

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOĞRUSAL HAREKETLİ ASENKRON MOTORUN  
BULANIK MANTIKLA DENETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Müh. Kemalettin ASLAN**

**TEMMUZ 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOĞRUSAL HAREKETLİ ASENKRON MOTORUN  
BULANIK MANTIKLA DENETİMİ**

**Elk. Müh. Kemalettin ASLAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Elektrik Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.06.2010  
Tezin Savunma Tarihi : 07.07.2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adem Sefa AKPINAR  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Cemal KÖSE  
Jüri Üyesi : Yard. Doç Dr. H. İbrahim OKUMUŞ**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programında yapılan bir çalışmadır. “Doğrusal Hareketli Asenkron Motorun Bulanık Mantıkla Denetimi” konulu çalışmada, doğrusal hareketli asenkron motorların tarihçesi, yapısı, çeşitleri, kullanım yerleri ve sınıflandırılmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Döner hareketli makinelerle karşılaştırılması yapılmış, performans hesapları hakkında bilgiler verilmiş ve elektromanyetik etkiler üzerinde durulmuştur. Doğrusal hareketli asenkron motor verimini etkileyen hususlar ortaya konulmuş ve bunlardan özellikle iyilik faktörü üzerinde durulmuştur. Doğrusal hareketli asenkron motorlarda yer alan sargı türlerinden bahsedilmiştir. Bulanık mantık ve bulanık denetim hakkında bilgiler verilmiş, bulanıklaştırma ve durulaştırmanın nasıl ve hangi yöntemlerle yapıldığı üzerinde durulmuştur.

“Yapılan Çalışmalar ve Bulgular” kısmında voltaj frekans (VF) denetimi anlatılmış, denetim sisteminin akış diyagramları çıkarılmış sistemin çalışması önce blok olarak sonra baskı devrelerini içerecek şekilde devreler halinde ortaya konmuştur. Sistem tümüyle kurularak çalıştırılmış ve sonuçlar gözlenmiştir.

Öncelikle katkı ve emeklerinden dolayı tez danışmanım ve hocam Prof. Dr. Adem Sefa AKPINAR’a ve ayrıca sürekli bana sabır gösteren eşim Gülcihan ASLAN’a en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Kemalettin ASLAN  
Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Döner Hareketli Makinelere Göre Farklılıklar.....	2
1.3. DHİM’de Kuvvetler.....	4
1.4. Manyetik Topoloji.....	6
1.5. Mekanik ve Ekonomik Açıdan Bakış.....	6
1.6. Aksiyal Akılı DHM’ler.....	7
1.7. Açık Manyetik Devreler.....	8
1.8. Doğrusal Hareketli Makinelerin Sınıflandırılması.....	8
1.8.1. Üretilen Kuvvetin Yönüne Göre Sınıflandırma.....	8
1.8.2. Çalışma İlkelerine Göre Sınıflandırma.....	9
1.8.3. Kullanılış Amaçlarına Göre Sınıflandırma.....	9
1.8.4. Sargılarına Göre Sınıflandırma.....	9
1.9. Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorları (DHİM) .....	10
1.9.1. DHİM’lerin sınıflandırılması.....	10
1.9.2. İyilik Faktörü.....	11
1.9.3. Konstrüksiyon Ayrıntıları.....	12
1.9.3.1. Düz Yapılı Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorları.....	12
1.9.3.2. Tubular Yapılı Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorları.....	13
1.9.4. DHİM ‘lerde Sargı Bağlantı Türleri.....	13
1.9.5. Temel Bağlıntılar ve Eşdeğer Devre.....	15

1.9.6.	Performans Hesapları.....	23
1.9.7.	Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorlarında Elektromanyetik Etkiler...	26
1.9.7.1.	Kaçak Akılar.....	26
1.9.7.2.	Deri Olayı.....	27
1.9.7.3.	Enine Uç Etkileri (Yan Etkiler).....	28
1.9.7.4.	Boyuna Uç Etkileri.....	28
1.9.7.5.	Sekonder Olarak Levha Kullanımının Etkileri.....	30
1.10.	DHİM'lerin Uygulama Alanları.....	30
1.11.	Bulanık Mantık.....	31
1.11.1.	Giriş.....	31
1.11.2.	Bulanık Kümeler ve Küme işlemleri.....	31
1.11.3.	Ayrık ve Sürekli Bulanık Kümeler.....	32
1.11.4.	Üyelik Fonksiyonları.....	32
1.11.5.	Üyelik Fonksiyonunun Genel Yapısı ve Elemanları.....	33
1.11.6.	Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	35
1.12.	Bulanık Denetim .....	35
1.12.1.	Giriş.....	35
1.12.2.	Bulanık Denetleyici ve Kısımları.....	36
1.12.2.1.	Bulanıklaştırıcı (Fuzzifier) .....	37
1.12.2.2.	Kural İşleme Ünitesi (Rule Base Unit).....	37
1.12.2.3.	Durulaştırıcı.....	42
1.12.2.4.	Denetlenen Sistem .....	44
1.12.3.	Bulanık Mantığın Uygulama Alanlarından Bazıları .....	47
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	48
2.1.	Giriş.....	48
2.2.	Voltaj Frekans Denetimi.....	48
2.3.	Motor Sürücüsü.....	50
2.4.	Denetim.....	51
2.5.	Üç Fazlı Sinüs Dalga Şeklinin Sentezi.....	51
2.6.	Sistem Donanımının Tanıtımı.....	53
2.7.	Aşırı Akım Koruması.....	54
2.8.	Aşırı ve Düşük Gerilim Koruması.....	55
2.9.	İzolasyon.....	55

2.10.	VF Denetim Yazılımı.....	56
2.11.	Hızlanma ve Yavaşlama.....	56
2.12.	Motor Denetim Akış Diyagramları .....	57
2.12.1.	Ana Akış Diyagramı.....	57
2.12.2.	ADC Akış Diyagramı.....	58
2.12.3.	Motor Denetim Akış Diyagramı (Kesme Hizmet Akış Diyagramı).....	59
2.12.4.	Parametreler, Sabitler, Fonksiyonlar ve Değişkenler.....	60
2.13.	Devre Şemaları .....	63
2.13.1.	Evirici Besleme ve Aşırı Akım Karşılaştırma Devreleri .....	63
2.13.2.	Denetim ve Koruma Devresi .....	64
2.13.3.	PIC16F777 Pin Tanımlamaları .....	64
2.13.4.	Evirici Sürücü Devresi .....	65
2.13.5.	Göstergeler ve EPROM Devresi .....	65
2.13.6.	Evirici Güç Devresi .....	66
2.14.	Baskı Devreler .....	66
2.14.1.	Evirici Besleme ve Sürücü Devreleri .....	67
2.14.2.	Denetim ve Koruma Baskı Devresi .....	67
2.14.3.	Evirici Baskı Devresi .....	68
2.14.4.	74HC14 Baskı Devresi .....	68
2.15.	Devre Resimleri .....	69
2.15.1.	Evirici Besleme Devre Resmi .....	69
2.15.2.	Denetim ve Koruma Devre Resmi .....	69
2.15.3.	Evirici Sürücü Devre Resmi .....	70
2.15.4.	Evirici Güç Devre Resmi .....	70
2.16.	Motor Devrinin Ölçülmesi .....	71
2.17.	Pinyon Tip Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motor Tasarımı .....	72
2.18.	Bulanık Denetim Yazılımı.....	73
3.	TARTIŞMA, SONUÇLAR, ÖNERİLER.....	82
4.	KAYNAKLAR.....	85

## ÖZGEÇMİŞ

## ÖZET

Bu tez çalışmasında amaç, doğrusal hareketli asenkron motorun bulanık mantıkla denetimini gerçekleştirmektir.

Birinci bölümde, doğrusal hareketli makinelerin tarihçesi, yapısı, tipleri uygulama alanları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Doğrusal hareketli asenkron motor sargı tipleri, performans hesapları, tasarım kriterleri ve verimliliği etkileyen elektromanyetik etkiler açıklanmıştır. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları hakkında bilgiler verilmiş ve bir üyelik fonksiyonunun genel yapısı gösterilmiştir. Bulanık denetim sisteminin blok diyagramı çizilerek kural tabanı, bulanıklaştırıcı gibi elemanları tanımlanmıştır.

İkinci bölümde, değişken hızlı sürücüler (VFD) ve avantajları tanıtılmıştır. Asenkron motorlarda olduğu gibi, doğrusal hareketli asenkron motorlarda da gerilim değiştirilirken frekans da aynı oranda değiştirilirse moment değişmez. Sabit momentli uygulamalarda oldukça kullanışlı olan bu prensip bu tezin esasını teşkil etmektedir. Motor denetim blok diyagramı ve denetim akış diyagramları gösterilmiştir. Motor denetimi için kullanılan parametreler ve fonksiyonlar açıklanmış ve ayrıca denetim ve koruma devre şemaları, baskı devre şemaları ile birlikte gösterilmiştir. Motor hız ölçüm yöntemi üzerinde durulmuştur.

Son olarak, mikrodenetleyicinin (16F777) hız ayarını sağlayan frekans girişine, hızı ölçen mikrodenetleyici (16F877) vasıtasıyla, yazılımsal olarak sağlanan donanımsal pwm uygulanarak bulanık mantık denetimi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal Hareketli Asenkron Motor, Bulanık Mantık Denetimi, Mikrodenetleyici, Değişken Hızlı Sürücü.

## SUMMARY

### **The Control of Linear Induction Motor with the Fuzzy Logic Method**

The aim of this thesis, to carry out a fuzzy logic control for three phase linear induction motor (LIM).

In the first section, the linear motion of the machine's history, structure, general information about the types of applications are given. Linear induction motor winding types, mathematical performance calculations, construction criteria, such as goodness factor, electromagnetic reasons which affect LIMs efficiency are presented.

Information about fuzzy sets and membership functions are given and the general structure of a membership function is illustrated. A block diagram of a fuzzy control system is drawn and identified its elements such as rule base, fuzzification etc.

In the second chapter, variable frequency drive (VFD) and benefits are explained. As with asynchronous motor, also linear induction motor, changing the frequency of the voltage is changed at the same rate does not change momentum. Very useful in applications with constant torque which is these principles form the basis of this thesis. The parts a motor control block diagram and control flow chart diagrams are illustrated. Parameters and functions for motor control board are defined. Also motor control circuits and printed circuit boards are demonstrated. Engine speed measurement methods are emphasized.

Finally, the fuzzy logic control method by applying hardware pwm, by measuring speed microcontroller (16F877), to frequency input pin, which ensure speed control, on microcontroller (16F777) is implemented.

**Key Words:** Linear Induction Motor, Fuzzy Logic Control, Variable Frequency Drive.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Döner hareketli makineden doğrusal hareketli makinenin elde edilişi ... ..	3
Şekil 1.2. DÖHM'den DHM ve tubular motor elde edilişi .....	3
Şekil 1.3. Boyuna primer paketinin oluşumu .....	4
Şekil 1.4. Tek yanlı DHİM ve reaksiyon levhası .....	5
Şekil 1.5. Tek yanlı DHİM ve kuvvetler .....	5
Şekil 1.6. Halka sargılı, enine akılı DHM'ler .....	6
Şekil 1.7. DHM'de primer ve sekonderler .....	7
Şekil 1.8. DHİM'nin şematik olarak sınıflandırılması .....	10
Şekil 1.9. Çift yanlı düz yapılı DHİM .....	12
Şekil 1.10. Kutup sayısı çift olan makinelerde kullanılan tek tabakalı sargılar .....	13
Şekil 1.11. Kutup sayısı çift olan makinelerde kullanılan çift tabakalı sargılar .....	14
Şekil 1.12. Kutup sayısı tek ve son oluklarında tek tabaka bulunan sargılar .....	14
Şekil 1.13. Çok küçük güçlü makinelerde kullanılan ekonomik sargılar .....	14
Şekil 1.14. DHİM'de sekonderler .....	15
Şekil 1.15. Eşdeğer devre .....	21
Şekil 1.16. Çift yanlı DHİM .....	22
Şekil 1.17. $F_m=f(V_1)$ ve $V_m=f(F_m)$ Eğrileri .....	26
Şekil 1.18. Hava aralığına bağlı olarak çekme ve itme kuvvetleri .....	27
Şekil 1.19. Frekansa bağlı olarak bir iletkende akım yoğunluğu değişimi .....	27
Şekil 1.20. Enine uç etkisi .....	28
Şekil 1.21. Boyuna uç etkileri .....	29
Şekil 1.22. Boyuna uç etkisi altında sekonderde oluşan girdap akımı dağılımı .....	29
Şekil 1.23. Ayrık ve sürekli bulanık kümeler .....	32
Şekil 1.24. Üyelik fonksiyonu ve kısımları .....	33
Şekil 1.25. Normal ve normal olmayan kümeler .....	34
Şekil 1.26. Üçgen üyelik fonksiyonu .....	35
Şekil 1.27. Bulanık mantık tabanlı bir denetleyicinin genel yapısı .....	36
Şekil 1.28. Bulanıklaştırma işleminin yapılışı .....	37
Şekil 1.29. Kural işleme ünitesinde kuralların bulanık kümelerle gösterimi .....	39
Şekil 1.30. MOM ilkesine göre işlem yapan durulaştırıcı .....	43

Şekil 1.31. Durulaştırılmış z değerinin uygulanmadan önce işlenmesi .....	45
Şekil 1.32. Doğru gerilim kısıyıcı çıkış gerilimi dalga biçimi .....	45
Şekil 2.1. Asenkron motorun moment-hız karakteristikleri .....	49
Şekil 2.2. VF denetimli asenkron motorun moment-hız karakteristikleri .....	49
Şekil 2.3. Üç fazlı evirici köprüsü .....	50
Şekil 2.4. Üç fazlı sinüs dalga şeklinin sentezi .....	52
Şekil 2.5. Timer1 taşması, PWM duty oranı ve çıkış gerilimi .....	53
Şekil 2.6. Motor sürücü sistemi blok diyagramı .....	54
Şekil 2.7. Ana akış diyagramı (Ana program) .....	57
Şekil 2.8. ADC (analog dijital çevirici) akış diyagramı .....	58
Şekil 2.9. Motor denetim akış diyagramı .....	59
Şekil 2.10. Evirici besleme ve aşırı akım karşılaştırma devreleri .....	63
Şekil 2.11. Evirici denetim devresi .....	64
Şekil 2.12. 16F777 bacak tanımlamaları .....	64
Şekil 2.13. Evirici sürücü devresi .....	65
Şekil 2.14. Göstergeler ve EPROM devresi .....	65
Şekil 2.15. Evirici güç devresi .....	66
Şekil 2.16. Evirici besleme ve sürücü devreleri .....	67
Şekil 2.17. Denetim ve koruma baskı devresi .....	67
Şekil 2.18. Evirici baskı devresi .....	68
Şekil 2.19. 74HC14 baskı devresi .....	68
Şekil 2.20. Evirici besleme devresi resmi .....	69
Şekil 2.21. Denetim ve koruma devre resmi .....	69
Şekil 2.22. Evirici sürücü devresi .....	70
Şekil 2.23. Evirici güç devresi resmi .....	70
Şekil 2.24. CNY70 sensörü .....	71
Şekil 2.25. CNY70'li tetikleme devresi .....	72
Şekil 2.26. Doğrusal hareketli asenkron motor ve kısımları .....	72
Şekil 2.27. Üç fazlı DHİM sac paketinin yerleşimi .....	73
Şekil 2.28. Hız ölçüm yazılımının isis programı ile simülasyonu .....	81
Şekil 3.1. MC3PHAC tabanlı motor denetim sistemi .....	83
Şekil 3.2. PDIP ve SOIC için pin bağlantıları .....	83
Şekil 3.3. MC3PHAC müstakil çalışan devre şeması .....	84

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen kural tablosu .....	41
Tablo 2. Bulanık Sözlerle temsil edilen kural tablosu .....	41
Tablo 3. Yazılımdaki kullanıcı tanımlı parametreler .....	60
Tablo 4. Yazılımdaki sabitler .....	61
Tablo 5. Yazılımdaki fonksiyonlar .....	62
Tablo 6. Yazılımdaki değişkenler .....	63

## SEMBOLLER DİZİNİ

$A_e$	Akıma gösterilen kesit
$A_m$	Akıya gösterilen kesit
$A_r$	Sekonder sargılarının kesitleri
$a$	Saç paketi genişliği
$a_e$	Eşdeğer genişlik ( $2a_e = 2a + g_0$ )
$B_{mz}$	Hava aralığı akı yoğunluğunun normal bileşeninin maksimum değeri
$B_{ort}$	Hava aralığı akı yoğunluğunun normal bileşeninin ortalama değeri
$D_0$	Primerin delik çapı
$D_1$	Primer sargısının ortalama çapı
$D_2$	Sekonderin (iletken gömleğin) ortalama çapı
$d$	Sekonderde kullanılan Al levhanın et kalınlığı
$E_1$	Primer geriliminin etkin değeri
$E_2'$	Primere indirgenmiş sekonder emk'sı
$F_m$	Üretilen kuvvet
$F_{zç}$	Primerin sekondere uyguladığı çekme kuvveti
$F_{zi}$	Sekonderde oluşan girdap akımlarının meydana getirdiği itme kuvveti
$F_s$	Sürtünme kuvveti
$f$	Primer akımının frekansı
$f_1$	Primer akımının frekansı
$g$	Hava aralığı
$I_1$	Primerin etkin akımı
$I_2'$	Primere indirgenmiş sekonder akımı
$J$	Primer sargı akım yoğunluğu
$k_1', k_2$	Oluk derinlik ve genişliği ile kirlenme faktörlerine bağlı sabitler
$k_b$	Alan faktörü

$k_f$	Primer sargının form faktörü
$k_{w1}$	Primer sargının sargı faktörü
$k_{w2}$	Ana harmoniğin form faktörü
$L_i$	$\phi$ 'ye karşı düşen kesitin bir boyutu.
$\ell_e$	Elektriksel elemanda ortalama akım yolu uzunluğu
$\ell_m$	Manyetik devrenin ortalama akı yolu uzunluğu
$\ell_{ce}$	Sargı sonlarının uzunlukları sabitler
$m_1$	Primerin faz sayısı
$N_{s\ell}$	Sekonderin uzunluk başına oluk sayısı
$N_1$	Primerin faz başına sarım sayısı
$P_m$	Üretilen mekanik güç
$\mathcal{P}_2$	Sekonderde kaybolan güç
$p$	Çift kutup sayısı
$P_g$	Giriş gücü
$P_1$	Primer bakır kayıpları
$P_{Fe}$	Demir kayıpları
$P_y$	Yürüyen dalga gücü
$P_2$	Sekondere giriş gücü
$\ddot{u}$	Döner tip indüksiyon makinelerinde dönüşüm oranı
$\mathcal{U}_s$	Yürüyen dalga hızını
$Z_2'$	Primere indirgenmiş sekonder empedansı
$\mu$	Manyetik geçirgenlik ( $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ )
$\sigma$	Elektriksel geçirgenlik
$\tau$	Kutup adım uzunluğunu
$\omega$	Primer akımının açısal frekansı
$\omega_1$	Primer sargısı akımının açısal frekansı
$\sigma_c$	Primer sargısı malzemesi iletkenliği ( $\rho_c = 1 / \sigma_c$ )

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Doğrusal hareketli makinelerle ilgili ilk kaynaklar 1890'lı yıllarda literatürde görülmeye başlandı. Bir kaynakta, dokuma tezgahlarında mekiğin doğrusal hareketli indüksiyon motoru ile sürülmesi önerilmekteydi. 1900-1940 yılları arasında doğrusal hareketli makinelerin tekstil sanayisindeki uygulamaları yaygınlaştı. 1905'li yıllarda ise doğrusal hareketli makinelerin demiryolunda çekici olarak kullanılması için öneriler yapılmıştır. Kayıtlı ilk tubular tip doğrusal hareketli doğru akım relüktans motoru 1917'de yapıldı ve roket fırlatmada kullanımı önerildi. 1923'te Newyork'da iki istasyon arasında çalışan bir trenin sürülmesi için tek yanlı bir doğrusal hareketli indüksiyon motoru kullanıldı. Elektriksel iletkenliği yüksek, sıvı haldeki metallerin pompalanmasında, bu sıvılar sekonderini oluşturacak şekilde, doğrusal hareketli makineler geliştirildi. 1962 yılında Rusya'da çelik üretim tesislerinde böyle bir uygulama yapıldı. Gerçek anlamda geniş çaplı bir uygulama Westinghouse firması tarafından 1946 yılında uçak fırlatma amacıyla yapıldı. Bu uygulamada hareketli bir primer ve sekonderi sargılı ve tek yanlı bir doğrusal hareketli indüksiyon makinesi kullanıldı. Motor yapısı döner hareketli makinelerden bilezikli asenkron makinenin yapısına benzemekte idi. Motor 10.000 Hp gücüne, 100 m/s (360 km/saat) hızına sahipti. 5 tonluk duran bir uçağı 4,2 saniyede 160 metrelik bir mesafede 50 m/s.'lik bir hıza çıkarabiliyordu. 1954'lü yıllarda uçak geliştirme çalışmalarında, uçak dururken rüzgar oluşturma yerine uçak modelini yüksek hızla hareket ettirme tercihi ile, rüzgar tüneline alternatif olarak kullanıldı. Bu uygulamada Royal Aircraft Establishment Şirketi tarafından yüksek hızlı doğrusal hareketli doğru akım motoru (DHDAM) kullanıldı. 1960'lı yıllardan sonra doğrusal hareketli makinelerin uygulamaları hızla gelişti. Çok hızlı trenlerin sürülmesinden manyetik yastıklara kadar çok sayıda uygulama alanı buldu [1, 3, 4, 6, 7, 13].

Bu tezin amacı, tek yanlı asenkron motorun kontrolünü herhangi bir matematiksel model kullanmaksızın bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirmektir. Bu amaçla önce doğrusal hareketli asenkron motorun yapısal özellikleri, çeşitleri, bulanık mantık ve bulanık denetim yöntemleri ortaya konulmalıdır.

## 1.2. Döner Hareketli Makinelere Göre Farklılıklar

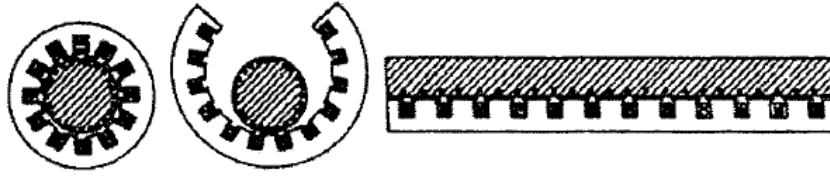
Elektrik makineleri alanında doğrusal hareket üretme, doğrudan doğruya elde etme mümkün olmasına rağmen her nedense döner hareket üretimine ağırlık verilmiş, dolayısıyla, döner hareketli elektrik makineleri ticari alanda daha çok yer almıştır. Endüstriyel alanda çevremize baktığımızda çoğu uygulamada doğrusal hareket, doğrudan doğruya elde edilmek yerine, aracı aygıtlar yardımıyla döner hareketten elde edilmektedir. Örneğin; sürgülü tip kapıların açılıp kapanması, krenler, vitesler vb. benzeri uygulamalarda doğrusal hareket ara bir mekanizmaya ihtiyaç kalmadan doğrudan doğruya doğrusal hareketli motorlar (DHM) tarafından elde edilebilir. Doğrusal hareketli makinelerin güvenilirliği, sessizliği ve aracı mekanizma kullanmama gibi üstünlükleri olmasına rağmen bunların da değişik türden sorunları, arzu edilmeyen yanları bulunmaktadır. Örneğin hava aralıklarının büyük olmasının yol açtığı düşük verimlilik, uç ve yan etkileri gibi [1].

Her tür döner elektrik makinesinin bir doğrusal hareketli makine (DHM) karşılığı bulunmasına rağmen uygulamada daha çok, doğrusal hareketli indüksiyon motorları (DHİM), doğrusal hareketli senkron motorları (DHSM), doğrusal hareketli adım motorları (DHAM) kullanılmaktadır.

Döner hareketli motorlarda yapısal değişiklikler yapılarak doğrusal hareketli makineler geçildiğinde tasarım ölçütlerinin, çalışma koşullarının tamamen farklılaştığı görülür. Ayrıca döner hareketli makinelerden hareketle doğrusal hareketli makine elde edilirken bazı olayların döner hareketli makinelerde olmadığını ve bu olayların açıklanmasında artık klasik eşdeğer devre yöntemine değil başka yöntemlere başvurulduğunu bilmek gerekir.

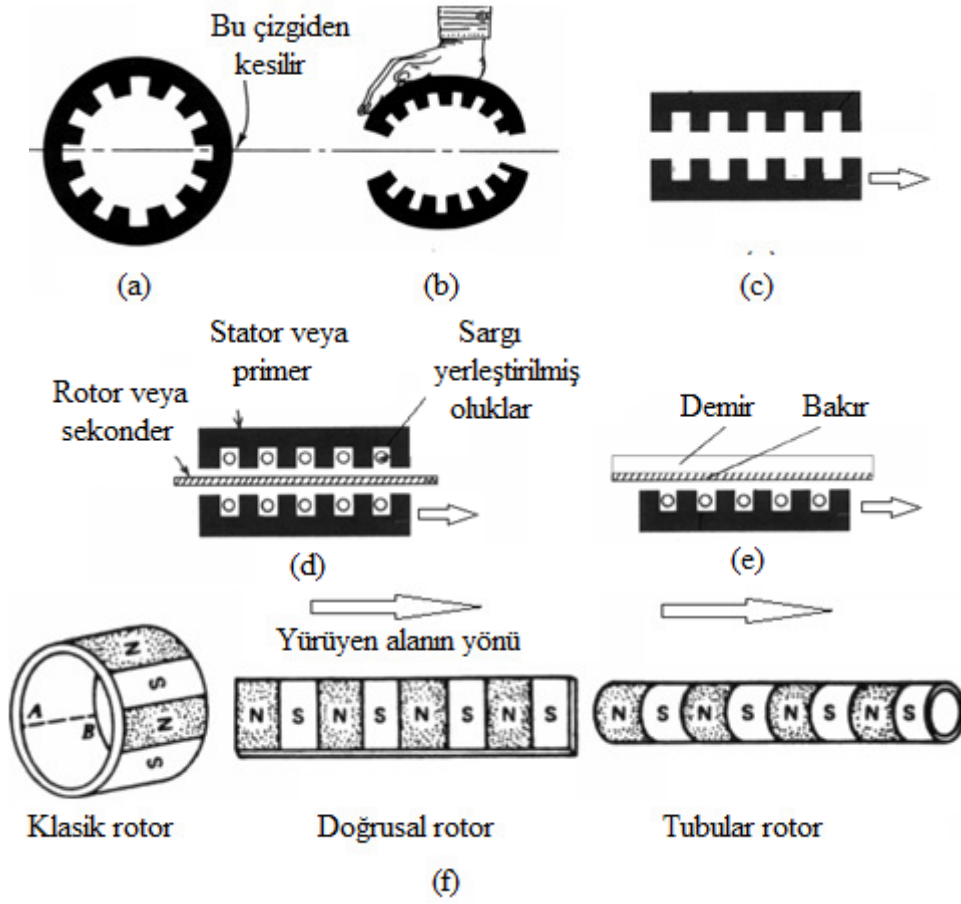
Doğrusal hareket çekme veya itme kuvveti ile gerçekleştirilir. Her iki kuvvette aynı doğrultuda olmasına rağmen doğrusal hareketli makinelerde bazen bunlara dik doğrultuda kuvvetlerde ortaya çıkar. İşte doğrusal hareketli makineleri döner hareketli makinelerden ayırt eden, ilke bakımından temel farklılık bu normal yöndeki dik kuvvetlerdir. Yapısal bakımdan farklılığı açıklamak için aşağıdaki şekli ele alalım.

Sincap kafes tip klasik bir asenkron motorun hem statorunu hem de rotorunu kesip açacak olursak aşağıdaki şekildeki yapıyı elde ederiz. Bu şekil bir doğrusal hareketli makinenin yapısı olup burada iki öğeden biri duran diğeri hareketli olarak çalışabilir. Kısa devre sargılarda kaldırılarak yerine alüminyum veya demir kullanılabilir.



Şekil 1.1. Döner hareketli makineden doğrusal hareketli makinenin elde edilişi [2].

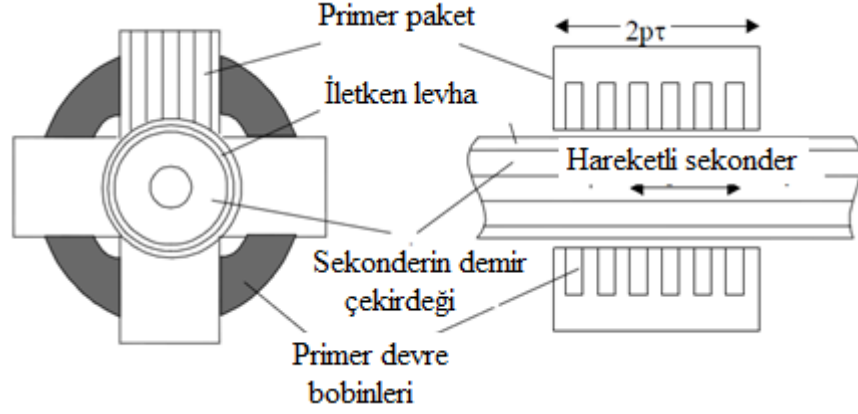
Kesme işlemi türüne göre değişik türden doğrusal hareketli makineler elde edilebilir. Şekil 1.2.'de bu açıklanmaktadır.



Şekil 1.2. DÖHM'den DHM ve tubular motor elde edilişi [2].

Gerek klasik tip gerekse tubular tip doğrusal hareketli makinelerde sargı bağlantı türleri döner hareketli makinelerden farklıdır. Şekil 1.3'te tubular tip motora ilişkin primer paketi ile sekonder yapısı görülmektedir.





Şekil 1.3. Boyuna primer paketinin oluşumu [2].

Döner hareketli makinelerde baş ve son kavramları olmamasına rağmen doğrusal hareketli makinelerde bu kavramlar kullanılmakta olup hareketin ilerleyiş yönüne göre tanımlanırlar.

Bir diğer farklılık; döner hareketli makinelerde hava aralığı küçük olmasına rağmen doğrusal hareketli makinelerde bu aralık oldukça büyüktür. Dolayısıyla döner hareketli makinelere göre boşa çalışma akımları daha büyük, verimleri daha küçüktür.

Yukarıda bahsedilen son kavramına dayalı olarak doğrusal hareketli makinelerde son taraf etkilerine (End Effect) ek olarak kenar etkileri (Edge Effect)'de mevcuttur ve döner hareketli makinelerde görülmeyen bir olaydır. Bunlar da DHM'lerin DÖHM'lere göre farklılıklarını oluştururlar.

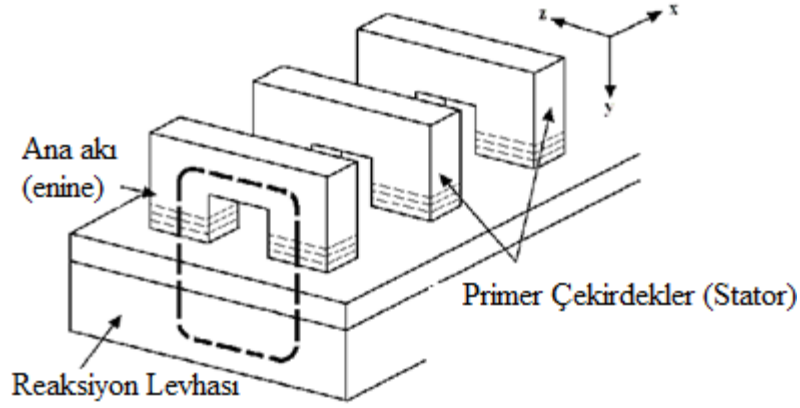
Sonuç olarak bazı deformasyonlarla DÖHM'lerden DHM'ler elde edilmesine rağmen her ikisi arasında aşağıdaki farklılıklar bulunmaktadır [1].

- Normal yönde oluşan kuvvetler
- End Effect ve Edge Effect
- Hava aralığının büyük oluşu
- Sarım tekniklerinin farklı oluşu

### 1.3. DHİM'de Kuvvetler

Doğrusal hareketli indüksiyon motorlarının muhtelif konfigürasyonları bulunmaktadır. Hava aralığı düz ya da silindirik olabilir. Akı enine ya da boyuna olabilir. Uzun primer-kısa sekonder veya kısa primer- uzun sekonder şeklinde olabilir. Aşağıda tek yanlı lineer indüksiyon motoru görülmektedir. Reaksiyon levhası manyetik olmayan ve

oldukça yüksek iletkenliği olan malzemeden yapılır. Arkası demirle kaplanır. Kaplama demir sargıda endüklenen manyetik akının güçlenmesine yardımcı olur. Bobine AC akım uygulandığında yürüyen alan üretilir. Yürüyen alanın reaksiyon levhasında endüklediği akımlar ikinci bir manyetik alanı meydana getirir. Bu iki alanın etkileşimi sonucu itme kuvveti meydana gelir.



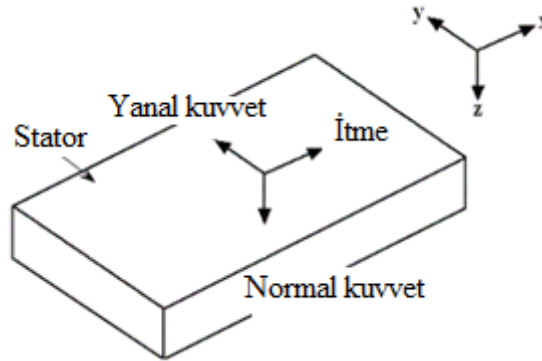
Şekil 1.4. Tek yanlı DHİM ve reaksiyon levhası

Doğrusal hareketli indüksiyon motorda üç kuvvet meydana gelmektedir.

İtme Kuvveti: x yönündeki kuvvet olup, uygulanan gerilimin karesi ile doğru orantılıdır.

Normal Kuvvet: z yönündeki kuvvettir.

Yanal Kuvvet: y yönündeki kuvvet olup, statorun simetrik olmayan konumundan kaynaklanır. Düşük hızlarda etkisi azdır.



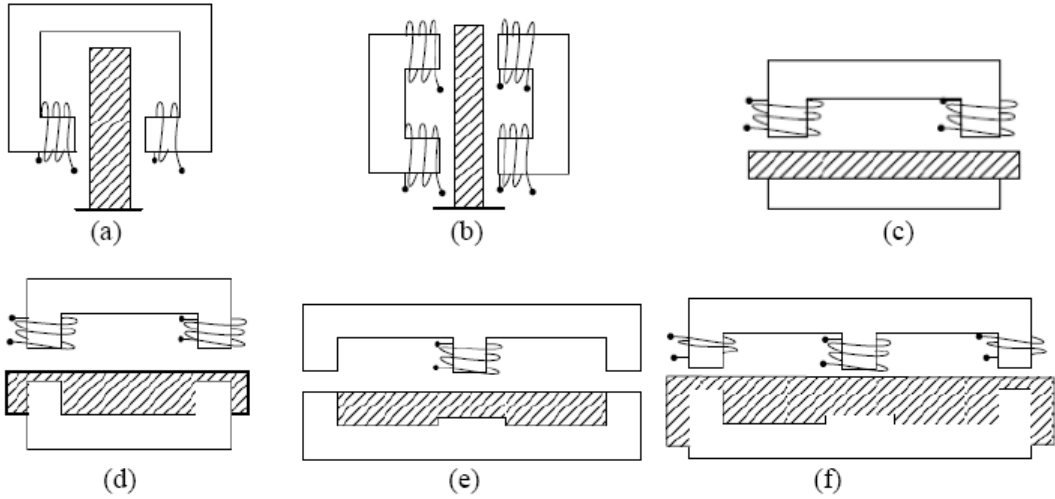
Şekil 1.5. Tek yanlı DHİM ve kuvvetler

#### 1.4. Manyetik Topoloji

Transformatörlerde açıkça görüldüğü gibi bütün elektrik makineleri elektrik devrelerinin bir manyetik yapı üzerinden kuplajlandığı aygıtlardır. İki veya daha fazla elektrik devresi birbirleri ile ilintili olmamasına rağmen ilişkiyi manyetik akı sağlamaktadır. Döner hareketli makinelerde makinenin bir başındaki akı görünümü ne ise diğer başındaki akı görünümü de aynı olup işte bu nedenle silindirik yapının sadece bir kesiti ele alınarak incelenir. Şüphesiz bu ifade boyu kesitine göre büyük olan makineler için geçerlidir. Doğrusal hareketli makinelerde ise, makinenin tipine göre tek boyutlu bir inceleme yerine iki veya bazı hallerde üç boyutlu incelemeye ihtiyaç duyulur.

Döner Hareketli Makineleri incelerken bir çift kutup başına inceleme yeterli olmasına rağmen doğrusal hareketli makineleri incelemek için bazı hallerde tüm yapıyı ele alma durumu söz konusu olabilir.

Bunlardan halka sargılı olanlar uygulamada daha çok kullanılmaktadır. Şekil 1.6'da değişik örnekler gösterilmektedir.



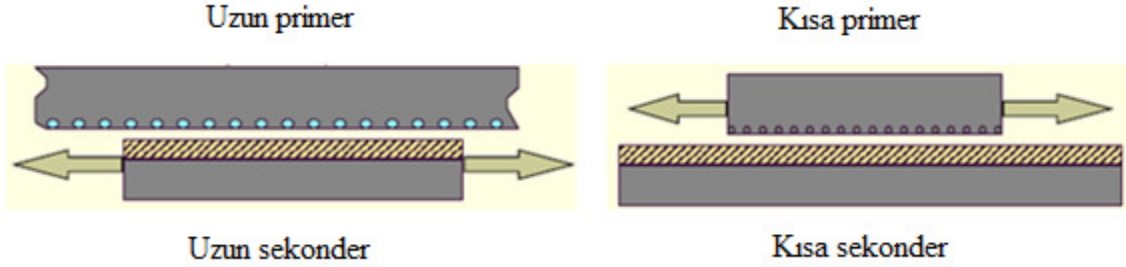
Şekil 1.6. Halka sargılı, enine akılı DHM'ler [1].

#### 1.5. Mekanik ve Ekonomik Açından Bakış

DHM'ler kuvveti oluşturmak için gerekli akımı taşıyan birincil (primer) eleman ya da elemanlar ve kuvvet oluşumuna yardımcı olan ikincil (sekonder) elemanlar bakımından iki gruba ayrılabilirler.

Bunlar;

- Boy uzun primer, boyu kısa sekonder.
- Boy kısa primer, boyu uzun sekonder.



Şekil 1.7. DHM'de primer ve sekonderler (a) Boyu uzun primer - boyu kısa sekonder, (b) Boyu kısa primer - boyu uzun sekonder

Ekonomik bakımdan ikinci grup daha uygundur. Çünkü gerek malzeme, gerekse işçilik bakımından uzun boylu bir yapıya sargı yerleştirmek ekonomik değildir.

Yukarıdaki gruplandırmayı yaparken hareketli ve duran elemanlar söz konusu edilmedi. Ancak, ekonomik durum dikkate alınarak, DHM'li sürücü sistemlerde genellikle primer hareketli kısım üzerinde bulunur. Bu yerleşim tarzı mekanik bakımdan da en uygun çözümü oluşturmaktadır [1].

Mekanik bakımdan DHM'leri etkileyen önemli etkenler:

- Normal yöndeki kuvvetler
- Uç etkileri
- Yan etkileri

Daha önce belirtildiği gibi bu etkiler döner hareketli makinelerde bulunmamaktadır. Dolayısıyla DHM'lerin tasarımında belirtilen bu etmenler dikkate alınır. Örneğin tek yanlı DHM'lerde normal yöndeki kuvvetler dengelenmemesine rağmen çift yanlıda bu kuvvetler dengelenmektedir. Tabii bu üstünlük beraberinde masrafın artışına yol açar. Yani ekonomik bakımdan arzu edilmeyen bir durum ortaya çıkar.

## 1.6. Aksiyal Akıllı DHM'ler

Bu motorlarda primerin oluşturduğu akı hareket doğrultusuna paralel yani eksenel yöndedir. Oysa halka sargılı enine akıllı makinelerde primerin oluşturduğu akı hareket

doğrultusuna dik doğrultuydu. Aksiyal akılı makinelerde sekonder yüksek permeabiliteye sahip olmalıdır. Çünkü, her iki primerin de toplam akısı sekonderden geçmekte dolayısıyla eğer permeabilite yüksek olmazsa hem demir kayıpları hem de kaçak akılar artacaktır.

### **1.7. Açık Manyetik Devreler**

DÖHM'lerde pek nadir görülen bir durum olmasına rağmen DHM'lerde görülen farklı bir durum da primerin oluşturduğu akının yolunu hava üzerinden kapatmasıdır. Böylesine makinelere "Açık manyetik devreli makineler" denir.

Dış ortama yayılan manyetik alanın daha ileri noktalara kadar etkin olmasının arzu edildiği bir uygulama alanı da manyetik krameyer sistemi veya bir diğer adı ile dış-tipi motordur.

Açık manyetik devreli bu motorlar melez tip motorlar olup primerleri doğrusal yapıda sekonderleri döner tip yani klasik rotor yapısındadır. Bunlarda, eğer rotor bir bütün malzemedan yapılırsa deri olayı nedeniyle akı rotorun yüzeyine yakın yerlerde yoğunlaşır, dolayısıyla üretilen moment büyük değerde olmaz. Bu nedenle rotor birbirinden yalıtılmış disklerden oluşturulur. Bu motorlarda üretilen Moment/J oranı daha yüksektir [1].

### **1.8. Doğrusal Hareketli Makinelerin Sınıflandırılması**

Uygulamada sadece DHİM olarak 232 değişik türü bulunan DHM'leri değişik bakımlardan çok sayıda gruplara ayırmak mümkündür. Burada sadece ana gruplar verilecektir.

#### **1.8.1. Üretilen Kuvvetin Yönüne Göre Sınıflandırma**

- a. Teğetsel Kuvvet Ağırlıklı Motorlar
- b. Normal Kuvvet Ağırlıklı Motorlar

Daha önce bahsedildiği gibi DHM'lerde iki kuvvet ortaya çıkar. Bunlardan teğetsel kuvvet doğrusal hareket sağlarken, normal kuvvet kaldırma işini yapar. Uygulamada normal kuvvet kaldırma ve süspansiyon işini yapmaktadır. Hızlı tren örneğinde bu iki kuvvetten teğetsel olanı hareketi sağlarken normal yönde olanı kaldırma işini yapar.

### **1.8.2. Çalışma İlkelerine Göre Sınıflandırma**

- a. Doğrusal hareketli indüksiyon motorları (DHİM)
- b. Doğrusal hareketli senkron motorları (DHSM)
- c. Doğrusal hareketli doğru akım motorları (DHDAM)
- d. Doğrusal hareketli adım motorları (DHAM)
- e. Doğrusal hareketli osilatörler (DHOS)
- f. Sıvı sekonderli DHM'ler, pompalar.
- g. Magnetohydrodinamik generatorler.

### **1.8.3. Kullanış Amaçlarına Göre Sınıflandırma**

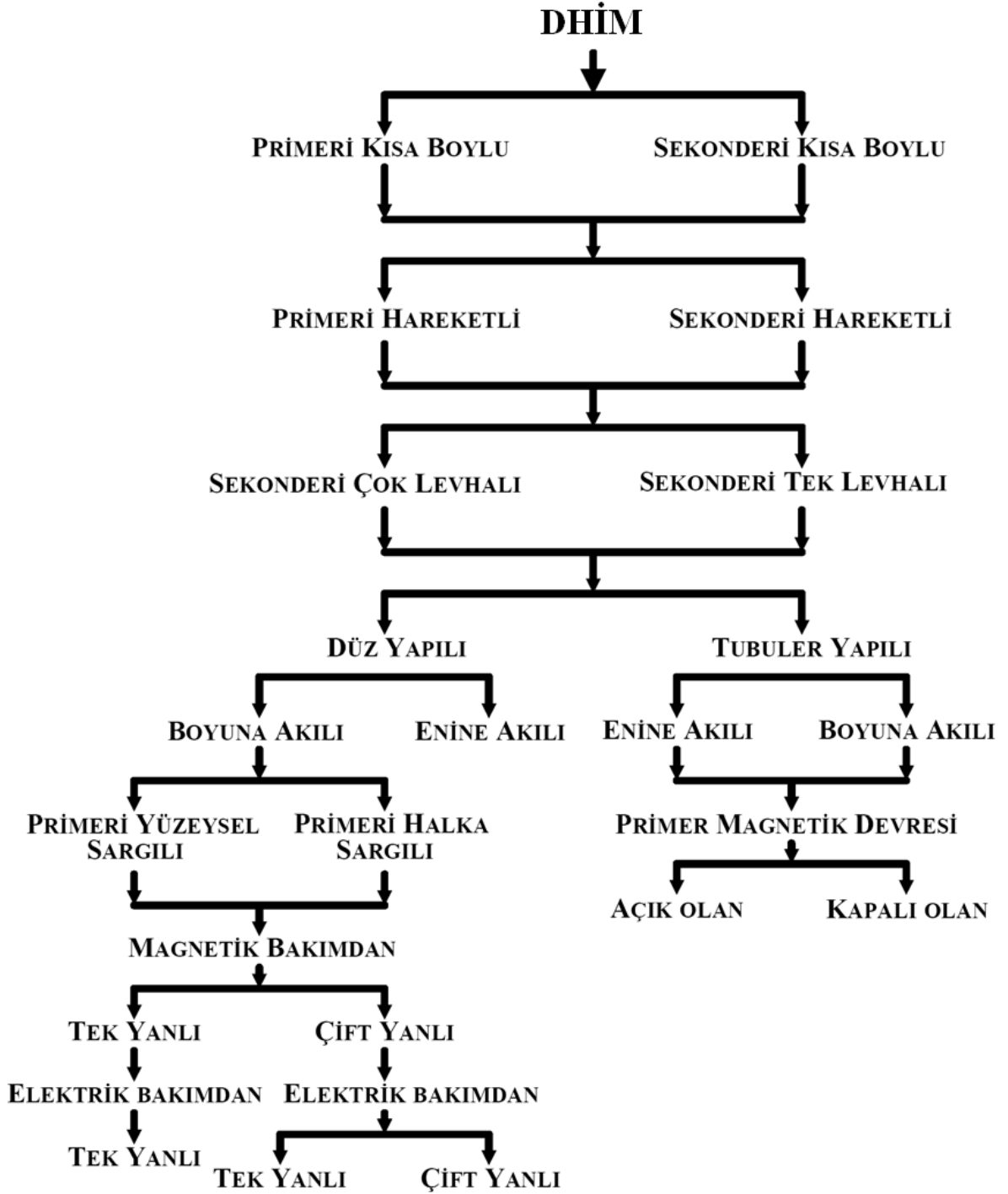
- a. Doğrusal hareketli kuvvet makineleri (DHKM): Actuatorlar.
- b. Doğrusal hareketli enerji makineleri (DHEM): İvmeleyiciler.
- c. Doğrusal hareketli güç makineleri (DHGM): Sürücüler
- d. Elektromanyetik kaldırma ve asılı tutma makineleri
- e. Özel amaçlı makineler
  - ✓ Rock ve pinyon tip
  - ✓ Gölge kutuplu tip

### **1.8.4. Sargılarına Göre Sınıflandırma**

- a. Halka sargılı DHM'ler
- b. Yüzeysel sargılı DHM'ler

## 1.9. Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorları (DHİM)

### 1.9.1. DHİM'lerin Sınıflandırılması



Şekil 1.8. DHİM'nin şematik olarak sınıflandırılması [6].

### 1.9.2. İyilik Faktörü

Tasarımcı bir takım ölçütleri dikkate alarak tasarımını gerçekleştirir. Tipik ölçütler:

- a. Verim
- b. Güç/ağırlık
- c. Maliyet/ağırlık
- d. Minimum bakım/ maksimum güvenilirlik
- e. Maliyet / güç

olup, bunlara ek daha başka ölçütler de verilebilir. Genellikle elektrik devreleri ile manyetik devrelerin iç içe olduğu, birbirleri ile halkalandığı elektrik makinelerini de tasarlarırken bu ölçütlere başvurulabilir. Öte yandan “iyi makine” derken dikkate alınan ve tanımlanan iyilik faktörüne bağlı olarak bir kavram ortaya çıkar. İşte yukarıda belirtilen ölçütlere ek olarak elektrik makineleri tasarımında “iyilik faktörüne”de başvurulur [1].

İyilik faktörü, elektrik devresinin direnci  $r$  ve manyetik devrenin relüktansı  $R$  ile ters orantılıdır.

$$G \sim \frac{1}{r \cdot R} \quad (1)$$

olup burada,

$$\frac{1}{R} = \frac{\Phi}{I} = L \quad (2)$$

olması nedeniyle,

$$G = \frac{L}{R} \quad (3)$$

olur.  $G$ 'yi boyutsuz bir büyüklük olarak tanımlamak için,

$$G \triangleq \frac{\omega}{r \cdot R} \quad (4)$$



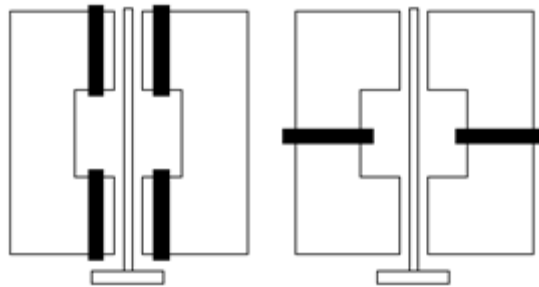
eşitliği ile verilir. Doğru akım halinde  $\omega$  yerine hıza bağlı bir büyüklük ( $1/r.R$ ) ile çarpılmalıdır. Yukarıdaki ifadeden aşağıdaki denklem çıkarılır.

$$G = \frac{\omega}{r.R} = (\omega \cdot \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \sigma) \cdot \left( \frac{A_e \cdot A_m}{\ell_e \cdot \ell_m} \right) \quad (5)$$

### 1.9.3. Konstrüksiyon Ayrıntıları

#### 1.9.3.1. Düz Yapılı Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorları

Bunlar, biçimsel bakımdan tüp şeklinde olmayıp düz yapıdadırlar. Çekirdeği oluşturan saclar transformatorlerdeki saclara benzerler. Primer sargılar sacların paketlenmesiyle ortaya çıkan oluklara yerleştirilirler. Eğer sekonder de sargılı tip ise sekonder de benzer biçimde oluşturulur. Sekonder tek parça bir iletken olabileceği gibi, kısa devre asenkron makinenin rotorunda olduğu gibi, merdivene benzer bir biçimde de olabilir. Hatırlanacağı üzere, DHİM'ler tek yanlı ya da çift yanlı yapıda olabilirler. Şekil 1.6.(a) ve (b)'de görüldüğü gibi çift yanlıda primer sargı sekonderin her iki tarafında da yer alır. Oysa Şekil 1.6.(c), (d), (e) ve (f)'den görüleceği üzere, tek yanlıda primer sargı sekonderin sadece bir tarafında yer alır. Sargı türü olarak ya yüzeysel sargılar (Şekil 1.9.(a)'ya bakınız.), ya da halka sargılar (Şekil 1.9.(b)'ye bakınız.) kullanılır. Bunlardan yüzeysel sargılar genellikle manyetik olarak kaldırmada kullanılmasına rağmen çift yanlı DHİM'lerde de kullanılabilir. Şekil 1.9.'da çift yanlı düz yapılı bir DHİM'de bu iki sargının yerleşim bakımından farklılığı gösterilmektedir. Her iki sargıda enine akı üretimi sağlamaktadır [1].



Şekil 1.9. Çift yanlı düz yapılı DHİM a. Yüzeysel sargılı,  
b. Halka sargılı

Sargılar genellikle üç fazlı sargılardır. Hatırlanırsa döner alan elde etmek için en az iki fazlı sargılara ihtiyaç vardır. Benzer şekilde yürüyen bir alan elde etmek için en az üç faza ihtiyaç bulunmaktadır. Tek fazlı asenkron motorlarda bazı önlemlerle, örneğin gölge kutup yöntemiyle nasıl hareket eden bir alan oluşturuluyorsa, burada da bazı önlemlerle tek faz ile yürüyen alan elde edilebilir.

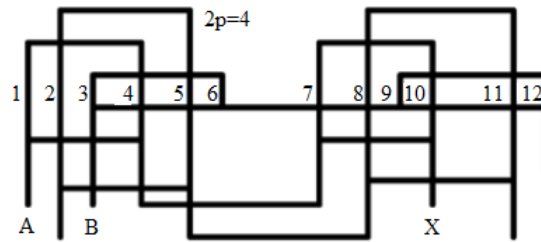
### 1.9.3.2. Tubular Yapılı Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorları

Daha sonra ele alınacak olan uç etkileri düz yapılı DHİM'lerde mevcut olmasına rağmen bu etki tubular yapılı DHİM'lerin sadece enine akılı olanlarında (bkz. Şekil 1.9.) bulunmaktadır. Aksiyal akılı olanlarında uç etkileri bulunmaz. İdeal bir aksiyal akılı tubular yapılı DHİM'de üretilen kuvvet tamamen aksenal yöndedir. Bu da motorun hareketli kısmının yataklar üzerinden kolayca kaymasını sağlar. Uygulamada karşılaşılan aktuatorlar, çekiçler, pistonlar vs. bu ilke ile çalışırlar. Tubular motorlar DHİM'ler içerisinde en kolay imal edilenleridir. Hatta bazı uygulamalarda primer demir çekirdek bile içermez. Primerin hava çekirdekli olması durumunda sekonder mutlaka demir çekirdekli olmalıdır. Demir çekirdeğin üzerine alümiyum veya bakırdan yapılmış bir gömlek giydirilerek oluşacak kuvvet artırılabilir.

### 1.9.4. DHİM'lerde Sargı Bağlantı Türleri

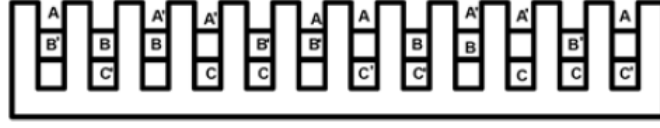
Döner hareketli asenkron motorlarındakine benzer şekilde DHİM'lerde de değişik sargı bağlantı türleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Kutup sayısı çift olan makinelerde kullanılan tek tabakalı sargılar



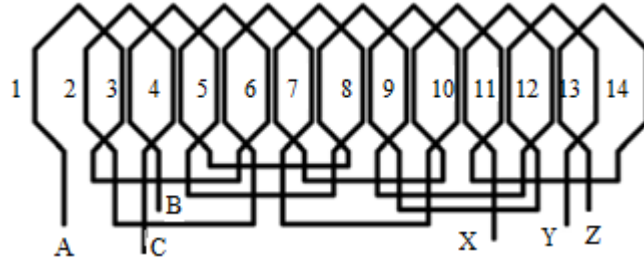
Şekil 1.10. Kutup sayısı çift olan makinelerde kullanılan tek tabakalı sargılar[4].

- b. Kutup sayısı çift olan makinelerde kullanılan çift tabakalı sargılar



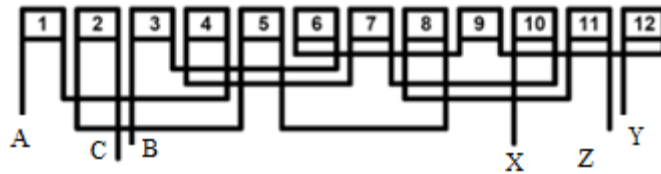
Şekil 1.11. Kutup sayısı çift olan makinelerde kullanılan çift tabakalı sargılar [4].

- c. Kutup sayısı tek ve son oluklarında tek tabaka bulunan sargılar



Şekil 1.12. Kutup sayısı tek ve son oluklarında tek tabaka bulunan sargılar [4].

- d. Çok küçük güçlü makinelerde kullanılan ekonomik sargılar



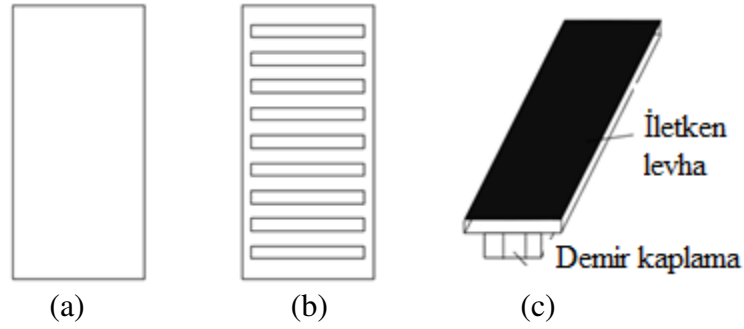
Şekil 1.13. Çok küçük güçlü makinelerde kullanılan ekonomik sargılar [4].

Bu sargı şekillerinin üstünlükleri ve üstün olmama durumları, maliyetleri ile ürettikleri yürüyen hava aralığı alanına bağlıdır. Şekil 1.10., Şekil 1.11. ve Şekil 1.13.'ün sargı bağlantıları demir çekirdekten daha fazla faydalanma imkanı sağlarlar ancak üretilen hava aralığı akısı, yürüyen ve gerekli olan alan yanında gereksiz harmoniklerde içerir. Şekil 1.12.'de görülen sargılar ise, orta bölgelerde tamamen yürüyen dalgalar oluşturmalarına rağmen uçlarda bulunan tek tabakalı sargılar civarında yürüyen dalgalara

ek olarak, yürümeyen ve sadece titreşen alanlar ortaya çıkarırlar. Bu nedenle yüksek çekme veya itme kuvveti gereken yerlerde kullanılırlar. Şekil 1.13.'deki sargı tipinde hava aralığı alanında uzay harmoniği fazla olup bu, sargının sargı faktörünün düşmesine yol açar. Ama küçük değerli çekme kuvvetlerinde uygulama alanı bulan bu sargılarda daha az bakır, imal ve montaj kolaylığı gibi üstünlükler bulunmaktadır.

Çoğu düz yapılı DHİM'lerin sekonderleri alüminyum veya bakırdan yapılmış levhalardan oluşmaktadır. Çift yanlı düz yapılı DHİM'de hava aralığı akı yoğunluğu tek yanlı olanlara nazaran daha yoğundur. Bu da tek yanlı DHİM'nin daha az kuvvet üreteceğini gösterir. Bu dezavantajına karşın hem bakır, hem demir sarfiyatı daha az, dolayısıyla ağırlığı ve maliyeti daha küçük olacaktır.

Başka bir yapıda sincap kafes tip rotora benzer şekilde merdiven biçimli sekonderdir. Şekil 1.14.'de levha ve merdiven biçimli sekonderler gösterilmektedir.



Şekil 1.14. DHİM'de sekonderler (a) Levha yapılı (b)merdiven yapılı (c) Demir kaplamalı [1].

Levha tip imalat bakımından uygun olmasına rağmen enerji dönüşümü bakımından zayıftır. Taşıma bandı (konveyör) uygulamalarında olduğu gibi yüksek çekme kuvveti gerektiren yerlerde merdiven yapılı sekonderler kullanılır.

### 1.9.5. Temel Bağntılar ve Eşdeğer Devre

Primer sargının oluşturduğu yürüyen manyetomotor kuvvetin (MMF) ana harmoniğinin hızına "senkron hız" denir.

$$V_s = \frac{2\tau}{T} = 2f \cdot \tau = \left(\frac{\omega}{\pi}\right) \cdot \tau \quad (6)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Döner hareketli makinelerde senkron hız kutup sayısına bağlı olmasına rağmen, doğrusal hareketli makinelerde senkron hız kutup sayısına ( $p$ ) değil, kutup adımına ( $\tau$ ) bağlıdır. DHİM'lerin hızı  $V$ ,  $V_s$ 'den küçük olup  $V=V_s$  olduğunda aynı döner tiplerinde olduğu gibi burada da kuvvet oluşmaz. Kuvvetin oluşması için,

$$s = \frac{V_s - V}{V_s} \quad (7)$$

kaymasının mevcut olması gerekir. Primerin hat akımının çizgisel akım yoğunluğu,

$$J_{my} = \frac{m_1 \cdot \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot N_1 k_{w1}}{\tau \cdot p} \quad (\text{A/m}) \quad (8)$$

olup,  $V_s$  motorun hızını belirlemede (maksimum hız olarak),  $J_{my}$ 'de motorun sargılarını oluşturan iletkenlerin seçiminde kullanılır.

Primerden sekondere hava aralığı üzerinden aktarılan yürüyen dalga gücü (döner alan gücüne karşı düşen güç);

$$P_y = P_m + P_2 = F_m \cdot V_s \quad (9)$$

olup, burada;

$$P_m = V \cdot F_m \quad (10)$$

ve ayrıca;

$$P_m = P_\zeta + P_s \quad (11)$$

şeklindedir.

$$F_m = F_x + F_s \quad (12)$$

bağıntısıyla üretilen kuvvet  $F_m$ , net kuvvet  $F_x$  ve sürtünme kuvveti  $F_s$  arasındaki ilişki sağlanır. Bu bağıntılardan,

$$P_m = \frac{V}{V_s} \cdot P_y = (1 - s) \cdot P_y \quad (13)$$

Döner indüksiyon makinesinde kullanılan Kloss bağıntısından;

$$F_m = \frac{2 \cdot F_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad (14)$$

yazılır. Primer sargılara gerilim uygulanınca dağılmış durumdaki bu sargılarda endüklenen gerilim;

$$E_1 = 4 \cdot k_f \cdot k_{w1} \cdot (f \cdot N_1 \cdot \phi) \quad (15)$$

$$k_f = \frac{E_1}{E_{ort}} \quad (k_f : \text{Primer sargının form faktörü}) \quad (16)$$

$$\phi = k_b \cdot (\tau \cdot L_1) \cdot B_{mz} \quad (17)$$

olup, burada;

$$k_b = \frac{B_{ort}}{B_{mz}} \quad (18)$$

$k_b$  : Alan faktörü

$B_{mz}$  : Hava aralığı akı yoğunluğunun normal bileşeninin maksimum değeri

$B_{ort}$  : Hava aralığı akı yoğunluğunun normal bileşeninin ortalama değeri

Döner tip indüksiyon makinelerinde dönüşüm oranı;

$$\ddot{u} = \frac{k_{w1} \cdot N_1}{k_{w2} \cdot N_2} \quad (19)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\ddot{u}}{s} \quad (20)$$

$$E_2' = \ddot{u} \cdot E_2 \quad (21)$$

Buradaki  $\ddot{u}$ , dağılmış sargılardaki dönüşüm oranı idi. Bu bağıntı DHİM'er için de geçerli olup sekonderin levha veya merdiven biçiminde olması durumunda,

$$N_2 = 0.5 \text{ ve } k_{w2} = 1 \quad (22)$$

dir. Burada  $k_{w2}$  ana harmoniğin form faktörüdür. Dolayısıyla, primere indirgenmiş sekonder EMK'sı;

$$\ddot{u} = 2 \cdot k_{w1} \cdot N_1 \quad (23)$$

$$E_2' = \ddot{u} \cdot E_2 = (2 \cdot N_1 \cdot k_{w1}) \cdot E_2 \quad (24)$$

olur. Gücün invaryant oluşu kabulü ile  $m_2$  fazlı sekonderin görünür gücü  $m_1$  fazlı primerde ifade edilirken;

$$m_1 \cdot I_2' \cdot E_2' = m_2 \cdot I_2 \cdot E_2 \quad (25)$$

bağıntısından primere indirgenmiş sekonder akımı;

$$I_2' = \left( \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{1}{\ddot{u}} \right) \cdot I_2 \quad (26)$$

olur. Öte yandan, primere indirgenmiş sekonder empedansı;

$$\frac{V'_z}{V_z} \cong \frac{E'_2}{E_2} = \ddot{u} \quad (27)$$

olmak üzere,

$$Z'_2 = \frac{V'_{z2}}{I'_2} = \frac{\ddot{u} \cdot V_z}{I'_2} = \ddot{u} \cdot \left( \frac{I_2}{I'_2} \right) \cdot Z_2 \quad (28)$$

$$Z'_2 = \left( \frac{m_1}{m_2} \cdot \ddot{u}^2 \right) \cdot Z_2 = k_z \cdot Z_2 \quad (29)$$

bağıntısından bulunur.

Sekonderin levha olması halinde;

$$m_2 = 2 \cdot p \quad (30)$$

Sekonder merdiven biçimindeyse;

$$m_2 = \text{merdivenin basamak sayısı} \quad (31)$$

Primere indirgenmiş sekonder akımının primere indirgenmiş gerilim ve empedans cinsinden ifadesi;

$$I'_2 = \frac{s \cdot E'_2}{Z'_2} \quad (32)$$

Sekonderi ferromanyetik malzemedan yapılmış DHİM'de aksnel yöndeki kuvvete dik kuvvet (z yönünde);

$$F_z = F_{z\zeta} - F_{zi} \quad (33)$$



olarak ifade edilir. Burada;

$F_{z\zeta}$  :Primerin sekondere uyguladığı çekme kuvveti,

$F_{zi}$  :Sekonderde oluşan girdap akımlarının meydana getirdiği itme kuvveti.

Enerji dönüşümünden hatırlanacak olursa;

$$F_{z\zeta} = \frac{B_{mz}^2}{4 \cdot \mu_0} \cdot A \quad (A: \text{primerin akı çıkan yüzeyidir}) \quad (34)$$

olup, buradaki  $F_{zi}$  itici kuvveti ise, Amper'in kuvvet yasasından;

$$F_{zi} = \frac{B_{mx}}{B_{mz}} \cdot F \quad (35)$$

ile ifade edilir. Burada  $F$ 'in  $F = F_x + F_s$  olduğu hatırlanmalıdır.

$$\text{Makinenin giriş gücü;} \quad P_g = m_1 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi \quad (36)$$

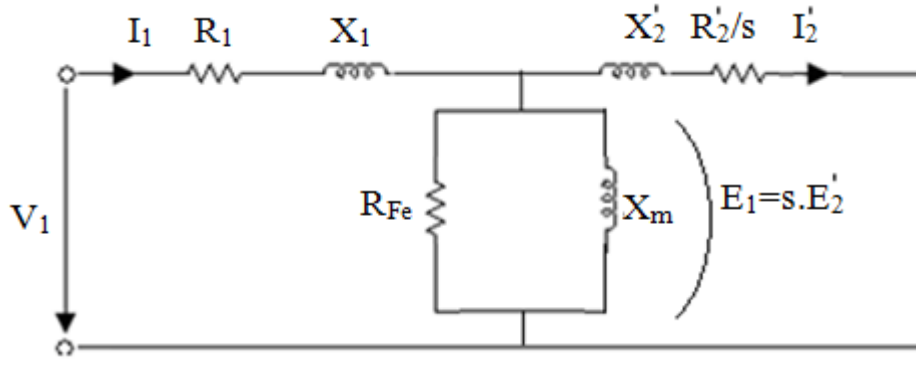
$$\text{Makinenin çıkış gücü;} \quad P_\zeta = F_x \cdot V \quad (37)$$

olduğuna göre, makinanın verimi;

$$\eta = \frac{P_\zeta}{P_g} = \frac{F_x \cdot V}{m_1 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi} \quad (38)$$

Döner tip indüksiyon motorlarında  $(\eta \cdot \cos\phi) \cong 0.8$  olmasına rağmen DHİM'lerde  $(\eta \cdot \cos\phi) \cong 0.4$  civarındadır. Yani DHİM'ler düşük faktörlü makinelerdir. Böyle olmasının nedeni hava aralığının büyük olması, uç ve yan etkilerdir.

Eşdeğer devre aşağıdaki gibi elde edilebilir. Uç etkileri ihmal edilmiş bir DHİM'nin faz başına eşdeğer devresi, çalışma ilkelerinin aynı olması nedeniyle döner indüksiyon motorlarınınkinin aynısıdır. Eşdeğer devre parametreleri aşağıya çıkarılmıştır.



Şekil 1.15. Eşdeğer devre

$$Z_2' = \frac{R_2'}{s} + X_2' \quad (39)$$

$$R_{Fe} = \frac{E_1^2}{P_{Fe}} \quad (P_{Fe} : \text{Faz başına demir kayıpları}) \quad (40)$$

$$X_m = \left( \frac{12 \cdot \mu_0 \cdot \omega_1 \cdot a_e \cdot k_{w1} \cdot \tau}{\pi^2 \cdot p \cdot g} \right) \cdot N_1^2 = K_{X2} \cdot N_1^2 \quad (41)$$

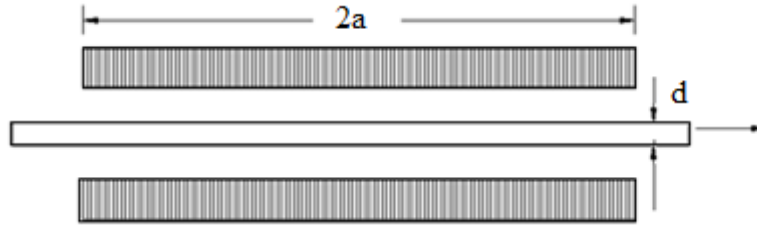
$$R_2' = \left( \frac{12 \cdot a_e \cdot k_{w1}}{d \cdot \tau \cdot p \cdot \sigma} \right) \cdot N_1^2 = K_{R2} \cdot N_1^2 \quad (42)$$

$$R_1 = \left[ \frac{1}{\sigma_c} \cdot \frac{(4a + 2l_{ce}) \cdot J}{(w_1 l_1)} \right] \cdot N_1^2 = K_{R1} \cdot N_1^2 \quad (43)$$

$$X_1 = \left( k_1 \cdot \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \omega_1}{p} \right) \cdot N_1^2 = K_{X1} \cdot N_1^2 \quad (44)$$

$$X_2' = \left( k_2 \cdot \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \omega_1}{p} \right) \cdot N_1^2 = K_{X2} \cdot N_1^2 \quad (45)$$

$$X_2' \cong 0 \quad (\text{Sekonder levha halinde ise}) \quad (46)$$



Şekil 1.16. Çift yanlı DHİM

Düz yapılı DHİM'lerde iyilik faktörü;

$$G = \frac{X_m}{R_2} \cong \frac{2f\tau^2\mu_0\sigma d}{\pi g} \quad (47)$$

olmak üzere tasarım  $1.6 \leq s_N \leq 2$  olacak şekilde yapılır. Burada  $s_N$ , kaymanın anma değeridir.

Tubular yapıli makinelerde de aynı kriterler alınmasına rağmen kısa vuruşlu tubular motorlarda kritik kayma  $s_K=1$  (Maksimum kuvvetle hareket) olacak şekilde tasarıma gidilir. Tubular motorlarda:

$$R_1 = \left( \rho_c \cdot J \cdot \frac{\pi \cdot D_1}{I_1 \cdot N_1} \right) \cdot N_1^2 \quad (48)$$

$$X_1 = \left( 2\mu_0\omega_1 \cdot \frac{\pi \cdot D_1 \cdot k_1}{P} \right) \cdot N_1^2 \quad (49)$$

$$R_2' = \left( \frac{6\pi \cdot D_2}{p \cdot \tau \cdot d \cdot \sigma_c} \right) \cdot (k_{w1} N_1)^2 \quad (50)$$

$$X_m = \left( \frac{6\mu_0\omega_1\pi \cdot D_0 \cdot \tau}{\pi \cdot p \cdot g} \right) \cdot (k_{w1} N_1)^2 \quad (51)$$

Sekonder iletken bir gömlekten oluşmakta ise  $X_2'=0$  olur. Eğer sekonderi de sargılı ise böyle tubular tip motorda,

$$R_2' = \left( \frac{12\pi \cdot \rho_c \cdot D_2}{A_r \cdot N_{sl}} \right) \cdot (k_{w1} N_1)^2 \quad (52)$$

$$X_2' = \left( \frac{24 \cdot \pi \cdot \mu_0 \omega_1 D_s \cdot k_2}{N_{sl}} \right) \cdot (k_{w1} N_1)^2 \quad (53)$$

### 1.9.6. Performans Hesapları

Bir önceki ayrıtta verilen eşdeğer devreden, döner tip indüksiyon makinelerinde olduğu gibi, performans büyüklükleri belirlenebilir. Dolayısıyla;

$$P_g = 3(V_1 I_1 \cos \phi_1) \quad (54)$$

$$P_1 = 3(R_1 I_1^2) \quad (55)$$

$$P_{Fe} = 3(R_{Fe} I_{Fe}^2) \quad (56)$$

$$P_y = P_g - (P_1 + P_{Fe}) = 3 \cdot \left( \frac{R_2'}{s} \right) \cdot (I_2') \quad (57)$$

$$P_2 = 3 \cdot R_2' \cdot (I_2')^2 = 3 \cdot R_2 \cdot I_2^2 \quad (58)$$

$$P_2 = 3 \cdot E_2' \cdot I_2' \cdot \cos \phi_2 = P_y \quad (59)$$

$$P_m = P_y - P_2 = (1-s)P_y \quad (60)$$

$$F_m = \frac{P_m}{V} = \frac{P_y}{V_s} \quad (61)$$

Burada  $V_s = 2\tau f_1$  ve  $V_m = (1-s).V_s$  olduğu hatırlanmalıdır.  $F_s$  sürtünme kuvveti olmak üzere üretilen net kuvvet ve çıkış gücü;

$$F_x = F_m - F_s \quad (62)$$

$$P_\zeta = P_m - P_s = V.F_x \quad (63)$$

Verim:

$$\eta = P_\zeta / P_g$$

Yukarıda verilen  $F_m$ 'in ifadesi yeniden ele alınırsa,

$$F_m = \frac{P_y}{V_s} = 3 \cdot \left( \frac{R_2'}{2\tau \cdot f_1 \cdot s} \right) \cdot (I_2')^2 \quad (64)$$

Eşdeğer devreden  $I_2'$  'nün ifadesi yerine yazılırsa,

$$F_m = 3 \cdot \left( \frac{R_2'}{2\tau \cdot f_1 \cdot s} \right) \cdot \left( \frac{V_1}{Z_1 + \frac{Z_0 \cdot Z_2'}{Z_0 + Z_2}} \right)^2 = f(s) \quad (65)$$

olarak kuvvet  $s$  kaymasının fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Burada,

$$Z_e = R_{Fe} // X_m \quad (66)$$

$$Z_1 = R_1 // j.X_1 \quad (67)$$

$$Z_2' = \frac{R_2'}{s} + jX_2' \quad \text{dir.} \quad (68)$$

$Z_0$  Empedansını girişe alarak yaklaşık hesap yapılırsa;

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (69)$$

Bu denklemde  $R_1 = \frac{R_2}{s}$  olduğundan,  $X_K = X_1 + X_2'$  olmak üzere;

$$(I_2')^2 \cong \frac{V_1^2}{\left(\frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_K^2} \quad (70)$$

olacağından,

$$F_m = 3 \cdot \left(\frac{R_2'}{2\tau \cdot f_1 \cdot s}\right) \cdot \left(\frac{V_1^2}{\left(\frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_K^2}\right) = f(s) \text{ olur.} \quad (71)$$

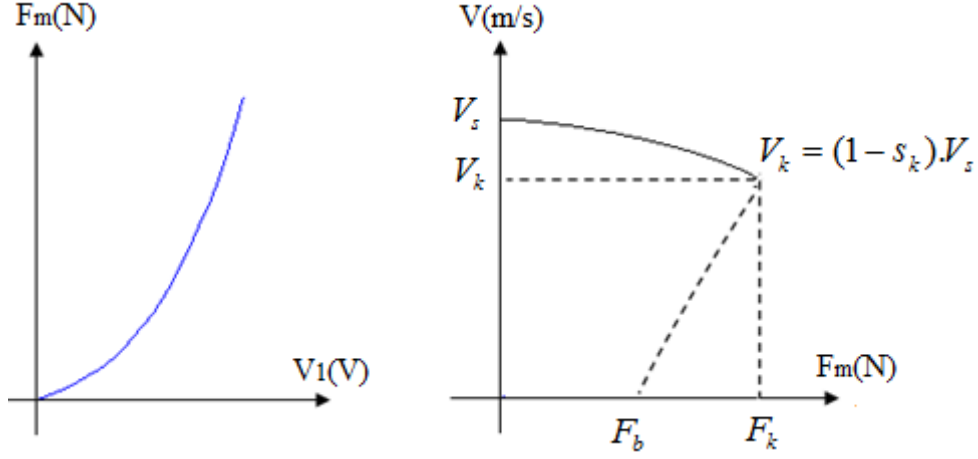
Burada  $f(s)$ ,  $s$ 'e göre bir maksimuma sahip olup bu  $s = s_{\max} = s_K$  kritik kayması ve karşı oluşan kuvvet hesaplanırsa;

$$s_K \cong \frac{R_2'}{X_K}, \quad F_{\max} = F_K = f(s)|_{s=s_K} = F_m(s=s_K) \quad (72)$$

$s_K$  ve  $F_K$  kullanılarak  $f(s)$  yeniden ifade edilirse Kloss bağıntısından,

$$F_m = \frac{2F_K}{\left(\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}\right)} \quad (73)$$

elde edilir. Aşağıdaki şekillerde  $F_m=f(V_1)$  ve  $V_m=f(F_m)$  gösterilmektedir.



Şekil 1.17.  $F_m=f(V_1)$  ve  $V_m=f(F_m)$  Eğrileri

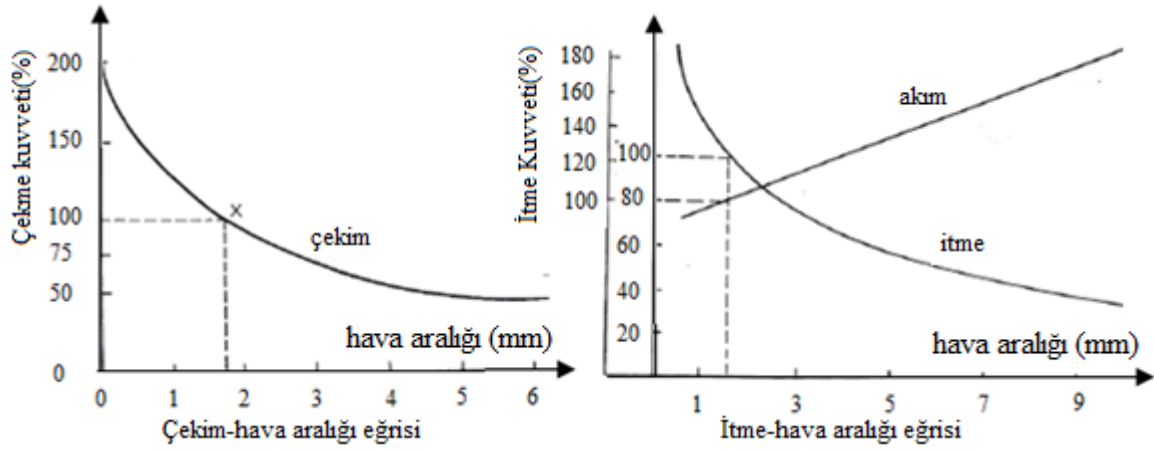
### 1.9.7. Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motorlarında Elektromanyetik Etkiler

Bu etkiler; kaçak akılar, deri olayı, enine uç etkileri (yan etkiler), boyuna uç etkileri ve sekonder olarak levha kullanımının etkileri olarak tasnif edilebilir. Şimdi bunlar sırasıyla ele alınacaktır.

#### 1.9.7.1. Kaçak Akılar

Sekonderi bulunmayan ve primeri enerjilenmiş bir DHİM'de üretilen akının tümü hava aralığını geçmemektedir. Kaçak akı olarak bilinen bu akılardan dolayı alan denklemleri 1'den küçük bir düzeltme faktörü ile çarpılır.

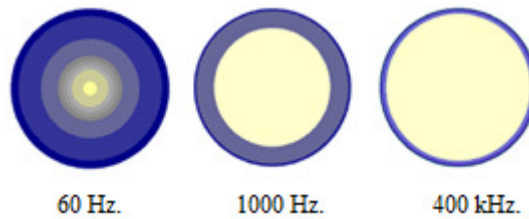
DHİM'de hava aralığı çok geniş olup santimetrelere varmaktadır. Manyetik devre direnci geniş hava boşluklarında çok yüksektir. Dolayısıyla mıknatıslanma akımı da çok yüksek olur. Bunun yanında çalışma güç katsayısını düşüren oldukça büyük kaçak akı ortaya çıkar. Hava aralığı arttıkça itme ve çekme kuvvetleri azalmaktadır.



Şekil 1.18. Hava aralığına bağlı olarak çekme, itme kuvvetleri ve motorun çektiği akımdaki % değişim [4].

### 1.9.7.2. Deri Olayı

Düşük frekansta taşınan akım kesit üzerinde homojen olarak dağılmaktadır, ancak akımın frekansı arttıkça iletkenin merkez bölgesinden akım akmamaya başlar dolayısıyla akımın aktığı yüzey alanı azalır ve iletkenin direnci artar, bu olaya deri olayı denir. DHİM'lerde sekonder olarak kullanılan levhanın ince olması ve deri olayı nedeniyle akım yoğunluk dağılımı bu levhada homojen değildir. Dolayısıyla  $\sigma$  iletkenliği homojen olmayıp, etkin iletkenlik malzemenin bilinen iletkenliğinden küçüktür. Aşağıdaki şekilde frekansa bağlı olarak bir iletkende meydana gelen deri olayı görülmektedir. Levhadaki deri olayı da buna benzerdir.



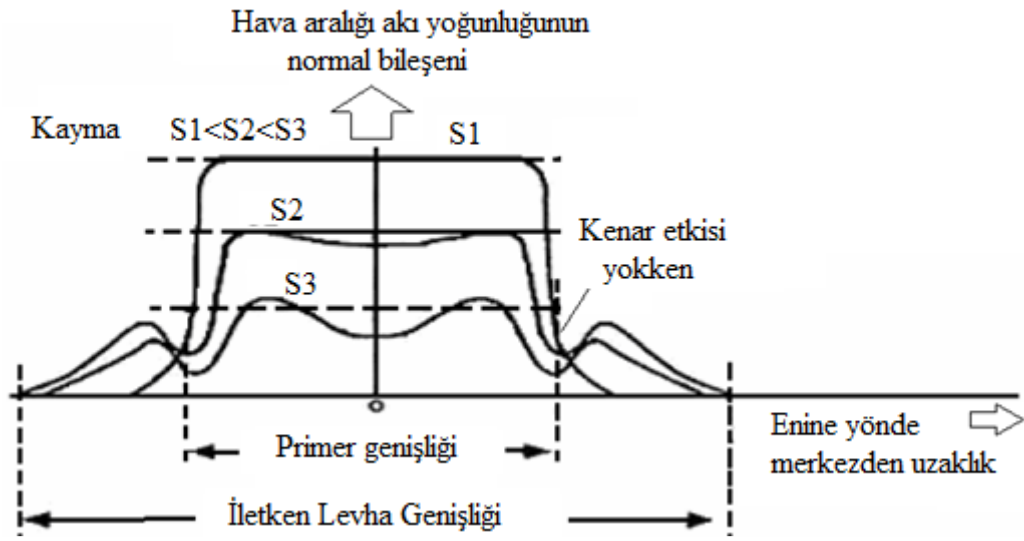
Şekil 1.19. Frekansa bağlı olarak bir iletkende akım yoğunluğu değişimi (deri olayı)



### 1.9.7.3. Enine Uç Etkileri (Yan Etkiler)

Şekil 1.20.'de gösterildiği gibi primerin çekirdeğinin genişliği, bir taşıyıcı üzerine yerleştirilmiş iletken levhadan oluşan sekonderin genişliğinden oldukça küçüktür. Bu durumda levhada oluşan akım yoğunluğu enine ve boyuna bileşenlere sahip olur.

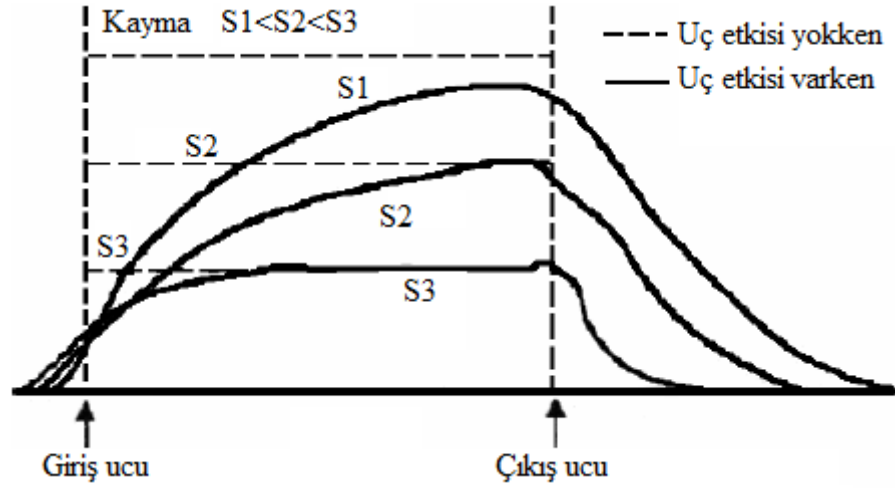
Böyle bir akım yoğunluğu da hava aralığı akım yoğunluğunun enine değişiminin şekildeki gibi olmasına yol açar. Akım yoğunluklarının böyle değişmesi sekonderin direncinin artmasına, mıknatıslama reaktansının da azalmasına yol açar.



Şekil 1.20. Enine uç etkisi

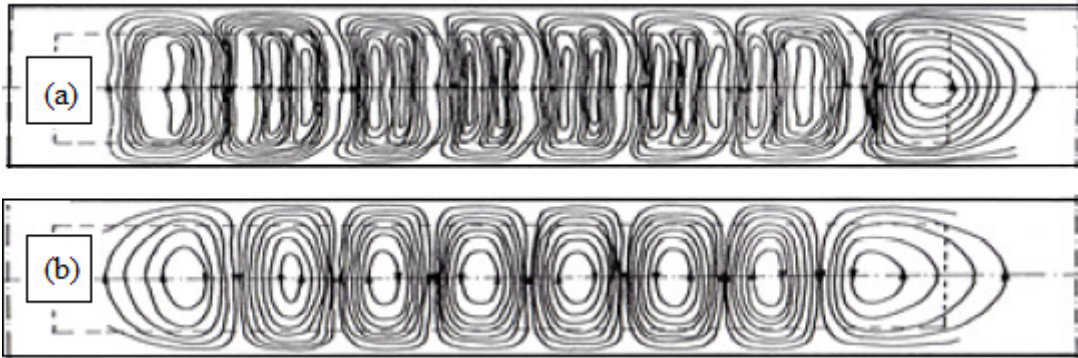
### 1.9.7.4. Boyuna Uç Etkileri

Uygulamada DHİM'lerin primerlerinin boyları kısa olup, genelde bunlar hareketli sekonderler duruyor olmasına rağmen, incelemede primer duruyor, sekonder hareketli olarak alınacaktır. Bu varsayım, sekonderin primer alanına girdiği nokta ile çıktığı nokta arasında primer boyunca akı yoğunluğunun değişimi Şekil 1.21.'deki gibidir.



Şekil 1.21. Boyuna uç etkiler [1]

Bu şekilden görüldüğü gibi, ( $s=1$ ,  $V=0$ ) iken, yani sekonder duruyorken ki duruma göre sekonder hareket halinde iken akı yoğunluğu her iki uçta farklıdır. Böyle bir dağılım sonucunda sekonderde oluşan girdap akımlarının değişimleri Şekil 1.22.(a).’daki gibi olur.



Şekil 1.22. Boyuna uç etkisi altında sekonderde oluşan girdap akımı dağılımı  
(a)  $V>0$ , (b)  $V=0$  olması durumları

Boyuna uç etkilerinin sonuçları olarak;

- Primer faz akımlarında dengesizlik ortaya çıkar.
- Parazitik frenleme kuvvetleri ortaya çıkar.
- Eksenel yönde hava aralığı akı yoğunluğu hıza bağlı olarak değişir. Bunun sonucunda da sekonderin girdap akımları homojen dağılımlı olmaz.

### 1.9.7.5. Sekonder Olarak Levha Kullanımının Etkileri

Merdiven biçimli sekonderde primer çekirdeğine karşı düşen aktif kısımlarda akımlar tamamen enine yöndedir. Oysa levha biçimli sekonderde akım değişimi oldukça farklıdır. Bu akımların primer çekirdeğin karşısına düşen aktif kısımları tamamen enine yönde olmayıp boyuna bileşenleri de bulunmaktadır. Bu olay akı yoğunluğunun levhanın kenarlarında yoğunlaşmasına, ortalarda zayıflamasına sebep olur.

### 1.10. DHİM'lerin Uygulama Alanları

Doğrusal hareketli makinelerin uygulama alanları oldukça geniş olmasına rağmen burada önemli bazı uygulamalar verilecektir[1, 3, 4, 6, 7, 13].

- a. Ulaşım sistemlerinde hızlı trenlerde sürücü olarak.
- b. Krenlerin doğrusal hareketinde. Yürüyen köprülerin doğrusal hareketinde.
- c. Takım tezgahlarında tablanın veya kesicinin hareketinde.
- d. Taşıma bantlarının (konveyörlerin) sürülmesinde.
- e. Uçak geliştirmede rüzgar tüneli yerine, gemi geliştirmede modelin hareketinde.
- f. Uçak ivmelendirme.
- g. Kapı açma-kapamada, şerit testere çalıştırmada.
- h. İletken sıvıların pompalanmasında ve iletken parçaların yerdeğiştirmesinde.
- i. Otomobillerin hız ve yapay kaza testlerinde.
- j. Tekstil makinelerinde mekiğin örgü makinesinde iplik taşıyıcının sürülmesinde.
- k. İplik sarmada.
- l. Kuyu açmada çekiç olarak, doğrusal hareketli pompalarda.
- m. Doğrusal hareketli lazer tarayıcılarda.
- n. Robotik sanayinde öteleme hareketi kaynağı olarak.
- o. Öteleme hareketli aktuatörlerde.
- p. Öteleme hareketli konum kontrolünde.
- q. Bobin Sarma Sistemlerinde.
- r. Asansörlerde.
- s. Gezgin fırlatma sistemlerinde.
- t. Ayırıcılarda.

## **1.11. Bulanık Mantık**

### **1.11.1. Giriş**

Bulanık mantık ve bulanık mantık tabanlı uygulamalar son yıllarda hızlı bir artış göstermişlerdir. Bu gelişmelerden en fazla etkilenen alanlardan birisi de kontrol sistemleridir. Öyle ki artık hemen her türlü kontrol uygulamasına alternatif olarak karşımıza bir bulanık mantık denetleyici çıkmaktadır. Bulanık mantığın insan düşüncesine paralel bir yapıda olması ve bu paralellikte sistemleri tanıyıp karar verebilmesi onun hızlı bir şekilde geniş uygulama alanları bulmasına neden olmuştur. Bulanık Mantık (BM) denetleyicilerin, kompleks ve doğrusal olmayan sistemler için en uygun olduğu pek çok çalışmada vurgulanmıştır. Özellikle karmaşık, belirsiz ve matematiksel modelinin elde edilmesi ya da uygulanması zor olan sistemlerin kontrolüne çok elverişli olması bulanık denetimin tercih nedeni olmasına yeterli olmaktadır.

### **1.11.2. Bulanık Kümeler ve Küme İşlemleri**

Bulanık sistemlerin en temel elemanı bulanık kümedir. Bulanık bir küme, değişik üyelik yani ait olma derecelerine sahip elemanları olan bir küme türüdür. Böyle bir küme, elemanlarının her birine 0 ile 1 arasında üyelik değeri atayabilen bir üyelik fonksiyonu ile karakterize edilebilir. Bulanık kümelerin bu tanımı, bulanık kümelerle ilgili ilk çalışmaları yapan ve bu konunun bulucusu olarak kabul edilen Lotfi A Zadeh tarafından 1965 yılında yayınladığı orijinal makalesinde yapılmaktadır. Kümeye dahil olmayan elemanların üyelik değerleri 0, kümeye tam dahil olanların üyelik değerleri de 1 olarak atanmaktadır. Kümeye dahil olup olmadıkları belirsiz olan elemanlara ise belirsizlik durumuna göre 0 ile 1 arasında değerler atanır. Oysa kesin küme teorisinde belirsiz eleman diye bir şey söz konusu değildir. Bir eleman ya kümeye dahildir ya da tamamı ile kümenin dışındadır. Dolayısıyla kesin kümelerde bir elemanın alabileceği üyelik değeri ya 0 ya da 1'dir.

Bulanık kümeler ayrık ve sürekli bulanık kümeler olarak tasnif edilmektedir. Aralarındaki farklar aşağıda irdelenmektedir.

### 1.11.3. Ayrık ve Sürekli Bulanık Kümeler

Ayrık Bulanık Küme: Küme elemanlarının kümeye ait olma dereceleri,

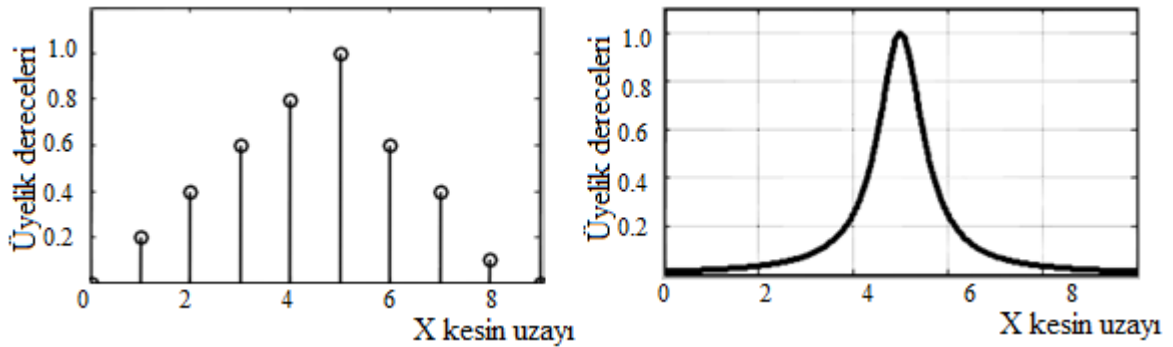
$$A = \sum_{x_i \in X} \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (74)$$

genel yapısına uyuyorsa bu küme ayrık bir bulanık kümedir [10].

Sürekli Bulanık Küme: Bulanık küme ve elemanlarının ait olma dereceleri;

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (75)$$

sürekli biçim genel yapısına uyuyorsa bu küme sürekli bir bulanık kümedir.



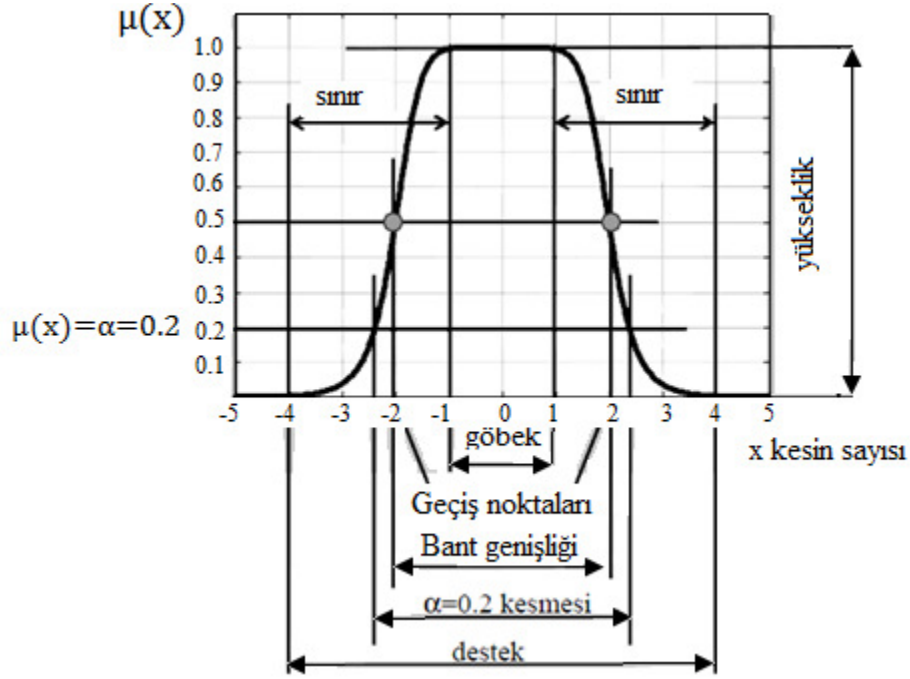
Şekil 1.23. Ayrık ve sürekli bulanık kümeler (a) ayrık, (b) sürekli

### 1.11.4. Üyelik Fonksiyonları

Bir bulanık kümenin karakteristik fonksiyonu üyelik fonksiyonudur. Üyelik fonksiyonu değer aralığındaki her bir elamanın üyelik derecesini verir. x-ekseni, dilsel değişkenlerin kırılma noktalarını, y-ekseni dilsel değişkenler için üyelik değerlerini gösterir. Üyelik fonksiyonları için sıkça kullanılan şekiller üçgen, yamuk, gaussian, çan, cauchy, sinüzoid ve sigmoiddir. Üyelik fonksiyonları kullanıcı tarafından kullanıcının deneyimlerine, bakış açısına, kültürüne...vb bağlı olarak belirlenir. En çok kullanılan üyelik fonksiyonu üçgen üyelik fonksiyonu olduğu için diğerleri üzerinde durulmayacaktır.

### 1.11.5. Üyelik Fonksiyonunun Genel Yapısı ve Elemanları

Aşağıdaki şekilde bir üyelik fonksiyonunun tüm unsurları görülmektedir.



Şekil 1.24. Üyelik fonksiyonu ve kısımları [10].

Göbek (core): Üyelik derecesi 1 olan kısımlardır.

$$\text{Göbek}(A)=\text{Core}(A)=\{x, \text{ öyle ki } \mu_A(x)=1\} \quad (76)$$

Geçiş Noktaları: Üyelik derecesi 0,5 olan noktalardır.

$$\text{Geçiş}(A)=\text{Crossover}(A)=\{x, \text{ öyle ki } \mu_A(x)=0.5\} \quad (77)$$

Sınır (Boundary): Üyeliği 0 ile 1 arasında olan kısımlardır.

$$\text{Sınır}(A)=\text{boundary}(A)=\{x, \text{ öyle ki } 0 < \mu_A(x) < 1\} \quad (78)$$

Destek (Support): Üyeliği 0'dan büyük olan noktalar kümesidir.

$$\text{Destek}(A)=\text{Support}(A)=\{x, \text{öyle ki } \mu_A(x) > 0\} \quad (79)$$

Alfa Kesmesi: Üyelik derecesi  $\alpha$ 'dan büyük ya da eşit olan noktalar kümesidir.

$$\alpha \text{ Kesmesi}(A)=A_\alpha=\{x, \text{öyle ki } \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (80)$$

Etkin Alfa Kesmesi: Üyelik derecesi  $\alpha$ 'dan büyük olan noktalar kümesidir.

$$\text{Etkin } \alpha \text{ Kesmesi}(A)=eA_\alpha=\{x, \text{öyle ki } \mu_A(x) > \alpha\} \quad (81)$$

Bant Genişliği:

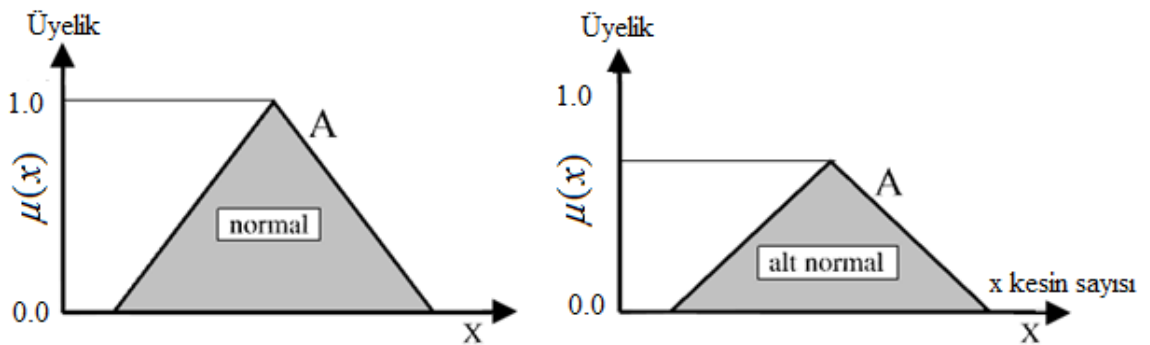
$$\text{BW}(A)=\{x, \text{öyle ki } x \in A_{0.5}\} \quad (82)$$

Yükseklik: kümenin maksimum üyelik derecesidir.

$$\text{Yükseklik}(A)=\text{height}(A)=\max[\mu_A(x)] \quad (83)$$

Normal Bulanık Küme: Eğer üyelik fonksiyonu kendi uzayında değeri 1'e eşit en az bir elemana sahipse o bulanık küme normal bulanık küme olarak adlandırılır [10].

$$\text{Yükseklik}(A)=\text{height}(A)=\max[\mu_A(x)] \quad (84)$$



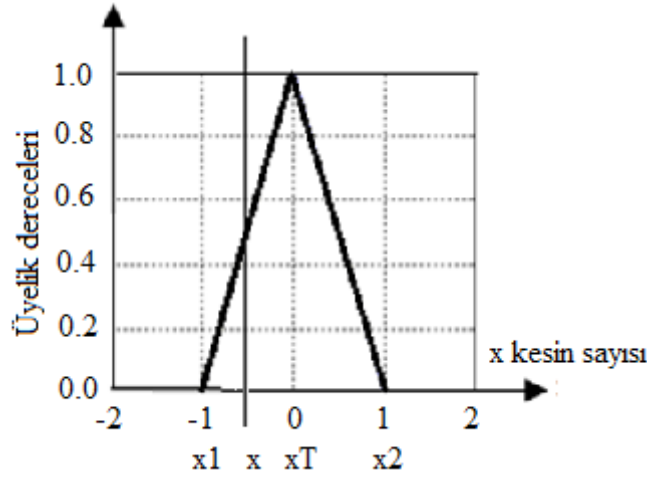
Şekil 1.25. Normal ve normal olmayan kümeler

### 1.11.6. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

En çok kullanılan üyelik fonksiyonudur.

$$A_{\Delta} = \max \left( \min \left( \frac{x-x_1}{x_T-x_1}, \frac{x_2-x_T}{x_2-x_T} \right), 0 \right), \quad x_1 < x_T < x_2 \quad (85)$$

En çok kullanılan üyelik fonksiyonu olup  $x_1$ ,  $x_2$  ve  $x_T$  olmak üzere üç adet değişken girilerek oluşturulur.



Şekil 1.26. Üçgen üyelik fonksiyonu

## 1.12. Bulanık Denetim

### 1.12.1. Giriş

Bulanık mantığın Mamdani ve arkadaşları tarafından denetim sistemlerine ilk uygulanmasından sonra, bu alanda oldukça önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Öyle ki denetim sistemlerinin yanı sıra bulanık mantığın uygulandığı pek çok alan vardır. Klasik denetim sistemlerindeki aksine, sistemlerin matematiksel modeline gerek duymadan, sadece istenilen çıkışı verecek şekilde girişe uygulanan işaret ayarlandığından, bulanık denetimin işlemesi tıpkı usta bir insanın o sistemi denetlemesine benzer. Yani bulanık mantık ve bulanık küme işlemleri kullanılarak makinelerin insanlar gibi kararlar vermesi sağlanabilmektedir [11].



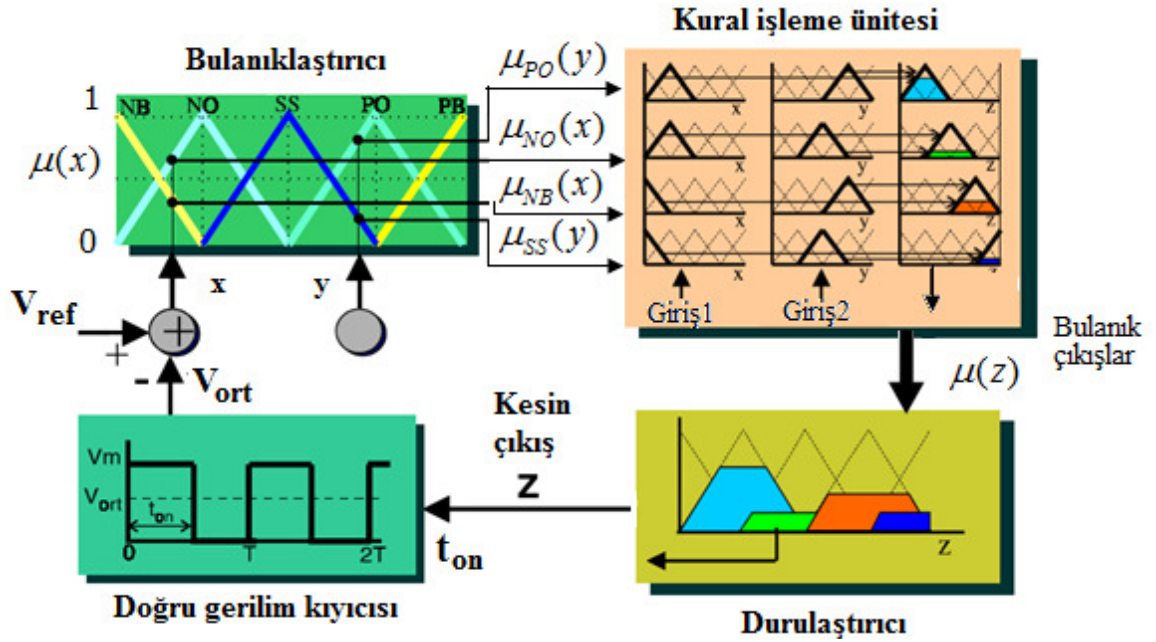
Bulanık mantığın en önemli uygulama alanı kontrol sistemleridir. Şekil 1.27.'de verilen bulanık mantık tabanlı denetim sistemi, bulanık mantık tabanlı herhangi bir sistemde bulunması gereken kısımları içermektedir. Dolayısıyla bu şekilde verilen sistem, genel amaçlı bir bulanık mantık sistemi gibi de düşünülebilir.

### 1.12.2. Bulanık Denetleyici ve Kısımları

Şekil 1.27.'de verilen sistem dört ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar:

- Bulanıklaştırıcı
- Kural işleme ünitesi
- Durulaştırıcı
- Denetlenen sistem

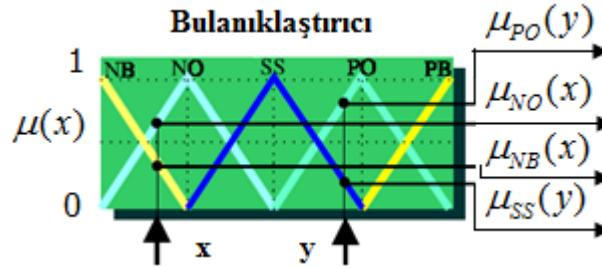
Bunların her biri aşağıda genişçe açıklanmaktadır.



Şekil 1.27. Bulanık mantık tabanlı bir denetleyicinin genel yapısı

### 1.12.2.1. Bulanıklaştırıcı (fuzzifier)

Bulanık işlemcinin ilk elemanı olarak devreye girer. Çünkü bulanık işlemci girişlerinin uygulandığı birimdir. Bulanıklaştırıcı (fuzzifier) kendisine uygulanan kesin girişleri bulanıklaştırarak işe başlar. Bu girişlerden bazıları denetlenen sistemden gelen geri besleme işaretleri olabileceği gibi, doğrudan dışardan verilen komutlar da olabilir.



Şekil 1.28. Bulanıklaştırma işleminin yapılışı [11].

Şekil 1.27.'den alınıp, Şekil 1.28.'de daha açık biçimde gösterilen bulanıklaştırıcıdan da görülebileceği gibi, bulanıklaştırıcıya gelen  $x$  ve  $y$  kesin değerlerinin burada tanımlı Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Sıfır (SS), Pozitif Orta (PO) ve Pozitif Büyük (PB) bulanık kümelerinde bir üyeliğe sahip olup olmadıkları araştırılır. Eğer bir üyeliğe sahipse buna göre işleme devam edilir. Şekil 1.28.'de  $x$  girişinin NB ve NO bulanık kümelerinde,  $y$  girişinin ise SS ve PO bulanık kümelerinde üyeliğe sahip oldukları görülür. Dolayısıyla  $x$  girişinin NO ve NB'deki üyelikleri sırasıyla  $\mu_{NO}(x)$  ve  $\mu_{NB}(x)$  olarak,  $y$  girişinin SS ve PO'daki üyelikleri de sırasıyla  $\mu_{SS}(y)$  ve  $\mu_{PO}(y)$  olarak, belirlenip,  $x$  ve  $y$  nin bulanık değerleri olarak bulanık kural işleme ünitesine gönderilirler. Ve bu kural işleme ünitesinde if ... then ... else işlemine tabi tutulurlar. Bu işlemin sonucunda bulanık bir çıkış işareti elde edilerek durulaştırıcıya gönderilir.

Bulanıklaştırıcıda elde edilen üyelik değerleri, aslında  $x$  ve  $y$  kesin girişlerinin ait oldukları bulanık kümedeki bulanıklılık dereceleridir.

### 1.12.2.2. Kural İşleme Ünitesi (Rule Base Unit)

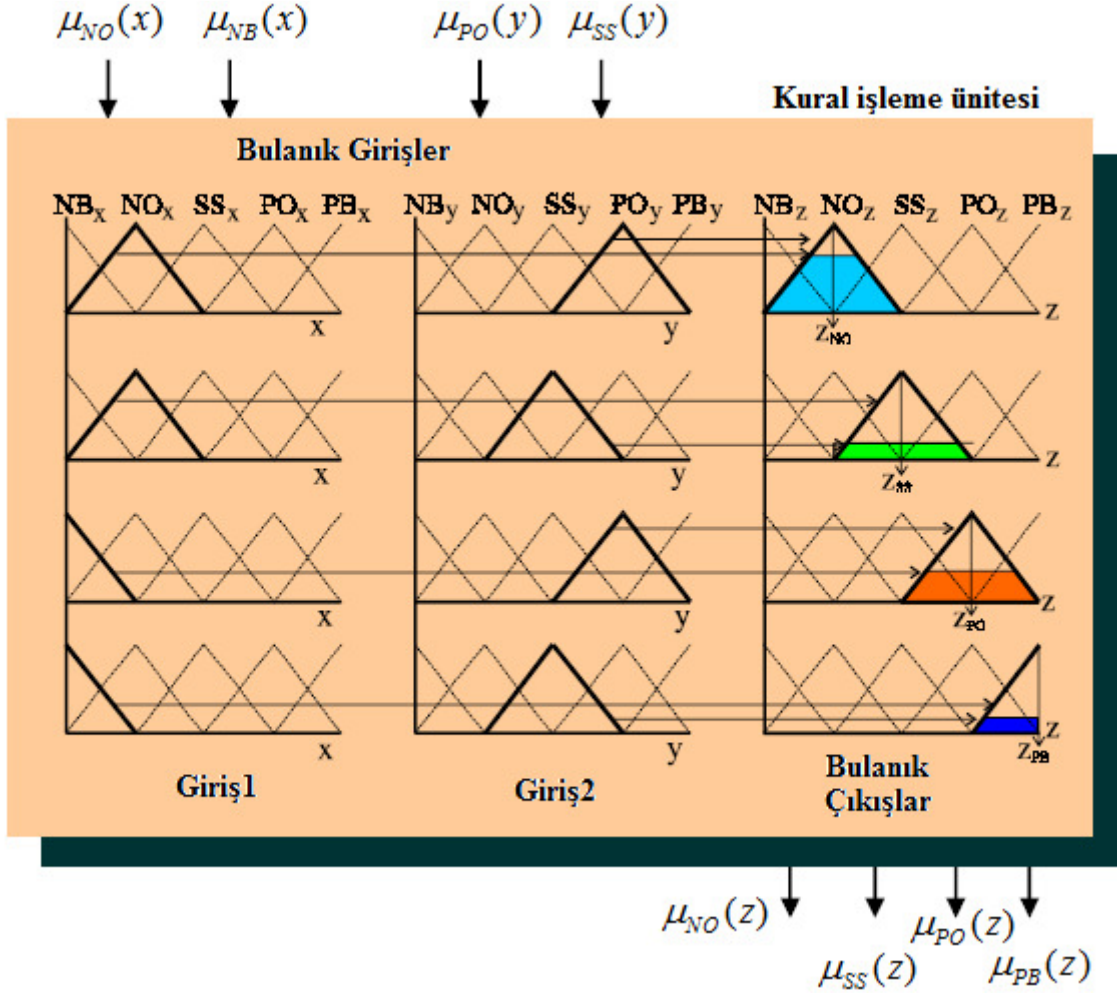
Bulanıklaştırıcıdan gelen üyelik fonksiyonları burada depolanmış halde bulunan bilgi tabanına dayalı bilgi kümeleri ile birlikte kullanılarak bulanık bir sonuç elde edilir.

Kullanılan Bilgi tabanı (knowledge-base) denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir. Burada sistemle ilgili bilgiler sistem giriş ve çıkışını if ... then ... else ... biçimine sahip koşul cümleleriyle birbirine bağlar. Bu koşul cümlelerinin her biri bir kural olarak isimlendirilir. Bu nedenle de bilgi tabanı yerine kural tabanı (rule-base) terimi de kullanılır. Bulanık işlemlerin bu aşamasında kurallara dayalı işlemler yapıldığı için Şekil 1.27.'de verilen ilgili blok kural işleme ünitesi olarak da isimlendirilebilir. Kuralların nasıl işlendiğini daha iyi anlayabilmek için Şekil 1.29.'da ayrı verilen kural işleme ünitesine biraz daha yakından bakmak gerekir.

Şekil 1.29.'da dört satır halinde dört aktif kural bulanık kümelerle gerçekleşmekte, her bir kural için de bir bulanık  $\mu(z)$  çıkışı elde edilmektedir. Bu dört bulanık çıkış daha sonra durulaştırıcıda durulaştırılarak kesin bir sayıya dönüştürülür. Bu dört kural if ... then ... else biçimindeki koşul cümleleriyle aşağıdaki gibi de gerçekleştirilebilir.

$$\begin{aligned}
 \text{Kural 1} & \quad \text{if } (x \text{ is } NO_x) \text{ and } (y \text{ is } PO_y) \text{ then } (z \text{ is } NO_z) \text{ else} \\
 \text{Kural 2} & \quad \text{if } (x \text{ is } NO_x) \text{ and } (y \text{ is } SS_y) \text{ then } (z \text{ is } SS_z) \text{ else} \\
 \text{Kural 3} & \quad \text{if } (x \text{ is } NB_x) \text{ and } (y \text{ is } PO_y) \text{ then } (z \text{ is } PO_z) \text{ else} \\
 \text{Kural 4} & \quad \text{if } (x \text{ is } NB_x) \text{ and } (y \text{ is } SS_y) \text{ then } (z \text{ is } PB_z) \tag{86}
 \end{aligned}$$

Burada NB, NO, SS, PO ve PB sırasıyla negatif büyük, negatif orta, sıfır, pozitif orta ve pozitif büyük bulanık sözlerini temsil etmektedir. x, y ve z indisleri ise bu sözlerin tanımlandığı genel uzay kümelerini belirtmektedir. Kullanılan NB, NO, SS, PO ve PB bulanık sözlerinin x, y ve z uzaylarının her birinde farklı biçimde tanımlanabileceklerini ifade etmek için bu indisler kullanılmıştır. Verilen kurallar incelendiğinde x ve y girişlerinin kendilerine ait NB, NO, SS, PO ve PB bulanık kümelerinde aldıkları üyelik değerlerine göre z çıkışının da kendisine ait NB<sub>z</sub>, NO<sub>z</sub>, SS<sub>z</sub>, PO<sub>z</sub> ve PB<sub>z</sub> kümelerinde üyeliğe sahip olduğu görülür. x ve y'nin durumuna göre z nin alacağı değere karar verirken uzman görüşüne başvurulur. Yani x ve y değerlerine bağlı olarak z çıkışının NB<sub>z</sub>, NO<sub>z</sub>, SS<sub>z</sub>, PO<sub>z</sub> ve PB<sub>z</sub> bulanık kümelerinden hangisi veya hangilerinde üyeliğe sahip olması gerektiği konusundaki bilgi, bu sistemi iyi bilen uzmanlardan alınır ve kurallar biçiminde depolanır. Bu nedenle de böyle kuralların oluşturduğu tablolara bilgi tabanı (knowledge-base) adı da verilir.



Şekil 1.29. Kural işleme ünitesinde kuralların bulanık kümelerle gösterimi [11]

Denetlenecek sisteme bağlı olarak, genellikle sistem çıkışı ile referans değer arasındaki fark minimize edildiğinden, tasarlanacak denetim amaçlı uygulamalarda bu kurallar sistem çıkışının denetimsiz tepkisi incelenerek belirlenebilir. Bulanık denetim kurallarının belirlenmesi, ayarlanması ve denetim sırasında duruma göre yenilenmesi ile ilgili farklı yöntemler de geliştirilmiştir. Yapay sinir ağlarının öğrenbilme özellikleri kullanılarak gerçekleştirilen kural oluşturma yöntemleri ile genetik algoritma destekli bulanık mantık sistemleri bunlara örnektir. Bu konuyla ilgili özellikle nöral-bulanık (neuro-fuzzy) ve genetik-bulanık (genetic-fuzzy) sistemler önemli gelişmeler kaydetmiştir.

Yukarıda (86) ile verilen kurallar dikkatle incelenirse, bu kuralların

$$\text{if } A_x \text{ and } B_y \text{ then } C_z \quad (87)$$

yapısında oldukları görülür. Bu yapıdan faydalanılarak yukarıdaki sözel kurallar yeniden daha kısa biçimde yazılabilir.

$$\begin{aligned}
 \text{Kural 1} & \quad \text{if } NO_x \text{ and } PO_y \text{ then } NO_z \text{ else} \\
 \text{Kural 2} & \quad \text{if } NO_x \text{ and } SS_y \text{ then } SS_z \text{ else} \\
 \text{Kural 3} & \quad \text{if } NB_x \text{ and } PO_y \text{ then } PO_z \text{ else} \\
 \text{Kural 4} & \quad \text{if } NB_x \text{ and } SS_y \text{ then } PB_z \qquad (88)
 \end{aligned}$$

Burada kullanılan and terimi AND (VE) bağlacı olup, küme işlemlerinde kesişim işlemine karşılık düşer. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları dikkate alındığında bu AND bağlacı bir minimum alma işlemidir. Dolayısıyla (88)'de AND ile birbirine bağlanan terimlere minimum alma işlemi uygulandığında, üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak aşağıda yazılan ifadeler elde edilir. Bu ifadeler, Şekil 1.29.'da gösterilen işlemleri açıklamaktadır. Yani her bir kural için, z çıkış değişkeninin bu Z uzayında tanımlı  $NB_z$ ,  $NO_z$ ,  $SS_z$ ,  $PO_z$  ve  $PB_z$  bulanık kümelerindeki üyelik değeri aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\begin{aligned}
 \text{Kural 1} & \quad \min[\mu_{NO}(x), \mu_{PO}(y)] = \mu_{NO}(z) \\
 \text{Kural 2} & \quad \min[\mu_{NO}(x), \mu_{SS}(y)] = \mu_{SS}(z) \\
 \text{Kural 3} & \quad \min[\mu_{NB}(x), \mu_{PO}(y)] = \mu_{PO}(z) \\
 \text{Kural 4} & \quad \min[\mu_{NB}(x), \mu_{SS}(y)] = \mu_{PB}(z) \qquad (89)
 \end{aligned}$$

Bu denklemler kısaca ifade edilirse,

$$\mu(z) = \min[\mu(x), \mu(y)] \qquad (90)$$

yazılabilir. Bu ifade aslında X ve Y uzayları arasındaki ilişkiyi temsil eder ve kartezyen çarpım olarak

$$Z = X \times Y \qquad (91)$$

şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla (89) ile verilen ifade X ve Y uzayları arasındaki bulanık ilişkiyi verir. Bulanık ilişkiler genellikle, tablolar, ilişki diyagramları, veya matrislerle temsil edilirler. Bulanık küme işlemleri bulanık ilişkilere de uygulanabilir. Çünkü bulanık ilişki iki boyutlu kesin sayı uzayında tanımlı bir bulanık kümedir. Buradaki örnekten de anlaşılacağı gibi X ve Y uzayları arasındaki ilişkiyi temsil eden Z kartezyen çarpımı sonucunda, X ve Y uzaylarında tanımlı olan bulanık kümeler iki boyutlu bir bulanık küme olarak Z uzayına taşınırlar. Z uzayında oluşan bu iki boyutlu yeni kümenin Z uzayındaki üyelik dereceleri ise kendisini oluşturan X ve Y düzlemindeki bulanık kümelerin üyelik dereceleri ile belirlenir. Bu ilişki, üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak tablo biçiminde yazılabilir.

Tablo 1. Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen kural tablosu

	$\mu_{PO}(y)$	$\mu_{SS}(y)$					
$\mu_{NO}(x)$	$\mu_{NO}(z)$	$\mu_{SS}(z)$	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>Z</td> </tr> </table>		Y	X	Z
	Y						
X	Z						
$\mu_{NB}(x)$	$\mu_{PO}(z)$	$\mu_{PB}(z)$					

Bu ilişki matrisi de daha genel olarak Tablo 2'deki gibi kısaltılabilir.

Tablo 2. Bulanık Sözcüklerle temsil edilen kural tablosu

	$PO_y$	$SS_y$					
$NO_x$	$NO_z$	$SS_z$	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>Z</td> </tr> </table>		Y	X	Z
	Y						
X	Z						
$NB_x$	$PO_z$	$PB_z$					

Tablo 2., aslında (88) ifadesi ile verilen kuralların tablolaştırılmış halinden başka bir şey değildir. Tablo 1. ile Tablo 2. arasındaki tek fark, birinin üyelik derecelerinden, diğersinin ise sözel bulanık ifadelerden meydana gelmiş olmasıdır. Tablo 1. ve Tablo 2.'de verilen kurallar (89) ifadesindeki gibi işlenip, Z uzayında tanımlı kuralların üyelik

değerleri  $\mu_{NO}(z)$ ,  $\mu_{SS}(z)$ ,  $\mu_{PO}(z)$  ve  $\mu_{PB}(z)$  ile bu üyeliklerin ait oldukları  $NO_z$ ,  $SS_z$ ,  $PO_z$  ve  $PB_z$  bulanık kümelerinde maksimum üyeliğe sahip olan  $Z_{NO}$ ,  $Z_{SS}$ ,  $Z_{PO}$  ve  $Z_{PB}$  değerleri bulanık işlemcinin durulaştırıcı kısmına aktarılarak sonuçta tek bir tane kesin  $z$  çıkışı elde edilir.

### 1.12.2.3. Durulaştırıcı

Bulanık işlemcinin son elemanı olarak devreye girer. Bulanık kural işleme ünitesinde elde edilen kural sonuçları durulaştırıcıda değerlendirilip, kesin bir sonuca dönüştürülür. Durulaştırma işleminin nasıl gerçekleştirildiğini anlamak için (86) ve (87) ifadeleri ile Şekil 1.29’da verilen kural işleme ünitesini göz önüne almak gerekir. (86) ve (87) denklemlerinden görüleceği gibi, kurallar else terimi ile birbirlerine bağlanmaktadır. Dolayısıyla kuralların toplam etkisi, hepsinin birleşimi olan ve aşağıda ifade edilen bağıntı ile belirlenebilir.

$$K_T = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = \sum_{i=1}^4 K_i \quad (92)$$

Bu bağıntıdaki “+” işareti aritmetik bir işlem olmayıp, (86) ve (88)’de kullanılan “else” terimine karşılık gelmektedir. Buradaki etkisi ise “birleşim” yani “maksimum alma” işlemidir. Dolayısıyla (89) ve (92) ifadelerinden;

$$K_T = \mu_{NO}(z) \vee \mu_{SS}(z) \vee \mu_{PO}(z) \vee \mu_{PB}(z) \quad (93)$$

yazılabilir. Bu ifade daha açık biçimde yazılırsa;

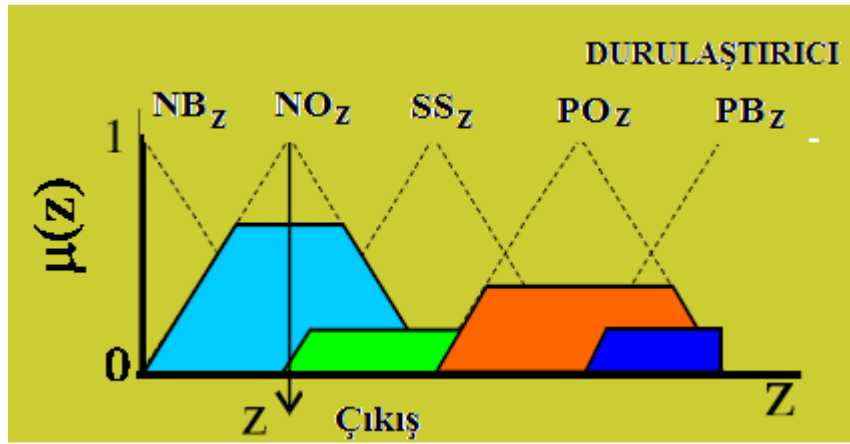
$$\mu_T(z) = [\mu_{NO}(x) \wedge \mu_{PO}(y)] \vee [\mu_{NO}(x) \wedge \mu_{SS}(y)] \vee [\mu_{NB}(x) \wedge \mu_{PO}(y)] \vee [\mu_{NB}(x) \wedge \mu_{SS}(y)] \quad (94)$$

$$\mu_T(z) = \max\{\min[\mu_{NO}(x), \mu_{PO}(y)], \min[\mu_{NO}(x), \mu_{SS}(y)], \min[\mu_{NB}(x), \mu_{PO}(y)], \min[\mu_{NB}(x), \mu_{SS}(y)]\} \quad (95)$$

elde edilir. Bu ifade ise,

$$\mu_T(z) = \max \{ \min [ \mu(x), \mu(y) ] \} \quad (96)$$

şeklinde kısaltılabilir. Bu da kuralların işlemesi ile elde edilen sonuç kümelerinden en yüksek üyelik derecesine sahip olan kümenin sonuç kümesi olduğu anlamına gelir. Şekil 1.30.'da görüldüğü gibi,  $NO_z$  kümesi en yüksek üyelik derecesine sahip olan kümedir. Dolayısıyla sonuçta elde edilecek olan kesin sayı bu  $NO_z$  kümesinin maksimum üyelik değerine karşılık gelen z kesin sayısıdır.



Şekil 1.30. MOM ilkesine göre işlem yapan durulaştırıcı [11].

Şekil 1.30.'da gösterilen durulaştırma yöntemi, Mamdani tarafından kullanılan ve maksimumun ortalaması (MOM - mean of maximum) olarak isimlendirilen yöntemdir. Bu yöntem bulanık mantık ile yapılan bulanık küme ve üyelik fonksiyonu işlemlerinin bir sonucu olarak doğrudan ortaya çıkmaktadır. Bu durulaştırma yöntemine alternatif olarak daha ileri düzeyde bazı ek yöntemler de geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilinenleri;

1. Alanların merkezi yöntemi (COA - center of area)
2. İki bölge yöntemi (BOA - bisector of area)
3. Maksimumun ortalaması (MOM - mean of maximum)
4. Maksimumun en küçüğü (SOM - smallest of maximum)
5. Maksimumun en büyüğü (LOM - largest of maximum)
6. Sugeno bulanık modelleri
7. Tsukamoto bulanık modelleri



Bunlardan en çok kullanılan alanların merkezi yöntemi, aşağıdaki gibi uygulanır.

$$z_C = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_i(z_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N \mu_i(z_i)} \quad (97)$$

Burada kullanılan örnek için bu denklem açılırsa;

$$z_C = \frac{\mu_{NO}(z_{NO}) \cdot z_{NO} + \mu_{SS}(z_{SS}) \cdot z_{SS} + \mu_{PO}(z_{PO}) \cdot z_{PO} + \mu_{PB}(z_{PB}) \cdot z_{PB}}{\mu_{NO}(z_{NO}) + \mu_{SS}(z_{SS}) + \mu_{PO}(z_{PO}) + \mu_{PB}(z_{PB})} \quad (98)$$

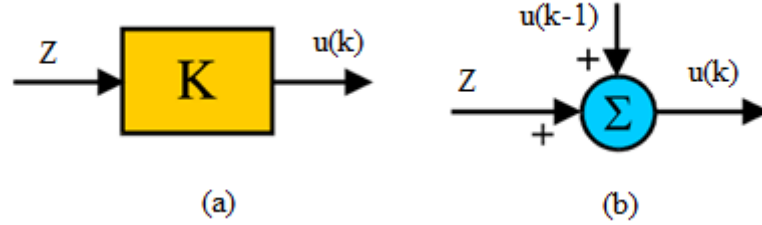
Bu ifadede  $i$  kural numarasını,  $N$  de toplam kural sayısını göstermektedir. Etkin olmayan kurallar için daima  $\mu_i(z_i)=0$  dır. Etkin kurallar için ise  $i$  kural numarası olduğu kadar, bu  $i$ . kural için geçerli olan sözel komutu da temsil etmektedir. Mesela, burada verilen örnekte 1. kuralda  $i=NO_z$  sözel ifadesini, 2. kuralda  $i=SS_z$  sözel ifadesini, 3. kuralda  $i=PO_z$  sözel ifadesini, ve 4. kuralda da  $i=PB_z$  sözel ifadesini temsil eder. Bu nedenle açık yazılan ifadelerde  $i$  yerine sırasıyla karşılıkları olan  $NO_z$ ,  $SS_z$ ,  $PO_z$  ve  $PB_z$  yazılmıştır. Yine yukarıdaki ifadede  $Z_{NO}$ ,  $Z_{SS}$ ,  $Z_{PO}$  ve  $Z_{PB}$  değerleri Şekil 1.29.'da gösterildiği gibi sırasıyla  $NO_z$ ,  $SS_z$ ,  $PO_z$  ve  $PB_z$  bulanık kümelerinde maksimum üyeliğe sahip  $z$  değerleridir.

Durulaştırıcı çıkışından elde edilen bu  $z$  çıkış değeri, denetlenen sisteme gönderilir ve burada istenilen etkiyi verecek şekilde ek işlemler yapılarak değerlendirilir.

#### 1.12.2.4. Denetlenen Sistem

Bulanık mantık tabanlı denetleyici tarafından kontrol edilecek olan gerçek sistem. Bu sistem herhangi bir sebeple bulanık mantık işlemlerinin uygulanacağı bir sistemdir. Bu gerçek sistemin bir çok girişi ve bir çok çıkışı olabilir. Bu girişlerden bir veya birkaçı denetim amaçlı olabilir. Şekil 1.27.'de  $z$  ile gösterilen giriş bu denetim amaçlı girişlerden birisi olsun. Bu durumda gerçek sistem, bulanık mantık tabanlı denetleyici tarafından gönderilen  $z=t_{on}$  denetim işareti ile denetlenecektir. Denetlenen gerçek sistem çıkışlarından bir veya birkaçı da geri besleme işareti olarak bulanık işlemciye gönderilebilir.

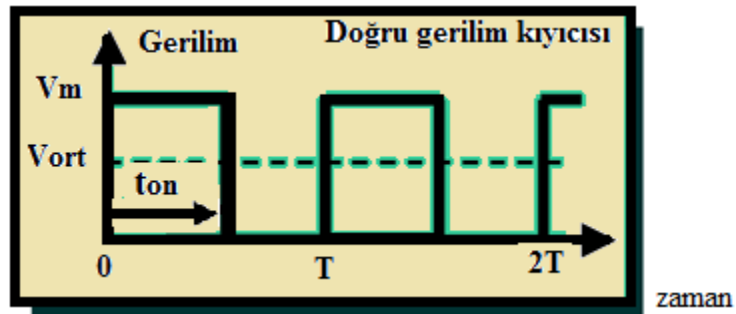
Durulaştırıcıdan gelen  $z$  değeri denetlenecek sistemin özelliğine göre değerlendirilir. Bulanık denetleyiciden durulaştırılmış olarak gelen  $z$  değeri, denetlenecek sisteme uygulanmadan önce bazı işlemlere tabi tutulabilir.



şekil 1.31. Durulaştırılmış  $z$  değerinin denetlenecek sisteme uygulanmadan önce işlenmesi

Örneğin bu  $z$  bir sabit ile çarpılarak değeri artırılır veya azaltılır. Ya da bu  $z$  değeri bir önceki denetim işareti  $u(k-1)$  değerine eklenerek yeni bir  $u(k)$  elde edilir. Bu durumların her ikisi de şekil 1.31.'de gösterilmiştir.

şekil 1.31.(a)'da verilen işlemdede  $z$  denetim işareti  $K$  gibi bir sabitle çarpılarak,  $K$ 'nın değerine bağlı olarak artırılır veya azaltılır.  $z$  işareti pozitif veya negatif olabileceğinden,  $K$  ile çarpıldıktan sonra elde edilen  $u(k)=K(\pm z)$  değeri de pozitif veya negatif olarak artar ya da azalır. şekil 1.31.(b)'de ise durulaştırıcıdan gelen pozitif veya negatif  $z$  değeri bir önceki denetim işareti  $u(k-1)$ 'e eklenerek yeni  $u(k)$  değeri elde edilmektedir. Eğer sistem istenilen çıkışa sahipse,  $z=0$  olacağından, denetleyici  $u(k)=u(k-1)$  olarak eski değeriyle işlemini sürdürecektir. Eğer sistemin çıkışı istenilen değerde değilse,  $z$  pozitif veya negatif bir değer alacak ve denetim işareti  $u(k)=\pm z+u(k-1)$  olarak yeni bir değerle sistemi yeni çalışma noktasına doğru zorlayacaktır.



şekil 1.32. Doğru gerilim kıyıcı çıkış gerilimi dalga biçimi

Şekil 1.27’de verilen ve Şekil 1.32’de daha ayrıntılı olarak yeniden gösterilen doğru gerilim kısıyıcısı dikkate alınır, bu kısıyıcının bir T periyodu boyunca iletimde kalma süresi

$$t_{on} = C.T \quad (99)$$

ile belirlenebilir. Burada ( $0 < t_{on} < T$ ) olduğu göz önüne alınır,

$$0 < C < 1 \quad (100)$$

olması gerektiği ortaya çıkar. Dolayısıyla, eğer denetleyiciden gelen  $u(k)$  değerine bağlı olarak;

$$C = u(k) \quad (101)$$

alınır,  $u(k)$ ’nin değerinin 0 ile 1 arasında sınırlanması gerekir. Bu durumda;

$$C = \frac{z}{z_{max}} = \frac{1}{z_{max}} = K.z = u(k) \quad (102)$$

şeklinde kazanç fonksiyonuna bağlı olarak C ayarlanır. Veya;

$$C(k) = u(k) = z + u(k-1) \quad (103)$$

bağıntısı ile  $C(k) = u(k)$ ’nin bir önceki  $C(k-1) = u(k-1)$  değerine z eklenerek yeni  $C(k) = u(k)$  değeri belirlenir. z pozitif (+) veya negatif (-) olabileceği için duruma göre C(k) azalacak ya da artacaktır. Ancak  $0 < C < 1$  olduğu unutulmamalı ve C(k) nin minimum değeri 0, maksimum değeri de 1 ile sınırlandırılmalıdır. C nin 0 ile 1 arasında alacağı değere bağlı olarak da doğru gerilim kısıyıcının çıkış gerilimi  $0 < V_{ort} < V_m$  aralığında ayarlanmış olur.

Yukarıda açıklanan işlemlere benzer işlemler sonucunda doğru gerilim kısıyıcının çıkış gerilimi  $V_{ort}$  belirlenir. Eğer bu gerilim değeri istenilen  $V_{ort}$  ile uyuşmuyorsa bulanık mantık denetleyicinin bulanıklaştırıcı kısmına yeni bir  $x_1$  girişi olacak ve bulanıklaştırıcıdan itibaren açıklanan işlemler tekrarlanacaktır.

Bu kısımda sistemlerin ağır matematik modellerine gerek duymadan bulanık mantıkla denetleme yöntemleri ve avantajları üzerinde durulmuştur. Gerçek sistem yerine

doğal olarak o sistemin durum denklemlerini kullanılır. Gerçek sistem kullanıldığı takdirde durum denklemlerine de gerek kalmayacaktır.

### **1.12.3. Bulanık Mantığın Uygulama Alanlarından Bazıları**

Bulanık mantığın uygulama alanları her geçen gün artmakla beraber en çok kullanıldığı alanlar aşağıda sıralanmıştır [11].

- a. Otomatik Kontrol Sistemleri : Robotik, otomasyon, akıllı denetim, izleme sistemleri, ticari elektronik ürünler, vb.
- b. Bilgi Sistemleri : Bilgi depolama ve yeniden çağırma, Uzman sistemler, bilgi tabanlı sistemler, vb.
- c. Görüntü Tanımlama : Görüntü işleme, makina görüntülemesi.
- d. Optimizasyon : Fonksiyon optimizasyonu, süzgeçleme, eğri uydurma, vb.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR**

### **2.1. Giriş**

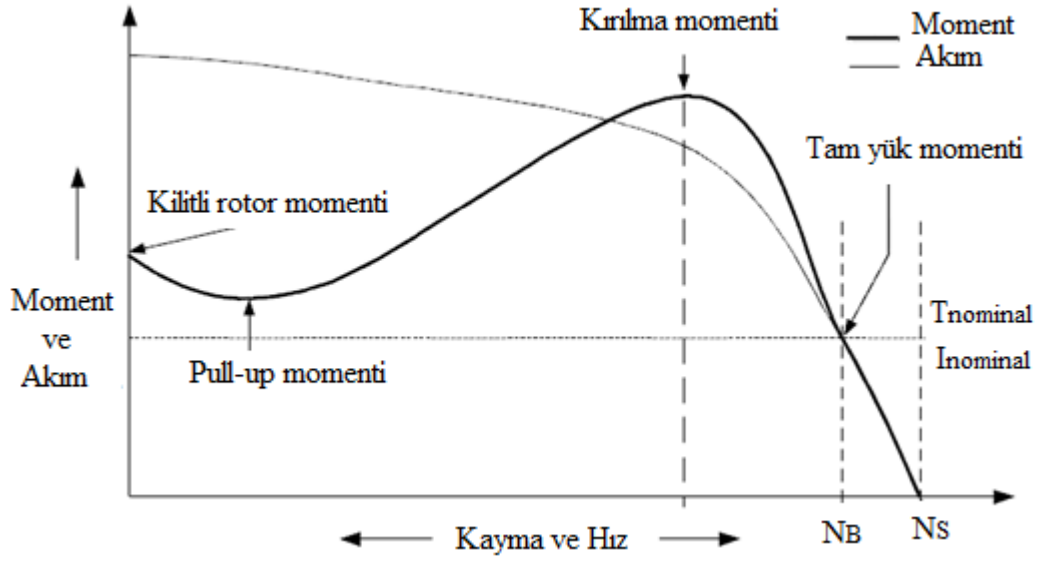
Bir asenkron motor şebekeye direkt olarak bağlandığında nominal hızında çalışır. Ancak çoğu uygulama değişken hız gerektirir. Giriş gücünün motor hızının küpü ile orantılı olduğu uygulamalarda bu daha çok hissedilir. Örneğin, santrifüj pompalarında hızın %20 oranında azaltılması yaklaşık %50 oranında enerji tasarrufu sağlayabilir.

VFD (Variable Frequency Drive) motor hızını denetlemenin yanında motor dinamiğini ve kararlı hal karakteristiklerini de iyileştirir. Sonuç olarak VFD sistemin ortalama enerji tüketiminin azaltır. Günümüzde çok çeşitli asenkron motor denetim tekniği uygulanmaktadır ancak voltaj-frekans oranı sabit olan değişken frekansla denetim tekniği en yaygın olanıdır. Bu teknik genel olarak VF denetim olarak bilinir. Özellikle açık çevrim sistemlerde kullanılan VF denetim, motor hızının değişken olduğu ve verimliliğin esas olduğu bir çok uygulamaya hitap eder [14].

PIC16F7X7 serisi mikrodenetleyiciler 3 adet donanımsal PWM modülüne sahiptirler. Bu nedenle 3 fazlı motor denetim uygulamalarına elverişlidirler.

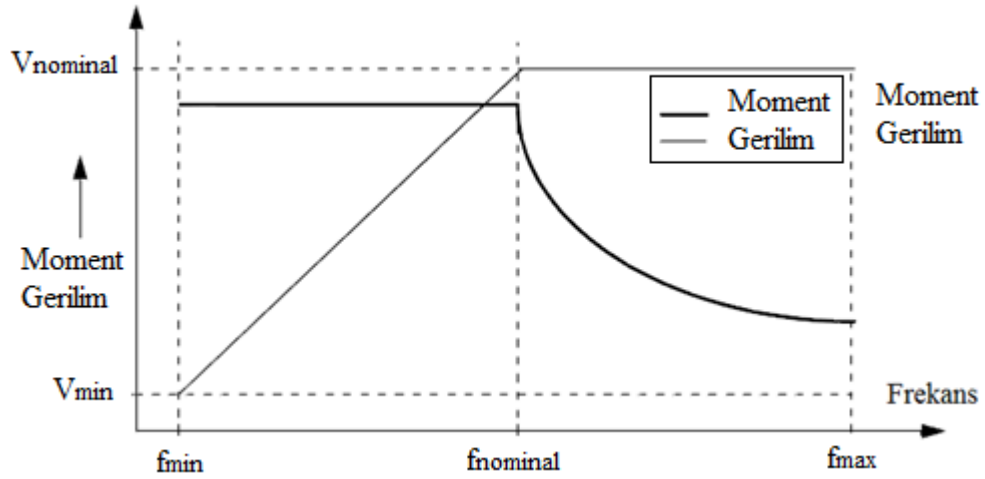
### **2.2. Voltaj Frekans Denetimi**

İndüksiyon motorun nominal hızı besleme frekansı ve kutup sayısı ile doğru orantılıdır. Tasarım sonrası kutup sayısı sabit olduğundan, motor hızını değiştirmenin en iyi yolu besleme frekansını değiştirmektir. İndüksiyon motorda endüklenen moment, uygulanan gerilim ile besleme frekansının oranına doğrudan bağlıdır. Voltaj ve frekans, oranları sabit tutularak, değiştirildiği takdirde hız aralığı boyunca endüklenen moment sabit tutulabilir. İşte bu voltaj frekans denetimidir. Şekil 2.1. bir asenkron motorun doğrudan şebekeye bağlı olması durumundaki tipik moment-hız karakteristiklerini göstermektedir.



Şekil 2.1. Asenkron motorun moment-hız karakteristikleri [14].

Şekil 2.2. ise, VF Denetimli bir asenkron motorun moment-hız karakteristiklerini göstermektedir.



Şekil 2.2. VF Denetimli asenkron motorun moment-hız karakteristikleri [14].

VF Denetimli moment hız karakteristiklerinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

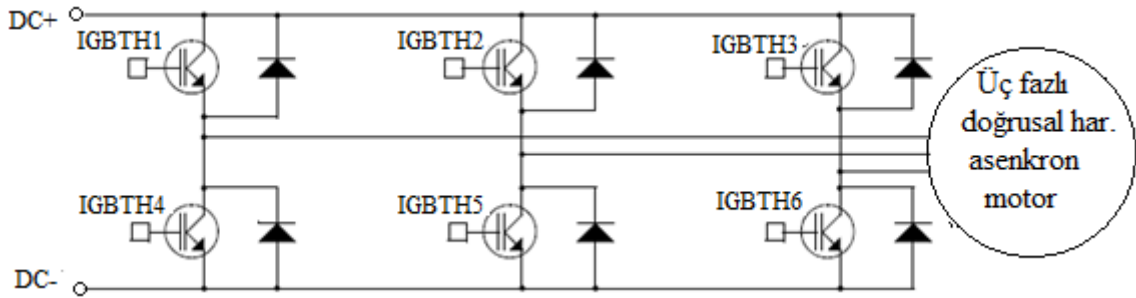
- Kalkış akımı azalmıştır.
- Motorun kararlı çalışma bölgesi artmıştır. Sadece nominal hızda (N<sub>B</sub>) çalışmak yerine, motor senkron hızının (N<sub>s</sub>) %5'i ile %100'ü arasındaki bölgede çalışabilir. Bu bölge boyunca moment sabit tutulabilir.

- c. Nominal hızda voltaj ve frekans nominal değerlerine ulaşırlar. Frekans artırılarak nominal hızlardan daha yüksek hızlarda çalışılabilir. Ancak uygulanan gerilim nominal değerinden daha fazla olamayacağı için, frekans artışı momentin düşmesine neden olacaktır.
- d. Motorun hızlanma ve yavaşlaması motora uygulanan frekansın zamana göre değiştirilmesi ile sağlanabilir.

### 2.3. Motor Sürücüsü

Üç fazlı evirici köprüsüne bağlı olan 3-fazlı bir asenkron motor aşağıda görülmektedir. DC baradan üç fazlı AC çıkış gerilimi elde etmek için denetlenen güç eviricisi altı anahtara sahiptir. Mikrodenetleyiciler tarafından üretilen PWM sinyalleri bu altı anahtarı denetler.

DC+'ya bağlı olan IGBTH1'den IGBTH3'e kadar olan anahtarlar üst anahtarlar olarak adlandırılırlar. DC-'ye bağlı olan IGBTL1'den IGBTL3'e kadar olan anahtarlar ise alt anahtarlar olarak adlandırılırlar.



Şekil 2.3. Üç fazlı evirici köprüsü [14].

Faz geriliminin genliği PWM sinyallerinin duty oranı ile belirlenir. Motor çalışırken her hangi bir zamanda bu altı anahtardan yalnızca üçü devrededir. Ya bir üst, iki alt anahtar ya da bir alt, iki üst anahtar devrede olacaktır. Anahtarlama sonucu harmonik bakımından zengin dikdörtgen şeklinde çıkış dalga şekilleri oluşur. Harmonikleri azaltılmış 3-fazlı sinüs dalgası üretmek için bu besleme akımı motor stator sargılarının indüktif özelliği ile filtre edilir. Anahtarlar kapatıldığı sırada sargıların indüktif özelliği, sargılardaki depolanmış tüm enerji kayboluncaya kadar, akım yönündeki ani değişime karşı durur. Buna yardımcı olmak için ters diyodlar kullanılmıştır.

DC bara besleme geriliminin kısa devre olmasını engellemek için aynı yarım köprünün üst ve alt anahtarları aynı anda kapanmamalıdır. Kapanan bir anahtar ile ilettime geçen diğer bir anahtar arasına ölü bir zaman eklenir. Böylece her iki anahtarın aynı anda ilettime geçmesi engellenmiş olur.

#### 2.4. Denetim

PIC16F7X7 mikrodenetleyici ailesi donanıma gömülü 10-bit çözünürlüklü üç adet PWM modülüne sahiptirler. Her PWM'nin duty oranı Şekil 2.4.'de görülen üç fazlı AC dalga şeklini üretmek üzere bağımsız olarak değiştirilebilir. PWM duty oranının üst sekiz biti CCPxL kayıtçısı kullanılarak ayarlanırken, alt iki biti CCPxCON kayıtçısının 4 ve 5. bitleri kullanılarak ayarlanır. PWM frekansı Timer2 periyod kayıtçısı (PR2) kullanılarak ayarlanır. PWM modüllerinin hepsi, anahtarlama frekansları ve duty oranlarının ayarlanması için zaman eksenini olarak Timer2 periyod kayıtçısı (PR2) kullandıklarından dolayı, aynı anahtarlama frekansındadırlar.

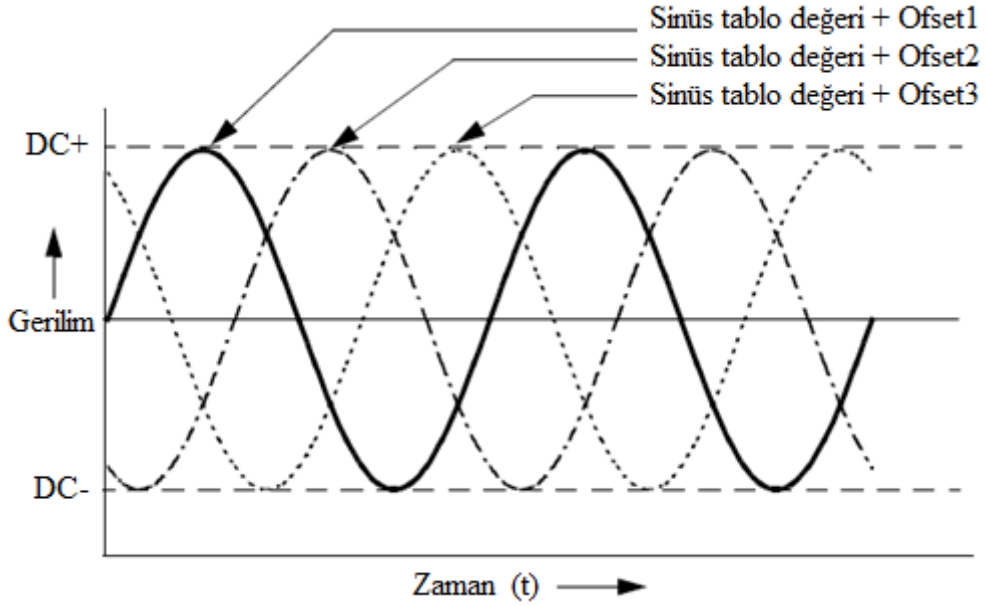
DC gerilimden değişken üç fazlı gerilim elde etmek için PWM çıkışlarının güç eviricinin altı anahtarını denetlemesi gerekmektedir. Bunun için PWM çıkışları üç adet IGBT sürücüyü (IR2109) bağlanır. Her sürücü bir PWM çıkışını giriş olarak alır ve biri diğerinin tamamlayıcısı olacak şekilde iki adet PWM çıkışı üretir. Bu iki sinyal, biri üst biri alt anahtar olmak üzere, eviricinin bir yarım köprüsünü sürmek için kullanılır. Sürücü aynı zamanda iki PWM sinyal arasına sabit bir ölü zaman da ekler.

#### 2.5. Üç Fazlı Sinüs Dalga Şeklinin Sentezi

Üç adet PWM modülü ile birlikte 16 bitlik Timer1 donanım modülü üç fazlı evirici denetim sinyallerini üretmek için kullanılır.

Bu bir sinüs tablosu ile gerçekleştirilir ki, bu tablo uygulama kodu ile birlikte program hafızasında saklanır ve çalışma esnasında data belleğine transfer edilir. Tablonun bu şekilde yüklenmesi çalışma anında tabloya erişim süresini minimuma indirir. Üç adet kayıtçı tabloya ofset olarak kullanılır. Bu kayıtçılardan her biri tablodaki birbirlerine göre 120 derece faz farklı değerlerden birine işaret eder. Böylece birbirlerine göre 120 derece faz farklı üç adet sinüs dalgası oluşturulur (bkz. Şekil 2.4.).



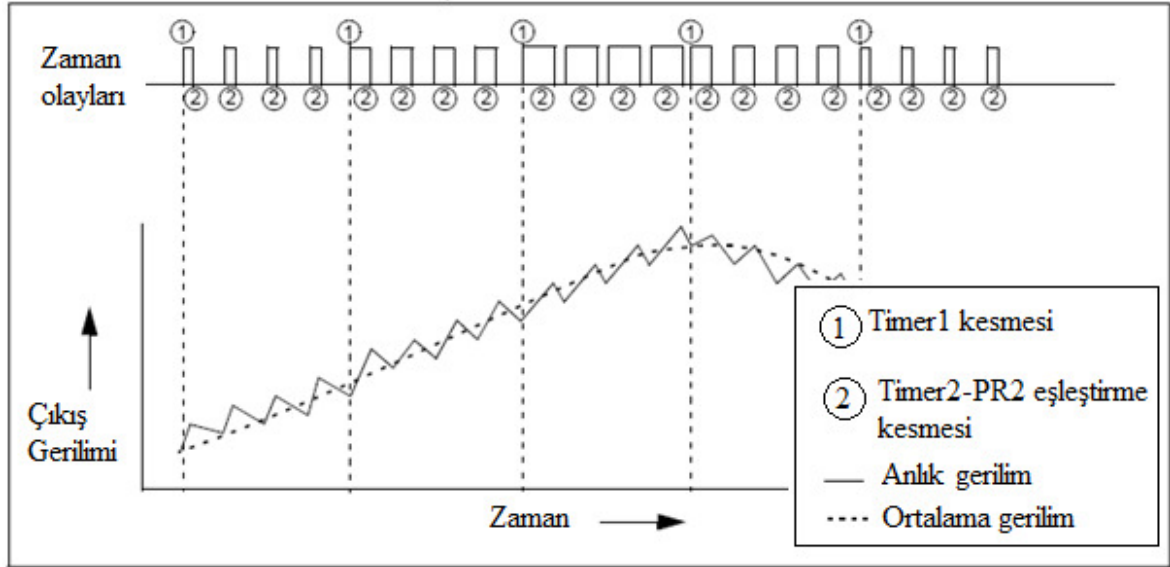


Şekil 2.4. Üç fazlı sinüs dalga şeklinin sentezi [14].

10-bit ADC kanala (AN1) bağlı olan potansiyometre motor frekansını belirler. Mikrodenetleyici PWM duty oranını, dolayısıyla motora uygulanan frekans ve genliği, hesaplamak için ADC sonuçlarını kullanır. Düzgün frekans geçişleri için AN1 kanalı her 4ms'de bir dönüştürülür.

Timer1'e yeniden yüklenen değer ADC sonuca (AN1), ana saat frekansı ( $F_{osc}$ ) ve sinüs tablosunun girdi sayısına (Mevcut uygulamada 36) dayanır. Her Timer1 taşmasından sonra, sinüs tablosunda ofset kayıtcısı tarafından gösterilen değer, okunur. Sinüs tablosundan okunan değer motor frekans girişine göre ölçeklenir. Sinüs tablo değeri, PWM duty oranını bulmak için, frekans girişi ile çarpılır ve ilgili PWM duty oranı kayıtcısına yüklenir. Daha sonra ofset kayıtcılar sonraki erişim için güncellenir. Eğer motor yön tuşu basılı olursa, o zaman PWM1, PWM2, PWM3 duty oranı değerleri sırasıyla PWM2, PWM1 ve PWM3 duty oranı kayıtcılarına yüklenir [14].

Yeni PWM duty oranı değerleri hemen sonraki Timer2 taşmasında etkili olacaktır. Aynı zamanda, bir daha ki Timer1 taşması meydana gelinceye kadar duty oranı aynı kalacaktır. Bu durum aşağıdaki şekilde görülmektedir. Yeni PWM duty oranı güncellemesinin frekansı motor frekansını belirlerken, duty oranı kayıtcısına yüklenen değer motor beslemesinin genliğini belirler.



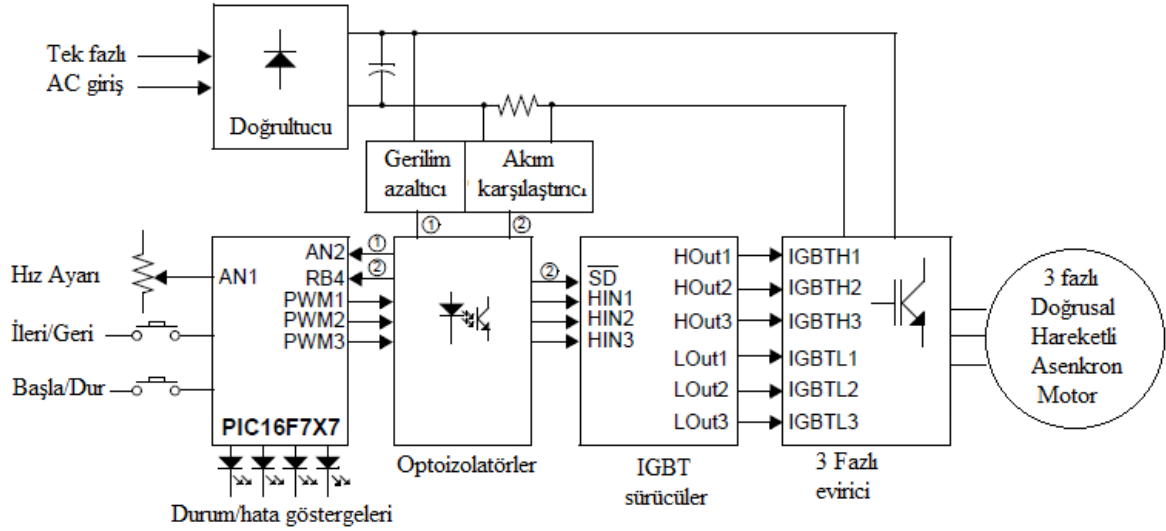
Şekil 2.5. Timer1 taşması, PWM duty oranı ve çıkış gerilimi [14].

Timer1 yeniden yükleme değerini hesaplamak için kullanılan denklem aşağıda verilmektedir. Mevcut uygulamada Timer1 önbölücü değeri 1:8'dir. PR2, 20 MHz. Fosc değerinde 20 kHz. frekans üretmek için ayarlanır.

$$\text{Timer1 yeniden yükleme değeri} = \text{FFFFh} - 2x \left( \frac{\frac{F_{osc}}{4}}{\text{Peryod için sinüs örneklemesayısı} \times \text{önbölücü değeri} \times \text{Timer1} \times \text{AN1 değeri}} \right) \quad (104)$$

## 2.6. Sistem Donanımının Tanıtımı

Aşağıdaki Şekil 2.6.'da güç ve denetim devresinin tüm blok diyagramı görülmektedir. Tek fazlı ana besleme kaynağından diyod köprü doğrultucu kullanımı ile doğrultulmuş gerilim elde edilir. DC gerilimdeki dalgalanmalar elektrolitik kondansatör kullanılarak filtre edilir. Filtre edilmiş DC gerilim IGBT esaslı üç fazlı eviriciye bağlanmıştır. İnverter çıkışı 3-fazlı, voltaj-frekans oranı sabit olan değişken frekanslı besleme sağlar.



Şekil 2.6. Motor sürücü sistemi blok diyagramı [14].

AN1'e bağlı olan bir potansiyometre motor frekansını ayarlar. Push buton tuşları mikrodenetleyiciye Başla/dur, ileri/geri gibi komutları vermek için konulmuştur. Hızlanma ve yavaşlama özellikleri motor frekansının yavaş yavaş değişimi için programlanmıştır. Bu özelliklerin her ikisi için zamanlama yapmak kullanıcı seçimine bırakılmıştır ve derleme esnasında ayarlanabilirler. Başla/dur, ileri/geri, düşük gerilim, aşırı gerilim gibi durum/hata göstergeleri LED'lerle sağlanmıştır.

PWM çıkışları PIC16F7x7 üzerindeki donanım modüllerinde üretilir. Bunlar optoizolatörler vasıtasıyla IGBT sürücüleri (driver) sürmek için kullanılırlar. Her bir IGBT sürücü, sırasıyla, üç fazlı eviricinin üst ve alt yarılarını sürmek için tamamlayıcı sinyalleri üretir. IGBT sürücüler aynı zamanda daha yüksek ve daha düşük anahtar sürücü sinyalleri arasına 540 ns ölü zaman eklerler.

IGBT sürücü, aşırı akım koruma devresi tarafından denetlenen, SD kesme sinyaline sahiptir. IGBT sürücü, düşük gerilim koşullarında güç besleme sürücüsü için, kendi çipi üzerinde hata izleme devresi bulundurur. Herhangi bir aşırı akım veya düşük gerilim olayında çıkışlar Low (düşük) seviyesine getirilir ve hata durumu ortadan kalkıncaya kadar aynı seviyede kalır.

## 2.7. Aşırı Akım Koruması

İndüktif olmayan bir direnç eviricinin genel kaynak noktası ile güç topraklaması arasında bağlıdır. Bu direnç üzerindeki gerilim düşümü motora akan akımla doğru

orantılıdır. Bu gerilim düşümü, aşırı akım limitini belirleyen bir optoizolator (lineer optocoupler) vasıtasıyla referans gerilim sinyali ile karşılaştırılır. Bu gerilim sinyallerinin karşılaştırılmasında üç farklı yöntem vardır.

- a. Harici bir karşılaştırıcı kullanmak.
- b. PIC16F7x7 üzerindeki karşılaştırma modülünün kullanılması.
- c. Yazılımsal olarak, yani direnç üzerindeki gerilim düşümünün ADC kanallardan biri vasıtasıyla okunması yöntemiyle.

Bu uygulamada harici bir karşılaştırıcı kullanılmıştır. Bu karşılaştırıcının çıkışı optoizolator (optocoupler) üzerinden sürücünün kesme sinyalini sürer. Aynı zamanda, bu sinyal RB4'e gönderilir. PORTB'de değişim durumunda kesme özelliğinin kullanılması ile mikrodenetleyici hata saptamasına cevap verir ve motoru durdurur.

## 2.8. Aşırı ve Düşük Gerilim Koruması

Gerilim korumasını uygulamak için DC bara gerilimi potansiyel bölücü ile azaltılır. Sonuçta oluşan sinyal optoizolator (lineer optocoupler) üzerinden AN2'yi besler. Uygulama, RA2'deki değer periyodik olarak A/D dönüşümü yoluyla gerilimi izler. Eğer gerilim önceden belirlenmiş olan aralığın dışına çıkarsa, motor durur.

## 2.9. İzolasyon

Optoizolatörlerin kullanımı güç topraklaması (P\_GND) ve denetim topraklaması (D\_GND)'nin ayrılmasını sağlar. Böylece sistemin AC besleme kaynağına bağlanması esnasında MPLAB ve ICD2 gibi geliştirme uygulamalarının sisteme emniyetle irtibatlandırılmalarını sağlar. Bu canlı bir sistemde hata ayıklama görevini basitleştirir.

Tasarımdan üretime geçildiğinde genellikle izolasyon elemanları kaldırılır. İzolasyonu kaldırmak için aşağıdakiler yapılmalıdır.

- a. PWM sürücü optoizolatörlerinin (U6-U9 arası) kaldırılması.
- b. Güç izolasyon optoizolatörlerinin (U17 ve U18) kaldırılması.
- c. U17 ve U18 in voltaj takipçilerinin (U13B, U13C, U16A ve U16B) devre dışı bırakılması. U13A ve U16C halen sistem tarafından kullanıldığı için fiziksel olarak U13 ve U16 kaldırılmamalıdır.

- d. Güç izolasyon sistemine tahsis edilmiş olan bütün diğer bileşenlerin (Kondansatörler; C41/42/43 ve dirençler; R81/82/83/84/91/92/93/96) kaldırılması.
- e. P\_GND ve D\_GND'yi kısadevre yapılarak bütün topraklamalar ortak yapılır.

## 2.10. VF Denetim Yazılımı

PIC16F7x7 mikrodenetleyici üç fazlı motor denetimini mümkün kılarken, yazılım sayesinde VF denetimi düzgün bir şekilde gerçekleştirilir. Sinüs tablosunu sürdürmeye ve AC çıkış üretmek için PWM modüllerini sürmeye ek olarak, yazılım hata koşullarını algılamak ve etkilemek için denetim girişlerini ve sistem durumlarını yorumlar. Yazılım aynı zamanda yön, hızlanma ve yavaşlama gibi motor denetiminin diğer özelliklerini de yönetir. Bunlar aşağıda açıklanacaktır.

VF denetim yazılımı çalışma için bir takım belirli rutin ve parametreleri kullanır. Kullanıcılar bu parametreleri kendi uygulamalarındaki ihtiyaçlara göre değiştirebilirler. Yazılım, kodun bölümleri arasında bilgi aktarımı için parametrelerin kullanımı ile, büyük bir uygulamaya motor denetim çekirdeği olarak dahil edilebilir. Yazılımın lojik akışının özeti Şekil 2.7. ve Şekil 2.8.'de verilmektedir. Parametrelerin tam listesi ve tanımlı fonksiyonlar Tablo 3. ile Tablo 6. arasında verilmiştir.

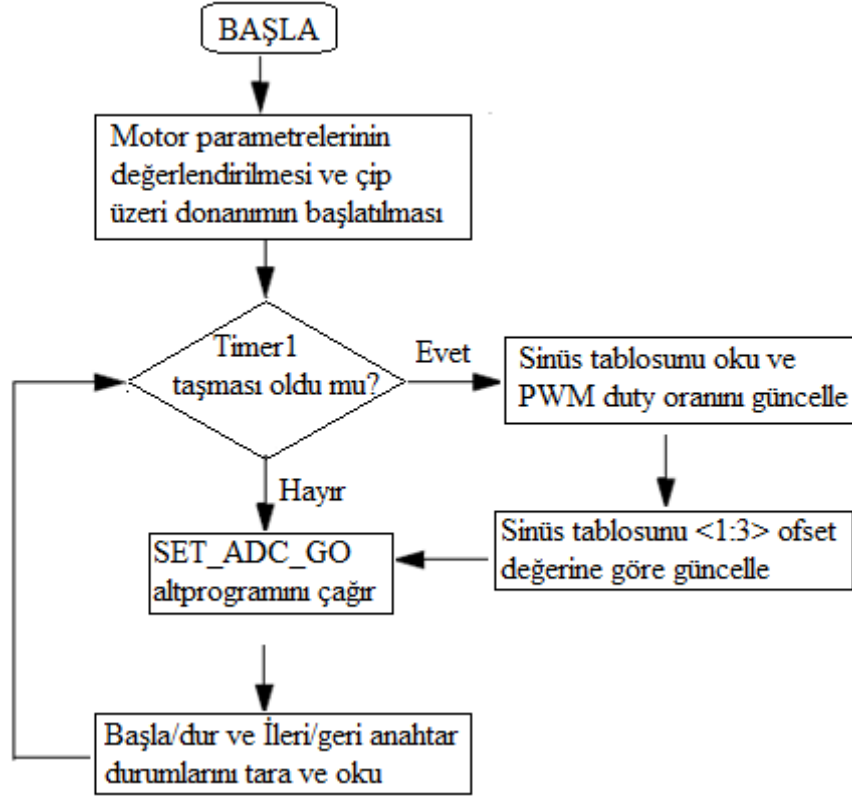
## 2.11. Hızlanma ve Yavaşlama

Hızlanma ve yavaşlama zamanı derleme anında belirlenebilir. Gerçek motor frekansı (SET\_FREQ) ve potansiyometre ile ayarlanan istenen kullanıcı frekansı (NEW\_FREQ), 4 ms aralıklarla karşılaştırılır. Eğer SET\_FREQ ve NEW\_FREQ farklı ise o zaman SET\_FREQ adım adım NEW\_FREQ değerine ulaşmaya kadar değiştirilir. Her adım 0.25 Hz. büyüklüğündedir.

SET\_FREQ değerini bir adım değiştirmek için gereken zaman, SET\_FREQ ve NEW\_FREQ arasındaki farka bağlı olarak, yazılım tarafından hesaplanırken, hızlanma ve yavaşlama parametreleri de derleme anında girilir. Eğer hızlanma ve yavaşlama sürecinde NEW\_FREQ değeri değişirse o zaman her bir adımı değiştirme zamanı yeniden hesaplanır.

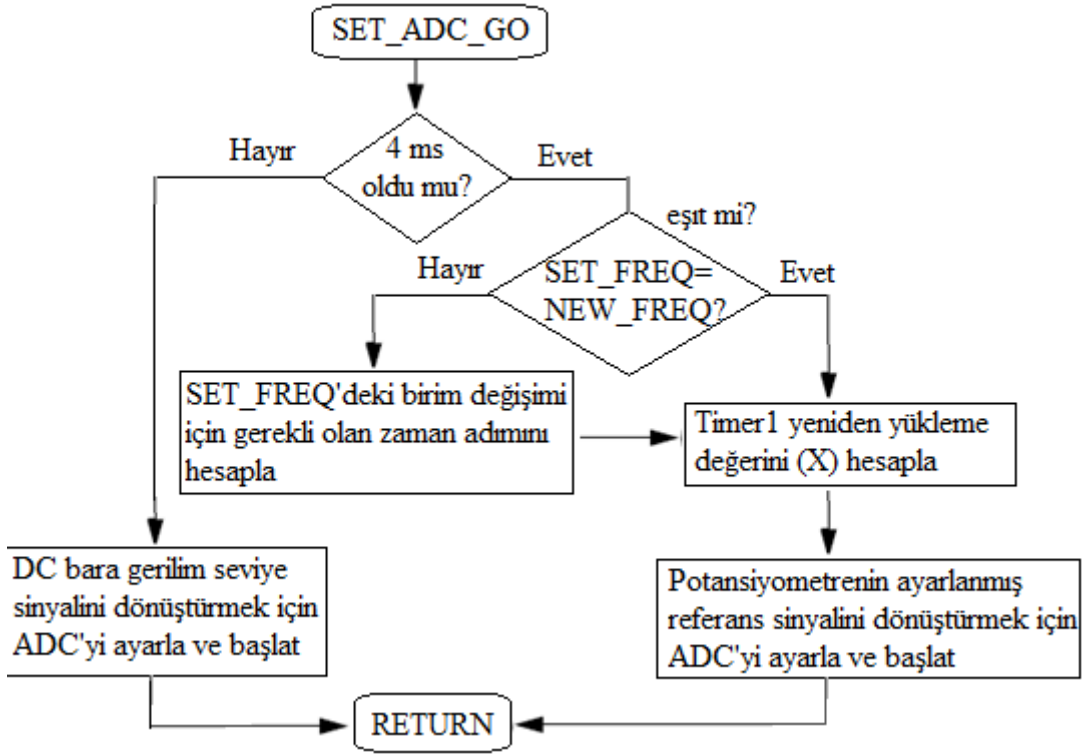
## 2.12. Motor Denetim Akış Diyagramları

### 2.12.1. Ana Akış Diyagramı



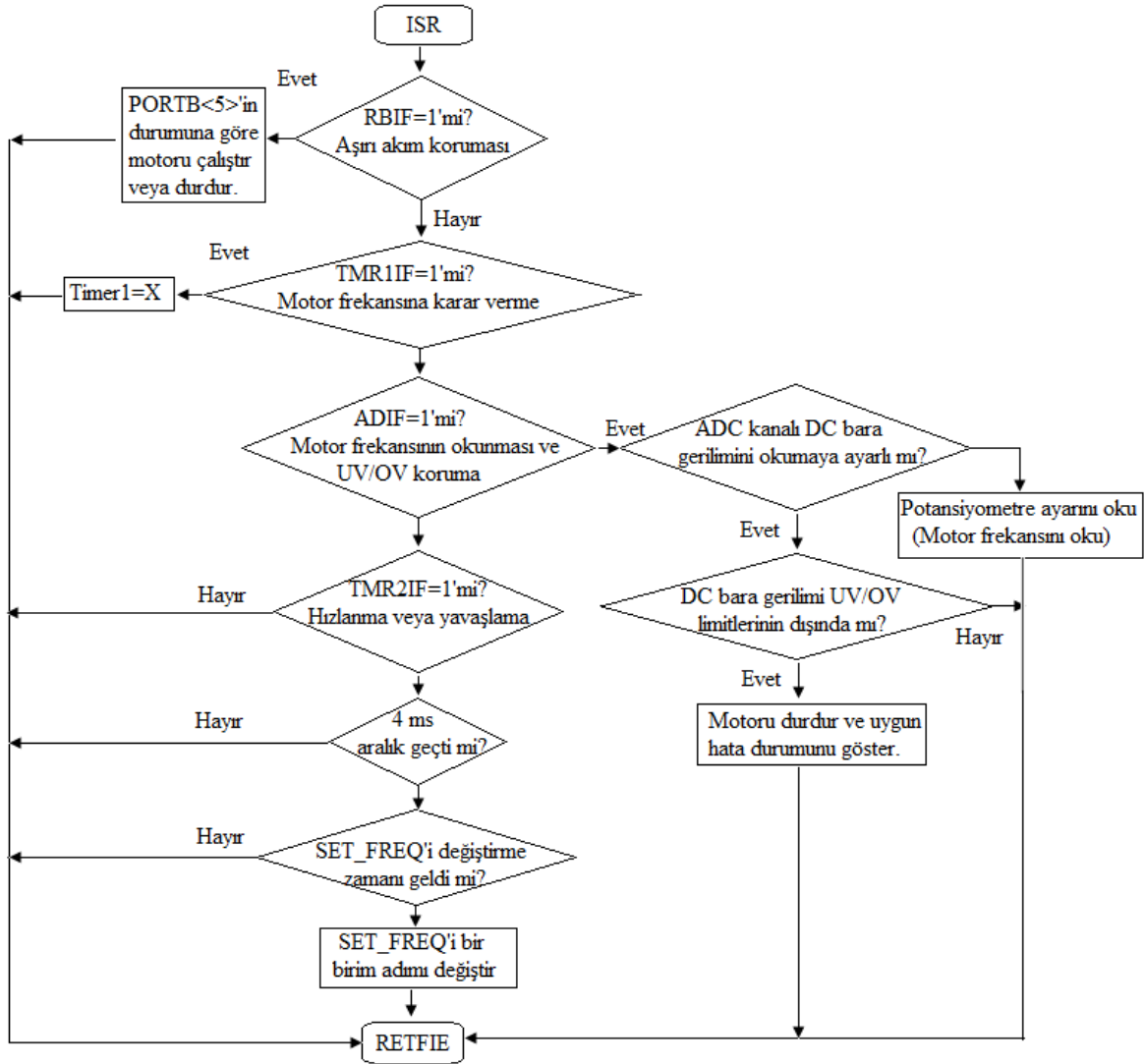
Şekil 2.7. Ana akış diyagramı (Ana program) [14].

### 2.12.2. ADC Akış Diyagramı



Şekil 2.8. ADC (analog dijital çevirici) akış diyagramı [14].

### 2.12.3. Motor denetim Akış Diyagramı (Kesme Hizmet Akış Diyagramı)



Şekil 2.9. Motor denetim akış diyagramı (kesme hizmet akış diyagramı) [14].



### 2.12.4. Parametreler, Sabitler, Fonksiyonlar ve Değişkenler

Tablo 3. Yazılımdaki kullanıcı tanımlı parametreler [14].

<b>Parametre adı</b>	<b>Tanımı</b>
<b>OSC_FREQ</b>	Osilatör frekansını tanımlar. Mevcut uygulamada, bu değer 20 MHz. olarak ayarlanır.
<b>TIMER1_PRESCALE</b>	Timer1 önbölücü değerini tanımlar. Mevcut uygulamada 1:8 'e ayarlıdır.
<b>TIMER2_PRESCALE</b>	Timer2 önbölücü değerini tanımlar. Mevcut uygulamada 1:1 'e ayarlıdır.
<b>PWM_FREQUENCY</b>	PWM anahtarlama frekansını tanımlar. Mevcut uygulamada 20 kHz.'dir.
<b>ACCELERATION_TIME</b>	Motor hızı için kullanıcının ayarladığı hızlanma zamanını tanımlar. Mevcut uygulamada bu değer 3 sn. olarak ayarlanmıştır.
<b>DECELERATION_TIME</b>	Motor hızı için kullanıcının ayarladığı yavaşlama zamanını tanımlar. Mevcut uygulamada bu değer 3 sn. olarak ayarlanmıştır.
<b>SINE_TABLE_ENTRIES</b>	Sinüs tablosunun uzunluğunu tanımlar. Mevcut uygulamada bu değer 19'dur.

Tablo 4. Yazılımdaki sabitler [14].

<b>Sabit adı</b>	<b>Tanımı</b>
<b>FREQ_SCALE</b>	Timer1 yeniden yükleme değerini hesaplamak için kullanılır. Bunun değeri Fosc, Timer1 önbölücü ve sinüs tablosunun girişlerinin sayısına bağlıdır.
<b>PR2_VALUE</b>	Timer2 taşma zaman periyodunu ve dolayısıyla PWM anahtarlama frekansını belirler. Değeri Fosc, Timer2 önbölücü ve gerekli olan PWM anahtarlama frekansına bağlıdır.
<b>DEC_CON</b>	SET_FREQ için gereken adım azalma miktarlarını hesaplamak için kullanılır. Değeri: Yavaşlama zamanı x 250 ile bulunur.
<b>ACC_CON</b>	SET_FREQ için gereken adım artış miktarlarını hesaplamak için kullanılır. Değeri: Hızlanma zamanı x 250 ile bulunur.
<b>LIMIT_V_LOW</b>	Düşük gerilim korumasının aktif olacağı DC bara voltaj limitini belirler.
<b>LIMIT_V_HIGH</b>	Aşırı gerilim korumasının aktif olacağı DC bara voltaj limitini belirler.

Tablo 5. Yazılımdaki fonksiyonlar [14].

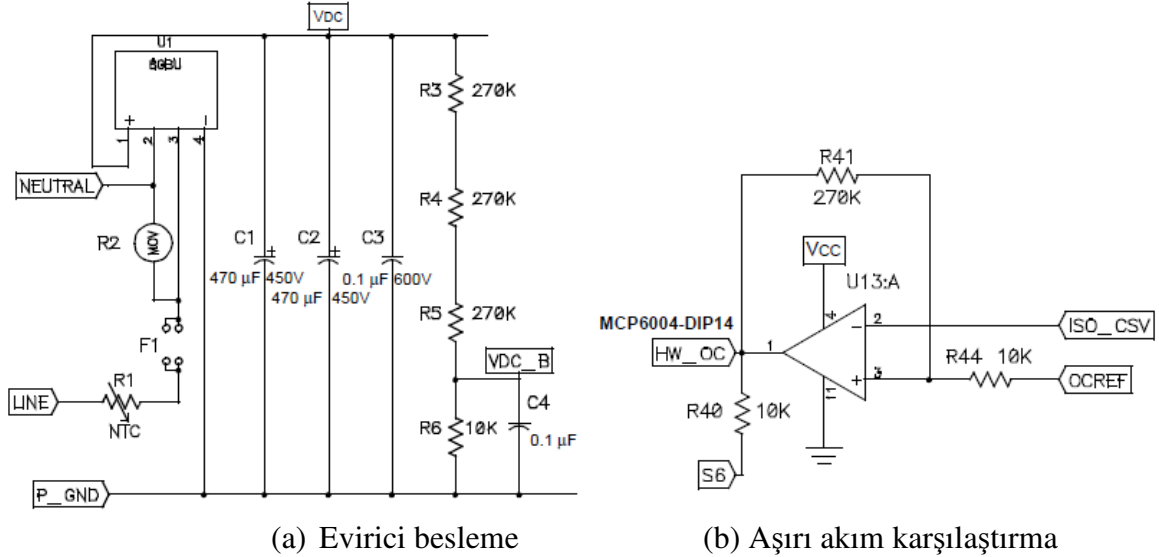
<b>Fonksiyonun adı</b>	<b>Tanımı</b>
<b>UPDATE_PWM_DUTYCYCLES</b>	Üç fazlı sinüs dalgasının üretimi için CCPRxL kayıtcısına yeni duty oranı değerlerini yükler.
<b>UPDATE_TABLE_OFFSET</b>	Sinüs tablosuna her erişimden sonra, üretilen sinüs dalgaları arasındaki 120 derecelik faz farkını sürdürmek için, pointerleri değiştirir.
<b>SET_ADC_GO</b>	DC bus voltajını veya gereken motor frekansı için potansiyometre ayarını okumak için ADC kanalını konfigüre eder. Bu yordam aynı zamanda hızlanma ve yavaşlama için SET_FREQ değerinde ihtiyaç duyulan birim adımlarını da hesaplar.
<b>KEY_CHECK</b>	Run/stop ve Fwd/rev tuşlarının durumlarını denetler ve buna göre hareket eder.
<b>CHECK_FAULT</b>	RBIF'nin ayarına cevap verir. Bu yordam harici akım karşılaştırıcısının çıkış durumuna cevap verir.
<b>TIMER1_OVERFLOW</b>	Bu yordam Timer1 taşmasını gösteren kullanıcı tanımlı bayrağı ayarlar. Kullanıcı tanımlı bu bayrak ana yordam içindeki UPDATE_PWM_DUTYCYCLES alt programının çağırılmasından sorumludur.
<b>AD_CONV_COMPLETE</b>	ADIF'nin ayarından sorumludur. Bu yordam ADC kanalından potansiyometre ile ayarlanmış olan frekansı okur. Eğer frekans 5 Hz. 'in altında veya 60 Hz.'in üzerinde ise o zaman frekansı 5 Hz. veya 60 Hz. ile sınırlandırır.
<b>TMR2_ISR</b>	TMR2IF 'nin ayarına cevap verir. Bu yordam hızlanma veya yavaşlama özelliğinin gerçekleştirilmesinde kullanılır.

Tablo 6. Yazılımdaki değişkenler [14].

Değişken adı	Tanımı
SET_FREQ	Gerçek motor frekansı
NEW_FREQ	Gerekli olan motor frekansı (potansiyometre ile ayarlanır).
TABLE_OFFSET1	Sinüs tablosundaki faz1 için pointer.
TABLE_OFFSET2	Sinüs tablosundaki faz2 için pointer.
TABLE_OFFSET3	Sinüs tablosundaki faz3 için pointer.

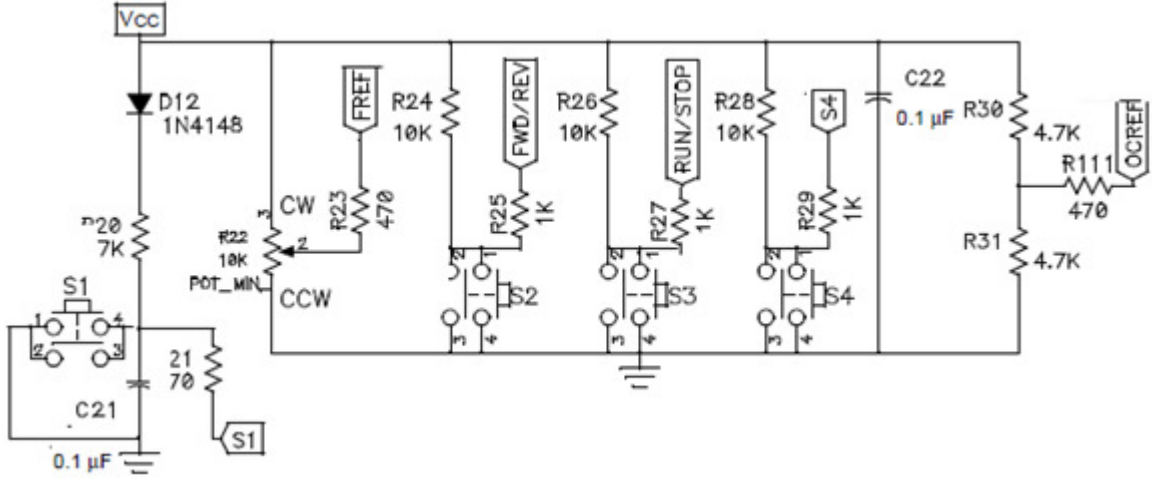
## 2.13. Devre Şemaları

### 2.13.1. Evirici Besleme ve Aşırı Akım Karşılaştırma Devreleri



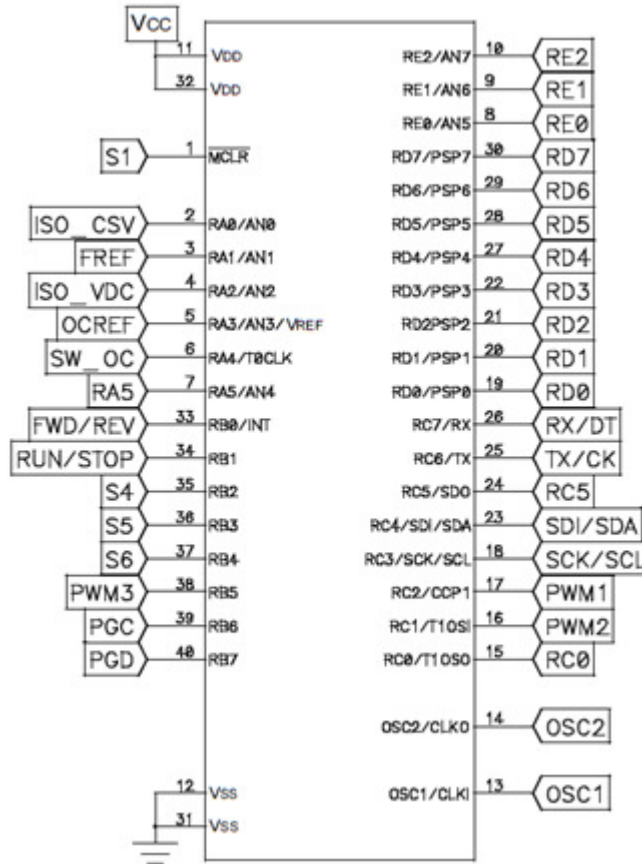
Şekil 2.10. Evirici besleme ve aşırı akım karşılaştırma devreleri [14].

### 2.13.2. Denetim ve Koruma Devresi



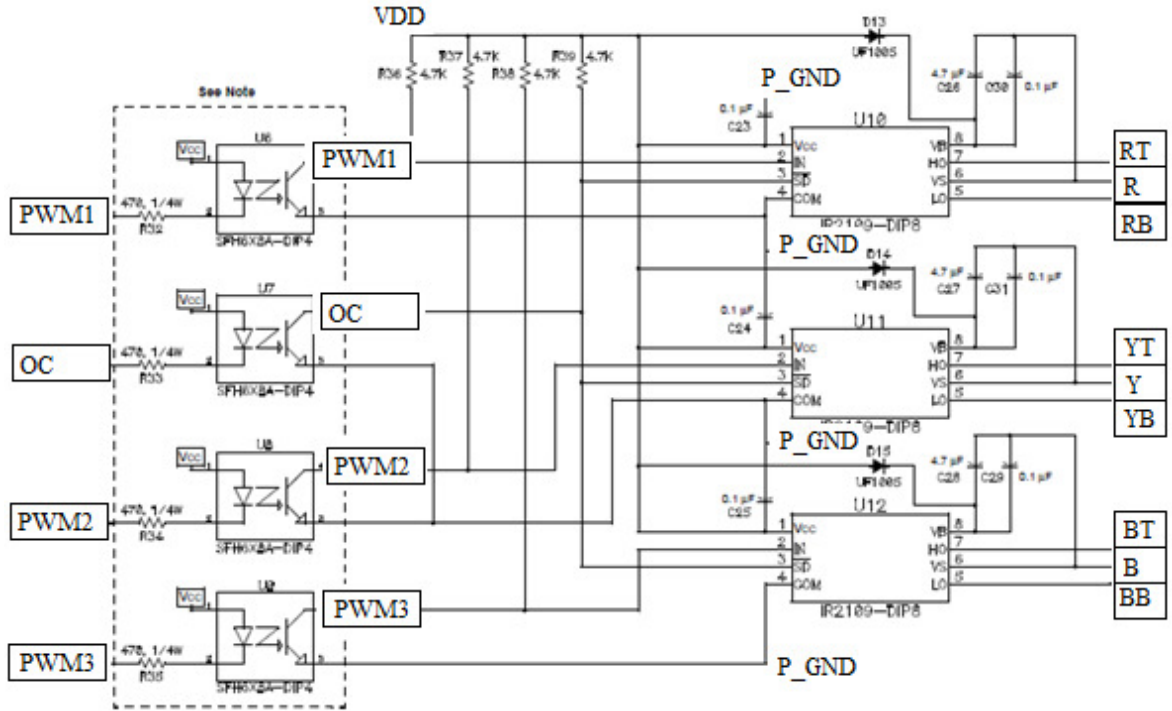
Şekil 2.11. Evirici denetim devresi [14].

### 2.13.3. 16F777 Pin Tanımlamaları



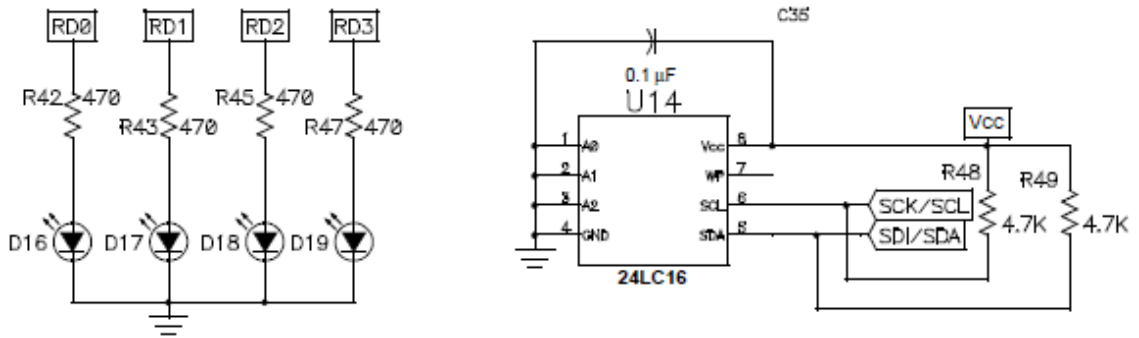
Şekil 2.12. 16F777 bacak tanımlamaları [14].

### 2.13.4. Evirici Sürücü Devresi



Şekil 2.13. Evirici sürücü devresi [14].

### 2.13.5. Göstergeler ve EPROM Devresi



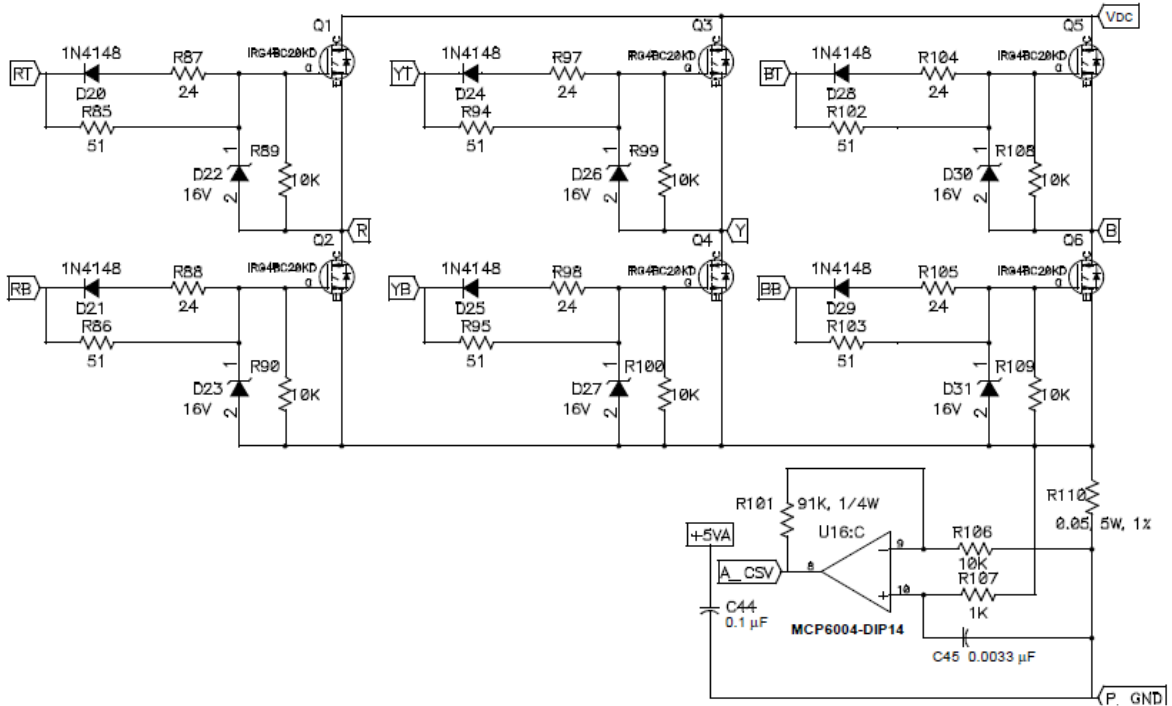
Şekil 2.14. Göstergeler ve EPROM devresi [14].

Ledlerin ifade ettiği hatalar veya durumlar sırasıyla şöyledir.

- FWD\_REV\_LED (RD0):Dönüş yönü (HIGH ise ileri, LOW ise geri yön)
- RUN\_STOP\_LED (RD1):Çalışma durumu

- c. UV\_LED (RD2):Düşük gerilim durumu. HIGH ise düşük gerilim durumu var, LOW ise düşük gerilim durumu yok.
- d. OV\_LED (RD3):Aşırı gerilim durumu. HIGH ise aşırı gerilim var, LOW ise aşırı gerilim durumu yok.

### 2.13.6. Evirici Güç Devresi

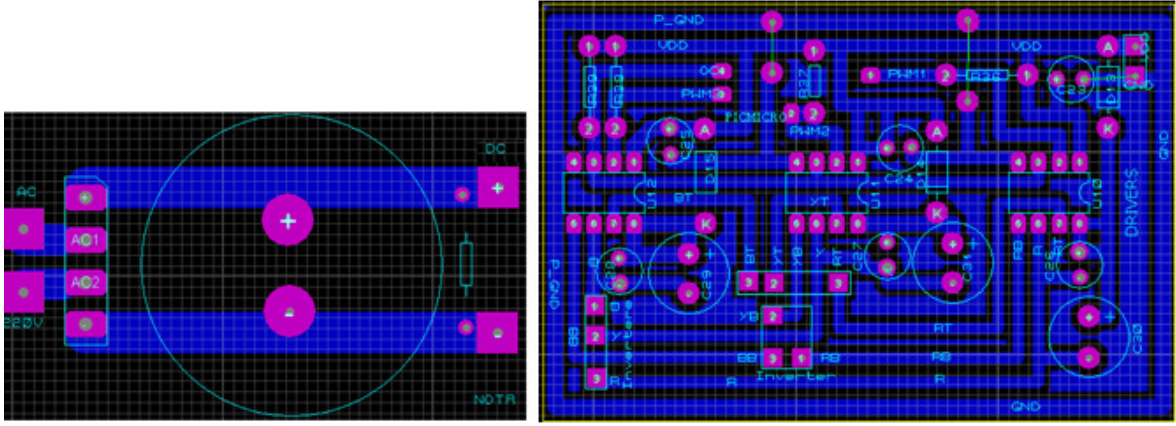


Şekil 2.15. Evirici güç devresi [14].

### 2.14. Baskı Devreler

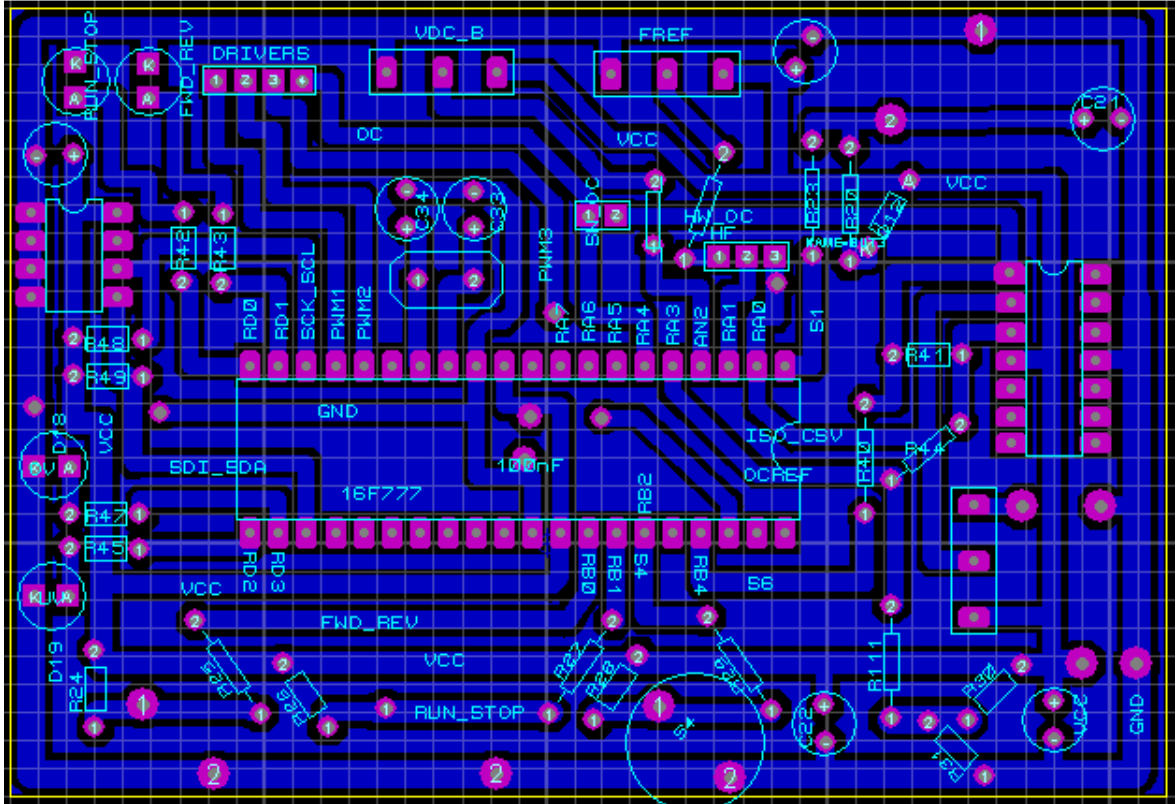
Baskı devrelerin hazırlanması amacıyla proteus programının bir parçası olan ares programı kullanılmıştır. Baskı devreler bilgisayardan yağlı kağıtlara aktarılmış ve ütü yöntemi kullanılmak suretiyle epoksi plaket üzerine aktarılmıştır. Perhidrol ve tuzruhu karımışından oluşan kimyasal ortamda reaksiyona tabi tutularak baskı devreler elde edilmiştir.

### 2.14.1. Evirici Besleme ve Sürücü Devreleri



Şekil 2.16. Evirici besleme ve sürücü devreleri

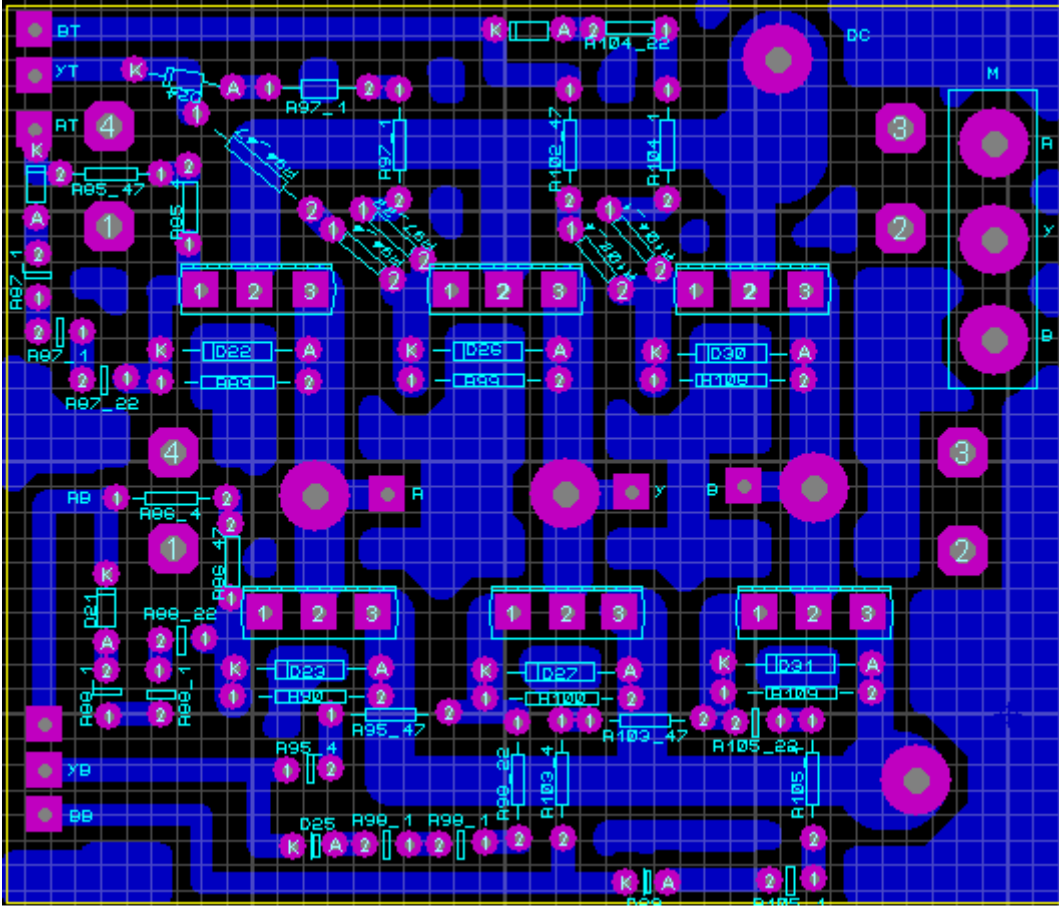
### 2.14.2. Denetim ve Koruma Baskı Devresi



Şekil 2.17. Denetim ve koruma baskı devresi

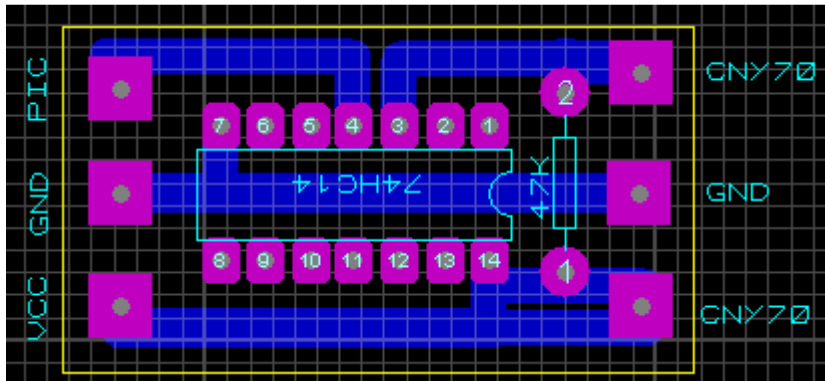


### 2.14.3. Evirici Baskı Devresi



Şekil 2.18. Evirici baskı devresi

### 2.14.4. 74HC14 Baskı Devresi



Şekil 2.19. 74HC14 baskı devresi

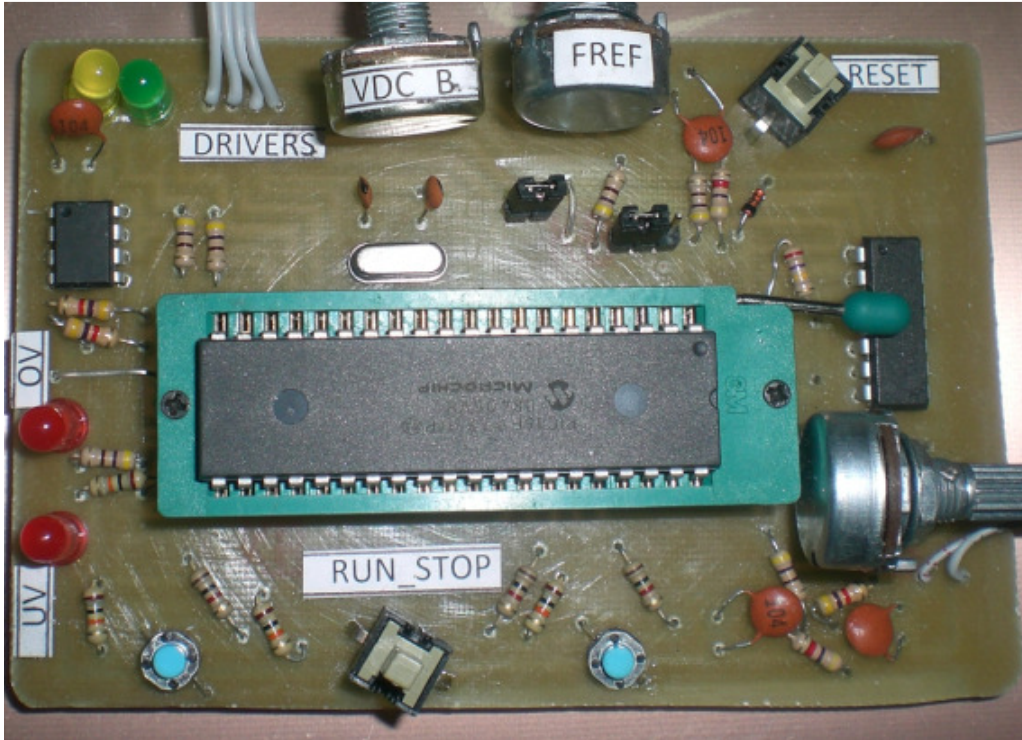
## 2.15. Devre Resimleri

### 2.15.1. Evirici Besleme Devre Resmi



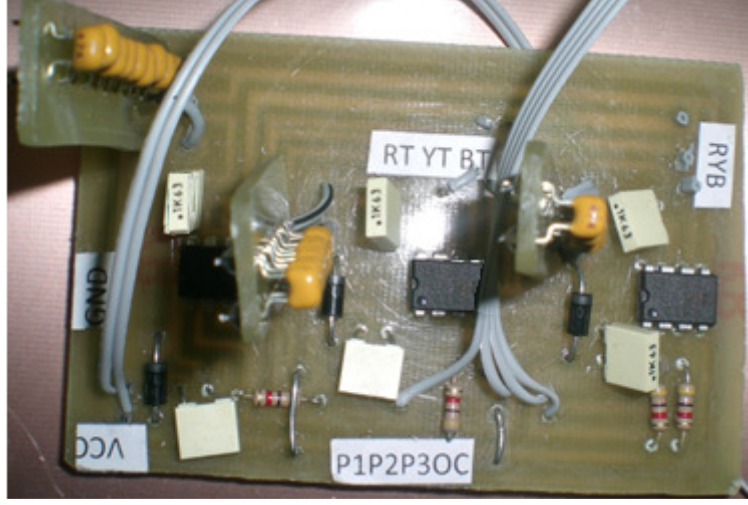
Şekil 2.20. Evirici besleme devresi resmi

### 2.15.2. Denetim ve Koruma Devre Resmi



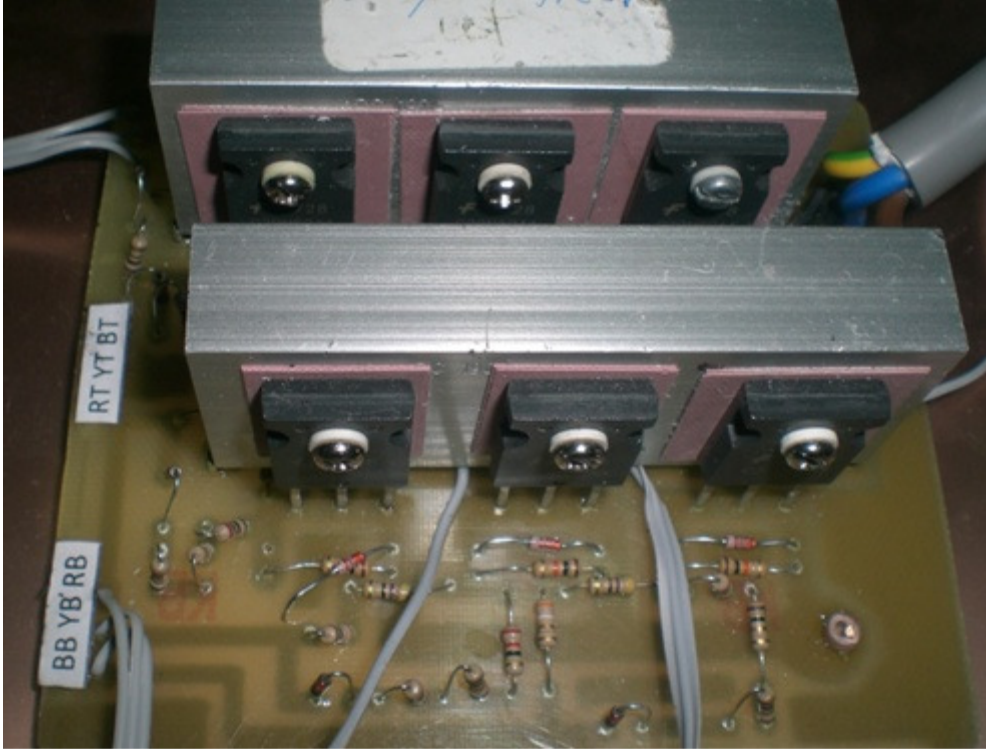
Şekil 2.21. Denetim ve koruma devre resmi

### 2.15.3. Evirici Sürücü Devre Resmi



Şekil 2.22. Evirici sürücü devresi

### 2.15.4. Evirici Güç Devresi Resmi

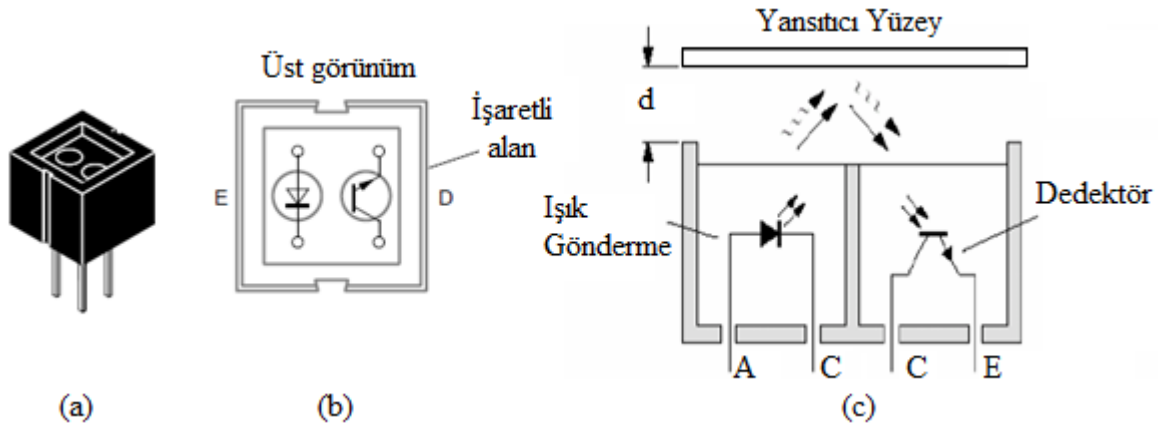


Şekil 2.23. Evirici güç devresi resmi

## 2.16. Motor Devrinin Ölçülmesi

Motor devrinin ölçümü için CNY70 optik sensörü kullanılmıştır. CNY70 basit anlamda, ışık yayan ve gönderdiği ışığın yansıyor yansımadığına bakarak, siyahla beyazı ayırt etmekte veya dar bir alanda cisim belirlemekte kullanılan bir algılayıcıdır. Kullanılan ışığın dalga boyu 950 nm'dir. Dedektör içerisinde fototransistör bulunmaktadır.

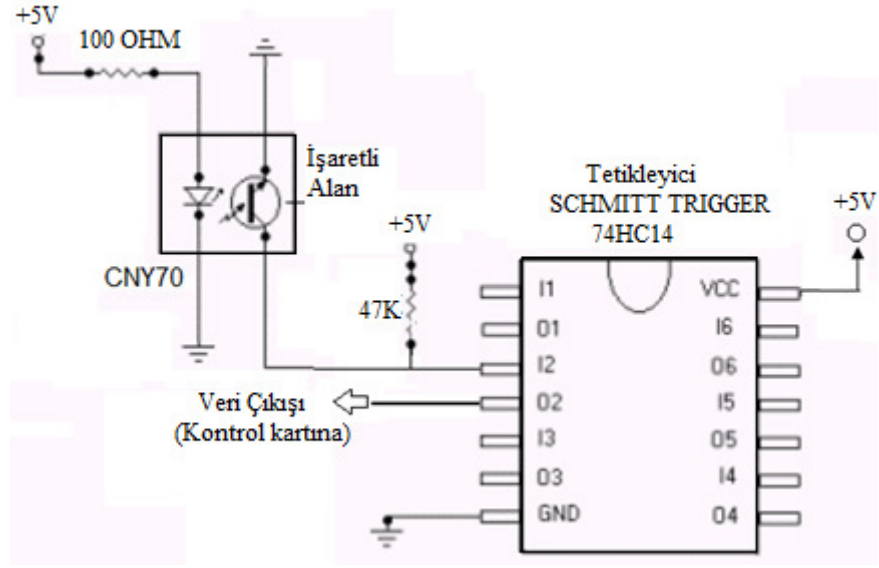
CNY70'den (A-C) gönderilen ışık bir yüzeye çarparak geri yansır ve kendisi tarafından (C-E) algılanır. Eğer cisim siyah ya da koyu renkse ışık soğurulacağı için fototransistör tarafından algılanamaz. Aynı şekilde algılayıcının önünde bir cisim yoksa gönderilen ışık geri dönmeyeceği için siyah cisimdeki gibi ışığı algılayamaz. Yani CNY70 ışığı algıladığında fototransistör 1 çıkışını verirken, algılamadığında ise 0 çıkışını verir.



Şekil 2.24. CNY70 sensörü (a) resmi, (b) iç yapısı, (c) çalışma prensibi

Şekil 2.25.'de CNY70'in kullanıldığı bir tetikleme devresi görülmektedir. 74HC14 schmitt tetikleyici entegresi tersleyici özelliğe sahiptir. Yani, girişe lojik 1 gelirse çıkışta lojik 0 görülecektir. CNY70 algılayıcı yapıldığında fototransistör lojik 1 çıkışı verirken, 74HC14 entegresi lojik 0 çıkışı verecektir.

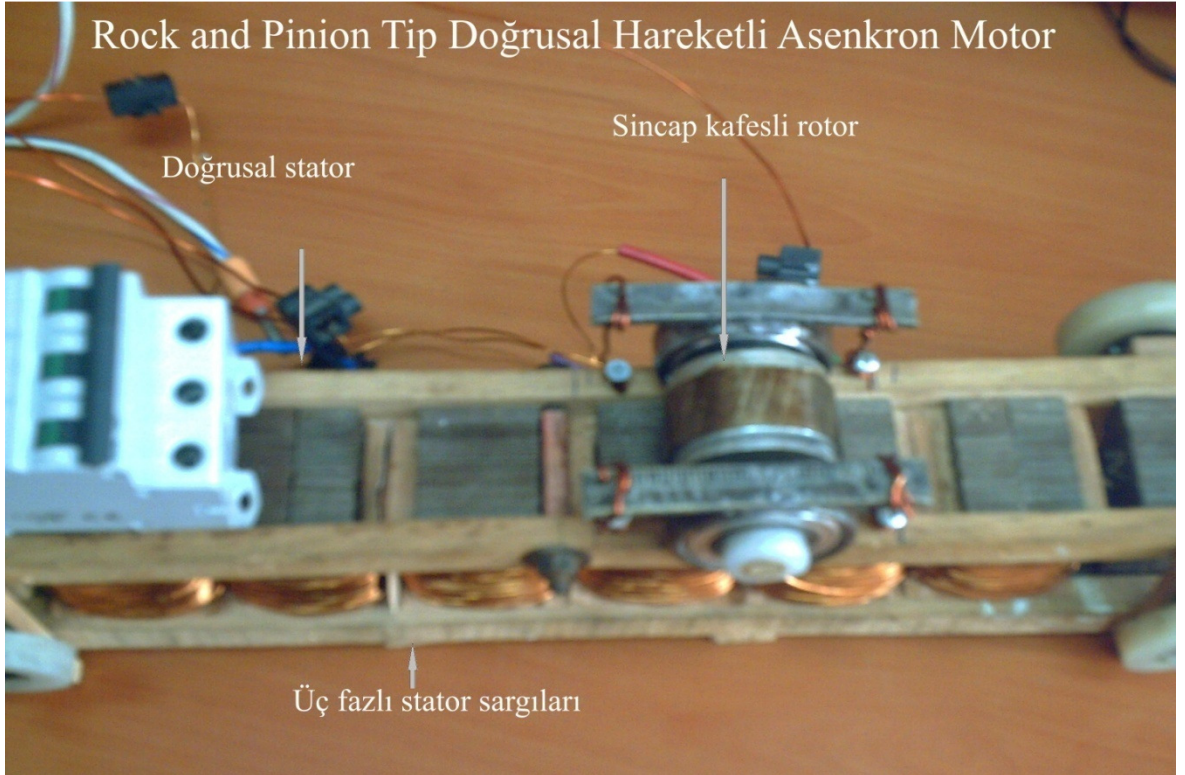
Motor şaftına yerleştirilen CNY70'den elde edilen sinyaller 74HC14 tetikleyici entegresinde düzgün palslere çevrilerek 16F877 entegresine uygulanmaktadır. 74HC14 baskı devre resmi Şekil 2.18.'de görülmektedir.



Şekil 2.25. CNY70'li tetikleme devresi

## 2.17. Pinyon Tip Doğrusal Hareketli İndüksiyon Motor Tasarımı

Aşağıdaki üzerinde çalışılan doğrusal hareketli asenkron motor görülmektedir.

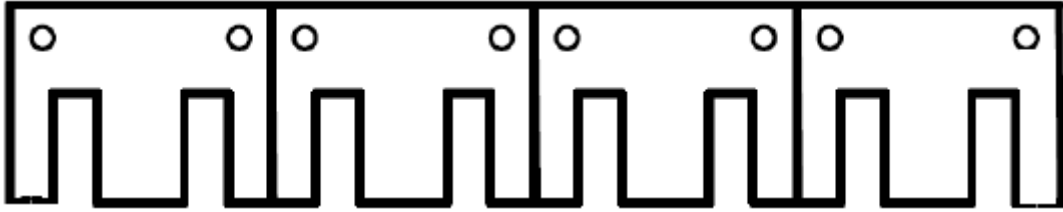


Şekil 2.26. Doğrusal hareketli asenkron motor ve kısımları

Bu tip motorlar diş tipi motorlar (rack and pinion) olarak bilinir ve doğrusal ve döner hareketli motorların birleşiminden meydana gelmişlerdir. Bu nedenle bu tip motorlar melez tip motorlar olarak tanınır. Tepki levhası yerine sincap kafes tip rotor kullanılmıştır.

Bu tip motorlar konveyörlerin (doğrusal hareketli bantlar) doğrusal hareketinde kullanılmaktadır. Resimde görüldüğü gibi bu motorlar kısmen açık manyetik devrelidirler. Burada primer doğrusal, sekonder döner olacak şekilde tasarlanmıştır. Denetim geri beslemesi için gerekli olan hız bilgisi rotor şaftına monte edilen CNY70 ile alınmıştır.

Üç fazlı doğrusal hareketli asenkron motorsun statoru şekil 2.27.'de ki gibi silisli sacların arka arkaya paketlenmesi ile elde edilmiştir. Uçlardaki genişlikler orta bölgelerdeki genişliklerin yarısı kadardır.



şekil 2.27. Üç fazlı DHİM sac paketinin yerleşimi

## 2.18. Bulanık Denetim Yazılımı

Rotor şaftına sabitlenmiş CNY70 hız sensöründen gelen sinyallerle 74HC14 tetikleyici entegresinden elde edilen pulsler PIC16F877 entegresinin B portunun 0. bitine uygulanır. Program ProtonBasic kodları ile verilmiştir.

```
'* DOĞRUSAL HAREKETLİ ASENKRON MOTORUN BULANIK      *
'*          MANTIK METODU İLE DENETİMİ            *
'*  KEMALETTİN ASLAN                               *
'*****
DEFINE LCD_DREG PORTB 'LCD data bacakları hangi porta bağlı?
DEFINE LCD_DBIT 4 'LCD data bacakları hangi bitten baslıyor?
DEFINE LCD_EREG PORTB 'LCD Enable Bacadı Hangi Porta bağlı?
DEFINE LCD_EBIT 3 'LCD Enable Bacadı Hangi bite bağlı ?
define LCD_RWREG PORTB 'LCD R/W Bacadı Hangi Porta bağlı?
```

```

define LCD_RWBIT 2 'LCD R/W Bacagi Hangi bite bagli ?
DEFINE LCD_RSREG PORTB 'LCD RS Bacagi Hangi Porta bagli ?
DEFINE LCD_RSBIT 1 'LCD RS bacagi Hangi Bite bagli ?
DEFINE LCD_BITS 4 'LCD 4 bit mi yoksa 8 bit olarak bagli?
DEFINE LCD_LINES 2 'LCD Kaç sıra yazabiliyor
W0 Var WORD 'High Time
W1 VAR WORD 'Low Time
W2 var word 'High+Low Time
DEFINE CCP1_REG PORTC 'PWM kanalı ayarlanıyor.
DEFINE CCP1_BIT 2
DUTY VAR WORD
hiz var word
'Referans hız tanımlama
RF VAR WORD
'e, de, du degiskenler
EMAX VAR WORD:EMIN VAR WORD
DEMAX VAR WORD:DEMIN VAR WORD
DUMAX VAR WORD:DUMIN VAR WORD
'Uyelik degiskenler
NLE var word:NTE var word:NRE var word
SLE var word:STE var word:SRE var word
PLE var word:PTE var word:PRE var word
NLDE var word:NTDE var word:NRDE var word
SLDE var word:STDE var word:SRDE var word
PLDE var word:PTDE var word:PRDE var word
NLDU var word:NTDU var word:NRDU var word
SLDU var word:STDU var word:SRDU var word
PLDU var word:PTDU var word:PRDU var word
'Hata ve denetleyici için baslangiç degiskenleri
EE var word:DEE var word:E var word:HDE var word 'dE yerine HDE
E0 var word:E1 var word:E2 var word:DEG var word 'de yerine DEG
C1 VAR WORD
DU VAR WORD[9]

```

```

EN VAR WORD[3]
ES VAR WORD[3]
EP VAR WORD[3]
FSE VAR WORD[3]
DE VAR WORD
DEN VAR WORD[3]
DES VAR WORD[3]
DEP VAR WORD[3]
FSDE VAR WORD[3]
FSDU VAR WORD[9]
'DÖNGÜ DEĞİŞKENLERİ
i var WORD
j var WORD
k var WORD
DDU VAR WORD[9]
DUTOP1 VAR WORD
DUTOP2 VAR WORD
DV VAR WORD
CK VAR WORD
CK1 VAR WORD
CC VAR WORD
ON INTERRUPT GOTO KESME 'kesme olursa KESME adlı etikete git.
OPTION_REG=%10000101 'Pull up dirençleri İPTAL- Bölme oranı 1/64.
INTCON=%10100000 'Kesmeler aktif ve TMR0 kesmesi aktif
TMR0=0
ADCON1=%00001111 '16F877 de komparatör pinleri iptal hepsi giriş çıkış
TRISB.0=1 'RB0 pini harici frekans girişi
CLEAR 'tüm değişkenler sıfırlandı
PAUSE 200
LOW PORTB.2 'LCD -R/W bacağı LOW'a çekildi.
DUTY=0
main:
W2=W0+W1

```



hiz=6000000/W2 'd/dk. 'ya dönüşüm.

lcdout \$fe,1

lcdout \$fe,2

LCDOUT \$FE,1

lcdout "hız=",#W2

pause 10

PAUSE 100

'Bulaniklastirma

RF=1000 'REFERANS FREKANS DEĞERİ 1000 HZ.

'e, de, du kesin uzaylarının sınırları

EMAX=RF:EMIN=-EMAX

DEMAX=EMAX/20:DEMIN=-DEMAX

DUMAX=100:DUMIN=-100

'Üyelik fonksiyonları için veriler

NLE=EMIN:NTE=NLE:NRE=0 :SLE=NTE:STE=0:SRE=EMAX

PLE=STE:PTE=EMAX:PRE=PTE:NLDE=DEMIN:NTDE=NLDE:NRDE=0

SLDE=NTDE:STDE=0:SRDE=DEMAX

PLDE=STDE:PTDE=DEMAX:PRDE=PTDE

NLDU=DUMIN:NTDU=DUMIN:NRDU=0

SLDU=NTDU:STDU=0:SRDU=DUMAX

PLDU=STDU:PTDU=DUMAX:PRDU=PTDU

'Hata ve denetleyici için başlangıç değerleri

EE=EMAX:DEE=0:E=EMAX:HDE=0 'dE yerine HDE

E0=EMAX:E1=0:E2=0:DE=E2-E1 'de yerine DE

C1=0

'DU Üyelik Matrisi

DU.0=NTDU:DU.1=NTDU:DU.2=STDU

DU.3=NTDU:DU.4=STDU:DU.5=PTDU

DU.6=STDU:DU.7=PTDU:DU.8=PTDU

CK=0 'DUTY BAŞLANGIÇ DEĞERİ

'HATA (E) sınırlandırma

if EE<=EMIN THEN

E=EMIN

```

if EE>=EMAX THEN
E=EMAX
ELSE
E=EE
endif
EN.0=NLE:EN.1=NTE:EN.2=NRE:ES.0=SLE:ES.1=STE:ES.2=SRE
EP.0=PLE:EP.1=PTE:EP.2=PRE
'E için üyelik Degerinin Hesaplanması (FSE)
if E<=EN.1 THEN
FSE.0=1:FSE.1=0:FSE.2=0
ENDIF
if E<=ES.0 THEN
FSE.0=abs(E-EN.2)/abs(EN.1-EN.2):FSE.1=0:FSE.2=0
ENDIF
if E<=EN.2 THEN
FSE.0=abs(E-EN.2)/abs(EN.1-EN.2)
FSE.1=abs(E-ES.0)/abs(ES.1-ES.0):FSE.2=0
ENDIF
IF E<=ES.1 THEN
FSE.0=0:FSE.1=abs(E-ES.0)/abs(ES.1-ES.0):FSE.2=0
ENDIF
IF E<=EP.0 THEN
FSE.0=0:FSE.1=abs(E-ES.2)/abs(ES.1-ES.2):FSE.2=0
ENDIF
IF E<=ES.2 THEN
FSE.0=0:FSE.1=abs(E-ES.2)/abs(ES.1-ES.2)
FSE.2=abs(E-EP.0)/abs(EP.1-EP.0)
ENDIF
IF E<=EP.1 THEN
FSE.0=0:FSE.1=0:FSE.2=abs(E-EP.0)/abs(EP.1-EP.0)
ENDIF
else
FSE.0= 0:FSE.1=0:FSE.2=1

```

```

endIF
'DE sınırlandırma
if DEE<=DEMIN THEN
DE=DEMIN
if DEE>=DEMAX THEN
DE=DEMAX
ELSE
DE=DEE
endif
'DE BULANIKLAŞTIRMA
DEN.0=NLDE:DEN.1=NTDE:DEN.2=NRDE
DES.0=SLDE:DES.1=STDE:DES.2=SRDE
DEP.0=PLDE:DEP.1=PTDE:DEP.2=PRDE
'DE için üyelik Degerinin Hesaplanması
if DE<=DEN.1 THEN
FSDE.0=1:FSDE.1=0:FSDE.2=0
ENDIF
if DE<=DES.0 THEN
FSDE.0=abs(DE-DEN.2)/abs(DEN.1-DEN.2):
FSDE.1=0:FSDE.2=0
ENDIF
if DE<=DEN.2 THEN
FSDE.0=abs(DE-DEN.2)/abs(DEN.1-DEN.2):
FSDE.1=abs(DE-DES.0)/abs(DES.1-DES.0):
FSDE.2=0
ENDIF
IF DE<=DES.1 THEN
FSDE.0=0:FSDE.1=abs(DE-DES.0)/abs(DES.1-DES.0):FSDE.2=0
ENDIF
IF DE<=DEP.0 THEN
FSDE.0=0:FSDE.1=abs(DE-DES.2)/abs(DES.1-DES.2):FSDE.2=0
ENDIF
IF DE<=DES.2 THEN

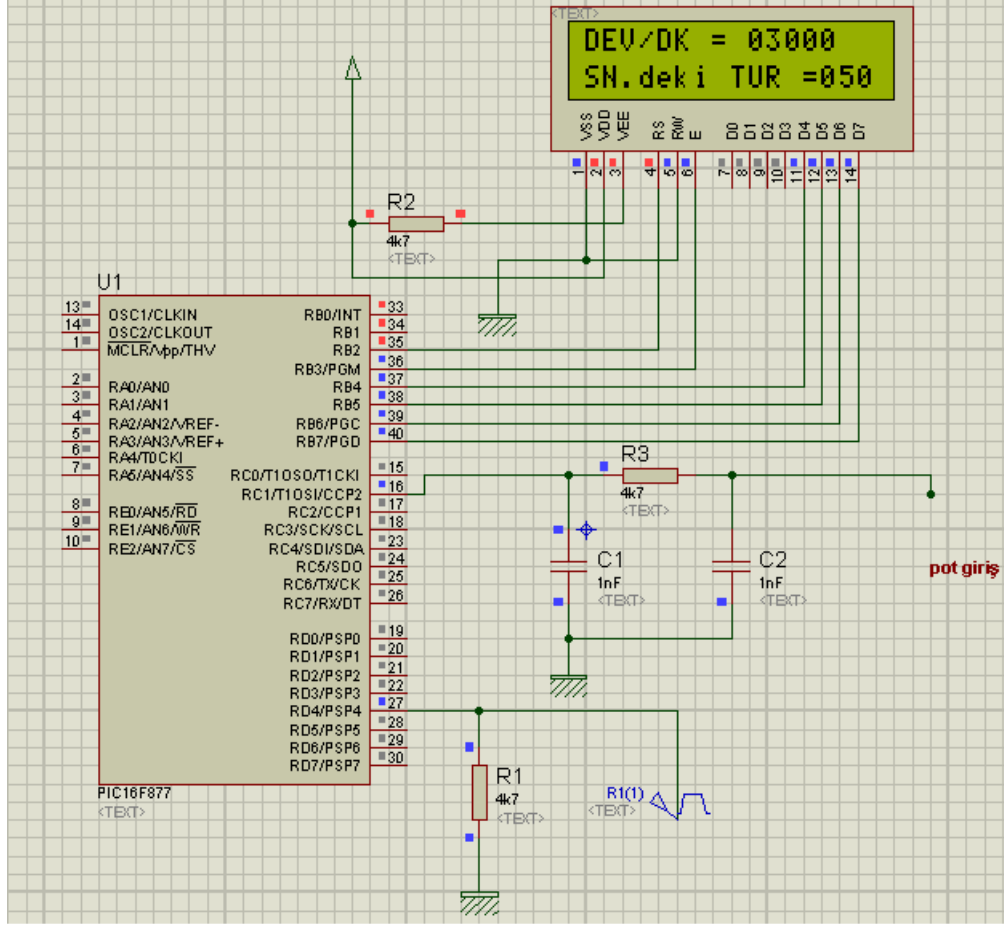
```

```

FSDE.0=0:FSDE.1=abs(DE-DES.2)/abs(DES.1-DES.2)
FSDE.2=abs(DE-DEP.0)/abs(DEP.1-DEP.0)
ENDIF
IF DE<=DEP.1 THEN
FSDE.0=0:FSDE.1=0
FSDE.2=abs(DE-DEP.0)/abs(DEP.1-DEP.0)
ENDIF
else
FSDE.0= 0:FSDE.1=0:FSDE.2=1
endIF
FSDU.0=FSE.0 MIN FSDE.0
FSDU.1=FSE.0 MIN FSDE.1
FSDU.2=FSE.0 MIN FSDE.2
FSDU.3=FSE.1 MIN FSDE.0
FSDU.4=FSE.1 MIN FSDE.1
FSDU.5=FSE.1 MIN FSDE.2
FSDU.6=FSE.2 MIN FSDE.0
FSDU.7=FSE.2 MIN FSDE.1
FSDU.8=FSE.2 MIN FSDE.2
DDU.0=FSDU.0*DU.0
DDU.1=FSDU.1*DU.1
DDU.2=FSDU.2*DU.2
DDU.3=FSDU.3*DU.3
DDU.4=FSDU.4*DU.4
DDU.5=FSDU.5*DU.5
DDU.6=FSDU.6*DU.6
DDU.7=FSDU.7*DU.7
DDU.8=FSDU.8*DU.8
'DUTOP1 bulunuyor
DUTOP1=0
DUTOP1=DDU.0+DDU.1+DDU.2+DDU.3+DDU.4+DDU +DDU.6+DDU.7+DDU.8
DUTOP2=0      'DUTOP2 bulunuyor
DUTOP2=FSDU.0+FSDU.1+FSDU.2+FSDU.3+FSDU.4+...

```

```
FSDU.5+FSDU.6+FSDU.7+FSDU.8
DV=DUTOP1/DUTOP2
CK1=CK+DV
'CC sınırlandırma
if CK1<=0 THEN
CC=0
ENDIF
if CK1>=DUMAX THEN
CC=DUMAX
ELSE
CC=CK1
endif
CK=CK1
DUTY=CC
E1=RF-hiz
DE=E1-E0
E0=E1
DEE=DE
HPWM 2,DUTY,1000
goto main
DISABLE
KESME:
Pulsin PortB.0,0,W0
Pulsin PortB.0,1,W1
INTCON.2=0 'TMR0 Kesme bayrağı sıfırlanıyor
RESUME
ENABLE
END
```



Şekil 2.28. Hız ölçüm yazılımının isis programı ile simülasyonu

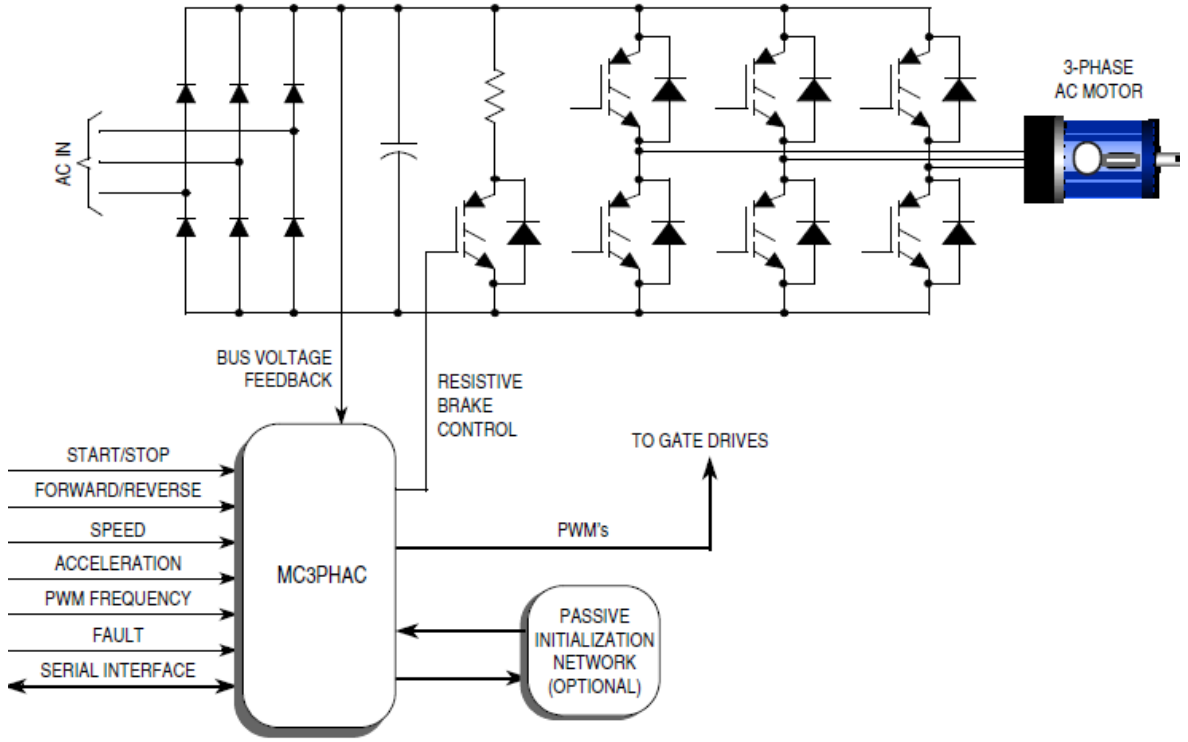
### 3. TARTIŞMA, SONUÇLAR, ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonunda motor veriminin düşük olduğu görüldü. Bununda oldukça uzun bir primer yapıda sekonder olarak küçük bir yer işgal eden bir adet rotorun kullanılmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Kaçak akıların açık manyetik devreli ve sekonder olarak tek bir rotorun kullanıldığı böyle bir yapıda daha fazla olduğu düşünüldüğünde verimi artırmak için art arda birkaç rotorun seri olarak bağlanması hem taşıma bandına aktarılan itme kuvvetini artıracak ve hem de verimi artıracaktır. Ayrıca Protonbasic programı ile yazılan bulanık mantık yazılımının ASM kodları ile yazılması durumunda mikrodenetleyicinin durumlara daha hızlı cevap verebilmesi mümkün olacaktır.

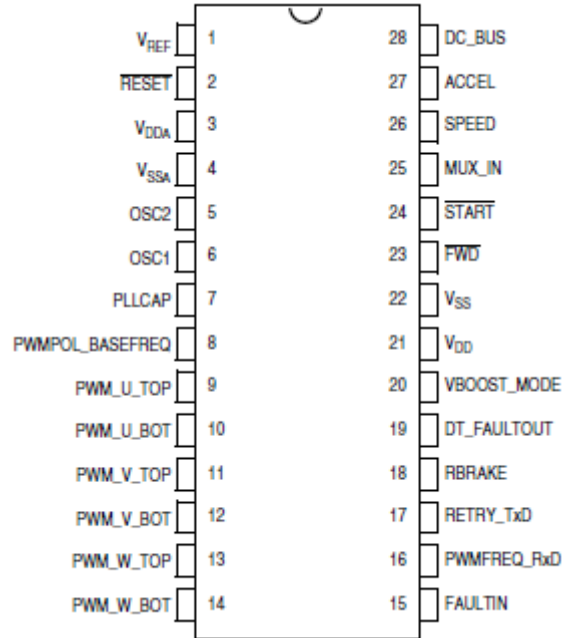
Denetim sisteminde MC3PHAC motor denetleyicinin kullanılması durumunda sistem daha da sadeleşecektir. MC3PHAC yüksek performanslı tek parça akıllı motor denetleyicisi olup, özellikle düşük maliyetli, değişken hızlı, üç fazlı AC motor denetim sistemleri için tasarlanmıştır [15].

Aygıt özel koşullara adapte edilebilir. Açık çevrimli 3 fazlı AC motor sürücüsünün denetim kısmı için gereken tüm aktif fonksiyonlara sahiptir. Herhangi bir yazılım gerektirmez. Yukarıdaki devre şemasından görüldüğü gibi, sürücü kısmı devreden çıkmış, sürücü işlevini MC3PHAC kendi üzerine almıştır. Sistemin diğer bir avantajı da aşağıdaki entegre şemasından da görüleceği üzere 6 adet anahtara doğrudan bağlanabilecek uçların bulunmasıdır. Üst ve alt anahtarların arasındaki bağlantı aradan çıkmakta sistem daha da sadeleşmektedir. Mikrodenetleyicide ayrıca DSP filtreleme ve yüksek duyarlıklı işlem gücü bulunduğundan AC motor denetimi için çok elverişli olmaktadır.

MC3PHAC yalnız başına çalışabildiği gibi başka sistemlere ve bilgisayara da bağlanabilmektedir. Bu nedenle daha esnek çözümler sunabilir. Aşağıda tek başına (standalone) çalışan bir devre şeması görülmektedir.

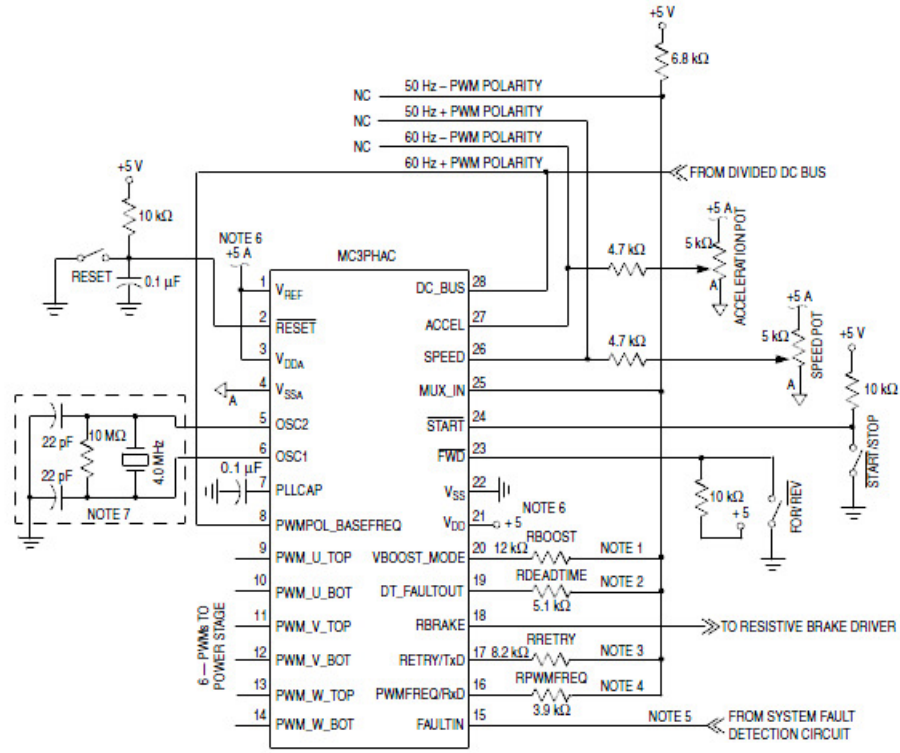


Şekil 3.1. MC3PHAC tabanlı motor denetim sistemi [15].



Şekil 3.2. PDIP ve SOIC için pin bağlantıları [15].





Şekil 3.3. MC3PHAC müstakil çalışan devre şeması [15].

#### 4. KAYNAKLAR

1. Akpınar, A.S., Doğrusal Hareketli Elektrik Makinaları Yüksek Lisans Ders Notları, KTÜ, 2008.
2. Boldea, I. ve Nasar, S., The Induction Machine Handbook, CRC Press LLC, 2002
3. Gieras, J.F., Linear Induction Drives, Clarendon Press, Oxford, 1994.
4. Nasar, S.A. and Boldea, I., Linear Motors: Theory, Design and Practical Applications, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1987.
5. Dio, D.V. and Montana, M., State of Art of Tubular Induction Motor, IEEE, 0-7803-31-09-5 (1996) 285-288.
6. Nasar, S.A. and Boldea, Linear Motion Electric Machines, John Wiley&Sons, 1976.
7. Laithwaite, E.R., Linear Electric Motors, Mills&Boon Limited, London, 1971.
8. Purcell, B., Linear Motors in Machine Tool Application, TECH590W, Purdue University, April 28, 1999.
9. Bose, B.I., Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall PTR, 2002
10. Altaş, H. İ., Neural Fuzzy Systems Yüksek Lisans Ders Notları, KTÜ, 2008.
11. Altaş, İ. H., Bulanık Mantık:Bulanık Denetim, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 64 (1999) 76-81
12. Lee, C.C., Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I, IEEE Transactions On Systems, Mani and Cybernetics, 20, 2 (1990) 404-418
13. Poloujadoff, M., The Theory of Linear Induction Machinery, Oxford Science Publications, 1980.
14. Parekh, R., VF Control of Three Phase Induction Motors Using PIC16F7X7 Microcontrollers, Microchip Technology Inc., 2004
15. Freescale Semiconductor, Inc., MC3PHAC Monolithic Intelligent Motor Controller, Colorado, 2005.

## ÖZGEÇMİŞ

01.01.1971 tarihinde Gümüşhane’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gümüşhane’de tamamladı. 1991 yılında başladığı İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1995 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Adana Kozan Anadolu Teknik ve Endüstri Lisesinde Teknik Öğretmen olarak göreve başladı. 1999 yılında Trabzon Of Anadolu Teknik Endüstri Meslek Lisesine, 2003 yılında ise Erzincan Anadolu Teknik Endüstri Meslek Lisesine tayin oldu. 2004 yılında Erzincan Bayındırlık İskan Müdürlüğüne Elektrik Mühendisi olarak naklen atandı. 2006 yılında Gümüşhane Bayındırlık İskan Müdürlüğüne atandı. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Evli ve iki çocuk babası olup, yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir.