve kaydetmek
- Anlık verileri çevre birimlerle paylaşmak gibi ek özellikler de eklenebilir.

4.1.3.1. Deneysel Çalışmada Mikrokontrolör Devresi

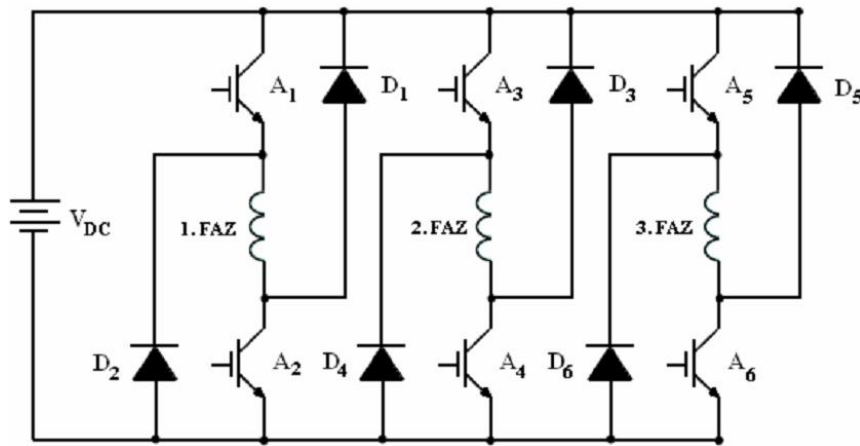
Mikrokontrolör devresinin temelini, mikrokontrolör ve IGBT sürücü entegreler oluşturmaktadır. Mikrokontrolörler az çevre elemanı gerektirmeleri, stabil çalışmaları, dahili özellikleri, bilgisayar programlama dilleri kullanılarak programlanabilmeleri ve ucuz olmaları sebebiyle tasarımlarda sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmada Microchip firmasının PIC18F1330 entegre devresi ana sürücü mikrokontrolör olarak tercih edilmiştir. Yön ve hız belirleme gibi parametreleri uygulamak ve gözlemlemek için PIC18F452 mikrokontrolörü tercih edilmiştir. Ek 2'de PIC18F1330 mikrokontrolörünün teknik bilgileri özetlenmiştir.

Çevirici devre kontrolünü üstlenen PIC18F1330, dâhili PWM modülatörüne, dâhili seri haberleşme modülüne ve zamanlayıcı sayaçlara sahiptir. 4Mhz'den 40Mhz'e kadar yüksek

frekanslarda çalışabilen PIC18F1330 rotor konum bilgisini değerlendirme, sert ve yumuşak kıyıcı tekniğiyle IGBT'leri tetikleme ve seri haberleşme üzerinden gelen komutları uygulama görevlerini üstlenmiştir. Yüksek güçlü anahtarlama elemanları olan IGBT'leri sürme işlemi de bu bölümde gerçekleştirilmektedir. Mikrokontrolörler 3,3 Volt ile 5 Volt arası gate voltajı ile anahtarlatabilen 60 Volt gibi düşük V_{DS} (Drain-Source) gerilimine sahip MOSFET'leri doğrudan sürebilmektedir. Sistemimizde kullanılan IGBT'lerin V_{DS} değeri 600 Volt'tur ve 10 Volt - 25 Volt arası gerilimler ile anahtarlama gerekmektedir. Bu çalışmada IGBT kapı sürücü entegre devreleri kullanmak en basit ve güvenli yol olarak görülmüş ve tercih edilmiştir. International Rectifier firmasının ürettiği IR2110 IGBT/MOSFET kapı sürücü entegre devresi bu amaç için kullanılmıştır. Ek 1'de IR2110'un veri sayfası ve temel özellikleri verilmiştir.

4.1.4. Çevirici Devre

Bu çalışmada esnek ve verimli klasik çevirici devre topolojisi tercih edilmiştir. Şekil 4.2'de klasik çevirici devre görülmektedir.



Şekil 4.2 Klasik Çevirici Devre

Şekil 4.2'de A yüksek akım ve gerilim değerlerine dayanabilen IGBT'leri, D sargılarda depo edilmiş manyetik enerjiyi kaynağa aktaran yüksek hızlı diyotları ve V_{DC} gerilim kaynağını göstermektedir.

4.1.4.1. Deneysel Çalışmada Çevirici Devre

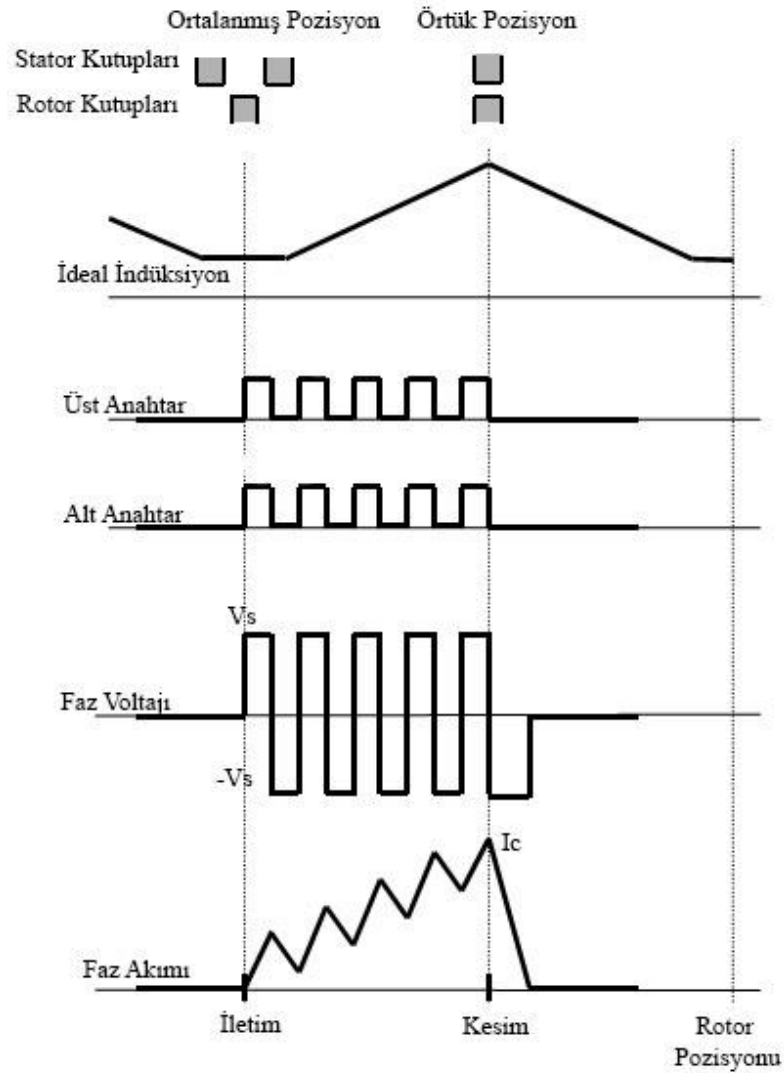
Çevirici devre DC kaynaktan aldığı enerjiyi mikrokontrolörden aldığı komutlar doğrultusunda faz sargılarına iletmekle görevlidir. MOSFET ve BJT'lerin üstün özelliklerini bir arada barındıran en son yarı iletken teknolojisi olan IGBT'ler düşük anahtarlama güç kaybı ve yüksek anahtarlama hızlarıyla sistem performansını arttırmaktadırlar.

Bir periyod boyunca yüzlerce kez tetiklenebilen IGBT'ler, sistemde PWM kontrol tekniğinin uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Bu devrede kullanılan IGBT, IXYS yarıiletken firmasının ürettiği 200N60'dır. 200 Amper akım ve 600 Volt gerilim anahtarlayabilen bu eleman, DC bara gerilimini faz sargılarına aktarır. IGBT'lerin kesim durumunda faz sargısında depo edilen enerji, ters kutuplu bir enerji olur ve D1 ve D2 diyotları üzerinden kaynağa aktarılır. Bu çalışmada kullanılan diyotlar hızlı toparlanma süresine sahip VISHAY firmasının VS-150EBU04 150 Amper, 400 Volt ve en fazla 20 KHz frekansa cevap verebilen ultra hızlı diyotlardır. Ek 5'te temel özellikleri verilmiştir.

Devrede kullanılan IGBT'lerin kontrolü, CMOS mikrokontrolör çıkışı ile doğrudan kontrol edilememektedir. TTL ve CMOS seviyesi kontrol sinyallerini IGBT ve MOSFET'lerin gate seviyeleri olan 12 Volt seviyesine çıkartmak için International Rectifier firmasının ürettiği IR2110 IGBT/MOSFET sürücü kullanılmıştır. Özet teknik bilgi Ek 1'de verilmiştir.

Şekil 4.2'deki 1 nolu Faz için A1 ve A2 anahtarlarının iki farklı kontrol tekniği vardır. Bunlar sert (hard) anahtarlama ve yumuşak (soft) anahtarlama'dır. Sargıların alt ve üst kısımlarındaki güç anahtarları her iletim periyodu ve tork vuruşu başlangıcında birlikte iletime geçirilirse ve komutasyon noktası ile birlikte kesime geçirilirse faz komutasyonunda sert anahtarlama tekniği uygulanmış olacaktır.

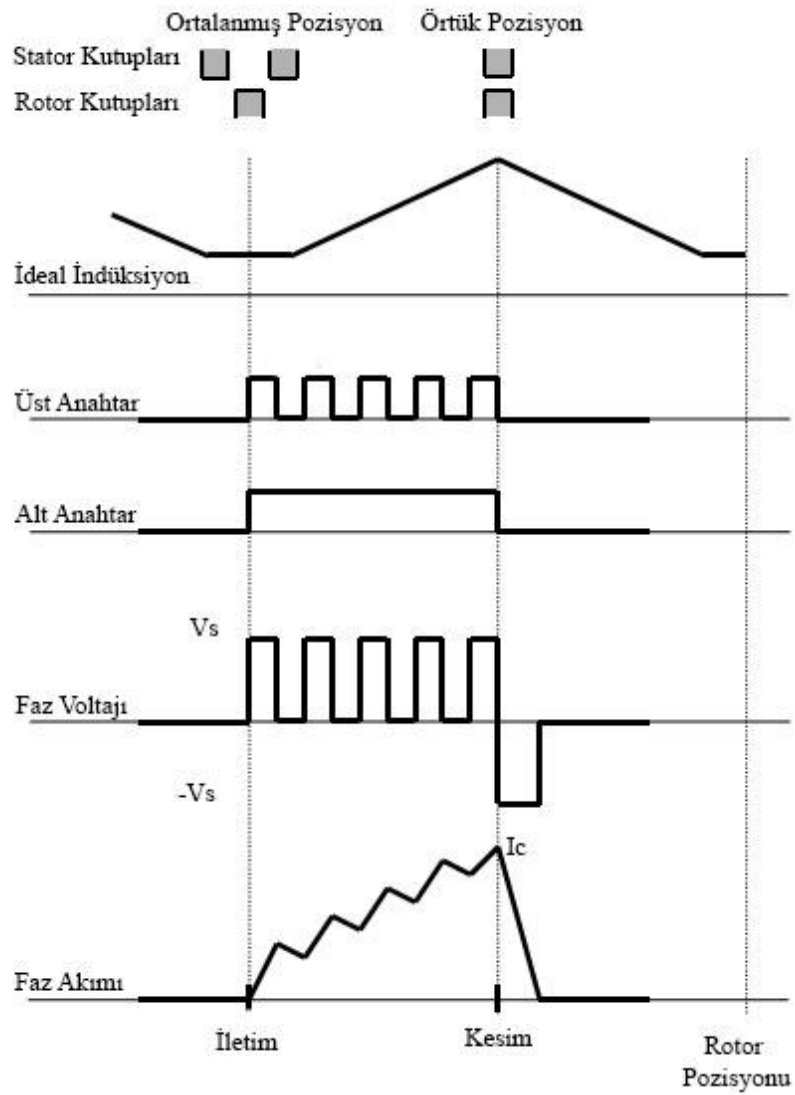
Sert anahtarlama tekniği için sargı anahtarlarının durumuna göre faz akım ve gerilimindeki değişim Şekil 4.3'te görölmektedir [15].



Şekil 4.3 Sert Kıyıcı Modu

Sargıların alt ve üst kısımlarındaki güç anahtarları her iletim periyodu ve tork vuruşu başlangıcında birisi iletime geçirilirse ve diğer anahtarın iletime geçmesi PWM ile kontrol edilirse, faz komutasyonunda yumuşak anahtarlama tekniği uygulanmış olur. Yumuşak anahtarlama tekniği için sargı anahtarlarının durumuna göre faz akım ve gerilimindeki değişim Şekil 4.4'te görölmektedir [15].

Yumuşak anahtarlama ile sert anahtarlama karşılaştırılacak olursa yumuşak anahtarlama tekniği sert anahtarlama tekniğine nazaran daha az akım ve tork dalgalanması, daha az elektriksel ve akustik gürültü ürettiği için daha fazla tercih edilir.



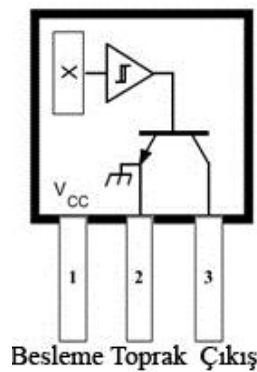
Şekil 4.4 Yumuşak Anahtarlama

4.2. Anahtarlama Relüktans Motorun Rotor Konumunu Algılama

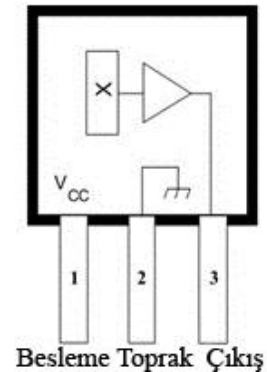
Manyetik alan içerisinde bulunan ve üzerinden akım geçen bir iletken boyunca gerilim (Hall gerilimi) oluşması olayına Hall etkisi denilmektedir. 1879'da Edwin Hall tarafından keşfedilmiştir.

Bu özellikten hareketle endüstriyel alanda akım ölçme, konum algılama, mesafe ölçme gibi pek çok amaç için Hall Effect sensörler kullanılmıştır. Ticari olarak iki çeşit hall effect sensörü üretilmiştir. Bulunduğu ortamın manyetik yoğunluğuna göre hall çıkış genliği lineer olarak değişen sensörlere Lineer Hall Effect sensörler denir. Üzerine manyetik alan uygulandığında çıkış durumunu değiştiren ve ters yönlü manyetik alan uygulanıncaya kadar bu durumu koruyan sensörler Hall Effect Latch'lerdir. Genellikle fırçasız DC motorlarda konum algılama için kullanılır.

Ayrıca hall effect sensörleri genel olarak buzdolabı kapı anahtarları, cep telefonları kayar kapak anahtarı, otomotiv sektöründe hız ve yön algılamada kullanılır. Şekil 4.5.a'da bir Hall Effect Latch sensörü, Şekil 4.5.b'de Lineer Hall Effect sensörünün temel iç yapısı gösterilmektedir. Ayrıntılı Bilgi Ek 4'te bulunmaktadır.



Şekil 4.5.a Hall Effect Latch Sensörü



Şekil 4.5.b Lineer Hall Effect Sensörü

4.2.1. Deneysel Çalışmada Rotor Konumunu Algılama

ARM'lerde rotor konum algılama, optik sensörler veya hall effect sensörleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Rotor konum algılama, rotor miline bağlı bir enkoder ile çok hassas bir şekilde gerçekleştirilebilir. Fakat bu maliyetli bir yöntemdir. En basit ve pratik okuma, bir sacın, motorun arka kısmından rotor miline, optik veya manyetik okuma yapılacak şekilde

eklenmesiyle gerçekleştirilir. Şekil 4.8’de çizilen parça rotor miline bağlanmış, 45 derecelik açı ile 8 parçaya bölünmüş 4 çıkıntı ve 4 girinti olacak şekilde kesilmiş sacı göstermektedir.

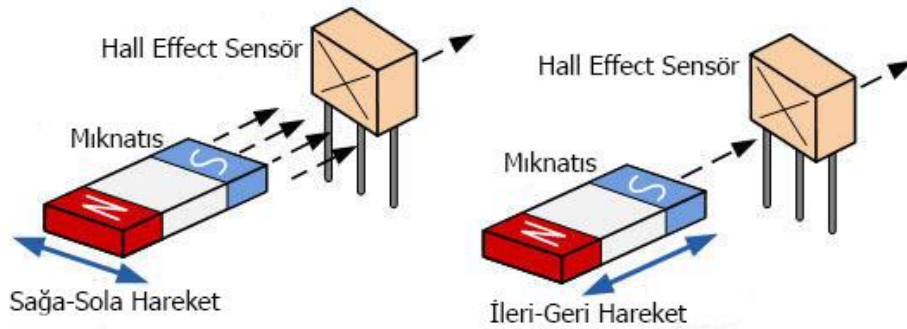
Hall effect sensörlerin algılama yapabilmesi için manyetik alana ihtiyaç duyduğu Şekil 4.7’den anlaşılmaktadır. Bu durum rotor konum algılamada kalıcı mıknatıs kullanmayı zorunlu kılar. Deneysel çalışmada sacın çıkıntılı kısımları boyunca yüksek manyetik yoğunluğa sahip neodyum mıknatıslar yerleştirilmiştir. Şekil 4.6’da kullanılan mıknatıslardan birisi gösterilmiştir. Mıknatısların manyetik kutupları üst ve alt olarak



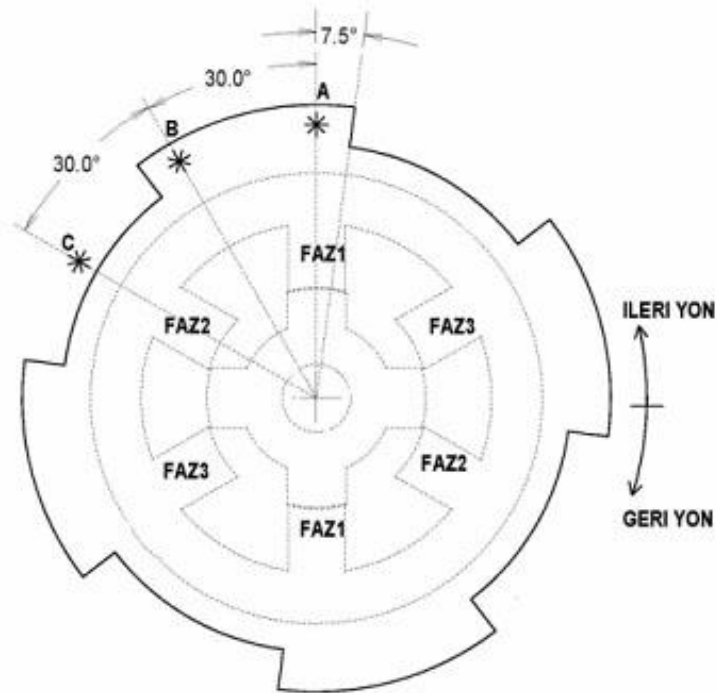
düzenlenerek üretilmiştir.

Şekil 4.6 Rotor Konum Algılama Mıknatısı

Lineer veya Latch bir hall effect sensörünün algılama yönleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Her iki durumda (sağa sola hareket veya ileri geri harekette) sensör algılama sinyali verecektir. Rotor ile beraber dönen bir mıknatıs, Şekil 4.7’deki yatay hareket yapan bir mıknatıs gibi davranacaktır ve hall effect sensörü tarafından algılanacaktır. Lineer hall effect sensörleri manyetik alanın şiddetine bağlı olarak analog bir genlik üretecektir. Bu istenen bir durum değildir. Mikrokontrolör tabanlı bu sistemde en uygun sinyal 0 Volt veya +5 Volt genliğindeki işaretlerdir. Bu çıkış sinyallerini elde edebilmek için lineer hall effect sensörü çıkış sinyali, LM393 çiftli karşılaştırıcı entegre devresi aracılığıyla belirlenen referans değeri altındaki değerleri 0 Volt’a ve üstündeki değerleri +5 Volt’a sabitlemiştir. Böylece rotor algılandığı süre boyunca manyetik alanda kalan hall effect sensörü referans üzeri analog sinyal verecektir. Bu işaret LM393 karşılaştırıcı entegre devresi aracılığıyla +5 Volt’a yükseltilecektir. Manyetik alandan kurtulan sensörler referans değeri altında bir analog sinyal ile LM393 karşılaştırıcı devresi çıkışını 0 Volt’a düşüreceklerdir.



Şekil 4.7 Hall Effect Sensörü Temel Algılama Yöntemleri

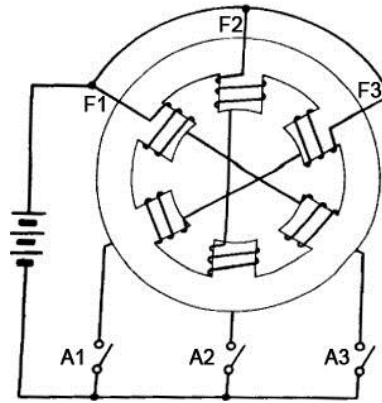


Şekil 4.8 Rotor Konum Algılama Düzeneği

Şekil 4.8'deki A, B ve C noktaları motor gövdesine sabitlenmiş hall effect sensörlerinin konumlarını göstermektedir. Sensörler 30° aralıklarla yerleştirilmiştir. Rotor FAZ1'de örtük duruma geldiğinde B sensörü $7,5^\circ$ geçilmiş olacaktır. Geri yönde ise aynı şekilde A sensörü $7,5^\circ$ geçilmiş olacaktır. Bu yerleşim, fazlar tam doğrultulu pozisyona gelmeden $7,5^\circ$ önce rotor konumunun algılanması ve tork üretiminde ölü bölgeye gelmeden önce, ilgili fazın enerjisi kesilerek, diğer fazın enerjilenmesi şeklinde motordan azami verimi alabilmeye izin vermektedir.

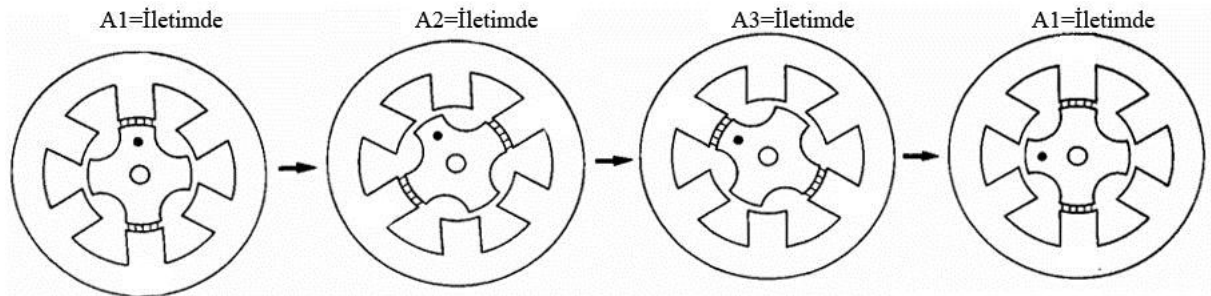
4.3. Anahtarlama Relüktans Motorun Kontrolü

ARM'lerin kontrolünün, rotorun konumu dikkate alınarak, faz sargılarının sıralı enerjilendirilmesi şeklinde basitçe ifade edilebilir. Şekil 4.9'da A her bir fazın anahtarlarını F, anahtarlanaacak fazları göstermektedir.



Şekil 4.9 3 Fazlı 6/4 ARM'de Temel Anahtarlama Devresi

Rotor konumuna göre çalışma durumunda, anahtarlardan birisi iletimde diğer ikisi ise kesimde tutulacaktır. Şekil 4.10'da her faza ait A anahtarlarının iletim durumu sonunda rotorun aldığı durumlar gösterilmiştir. İkinci A1 anahtarının tetikleme anı, rotorun çeyrek turunun tamamlandığı andır. Bir tur için her anahtar, 4 kez iletime geçirilir.

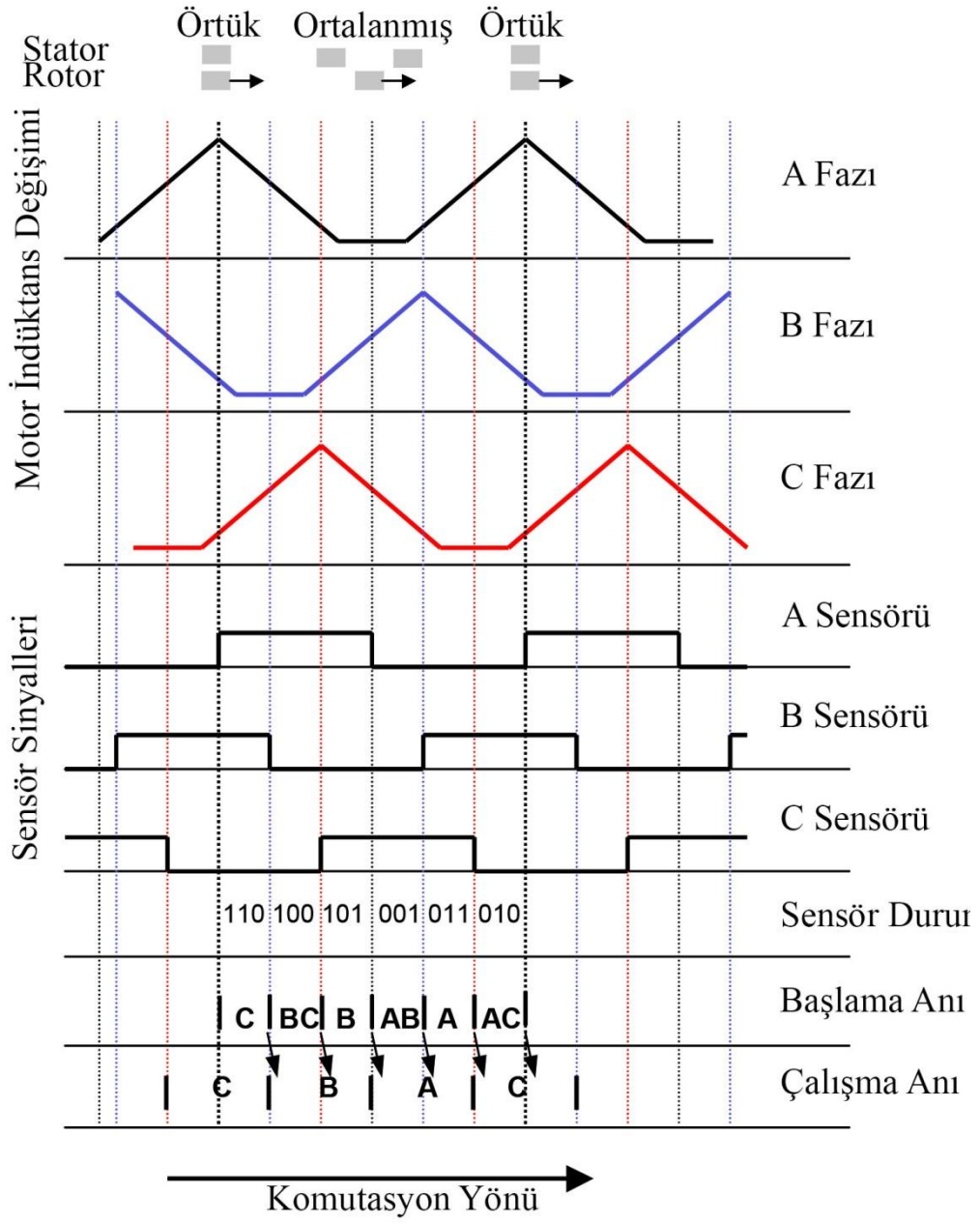


Şekil 4.10 Faz Anahtarının Durumuna Göre Rotor Konumu

Şekil 4.11’de rotor konumuna göre, hall efect sensörlerinin çıkış değerleri, indüktans değişimi, sensörlerin lojik durumu, başlama ve çalışma anı için ilettime geçirilen fazlar gösterilmiştir. ARM’nin kontrolü için başlangıç anı ve çalışma anı olarak iki durumdan söz edilebilir. Başlangıç anı işlemleri rotorun konumuna göre başlangıç işlemlerini içerir. Rotor herhangi bir faz kutbuyla örtük değil ise iki faz aynı anda 500 milisaniye ilettime geçirilir. İletimdeki fazlardan birisi diğerinden 50 milisaniye önce kesime götürülür [15]. Böylece rotorun başlangıç anında son enerjilendirilen faz ile örtük durumda olduğu belirlenir. Başlangıç işlemleri bu adımla bitirilmiş ve çalışma modu ilk anı oluşturulmuş olur. Konum sensörleri başlangıç anını okur, rotor dönüş yönüne göre ilgili fazı anahtarlayarak çalışma moduna geçilir. Çalışma modunda rotor dönüş yönüne göre Tablo 4.1’deki sensör doğruluk tablosundan ilgili faz tetiklenerek rotor dönüşü devam ettirilir. Sensör bilgisine göre çalışma durumu faz anahtarlama sırası Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Sensör Çıkışları Ve İlgili Fazların İletim Durumu

SENSÖRLER			FAZLAR		
A	B	C	FAZ 1	FAZ 2	FAZ 3
1	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0
0	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0
0	1	0	0	0	1



Şekil 4.11 ARM'nin Rotor Konumuna Göre Komutasyon İşlemi

4.3.1. Deneysel Çalışmada Anahtarlama Relüktans Motorun Kontrolü

Deneysel çalışmada kullanılan 3 fazlı 6/4 anahtarlama relüktans motorun kontrolü Microchip PIC18F1330 mikrokontrolörüyle gerçekleştirilmiştir. Mikrokontrolör sensörlerden gelen bilgiyle rotor konumunu belirler. Seri haberleşme portu üzerinden başla/dur, ileri/geri dönüş, PWM oranı gibi parametreleri alır ve çevirici devre kontrolünü gerçekleştirir. Mikrokontrolörün temel özellikleri ve motor kontrolünde kullanılan özellikleri şöyle sıralanabilir;

- 20 MHz yüksek frekansta çalışabilme
- 14 bit, 6 kanal donanımsal PWM ile yazılım bağımsız PWM üretimi
- 8192 Byte flash program belleği
- 256 Byte ram
- 128 Byte EEPROM
- 4 Kanal 10 bit analog dijital dönüştürücü
- 4 Kanal harici kesme
- Dâhili seri haberleşme portu, RS232/RS485
- 8/16 bit sayaç

Mikrokontrolörün 20 MHz frekansta çalışabilmesi, işlem süresini kısaltmış ve daha fazla işlem için imkân sağlamıştır. PWM kanallar birbirinden bağımsız 3 kanal olarak 512 adım ile kontrol edilebilmektedir. Bu özellik fazların birbirinden bağımsız bir şekilde gerilim kontrolüne imkân sağlar. 2.4 KHz'den 625 KHz'e kadar PWM darbe üretebilen mikrokontrolör, 20 KHz PWM üretecek şekilde kurulmuştur. Geniş program belleği yazılım geliştirme esnasında farklı algoritmaların denenmesine, 128 Byte EEPROM'u ile istenildiği takdirde tercih edilen parametre ve bilgilerin saklanmasına imkân vermektedir. 4 kanal analog dijital çevirici faz başına akım ve gerilim kontrolü için kullanılabilir. Mikrokontrolör yükünü arttırmamak için bu özellik kullanılmamıştır. 4 kanal harici kesmelerin 3'ü hall effect sensörlerinden gelen veriyi çözümlemede kullanılmış, diğer 1 adet harici kesme ise beklenmedik bir durumda mikrokontrolörü sıfırlamak için kullanılmıştır. Haberleşme portu mikrokontrolöre çalışma, durma, PWM oranı gibi parametreleri göndermek için kullanılmış ve haberleşme kontrolü de haberleşme

kesmesine bağlanmıştır. Mikrokontrolörün 16 bitlik Timer1 sayacı, devir hesaplanmasında ve mikrokontrolörün çalışma sürekliliğinin görsel olarak algılanmasında bir led'in açılıp kapatılması şeklinde kullanılmıştır.

PIC18F452 mikrokontrolörünün kullanıldığı bilgi görüntüleme ve kontrol ünitesi, çevirici devrenin bilgisayar bağımlılığından kurtarmak için tasarlanmıştır. Bu ünite üzerindeki monokrom grafik ekran motor hızı, dönüş yönü, DC bara gerilimi ve PWM açıklık oranı bilgilerini göstermektedir. Bilgi görüntüleme ünitesi üzerinden motor hızı, dönüş yönü, çalışma veya durma işlevleri gerçekleştirilebilir. Bu ünite ile çevirici devre mikrokontrolörü tek yönlü haberleşmektedir. Bunun sebebi çevirici devre yükü motor dönüş hızı arttıkça yoğunlaşmakta ve haberleşme yönü çift yönlü yapıldığında haberleşme aksamaktadır. Bu problemi gidermek, hız hesap ve takip işlemlerinin yükünü çevirici devreye yüklememek için bilgi görüntüleme ünitesi bu görevleri üstlenmiştir.

4.4. Deneysel Çalışma

ARM kontrol ünitesi yazılım ve donanım olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Yazılım mikrokontrolörden yapılması istenen işlemlerin programlama dili kullanılarak mikrokontrolöre bildirilmesidir. Donanım elektriksel işaretlerin mikrokontrolörün kontrolüyle istenilen işlemi gerçekleşmesine yardımcı olan katı elemanlar bütünüdür.

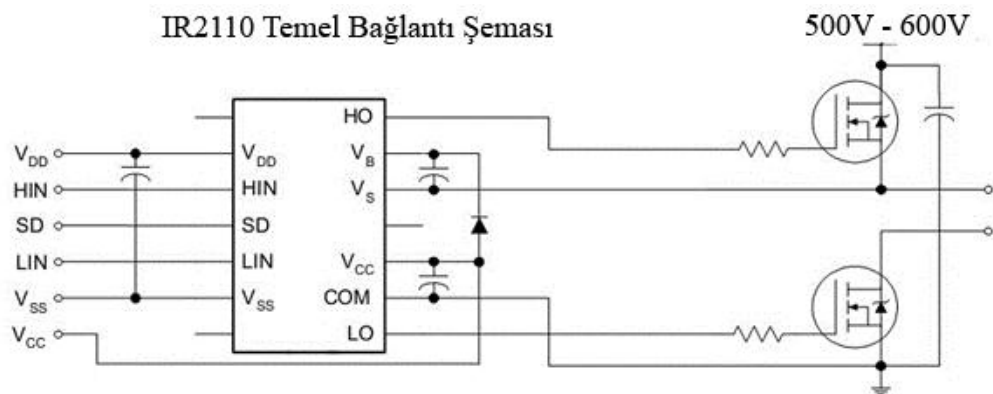
Yazılımın büyük bir kısmını mikrokontrolör yazılımı oluşturmaktadır. Yazılım CCS firmasının PIC mikrokontrolörleri için ürettiği PICC yazılım geliştirme ortamında yazılmıştır. C dilinin gücünü ve kolaylığını mikrokontrolörlerin pratik kullanım esnekliğiyle birleştiren CCS PICC, çok hızlı kod geliştirmeye imkân sağlamaktadır. Ayrıca dâhili donanımların kullanımını son derece kolaylaştırmaktadır.

Yazılım sayaç, seri port haberleşme, harici giriş kesmeleri ve sonsuz bir işlem döngüsünden oluşmaktadır. Sonsuz döngü işlemcinin yapılacak işlemleri enerji kesilinceye kadar işletmeyi sağlamaktadır. Harici giriş kesmeleri rotor konum bilgisini ve acil durum düğmesinin durumunu kontrol etmektedir. Seri port 115200 Kbps hızda bilgisayar veya başka bir seri haberleşmeye uyumlu cihaz ile iletişim kurabilmektedir. Çevirici devre, bilgi görüntüleme ünitesi ile TTL seviyede seri haberleşir ve istenirse bir bilgisayar bilgi

görüntüleme kartına RS232 standardıyla bağlanabilir.

Hız ölçümü, bilgi görüntüleme ünitesi tarafından sensörlerin birinden gelen sinyalin 1 saniyedeki darbe sayısının 15 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Bir turda 4 adet sinyal gelmektedir ve bu sinyaller 1 saniyede kaç adet geliyor ise 4'e bölünür ve 60 ile çarpılarak dakikadaki devir sayısı bulunur. Bu değer bir değişkende saklanır ve ekran yenilenirken yeni değer ekrana aktarılır.

PWM darbeler 6 Kanal 14 bit PWM kanallarından ikisi 10 bit olarak kurulmuş ve her kanalın üst kol ve alt kol IGBT kapı sinyallerine paralel dağıtılmıştır. Her fazın üst kol IGBT kapı tetik PWM sinyali ortaktır ve optokuplörler ile mikrokontrolörden optik olarak yalıtılmıştır. Aynı durum alt kol IGBT kapı sinyalleri için de geçerlidir. IGBT kapı sürücü PWM sinyalleri IR2110'un üst kol ve alt kol pinlerine (High Side In HIN, Low Side In LIN) bağlanmıştır. Fazların PWM sinyalleri ortak olduğu için fazların aynı anda sadece birisinin aktif olması IR2110'un SD (Shut Down) kapatma pini ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12'de şematik çizimi verilen IGBT sürücü entegresi IR2110'un SD kapatma pini entegre devrenin çıkışlarını istenilen anda susturmaya imkan sağlamaktadır. Bu özellik IGBT kapı sinyallerini aynı anda tek bir sinyal ile kontrol etme kolaylığı sağlamaktadır ve IR2110'u sert kıyıcı ve yumuşak kıyıcı modlarında kullanımını kolaylaştırmaktadır.



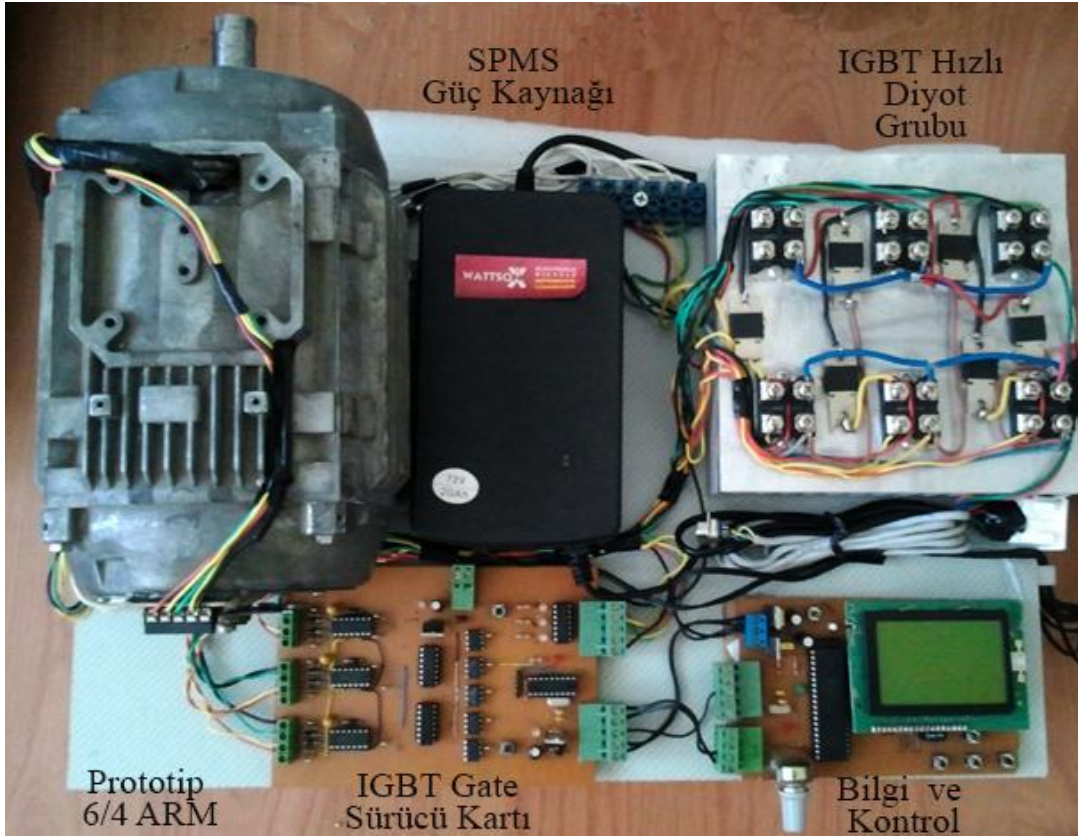
Şekil 4.12 IR2110 IGBT/MOSFET Sürücü Entegre

Yumuşak kıyıcı modda IR2110'un HIN üst kol IGBT kontrol işareti sürekli verilirken alt kol IGBT gate tetikleme işareti LIN'e PWM, darbe şeklinde uygulanmıştır. Yumuşak

kıyıcı modda yapılan denemelerde 72 Volt 7 Ah akü grubu beslemeli bir güç kaynağıyla yapılan denemelerde 12000 devir/dakika'ya ulaşılabilmektedir. PWM açıklık oranı %0'dan %100'lere kadar problemsiz bir şekilde çıkmıştır. Rotor kalkış ataletini ancak PWM açıklık oranı %14'te yenebilmiş ve harekete başlayabilmiştir. Daha yüksek hızlara çıkmak için PWM güç kaynağının akım ve genlik değerlerinin daha yüksek bir değerde olması gerektiği belirlenmiştir.

Sert kıyıcı modda ise IR2110'un HIN üst kol IGBT kontrol işareti ve alt kol IGBT gate tetikleme işareti LIN' in her ikisine birden aynı PWM darbe uygulanmıştır. Sert kıyıcı modda PWM aktiflik oranı %55'te kalkış ataleti yenilebilmiş ve ilk hareket gözlenebilmiştir. PWM aktiflik oranı %100'e çıkarıldığında 12000 devir/dakikaya ulaşılabilmektedir. Buradan da sert veya yumuşak modda çalışmanın ARM'nin en yüksek hız değerine etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Sert çalışma modu, yüksek kaynak genlikli uygulamalarda tercih edilebilir bir çalışma modudur.

Şekil 4.13'te yapılan ARM sürücü devre fotoğrafı gösterilmektedir. Şekilde 6/4 ARM, SMPS güç kaynağı, IGBT ve hızlı diyot grubundan oluşan klasik çevirici devre, çevirici devre mikrokontrolör ünitesi ve bilgi görüntüleme ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Gerçekleştirilen ARM Sürücü Devre

BÖLÜM 5

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, 6/4 kutuplu bir anahtarlı relüktans motorun hall effect sensörlü konum algılama mekanizması kullanılarak klasik çevirici devre topolojisiyle kontrolü gerçekleştirilmiştir. Öncelikle anahtarlama relüktans motor tanımı yapılmış, temel çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir. ARM'lerin kontrolü ve çevirici devre topolojilerinden bahsedilmiş bu devrelerin temel özellikleri, çalışma ilkeleri, avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır. Esnek kontrol özellikleri bulunması, araştırma ve geliştirmeye imkân sağlaması sebebiyle en uygun model olan klasik çevirici devre topolojisi tercih edilmiş ve uygulanmıştır. Uygulama 84 Volt gerilim ve 3,5 Amper aşırı akım korumalı SMPS doğru akım kaynağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 20 KHz PWM darbe kullanılarak yumuşak ve sert kıyıcı modunda çalışabilecek bir sürücü devre tasarlanmıştır.

Yumuşak kıyıcı modunun kaynak gerilim genliği ile motor çalışma gerilim genliği arasında genlik farkı az olan uygulamalar için tercih edilmesinin uygun olduğu belirlenmiştir. Yumuşak kıyıcı modun az tork dalgalanmalı ve düşük gürültülü bir çalışma modu olduğu gözlemlenmiştir. PWM açıklık oranı %0'dan %100'e kadar uygulanabilmiş geniş bir çalışma yelpazesine sahiptir. Bu hali ile kullanılan metod yüksek çözünürlükte (küçük adımlı) bir kontrol esnekliği sağlamıştır. Ulaşılmak istenilen motor devir sayısı hassas bir şekilde kontrol edilebilmiştir.

Sert kıyıcı modda tork dalgalanmasının ve elektriksel gürültünün fazla olduğu gözlemlenmiştir. PWM açıklık oranının %55'ten %100'e kadar uygulanabildiği gözlemlenmiştir. Düşük PWM açıklık değerlerinde faz sargılarına aktarılan akım rotor ataletini yenememektedir. Motor genliği ile kaynak genliği arasında fazla fark olan uygulamalarda tercih edilmesinin daha doğru olacağı tespit edilmiştir.

Yapılan testlerde ileri ve geri her iki yönde de 12000 devir/dakika gibi hızlara sorunsuzca ulaşılmıştır. Sert veya yumuşak modda çalışma, ulaşılan en yüksek hızları etkilememiş, sadece PWM açıklık hız dağılım skalasını değiştirmiştir.

ARM'lerin konum kontrolü çalışmalarında optik sensörler, hall effect elemanlar kullanılmakta olup, güvenilirliğinin tartışılıyor olmasından dolayı sensörsüz işletim uygulamaları tercih edilmemektedir. Optik sensörler kesin çözüm vermekle birlikte tozlu, nemli, kirli ortamlarda algılama özelliğinin kaybolması durumu dikkate alınarak hall effect elemanların rotor konum algılama ünitesinde kullanılması önem kazanmıştır.

Çalışmanın amacı hall effect elemanlarının kir, toz, ısı, ışık gibi çalışma ortamlarının olumsuz koşullarından etkilenmemesi özelliğinden faydalanmaktır. Hall effect sensörleri rotor konum algılama ünitesinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmayla toz, kir yağ, ısı, ışık gibi elektrik makinalarının çalışma koşullarından kaynaklanan dış etkenlerden bağımsız bir rotor konum algılama sistemi geliştirilmiştir. Böylece ARM ortam koşullarından bir indüksiyon motoru kadar az etkilenen bir elektrik motoruna dönüşmüştür. Böylelikle ARM'lerin tercih edilebilirliğine katkı sağlanmıştır.

Kalkış problemleri, darbeli çalışma ve rotor konumunun belirlenmesi gibi dezavantajlarının yanında, bakım gerektirmeme, yüksek hızlarda çalışabilme, basit yapı ve düşük üretim maliyeti gibi avantajlarının varlığı, gündeme yeni giren ARM'lerin ticarileşmesinde etkili olabileceği sonucuna ulaştırmıştır.

KAYNAKLAR

1. Krishnan, R., Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications, London, CRC Press, 2001.
2. Nasar, S.A., Ofsenani R., D.C. Switched Reluctance Motor, In Proceedings Of The **Institution Electrical Engineers**, **116(6)**,1048, 1969.
3. Diril, O., Anahtarlamalı Relüktans Motorda Moment Dalgalılığını Enazlama Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
4. Hsu, J.S., Liou , P.S., Woodson, H.H., Peaked-MMF Smooth-Torque Reluctance Motors, **IEEE Transactions on Energy Conversion**, **5(1)**, 104-109, 1990.
5. Güvenç U., Anahtarlamalı Relüktans Motorun Denetimi Yüksek Lisans Tezi ANKARA ARALIK 2005
6. Prof. Dr. Bal Güngör, Özel Elektrik Makinaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2004
7. Switched Reluctance Motor Control – Principle and implementation with M16C/62A Mitsubishi Electric Srm Drive Using M16C Microcontroller Semiconductors Loic LE COZ 01/08/01
8. OMAÇ Z., Yeni Bir Anahtarlı Relüktans Motorun Tasarımı Ve Akım Kontrolü Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
9. Arkadan, A. A., B., Kielgas, W., 1994, Switched Reluctance Motor Drive Systems Dynamic Performance Prediction Under Internal and External Fault Conditions, **IEEE Transactions on Energy Conversion**, **9**, No. 1, pp. 45-51, March.
10. Miller, T.J.E., Switched Reluctance Motors and Their Control, New York, Magna Physics Publishing & Clarendon Press, 1993.
11. Özoğlu, Y., Anahtarlamalı Relüktans Motorunda Kutup Başlarına Şekil Vererek Moment Dalgalanmasının Azaltılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.

12. NEC Switch reluctance motor control with μ PD78K0/KX2 **Application Note U18498EE1V0AN00**
13. Sayeed Mir, Classification of SRM Converter Topologies for Automotive Applications Delphi Saginaw Steering Systems, *SAE 2000 World Congress*, Detroit, Michigan March 6–9, 2000
14. Michael T. DiRenzo Digital Signal Processing Solutions Texas Instruments Application Report PRA420A - February 2000 Switched Reluctance Motor Control–Basic Operation and Example Using the TMS320F240
15. Radim Visinka Design of Motor Control Application, Freescale Semiconductor Application Note AN1912 Rev. 2, 9/2005 3-Phase SR Motor Control with Hall Sensors Using a 56F80x, 56F8100 or 56F8300 Device Design of Motor Control Application
16. Peatman, John B., Design With PIC Microcontrollers, Prentice Hall, NJ, 1997 17. Barnes, M., Pollock, C., Power Electronic Converters for Switched Reluctance Drives, **IEEE Transactions On Power Electronics**, **13**, No. 6, November 1998.
18. Bose K. B. ,Power Electronics and Motor Drives Advances and Trends, Condra Chair of Excellence in Power Electronics/Emeritus The University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 2006
19. Ünlü M., Anahtarlı Relüktans Makinasının Simülasyonu Ve Dinamik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü KOCAELİ, 2006

EKLER

Ek-1. Tasarımda kullanılan IGBT Sürücü Entegresi

International
IR Rectifier

Data Sheet No. PD60147 rev.U

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
 - Fully operational to +500V or +600V
 - Tolerant to negative transient voltage
 - dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
 - Separate logic supply range from 3.3V to 20V
 - Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

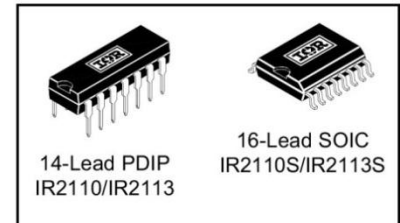
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

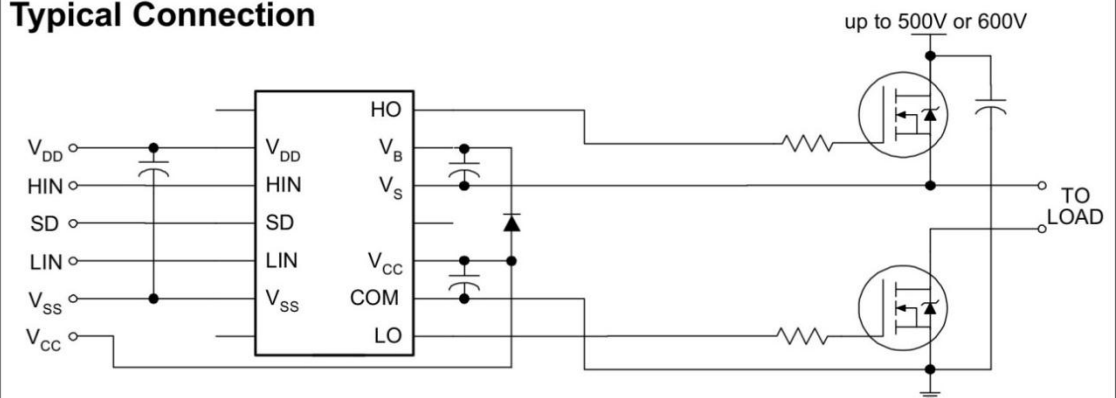
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

Ek-2. Tasarımda kullanılan PIC Mikrokontrolör



PIC18F1230/1330

18/20/28-Pin, Enhanced Flash Microcontrollers with nanoWatt Technology, High-Performance PWM and A/D

14-Bit Power Control PWM Module:

- Up to 6 PWM channel outputs
 - Complementary or independent outputs
- Edge or center-aligned operation
- Flexible dead-band generator
- Hardware Fault protection input
- Simultaneous update of duty cycle and period:
 - Flexible Special Event Trigger output

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, up to 40 MHz
- 4x Phase Lock Loop (PLL) – available for crystal and internal oscillators
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user-selectable frequencies from 31 kHz to 8 MHz
 - Provides a complete range of clock speeds from 31 kHz to 32 MHz when used with PLL
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A, typical
- Sleep mode current down to 0.1 μ A, typical
- Timer1 Oscillator: 1.8 μ A, typical; 32 kHz; 2V
- Watchdog Timer (WDT): 2.1 μ A, typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Peripheral Highlights:

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Up to 4 programmable external interrupts
- Four input change interrupts
- Enhanced Addressable USART module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
 - RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)
 - Auto-wake-up on Start bit
 - Auto-Baud Detect
- 10-bit, up to 4-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D):
 - Auto-acquisition capability
 - Conversion available during Sleep
- Up to 3 analog comparators
- Programmable reference voltage for comparators
- Programmable 15-level Low-Voltage Detection (LVD) module:
 - Supports interrupt on Low-Voltage Detection

Special Microcontroller Features:

- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- Flash memory retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit ADC Channel	EUSART	Analog Comparator	14-Bit PWM (ch)	Timers 16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)						
PIC18F1230	4096	2048	256	128	13	4	Yes	3	6	2
PIC18F1330	8192	4096	256	128	13	4	Yes	3	6	2

Ek-3. Tasarımda Kullanılan Optocoupler



Agilent Technologies
Innovating the HP Way

Single Channel, High Speed Optocouplers

Technical Data

6N135/6
HCNW135/6
HCNW4502/3
HCPL-2502
HCPL-0452/3
HCPL-0500/1
HCPL-4502/3

Features

- **15 kV/ μ s Minimum Common Mode Transient Immunity at $V_{CM} = 1500$ V (4503/0453)**
- **High Speed: 1 Mb/s**
- **TTL Compatible**
- **Available in 8-Pin DIP, SO-8, Widebody Packages**
- **Open Collector Output**
- **Guaranteed Performance from Temperature: 0°C to 70°C**
- **Safety Approval**
UL Recognized – 2500 V rms for 1 minute (5000 V rms for 1 minute for HCNW and Option 020 devices) per UL1577
CSA Approved
VDE 0884 Approved
 $-V_{IORM} = 630$ V peak for HCPL-4503#060
 $-V_{IORM} = 1414$ V peak for HCNW devices
BSI Certified (HCNW devices only)
- **Dual Channel Version Available (253X/4534/053X/0534)**
- **MIL-STD-1772 Version Available (55XX/65XX/4N55)**

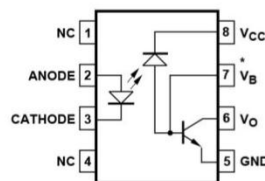
Applications

- **High Voltage Insulation**
- **Video Signal Isolation**
- **Power Transistor Isolation in Motor Drives**
- **Line Receivers**
- **Feedback Element in Switched Mode Power Supplies**
- **High Speed Logic Ground Isolation – TTL/TTL, TTL/CMOS, TTL/LSTTL**
- **Replaces Pulse Transformers**
- **Replaces Slow Phototransistor Isolators**
- **Analog Signal Ground Isolation**

Description

These diode-transistor optocouplers use an insulating layer between a LED and an integrated photodetector to provide electrical insulation between input and output. Separate connections for the photodiode bias and output-transistor collector increase the speed up to a hundred times that of a conventional phototransistor coupler by reducing the base-collector capacitance.

Functional Diagram



* NOTE: FOR 4502/3, 0452/3, PIN 7 IS NOT CONNECTED.

TRUTH TABLE (POSITIVE LOGIC)	
LED	V_o
ON	LOW
OFF	HIGH

A 0.1 μ F bypass capacitor must be connected between pins 5 and 8.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

Ek-4. Tasarımda Kullanılan Lineer Hall Effect Sensör

3503

Data Sheet
2750184

RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

The UGN3503LT, UGN3503U, and UGN3503UA Hall-effect sensors accurately track extremely small changes in magnetic flux density—changes generally too small to operate Hall-effect switches.

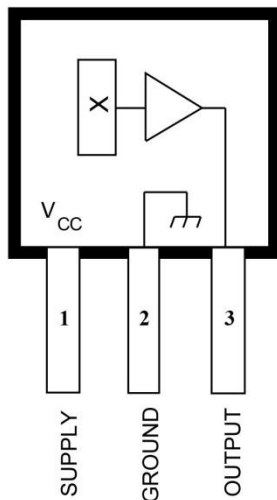
As motion detectors, gear tooth sensors, and proximity detectors, they are magnetically driven mirrors of mechanical events. As sensitive monitors of electromagnets, they can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically noisy environments.

Each Hall-effect integrated circuit includes a Hall sensing element, linear amplifier, and emitter-follower output stage. Problems associated with handling tiny analog signals are minimized by having the Hall cell and amplifier on a single chip.

Three package styles provide a magnetically optimized package for most applications. Package suffix 'LT' is a miniature SOT-89/TO-243AA transistor package for surface-mount applications; suffix 'U' is a miniature three-lead plastic SIP, while 'UA' is a three-lead ultra-mini-SIP. All devices are rated for continuous operation over the temperature range of -20°C to $+85^{\circ}\text{C}$.

FEATURES

- Extremely Sensitive
- Flat Response to 23 kHz
- Low-Noise Output
- 4.5 V to 6 V Operation
- Magnetically Optimized Package



Dwg. PH-006

Pinning is shown viewed from branded side.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V_{CC}	8 V
Magnetic Flux Density, B	Unlimited
Operating Temperature Range,	
T_A	-20°C to $+85^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range,	
T_S	-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$

Always order by complete part number, e.g., **UGN3503UA**.

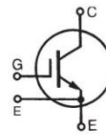


Ek-5. Çeviricide Kullanılan IGBT Veri Sayfası



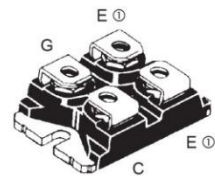
HiPerFAST™ IGBT

IXGN 200N60B

 $V_{CES} = 600 \text{ V}$
 $I_{C25} = 200 \text{ A}$
 $V_{CE(sat)} = 2.1 \text{ V}$


Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings
V_{CES}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	600 V
V_{CGR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C ; $R_{GE} = 1 \text{ M}\Omega$	600 V
V_{GES}	Continuous	± 20 V
V_{GEM}	Transient	± 30 V
I_{C25}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	200 A
I_L	Terminal Current Limit	100 A
I_{C90}	$T_C = 90^\circ\text{C}$	120 A
I_{CM}	$T_C = 25^\circ\text{C}$, 1 ms	400 A
SSOA (RBSOA)	$V_{GE} = 15 \text{ V}$, $T_{VJ} = 125^\circ\text{C}$, $R_G = 2.4 \Omega$ Clamped inductive load, $L = 30 \mu\text{H}$	$I_{CM} = 200$ @ $0.8 V_{CES}$
P_C	$T_C = 25^\circ\text{C}$	600 W
T_J		-55 ... +150 $^\circ\text{C}$
T_{JM}		150 $^\circ\text{C}$
T_{slg}		-55 ... +150 $^\circ\text{C}$
V_{ISOL}	50/60 Hz $I_{ISOL} \leq 1 \text{ mA}$	t = 1 min t = 1 s 2500 V~ 3000 V~
M_d	Mounting torque Terminal connection torque (M4)	1.5/13 Nm/lb.in. 1.5/13 Nm/lb.in.
Weight		30 g

SOT-227B, miniBLOC



G = Gate, C = Collector, E = Emitter

⊕ either emitter terminal can be used as Main or Kelvin Emitter

Features

- International standard package miniBLOC
- Aluminium nitride isolation
 - high power dissipation
- Isolation voltage 3000 V~
- Very high current, fast switching IGBT
- Low $V_{CE(sat)}$
 - for minimum on-state conduction losses
- MOS Gate turn-on
 - drive simplicity
- Low collector-to-case capacitance (< 50 pF)
- Low package inductance (< 5 nH)
 - easy to drive and to protect

Applications

- AC motor speed control
- DC servo and robot drives
- DC choppers
- Uninterruptible power supplies (UPS)
- Switch-mode and resonant-mode power supplies

Advantages

- Easy to mount with 2 screws
- Space savings
- High power density

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
BV_{CES}	$I_C = 1 \text{ mA}$, $V_{GE} = 0 \text{ V}$	600		V
$V_{GE(th)}$	$I_C = 1 \text{ mA}$, $V_{CE} = V_{GE}$	2.5		V
I_{CES}	$V_{CE} = V_{CES}$ $V_{GE} = 0 \text{ V}$		$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$	200 μA 2 mA
I_{GES}	$V_{CE} = 0 \text{ V}$, $V_{GE} = \pm 20 \text{ V}$			± 400 nA
$V_{CE(sat)}$	$I_C = I_{C90}$, $V_{GE} = 15 \text{ V}$			2.1 V

Ek-6. Çeviricide Kullanılan Fast Recovery Diode Veri Sayfası



www.vishay.com

VS-150EBU04

Vishay Semiconductors

Ultrafast Soft Recovery Diode, 150 A FRED Pt®



PowerTab®



FEATURES

- Ultrafast recovery time
- 175 °C max. operating junction temperature
- Screw mounting only
- Designed and qualified according to JEDEC-JESD47
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC
- PowerTab® package

RoHS
COMPLIANT

BENEFITS

- Reduced RFI and EMI
- Higher frequency operation
- Reduced snubbing
- Reduced parts count

DESCRIPTION/APPLICATIONS

These diodes are optimized to reduce losses and EMI/RFI in high frequency power conditioning systems.

The softness of the recovery eliminates the need for a snubber in most applications. These devices are ideally suited for HF welding, power converters and other applications where switching losses are not significant portion of the total losses.

PRODUCT SUMMARY

Package	PowerTab®
$I_{F(AV)}$	150 A
V_R	400 V
V_F at I_F	1.3 V
t_{tr} (typ.)	See recovery table
T_J max.	175 °C
Diode variation	Single die

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MAX.	UNITS
Cathode to anode voltage	V_R		400	V
Continuous forward current	$I_{F(AV)}$	$T_C = 104$ °C	150	A
Single pulse forward current	I_{FSM}	$T_C = 25$ °C	1500	
Maximum repetitive forward current	I_{FRM}	Square wave, 20 kHz	300	
Operating junction and storage temperatures	T_J, T_{Stg}		- 55 to 175	°C

ELECTRICAL SPECIFICATIONS ($T_J = 25$ °C unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS
Breakdown voltage, blocking voltage	V_{BR}, V_R	$I_R = 200$ μ A	400	-	-	V
Forward voltage	V_F	$I_F = 150$ A	-	1.07	1.3	
		$I_F = 150$ A, $T_J = 175$ °C	-	0.9	1.1	
		$I_F = 150$ A, $T_J = 125$ °C	-	0.96	1.17	
Reverse leakage current	I_R	$V_R = V_R$ rated	-	-	50	μ A
		$T_J = 150$ °C, $V_R = V_R$ rated	-	-	4	mA
Junction capacitance	C_T	$V_R = 400$ V	-	100	-	pF
Series inductance	L_S	Measured lead to lead 5 mm from package body	-	3.5	-	nH

Revision: 16-Jun-11

1

Document Number: 93003

For technical questions within your region: DiodesAmericas@vishay.com, DiodesAsia@vishay.com, DiodesEurope@vishay.comTHIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Adana'nın Seyhan ilçesinde doğdu. İlköğretimini altıncı sınıfa kadar Adana'da eğitim gördükten sonra orta ve lise öğrenimini Kayseri'de tamamladı. 2002 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği bölümünü birincilikle kazandı. Bir yıllık İngilizce yabancı dil eğitimi aldıktan sonra dört yıl mühendislik eğitimi aldı. Askerlik görevini jandarma-komando yedek subay olarak yerine getirdi. Ocak 2009 itibarıyla iş hayatına atıldı. Erciyes Teknopark'ta özel bir firmada iki yıl ar-ge mühendisi olarak görev yaptıktan sonra bir yıl Kayseri Organize Sanayide özel bir fabrikada bakım onarım müdürlüğü yaptı. Temmuz 2012'de Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Gemerek Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi ve müdür yardımcısı olarak yeni görevine başladı. Halen görevine devam etmektedir.

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Mehmet Akif BUZPINAR

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 13 Haziran 1984, Adana

Medeni Durumu: Evli

Cep Tel: 05052478846

Adres: Cumhuriyet Üniversitesi Gemerek Meslek Yüksekokulu Gemerek / SİVAS

E-posta: mbuzpinar@cumhuriyet.edu.tr