

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL OTOMASYONDA BİR BULANIK
MANTIK UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Bülent Süreyya YAKUPOĞLU

101206

Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2000

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL OTOMASYONDA BİR BULANIK
MANTIK UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Bülent Süreyya YAKUPOĞLU
(504950340011)

101206

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Ocak 2000 27. III. 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Şubat 2000

Tez Danışmanı : Prof. Dr. R. Nejat TUNÇAY 17. 2000
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Emin TACER (İ.T.Ü.) 27. 3. 2000
Doç. Dr. Salman KURTULAN (İ.T.Ü.) 27. III. 2000

OCAK 2000

ÖNSÖZ

Tezimin konusunun belirlenmesinde ve hazırlanmasında bana her yönden destek olan hocam Prof. Dr. R. Nejat TUNÇAY' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda araştırmama katkıda bulunan Murat YILMAZ'a da teşekkür ederim.

Tüm eğitimim boyunca bana tüm güçleriyle destek olan Annem İpek YAKUPOĞLU' na ve Kardeşim Bilge YAKUPOĞLU' na şükranlarımı sunarım.

Ocak 2000

Bülent S. YAKUPOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VII
TABLO LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
SEMBOL LİSTESİ	X
ÖZET	XIII
SUMMARY	XIV
1. GİRİŞ	1
2. BULANIK MANTIK VE MATEMATİKSEL İLİŞKİLER	3
2.1 Bulanık Mantık	3
2.2 Bulanık Küme Kavramı	4
2.2.1 Bulanık küme işlemleri	5
2.2.2 Bulanık ilişki	7
2.2.3 Bileşke bulanık ilişki	8
2.2.4 Normal ve konveks bulanık kümeler	9
2.3 Üyelik fonksiyonları	10
2.3.1 Üyelik fonksiyonlarının özellikleri	10
2.4 Bulanık sayılar	11
2.5 Bulanıklaştırma	12
2.6 Dilsel değişkenler	12
2.7 Bulanık çıkarım	13
2.8 Durulama	14
3. BULANIK MANTIK KONTROLÖR TASARIMI	16
3.1. Bulanık mantık kontrolör yapısı	16
3.2. Kurallarını üreten bulanık sistemler	21
3.2.1 Akıllı bulanık sistemler kuralları nasıl öğrenirler ?	23
3.3. BMK 'nın uygulama alanları	24

3.4 Endüstriyel otomasyonda BMK	27
3.4.1 Çok değişkenli kontrol	27
3.5 Endüstriyel otomasyonda BMK kullanım alanları	29
3.5.1 BMK ne zaman kullanılır ?	30
3.5.2 BMK ne zaman kullanılmaz ?	31
4. SÜREÇTE KULLANILAN DAM VE SÜRÜCÜSÜ	33
4.1 Serbest Uyarmalı Doğru Akım Motoru ve 1395 AB DAM Sürücüsü	33
4.2 Serbest Uyarmalı Doğru Akım Motoru	33
4.2.1 Armatür Akımı - Moment Karakteristiği	35
4.2.2 Dönme Hızı - Alan Akımı Karakteristiği	36
4.2.3 Moment-Hız Karakteristiği	36
4.2.4 Doğru Akım Motorunda Moment - Güç İlişkisi	37
4.3 Doğru Akım Motorunun Kontrolünde Temel İlkeler	38
4.4 Doğru Akım Sürücüsünün Uygulama Tipleri	39
4.4.1 Sabit Moment Uygulamaları	39
4.4.2 Sabit Güç Uygulamaları	39
4.4.3 Değişken Moment Uygulamaları	40
4.4 Genel Sürücü Karakteristikleri	40
4.5 Çalışma Modları	41
4.6 Dört Bölge Çalışma	43
5. ALLEN-BRADLEY DİJİTAL DOĞRU AKIM SÜRÜCÜLERİ	44
5.1 Sürücünün Genel Fonksiyonları	44
5.2 AB 1395 30 Hp 230 VAC / 2 - 60 Hp 460 VAC B Serisi Sürücüler	46
5.2.1 Armatür Köprüsü Elemanları	46
5.2.2 Alan Köprüsü Elemanları	47
5.2.3 Bir Fazlı Tam Dalga Doğrultucu	48
5.2.4 Armatür Devresinde Kullanılan İkili Çeviriciler	49
5.2.4.1 İdeal İkili Çevirici	50
5.2.4.2 İdeal Olmayan İkili Çevirici	51
5.2.5 Ateşleme Kontrol Mantığı	52
5.3 Allen-Bradley DAM Sürücüsünün Bazı Akım ve Gerim Dalga Şekilleri	53
5.4 Allen-Bradley DAM Sürücüsünde Sistem Testleri ve Parametre Kestirimi	55
5.4.1 Armatür Akım Devresi Foksiyonu	55
5.4.2 Armatür Akım Devresi Testi	57

5.4.3 Armatür Akımı Devresi Parametre Kestirimi	57
5.4.4 Hız Devresi Fonksiyonu	58
5.4.5 Hız Devresi Motor Testi	59
5.4.6 Hız Devresi Sistem Testi	59
5.4.7 Hız Devresi Parametre Kestirimi	59
5.4.8 Alan Akısı Fonksiyonu	60
6. SÜREÇTE KULLANILAN DİĞER KONTROL EKİPMANLARI	61
6.1 Sistemde Kullanılan Servo Motor Ve Kontrol Sistemi	61
6.1.1 Servomotor ile Hareket Kontrolü	62
6.1.2 Fırçasız Servomotorların Avantajları ve Dezavantajları	63
6.1.3 Fırçasız Servomotorların Çalışma Esasları	63
6.1.4 Fırçasız Servomotor Kontrol Devreleri	64
6.1.4.1 Rotor pozisyonu algılayıcı	65
6.1.4.2 Hız algılayıcı	65
6.1.5 Mikroişlemci Temelli Fırçasız Servomotor Kontrollü	65
6.1.5.1 Rotor pozisyonu algılama ve sinüs dalga üretim devresi	66
6.1.5.2 Hız kontrol devresi	66
6.1.5.3 Akım Kontrol Devresi	66
6.1.5.4 PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) Devresi	66
6.1.6 Fırçasız Servomotorların Yapısı	67
6.1.6.1 Yapıdan kaynaklanan motor karakteristikleri	67
6.1.7 Fırçasız Servomotor Bileşenleri	68
6.1.7.1 Rotor	68
6.1.7.2 Stator	68
6.1.7.3 Algılayıcılar	69
6.1.7.4 Fren	71
6.1.8 Fırçasız Servomotorların Sürücü Devreleri	71
6.1.8.1 Güç Yarı-İletken ve Motor Kontrolü	71
6.1.9 Uygulamaya Göre Servomotor Seçimi	72
6.1.9.1 Motor Gücü	72
6.1.9.2 Uygulamaya Göre Servosistemin Belirlenmesi	73
6.1.9.3 Yük Şartlarına Bağlı Olarak Uygun Motorun Seçilmesi	73
6.2 Ultrasonik Algılayıcılar	76
6.3 AB PLC5 serisi programlanabilir lojik kontrolör	77

7. SAÇ KESME PROSESİ	80
7.1. Prosesin açıklaması	80
7.2 Bulanık Saç Kesme Sistemi	82
8. SÜRECİN MATLAB PROGRAMI İLE SİMULASYONU	89
8.1. Matlab Programı	89
8.2. Sistemin Bilgisayar Benzetişimi	89
8.2.1 D.A. Motor Benzetişimi	89
8.2.2 Sürecin Benzetişimi	91
8.3 BMK ‘nın Simulink Benzetim Modelinin Oluşturulması	95
8.4 Benzetim Sonuçları	97
9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	101
KAYNAKLAR	103
EKLER	106
ÖZGEÇMİŞ	110

KISALTMALAR

ADÇ	: Analog dijital çevirici
BMK	: Bulanık Mantık Kontrolör
DAÇ	: Dijital analog çevirici
PB	: Pozitif Büyük
PID	: Oransal Entegral Türevsel Kontrol
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör
SH	: Örnekleme/tutma
S	: Sıfır
PK	: Pozitif Küçük
NB	: Negatif Büyük
NK	: Negatif Küçük

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. e , Δe ve u elemanlarına ait üyelik fonksiyonlarının gerçek değerleri.....	17
Tablo 3.2. e , Δe elemanlarına tablo 3.1 de karşılık düşen değerler	18
Tablo 3.3. Endüstri sahalarında BMK ün pratik uygulama örnekleri.....	25
Tablo 7.1. Bulanık kurallar	89



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : A Bulanık kümesinin üyelik fonksiyonları	5
Şekil 2.2.a : A ve B Bulanık kümelerinin bileşimi	6
Şekil 2.2.b : A ve B Bulanık kümelerinin kesişimi.....	6
Şekil 2.3 : A bulanık kümesinde evirme işlemi.....	6
Şekil 2.4 : Konveks ve konveks olmayan bulanık kümeler.....	10
Şekil 2.5 : Üyelik fonksiyonları.....	10
Şekil 2.6 : Üyelik fonksiyonlarında göbek, sınır ve destek	11
Şekil 2.7 : Olağan bulanık küme	11
Şekil 2.8 : Bulanık hız kümesi	12
Şekil 2.9 : Bulanık mesafe kümesi.....	12
Şekil 2.10 : Bulanık hız ve mesafe kümeleri için örnek giriş değerleri	14
Şekil 2.11 : Fren için çıkış grafiği	14
Şekil 2.12 : Üyelik fonksiyonlarının en yüksek noktası.....	14
Şekil 2.13 : Merkez yöntemi.....	15
Şekil 2.14 : Ağırlıklı ortalama yöntemi.....	15
Şekil 2.15 : Geniş alan merkezi.....	15
Şekil 3.1 : Geri beslemeli bir BMK sistemi blok şeması.....	16
Şekil 3.2 : Tablo 3.1 deki değerlerin grafik şeklinde gösterilmesi.....	17
Şekil 3.3 : Bir BMK işlemçisinin basitleştirilmiş blok şeması	20
Şekil 3.4 : Sinirsel ağlar.....	24
Şekil 3.5 : BMK ile çok değişkenli kontrol örneği.....	29
Şekil 4.1 : Serbest uyarmalı doğru akım motorunun eşdeğer devresi.....	33
Şekil 4.2 : Serbest uyarmalı doğru akım motorunun $M_e = f(I_q)$ karakteristiği.....	35
Şekil 4.3 : Serbest uyarmalı doğru akım motoru için $n = f(I_f)$ karakteristiği.....	36
Şekil 4.4 : $M_e = f(n)$ karakteristiği	37
Şekil 4.5 : $n = f(I_q)$ karakteristiği.....	37
Şekil 4.6 : Doğru akım motorunda moment - güç ilişkisi.....	38

Şekil 4.7	: Doğru akım motorunun kontrolüne ilişkin temel blok diyagram.....	38
Şekil 4.8	: Sabit moment uygulaması ile ilgili karakteristik.....	39
Şekil 4.9	: Sabit güç uygulamaları ile ilgili karakteristik.....	39
Şekil 4.10	: Değişken moment uygulamaları ile ilgili karakteristikler.....	40
Şekil 4.11	: Doğru akım motoruyla ilgili eş değer devre.....	40
Şekil 4.12	: Motor çalışmayla ilgili eş değer devre.....	41
Şekil 4.13	: Jeneratör çalışma ile ilgili eş değer devre.....	42
Şekil 4.14	: Dinamik frenleme ile ilgili eş değer devre.....	42
Şekil 4.15	: Tıkama fren çalışma ile ilgili eş değer çalışma.....	43
Şekil 4.16	: Tıkama fren çalışma ile ilgili eş değer çalışma.....	44
Şekil 5.1	: AB 1395 dam sürücüsünün genel blok diyagramı.....	44
Şekil 5.2	: 2-60 HP 460 VAC B serisi sürücünün güç kartının genel görünümü.....	46
Şekil 5.3	: Giriş elemanları.....	47
Şekil 5.4	: Armatür köprüsü elemanları.....	47
Şekil 5.5	: Alan köprüsü elemanları.....	47
Şekil 5.6	: Bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi.....	48
Şekil 5.7	: İkili tip çevirici devresi.....	49
Şekil 5.8	: İdeal ikili çeviricinin eşdeğer devresi.....	51
Şekil 5.9	: Kosinüs ateşleme mantığında gerilim transfer karakteristiği...	52
Şekil 5.10	: Armatür gerilimi geri beslemesi (Motor ileri).....	53
Şekil 5.11	: Armatür gerilimi geri beslemesi (Enerji geri kazanımlı ileri).	53
Şekil 5.12	: Armatür gerilimi geri beslemesi (Motor ters).....	53
Şekil 5.13	: Armatür gerilim geri beslemesi (Enerji geri kazanımlı ters)..	54
Şekil 5.14	: Armatür gerilimi geri beslemesi (Sabit hız ve yüksüz).....	54
Şekil 5.15	: Alan akımı geri beslemesi	54
Şekil 5.16	: Armatür akımı geri beslemesi (Sürekli akım).....	55
Şekil 5.17	: Armatür akımı geri beslemesi (Süreksiz akım).....	56
Şekil 6.1	: Fırçasız Servomotorların Kontrolüne Ait Blok Diyagram.....	64
Şekil 6.2	: Fırçasız Servomotor Yapısı	67
Şekil 6.3	: Fırçasız Servomotor ve DC Servomotor Performans Eğrileri.	67
Şekil 6.4	: Gövde açısının sinüs ve kosinüs tepe gerilimleri üzerindeki etkileri.....	70
Şekil 6.5	: Resolver Çeviricinin Dijital Formatı.....	70

Şekil 6.6	: Servomotor Sürücü Kontrol Devresi	71
Şekil 6.7	: Hızlı Hareket Profili ve Moment Diyagramı.....	74
Şekil 6.8	: Değişken Yük Şartları ve Moment	75
Şekil 6.9	: Sehim Kontrolünde Kullanılan Bir Ultrasonik Algılayıcı.....	77
Şekil 6.10	: PLC' nin genel blok ifadesi.....	78
Şekil 7.1	: Sistemin PLC kontrollü görünümü.....	80
Şekil 7.2	: Benzetişimi yapılan saç kesme sistemi.....	83
Şekil 7.3	: (e) hataya ait üyelik fonksiyonları.....	84
Şekil 7.4	: (Δe) konum hatasına ait üyelik fonksiyonları.....	85
Şekil 7.5	: u bmk çıkışına ait üyelik fonksiyonları.....	86
Şekil 7.6	: Sistemin bulanık mantık ile kontrolüne ait blok diyagram.....	87
Şekil 8.1	: Serbest uyarmalı DC motor sistemi.....	90
Şekil 8.2	: Serbest uyarmalı DAM benzetişimine ait blok diyagramı.....	91
Şekil 8.3	: 'h' değerinin bulunması.....	92
Şekil 8.4	: Bulanık saç kesme sistemi.....	94
Şekil 8.5	: Kural editörü.....	95
Şekil 8.6	: Giriş çıkış elemanları arasındaki ilişkilerin üç boyutlu gösterimi.....	96
Şekil 8.7	: Kural izleme editörü.....	96
Şekil 8.8	: $V_{\text{hat}}=33$ m/d için ölçülen DAM besleme hızı (V_{dc}).....	98
Şekil 8.9	: $V_{\text{hat}}=33$ m/d için benzetişim sonucu elde edilen DAM besleme hızı (V_{dc}).....	98
Şekil 8.10	: $V_{\text{hat}}=61$ m/d için ölçülen DAM besleme hızı (V_{dc}).....	99
Şekil 8.11	: $V_{\text{hat}}=61$ m/d için benzetişim sonucu elde edilen DAM besleme hızı (V_{dc}).....	99
Şekil 8.12	: $V_{\text{hat}}=90$ m/d için benzetişim sonucu elde edilen DAM besleme hızı (V_{dc}).....	100

SEMBOL LİSTESİ

B	: Viscous sürtünme katsayısı
c	: redüktörün çevirme oranı
e	: konum hatası
Δe	: hatanın değişim miktarı
eq	: Armatür devresinde endüklenen elektromotor kuvveti
h	: Ultrasonik algılayıcıdan gelen mesafe bilgisi
h0	: Referans malzeme yüksekliği
If	: Uyarma akımı
Iq	: Armatür akımı
J	: Atalet momenti
k	: Sacın çukur içinde kalan uzunluğu
Ke	: Gerili katsayısı
Km	: Moment katsayısı
k0	: Sistem ilk çalıştığında sacın çukur içindeki uzunluğu
Lf	: Uyarma devresi endüktansı
Lq	: Armatür devresi endüktansı
Me	: Endüvide endüklenen döndürme momenti
ML	: Yük momenti
ndc	: DAM' ın devir sayısı
p	: Çift kutup sayısı
Pm	: Plağı etkileyen düzgün yayılı yük
Pe	: Elektriksel güç
R	: kartezyen çarpımı, bulanık ilişki
Rc	: Bulanık gerçekleştirme
R1	: dam merdanesinin çapı
Rq	: Armatür devresi direnci,
Rf	: Uyarma devresi direnci ¹
S	: Bulanık ilişki
u	: bulanık çıkış büyüklüğü
vsm	: Servomotorun sacı çekme hızı
vh	: Hat hızı
w	: Açısal hız

V_{dc}	: Bir fazlı tam dalga doğrultucunun ortalama çıkış gerilimi
V_{dm}	: Bir fazlı tam dalga doğrultucunun maksimum çıkış gerilimi
V_{dn}	: Bir fazlı tam dalga doğrultucunun normalleştirilmiş çıkış gerilimi
V_{eff}	: Bir fazlı tam dalga doğrultucunun efektif çıkış gerilimi
V_f	: Uyarma gerilimi
V_q	: Armatür gerilimi
X	: Evrensel küme
$\cup$	: Birleşim
$\cap$	: Kesişim
μ	: Üyelik fonksiyonu
τ_q	: Elektriksel zaman sabiti
$\bar{A}$	: A kümesinin tümleyeni
Φ	: Akı



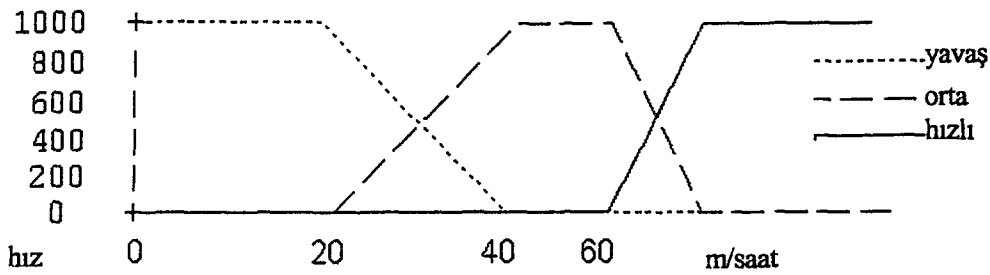
ENDÜSTRİYEL OTOMASYONDA BİR BULANIK MANTIK UYGULAMASI

ÖZET

Son yıllarda endüstriyel otomasyon sistemleri giderek daha büyük ve karmaşık sistemlerden oluşmaya başladılar. Bütün bu gelişmelerin temelinde genel süreç kontrolünün müdahalesiz gerçekleştirme çabası yatmaktadır. Oysa endüstriyel süreçlerde bir çok uygulama insan sağduyusuna ve tecrübelerine gereksinim duyar. Bu tür çalışmalar için klasik mantık yetersiz kalmaktadır. Çünkü klasik mantık çok katı sınırlara sahiptir. Klasik mantığa göre bir olay ya 'vardır' yada 'yoktur', su ya sıcaktır yada soğuktur. Bulanık mantık ise bu tür kesin tanımları ret eder. Bulanık mantık su sıcaklığını büyük, küçük, orta, pozitif büyük, negatif orta gibi kavramlarla tanımlar.

Prof. Dr. Lotfi Zadeh 1965 yılında bulanık küme kavramını ileri sürdü. Bulanık kümenin bir elemanı üyelik dereceleri olarak adlandırılan bir kümeye farklı derecelerde ait olma yeteneğine sahip olabiliyordu. Bir kümenin farklı üyelik derecelerine sahip elemanlarının olabilmesi iddiası, tecrübeye dayalı sistemlerin oluşturulmasını çok kolaylaştırmıştır.

Elbette bir büyüklüğün (hızın) miktarını belirten sayısal değerleri ile dilsel değişkenler (kelimeler) arasında bir bağıntıyı verecek yöntemler tanımlamak zorundayız. Bu ilişkide şekil 1' de verildiği gibi üyelik fonksiyonları ile tanımlanır.



Şekil 1. Üyelik Fonksiyonları

Burada farklı deneyimler örnekte yavaş, orta ve hızlı olarak verilen üyelik fonksiyonlarının hangi sayısal değerlere denk düşmesi gerektiğini belirleyecektir. Üyelik fonksiyonlarını birbirleri ile ilişkilendirmek için kısmen üst üste getirmek oldukça iyi fikirdir ve genelde daha kararlı sonuçların bulunmasını sağlar. Üyelik fonksiyonları düz çizgilerden oluşmak zorunda değildir, eğrilerle de gösterilebilir.

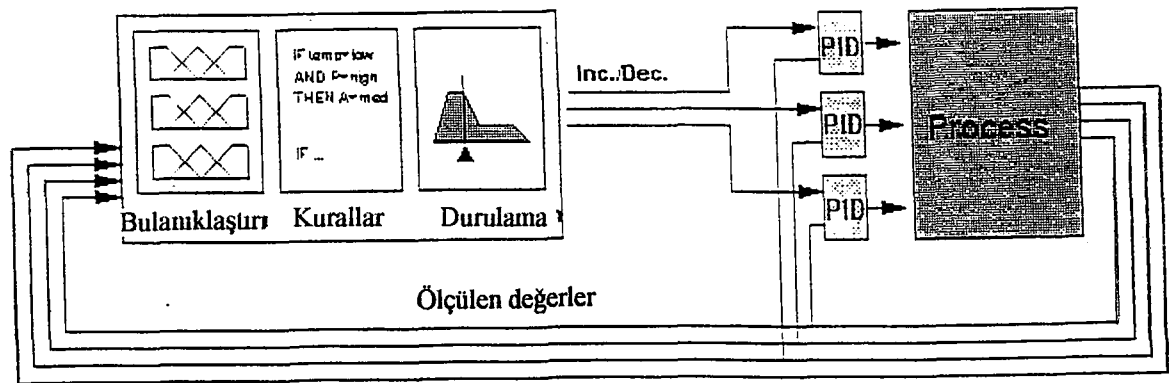
ENDÜSTRİYEL OTOMASYONDA BMK

Son yıllarda bulanık mantığın endüstriyel otomasyon uygulamaları içinde geniş bir potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır. Hepsinden önemlisi mühendisler için bu uygulama alanında geliştirilen kavramlara duyulan güven artmıştır. Dijital kontrol için genelde programlanabilir lojik kontrolörler kullanılmaktaydı. Bu kontrolörlerin programlamaları elektriksel bağlantı şemalarına benzetilerek oluşturulan merdiven (ladder) diyagramların kullanılmasıyla yapılmaktadır. Sürekli ve hassas kontroller için ise yine bu kontrolörlerin bazı modellerinde bulunan PID kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. PID tipi kontrolörler çalışma koşulu sürekli ve değişmeyen bir proses için iyi sonuçlar verirken, sistem içinde aşağıda verilen durumlar oluşuyorsa yetersiz kalmaktadır.

- Büyük ve etkin bozuk etkiler oluşuyorsa (lineerlik yok)
- Zamana bağlı değişkenler proseste etkin ise (lineerlik yok)
- Ölü zamana sahip bir sistem ise.

Sonuç olarak lineer çalışmanın etkin olduğu uygulamalar için PID kontrolörler kullanılmaktadır. Belirli bir kararlı durum içinde kontrol edilen bir proseste ani ve çok büyük değerde bozuk etkiler oluşabilir. Bu etkilerde sistemin, ayar edilen ve çalışması gereken ayar noktalarından farklı noktalarda çalışmasına neden olur. Genellikle lineer mantığın kullanıldığı kontrolörler bu durumlarda kullanılamazlar. Bütün bunlar sistemin zamana bağlı parametreleri etkin ise de geçerlidir (Şekil 2).

Lineerliğin kaybolduğu durumlarda çeşitli kontrol mantıkları ve kavramları ortaya atılmıştır. Bu kavramlar içinde en çok ilgi gören ve en çok uygulama alanı bulan kavram bulanık mantık kavramıdır.



Şekil 2. Bir bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi.

Bu tez de endüstriyel uygulamalarda geniş bir uygulama sahası bulanık mantık kontrolörler incelenmiş ve bulanık mantık bir saç kesme sürecine uygulanmıştır. Genel olarak tez sekiz ana bölümden oluşmuştur. Birinci ve ikinci bölümlerde

bulanık mantık kavramı üzerinde durulmuştur. Birinci bölüm bulanık küme kavramını ve matematiksel ilişkileri açıklamaktadır. İkinci bölümde ise bir bulanık mantık kontrolör tasarım yöntemi verilmiş ve örnekle gösterilmiştir. Üçüncü ve dördüncü bölümler ise sistemde kullanılan serbest uyarmalı doğru akım motorunun ve sürücüsünün açıklanmasına ayrılmıştır. Beşinci bölümde ise süreçte kullanılan diğer kontrol ekipmanları olan servo motor, PLC ve ultrasonik algılayıcı özellikleri ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. Altıncı bölüm bulanık mantığın uygulandığı sürecin incelenmesini ele alır. Yine bu bölümde tasarlanan bulanık saç kesme sistemi verilmiştir. Yedinci bölümde bulanık saç kesme sisteminin benzetişimi yapılmış ve bu benzetişim modeli için bulunan sonuçlar verilmiştir. Son bölümde de bu çalışma ile ilgili yorumlar verilmiştir. Bu tip uygulamalar için bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları tartışıldı. BMK ile kontrolün klasik PLC uygulamalarına göre daha iyi cevaplar ürettiği gösterilmiştir. Son olarak, ileride yapılacak uygulamalar için önerilerde bulunulmuştur.



A FUZZY LOGIC APPLICATION IN INDUSTRIAL AUTOMATION

SUMMARY

The automation systems have become larger and more complex recently. The main reason behind this trend is the need for developing a process control system that doesn't require any human interventions. On the other hand, in industrial process the human experience and knowledge is often required. For that type of applications, conventional logic is not sufficient, since it has strictly defined boundaries. For conventional logic which use crisp set theory, a phenomena is either valid or not. Water is either hot or cold. However fuzzy logic rejects these type of defined boundaries. For example, water temperature is represented with the values as high, very high, medium low, very low.

In 1965, Lotfi Zadeh proposed the idea of a fuzzy *set*; a fuzzy set is one to which objects can belong to different degrees, called grades of membership.

This simple idea of different grades of membership in a fuzzy set is extremely helpful in constructing expert systems.

For example, we have to define in some way how to go back and forth between the description of speed in numbers and the description of speed in words. This is done through defining membership functions, which look something like this:

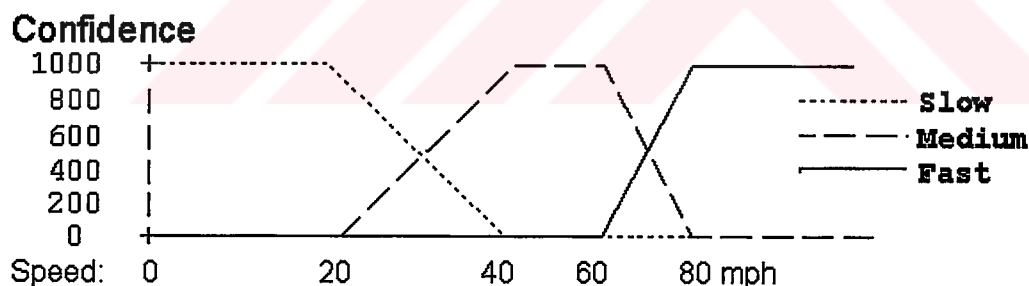


Figure 1. Membership functions.

Different experts would have different feelings about what speeds should be classified as Fast, Medium or Slow. Leaving a good deal of overlap on the adjacent membership functions is a very good idea; it lends robustness to the reasoning system. Membership functions need not be made up of straight lines; curvilinear shapes are available.

FUZZY LOGIC IN INDUSTRIAL AUTOMATION

It has been proven that there is a great potential for fuzzy logic applications in industrial automation. More of all, the trust on these recently developed concepts,

have been substantiated among engineers. Generally programmable logic controllers are used for digital control. For continuous and delicate control applications, PID (proportional-integral-derivative) control methods are preferred. Although PID controllers produce satisfactory performance for continuous time variant processes, under the following cases they become unsatisfactory;

- If large and effective distortions occurs (non-linear)
- If time variant parameters effective on process,
- If systems has dead times.

In summary, PID controllers are used for linear control systems. For processes where control is achieved in a limited stable region, an instant and large disturbance may be developed. Under this condition, the operation point may shift from the desired tuned value. Under these circumstances the linear control methods are not used. These arguments is valid also for the systems, that parameters are time variant.

The fuzzy logic produce effective solutions for that type problems. For controlling the multivariable controllers, fuzzy logic utilise the experimental data or the experience of the operators, instead of mathematical models. In figure 2 a general structure for fuzzy logic based control system used in industrial automation is shown.

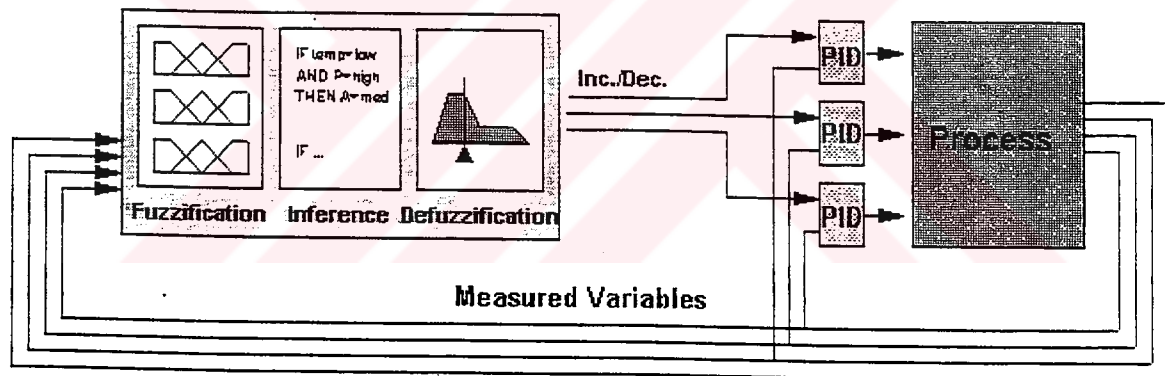


Figure 2 A structure for fuzzy logic based control system

In this thesis a fuzzy logic and fuzzy logic controllers are studied and, their applications on a strip-steel rolling and cutting process is investigated.

The thesis has eight main chapters. In the first and second chapters are developed the fuzzy logic. The first chapter deal fuzzy sets and their mathematical relations. The second chapter, presents a controller design example takes place in the same chapter the third and fourth chapters are devoted to self excited direct current motors and their drivers. The fifth chapter gives the operational principles about servomotors, programmable logic controllers and ultrasonic sensors. The chapter six presents the properties of strip steel cutting process and fuzzy logic application to this process. Seventh chapter deals with the simulation of the fuzzy logic controlled steel cutting

process and presents the computational performance values. The comparison between conventional PLC control and fuzzy logic control is presented. The final chapter gives the conclusions of this study. It also briefly evaluates the advantages and disadvantages of the fuzzy logic control for this type of applications. It is shown that, fuzzy logic steel-cutting process produce a robust control over the conventional PLC control process.



1. GİRİŞ

Endüstriyel otomasyon, sanayide enerji ve ham madde üreten, ham maddeden yarı mamul, mamul üreten ve bu ürünleri tüketiciye sunacak hale getiren işletmelerdeki tüm makineler ile bunların yarı otomatik, otomatik çalışmalarını sağlayan elektronik kontrol sistemleri ve programlarını kapsayan uygulama alanıdır. Günümüzde endüstriyel otomasyon çok önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerde endüstriyel otomasyonun girmediği üretim tesisleri kalmamıştır. Tesislerde güvenilir ve emniyetli çalışan süreçler, yüksek üretim hızı, yüksek mamul kalitesi, düşük maliyet ve standart üretim kavramlarının önem kazanması otomasyon sistemlerine geçişi zorunlu kılmaktadır.[1]

Endüstriyel kontrolde en yaygın olarak kullanılan kontrolörler PLC (programlanabilir lojik kontrolör) 'lerdir. Bizimde ele aldığımız sac kesme sistemi Allen Bradley PLC5 serisi programlanabilir lojik kontrolör ile kontrol edilmektedir. Fakat bilindiği gibi PLC 'ler klasik mantığa sahip elemanlardır. Bazı gelişmiş modellerde PID fonksiyonları bulunmasına karşın PLC kontrol ekipmanları çok karmaşık ve insan sezgi ve sağduyusunun etkin olduğu uygulamalarda yetersiz kalabilmektedirler.

Genelde sistemin matematiksel modelinin oluşturulamadığı ya da çok zor olduğu durumlarda klasik mantığı uygulamak sorun yaratmaktadır. Bu durumlarda klasik mantığa dayalı çözümler ya sonuç vermemekte ya da bazı parametre ihmalleri ve yaklaşımlar yapmak gerektiğinden kurulan sistemlerin verimi azalmaktadır.

Klasik mantığın yetersiz kaldığı yerde devreye girebilecek günümüzün en yaygın alternatif kontrol yöntemi BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC) olarak görülmektedir. Bulanık mantığın en temel özelliği insan sezgi ve tecrübelerinin dilsel terimler aracılığıyla sisteme öğretilbilmesidir. Böylece matematiksel model bilinmeksizin kontrol gerçekleştirilebilir.

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1964 yılında L.A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. İlk uygulama ise H. Mamdani tarafından 1973 yılında bir buhar makinesine yapılmıştır. [2] Görüldüğü gibi çok yakın bir tarihte ortaya çıkan bu kavram ilk başta oluşan tüm önyargılara rağmen çok hızlı bir gelişme izlemiş ve geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Başta Japonya olmak üzere bir çok gelişmiş ülkede bu konuyla ilgilenen çok sayıda enstitüler açılmıştır. İnsan düşünme, karar verme yeteneğine yakın ve sistem parametrelerindeki ani ve beklenmedik olumsuz değişimlerine çok hızlı adapte olması gibi avantajları sayesinde işletme programlarından finansman sektörüne, robotik uygulamalardan endüstriyel sistemlere kadar çok geniş bir alanda bulanık mantık kullanılmaya başlanmıştır. Artık günümüzde hazır bulanık mantık kontrolörler tasarlanmaktadır.



2. BULANIK MANTIK VE MATEMATİKSEL İLİŞKİLER

2.1 BULANIK MANTIK

Günümüzün gelişen teknolojileri klasik mantığa dayalı elektronik denetim biçimlerinden yeteri kadar verim alamamaktadırlar. Daha hassas sistemlerin oluşması ve enerji tasarrufu zorunluluğu bilim adamlarının bu alana yönelmelerini sağlamıştır. Özellikle insanoğlunun mükemmeli arayışı ve doğayı yapay yollarla birebir taklit etme çabası yapay zeka (Artificial Intelligence), yapay sinir ağları (Neural Networks) ve bunlarla beraber bulanık mantık kavramlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur.[4]

Bulanık mantık her gün kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan matematiksel bir yoldur.

Geleneksel mantık sisteminde sadece (1) ve (0) lar bulunur. Dolayısıyla, kesin olmayan yada karmaşık bir problemin çözümünde bu yöntem yetersiz kalmaktadır. Temelini, yine (1) ve (0) ların oluşturduğu bulanık küme kuramı sadece bu değerlerle yetinmez. Bulanık küme kuramında gerçek dünya dili kullanılarak ara değerlerde göz önüne alınır. Bu amaçla kullanılan uzak, çok uzak, az sıcak, aşırı yüksek gibi bir takım dilsel niteleyiciler insan mantığına en yakın doğrulukta elektronik denetimi gerçekleştirebilir.

1965 yılında Prof. L. A. Zadeh bilgisayar tabanlı kontrol sistemlerinde kesin değerler alması şart olmayan yani ara durumlarında tanımlanabileceği, değişkenlerin kullanılabilmesine imkan tanıyan, bulanık kümeler kuramını ortaya attı. Buna karşın karşısında birçok muhalif buldu. Uzun süre ilgi toplamayan bu kuram, ilk kez 1973 yılında, Londra'daki Queen Mary Kolejinde profesör olan E. H. Mamdani tarafından bir buhar makinasına uygulandı. Ticari olarak ise ilk kez, 1980 yılında Danimarka' daki bir çimento fabrikasının fırınına kontrol etmede kullanıldı. Çimento, farklı kimyasal maddelerin belirli sıcaklıkta (yaklaşık 1400 °C), belirli bir süre ile

yakılmasıyla elde edilen katı bir maddenin daha sonra toz haline getirilmesiyle oluşur. Eğer kimyasal maddeler istenilenden daha yüksek veya düşük sıcaklıkta yakılırsa malzeme özelliğini kaybetmektedir. Saatlerce süren bu ayar işlemi, insan gücünü aşmaktadır. Ayrıca kontrol insanlar tarafından yapıldığından değişen vardiyalarda değişik değerler alınmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek için sisteme bilgisayar denetiminde bulanık mantık uygulanmıştır. Maddelere ait bilgiler algılayıcılardan gelen bilgilerle beraber değerlendirilerek bu ayarlama işlemi çok hassas ve kararlı yapılmıştır. Böylece daha kaliteli, daha az fireli ürünler elde edilmiş ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.

1980 sonrası bulanık mantığın uygulama sahaları gittikçe genişlemiştir. Bu mantık sistemi, elektrikli ev aletlerinden oto elektroniğine, gündelik kullanılan iş makinalarından üretim mühendisliğine, endüstriyel teknolojilerden otomasyona hatta finans ve işletme alanlarına kadar hemen her yerde uygulama alanı bulabilmektedir (Tablo 3.3).[3,4]

2.2 BULANIK KÜME KAVRAMI

Bir kümenin elemanları o kümeye $[0,1]$ arasında değişen üyelik dereceleri ile ait oluyorsa bu tür kümelere bulanık kümeler denir. [6,7,10,12]

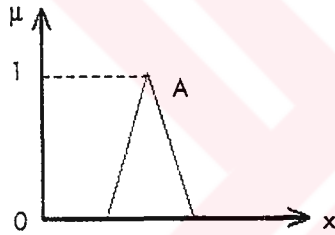
Klasik kümeler teorisinde bir eleman herhangi bir kümeye ya aittir ya da değildir. Oysa bulanık kümeler klasik kümelerin genişletilmiş hali olup üyelik dereceleri $[0,1]$ arasında sonsuz değerler alabilir. Eğer bir elemanın bir kümeye ait üyelik derecesi '0' ise o kümeye ait değildir. Eğer '0.5' ise %50 , '1' ise %100 aittir. Bulanık mantık temel olarak insan düşünüş şeklini temel almaktadır. Dolayısıyla bu mantığın küme elemanları da insan mantığına çok yakın yada aynı olan elemanlardır. Örneğin düş alan bir insanı ele alalım. Normal olarak sıcaklığı istediği gibi ayarlar yani sıcak, çok sıcak, soğuk, ılık gibi dilsel niteleyicilerle de ifade edebileceğimiz bir ayarlama yapar. İşte burada kullanılan dilsel niteleyiciler, ifade şekli ve sayısı ne olursa olsun bulanık küme elemanlarını oluştururlar. Aynı olayı klasik mantıkla düşünersek sonuç bir felaket olacaktır. Bu durumda ya '0' soğuk yada sıcak '1' suyla yıkanması gerekecektir. Burada ki diğer önemli bir nokta da küme elemanlarının birbirine geçiş süreçleridir. Örneğin 50 °C yi sıcaklık sınırı olarak

kabul edersek, geleneksel mantığa göre 49 °C yi soğuk kabul etmemiz gerekir. Burada 50 °C ye sıcak demek pek mümkün değildir. Kaldı ki hemen 1 °C düşük olan 49 °C ye de soğuk demek gerekir ki buda anlamlı değildir. Buna karşın bulanık mantık elemanlarının geçişleri yumuşaktır. Eğer bu işlevi $\mu(x)$ olarak tanımlarsak, işlevin alacağı değer sıfır ile bir arasında olacaktır. Yani işlevin doğruluk değeri $\mu(x) \Rightarrow (0,1)$ dir. Böylece sıcak ile soğuk arasında ki herhangi bir değerde tanımlanabilmektedir. [4,5]

Özellikle endüstriyel uygulamalarda bu tür sistemlere sık rastlanmaktadır. Böylece denetim kalitesi artırılmış ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.

2.2.1 Bulanık Küme İşlemleri

Bulanık kümenin her elemanı, bu küme içinde bir üyelik değerine sahiptir ve bulanık A kümesinin işlev haritası 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılardan oluşur (Şekil 2.1). Yani $\mu(x) \in (0,1)$ olur.



ŞEKİL 2.1 A Bulanık kümesinin üyelik fonksiyonları

X evrensel kümesinde yer alan, sınırlı ve sonlu sayıdaki x elemanlarından oluşan A bulanık kümesi ,

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} \quad (2.1)$$

$$A = \left\{ \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2.2)$$

$$A = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilebilir.

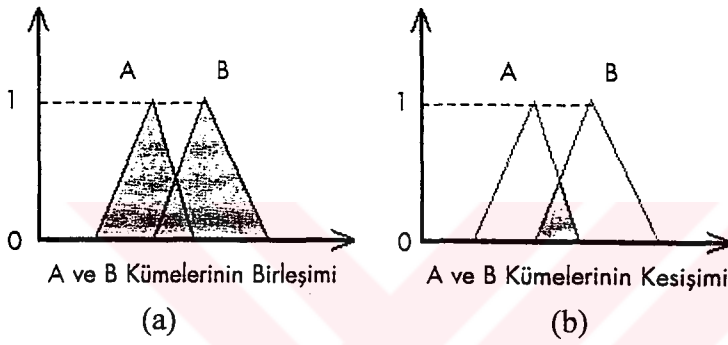
X evrensel kümesinde A, B ve C bulanık kümelerini tanımlayalım ve x yine bu kümelere ait bir eleman olsun;

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (2.4)$$

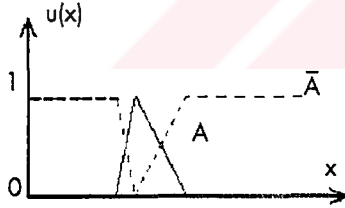
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (2.5)$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.6)$$

bu ifadelere ait grafikler Şekil 2.2 ve 2.3 te verilmiştir.



ŞEKİL 2.2.(a) ve 2.2.(b) A ve B Bulanık kümelerinin bileşimi ve kesişimi



ŞEKİL 2.3 A bulanık kümesinde evirme işlemi

Örneğin A bulanık kümesi,

$$A = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{.5}{3} + \frac{.3}{4} + \frac{.2}{5} \right\} \quad (2.7)$$

ve B bulanık kümesi de

$$B = \left\{ \frac{.5}{2} + \frac{.7}{3} + \frac{.2}{4} + \frac{.4}{5} \right\} \quad (2.8)$$

olsun. Buna göre A' nın ve B' nin evriği

$$\bar{A} = \left\{ \frac{1}{1} + \frac{0}{2} + \frac{.5}{3} + \frac{.7}{4} + \frac{.8}{5} \right\} \quad (2.9)$$

$$\bar{B} = \left\{ \frac{1}{1} + \frac{.5}{2} + \frac{.3}{3} + \frac{.8}{4} + \frac{.6}{5} \right\} \quad (2.10)$$

A ve B kümelerinin bileşimi,

$$A \cup B = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{.7}{3} + \frac{.3}{4} + \frac{.4}{5} \right\} \quad (2.11)$$

A ve B kümelerinin kesişimi,

$$A \cap B = \left\{ \frac{.5}{2} + \frac{.5}{3} + \frac{.2}{4} + \frac{.2}{5} \right\} \quad (2.12)$$

olacaktır. Görüldüğü gibi bulanık kümelerdeki işlemler geleneksel kümelerdeki işlemlerle benzeşmektedir. Ancak bulanık kümelerde evirme işlemine ait özelliklerde bazı farklar vardır. A bulanık kümesinin evriği ile bileşimi evrensel küme, kesişimi de boş küme değildir. Matematiksel olarak ifade edersek;

$$A \cup \bar{A} \neq X \quad (2.13)$$

ve

$$A \cap \bar{A} \neq O \quad (2.14)$$

dir . Bunun dışındaki diğer mantıksal işlem özellikleri, geleneksel mantıktaki işlem özellikleri ile benzeşir. [6,7,8]

2.2.2 Bulanık İlişki

Etkin bir kontrol çalışması için, sistem girişleri ve çıkışları arasında bir ilişki oluşturmak gerekir. Bu tür bir ilişki, bulanık bir koşullu önerme kullanılarak sağlanabilir. Sırasıyla X ve Y evrenlerinde tanımlanmış bulanık A giriş değişkeniyle,

bulanık B çıkış değişkeni arasındaki koşullu önerme, dilsel bir önermeyle verilir.

$$A \rightarrow B \text{ veya } \text{Eğer } A \text{ } 0 \text{ ZAMAN } B \quad (2.15)$$

Bu önerme şu şekilde ifade edilir; { giriş koşulu A }, { çıkış koşulu B } 'yi gerektirir. Burada A neden B sonuçtur. Bir klima sistemi için dilsel gerektirme bağıntısına bir örnek sıcaklık ve devir için şöyle olabilir.

$$\text{Eğer } \{ \text{ısı çok} \} \text{ ÖYLEYSE } \{ \text{devir çok büyüktür} \} \quad (2.16)$$

Bu koşullu bağıntı “ R ”; A ve B kümelerinin kartezyen çarpımı olarak gösterilir.

$$R = A \times B \quad (2.17)$$

Sonlu kümeler için R aşağıda gösterilen üyelik fonksiyonuna sahiptir;

($x \in X, y \in Y$) olacak Şekilde,

$$\mu_R (u , y) = \mu_{A \times B} (u , y) = \min [\mu_A(u) , \mu_B(y)] \quad (2.18)$$

Sonuç olarak bulanık ilişki R' yi, en açık haliyle

$$R = \{ (u,y) / \min [\mu_A(u) , \mu_B(y)] \mid u \in U, y \in Y \} \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edebiliriz. [9]

2.2.3 Bileşke Bulanık İlişki

Uygulama açısından bileşke ilişki önemli bir yere sahiptir. $R : A \times B \rightarrow [0 , 1]$ ' e bulanık ilişki, $S : B \times C \rightarrow [0 , 1]$ ' e diğer bulanık ilişki olsun. Bu durumda A ' dan C ' ye tanımlanmış bileşke bulanık ilişki,

$$R \odot S = X_{A \times C} \{ \max (a , c) / \min [M_R (a , b) , M_S (b , c)] \} \quad (2.20)$$

şeklinde tanımlanabilir. Uygulamada en çok kullanılan bileşke bulanık ilişki sup-min ve inf-max bulanık ilişkisidir. $R : A \times B \rightarrow [0 , 1]$, $S : B \times C \rightarrow [0 , 1]$ olmak üzere

$$R \odot S = (a, c) = \sup_{a \in Z} \{ \min [R(a, b), S(b, c)] \} \quad (2.21)$$

ile sup-min bileşke ilişkisi tanımlanır. Bu ifade a ' dan b ' ye olan bulanık ilişki ile b ' den c ' ye olan bulanık ilişkilerin güçsüz olanlarından bir küme oluşturmayı ve bu güçsüzlerin en güçlüsünü seçmeyi ifade eder. Kısaca sup-min ilişkisi kötülerin en iyisi anlamına gelir.

$$R \odot S = (a, c) = \inf_{a \in Z} \{ \max [R(a, b), S(b, c)] \} \quad (2.22)$$

ile inf-max bileşke ilişkisi tanımlanır. Bu ifade de a ' dan b ' ye olan bulanık ilişki ile b ' den c ' ye olan bulanık ilişkilerin güçlü olanlarından bir küme oluşturmayı ve bu güçlülerin en güçsüzünü seçmeyi ifade eder. Kısaca inf-max ilişkisi iyilerin en kötüsü anlamına gelir. Bulanık kümelerde $\cap$ kesişim işlemi minimum işlemi ile $\cup$ birleşim işlemi de maksimum işlemi ile ifade edildiğinden demorgan kurallarına göre inf-max ve sup-min ilişkileri birbiri cinsinden ifade edilebilir. [8,9]

$$\overline{R \odot S} = \overline{R} \otimes \overline{S} \quad (2.23)$$

Uygulamada en çok kullanılan bileşke bulanık ilişki sup-min bulanık ilişkisidir.

2.2.4 Normal ve Konveks Kümeler

Üyelik fonksiyon derecesi 1 olan, A bulanık kümesi normal bulanık küme olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde gösterilir. [8]

$$\max \mu_A(x) = 1, \quad x \in X \quad (2.24)$$

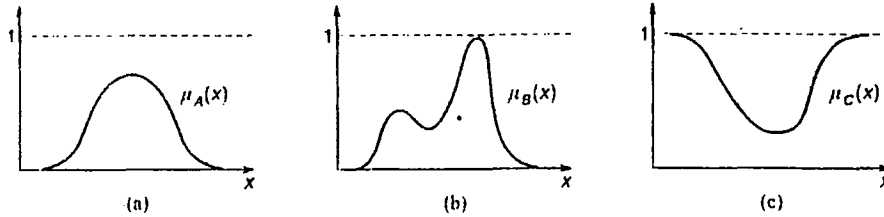
Bulanık küme kavramında bulanık kümelerin konveksliği kavramı önemli bir yer tutar ve bunu üyelik fonksiyonları ile tanımlamak mümkündür. Bir bulanık küme yalnız ve yalnız

$$\mu_F(\lambda x_1 + (1 - \lambda) x_2) \geq \min(\mu_F(x_1), \mu_F(x_2)) \quad (2.25)$$

ise konveks kümedir. Burada $x_1, x_2 \in X, \lambda \in (0, 1]$.

Bunu da şöyle açıklamak mümkündür;

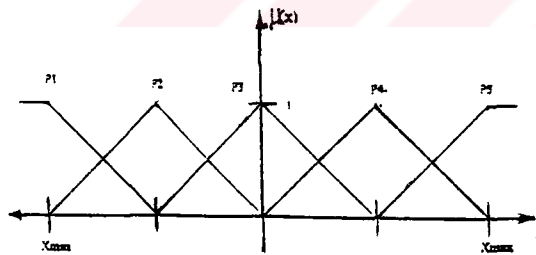
A bulanık kümesinin x_1 ve x_2 elemanlarını ele alalım ve ikisini birleştiren düz bir çizgi çizelim; hat üzerindeki tüm noktaların üyelik derecesi $\mu_A(x_1)$ ve $\mu_A(x_2)$ 'nin minimumuna eşit veya büyük olmak zorundadır. Bu koşullar altında Şekil2.4.a konveks, Şekil2.4.b normal fakat konveks olmayan kümelerdir. Ayrıca unutulmamalıdır ki bu konvekslik tanımlaması bir konveks bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun konveks bir fonksiyon olduğu anlamına gelmemektedir. (Şekil 2.4.c)



Şekil 2.4 Konveks ve konveks olmayan bulanık kümeler

2.3 ÜYELİK FONKSİYONLARI

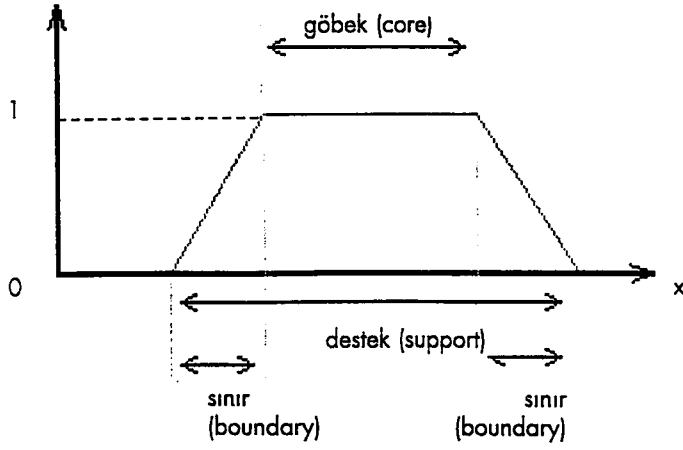
Bulanık mantık süreçlerinin başlatılabilmesi için gerekli üyelik işlevleri (Membership Functions) (Şekil 2.5), dilsel niteleyicilerden oluşan bir anlam grubudur. Bu anlam üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezleriyle tanımlanır. Üyelik işlevleri genelde biçimsel olarak gösterilirler ve en çok kullanılan yöntemler ; üçgen, yamuk veya çan eğrisidir . [6]



Şekil 2.5 Üyelik fonksiyonları

2.3.1 ÜYELİK FONKSİYONLARININ ÖZELLİKLERİ

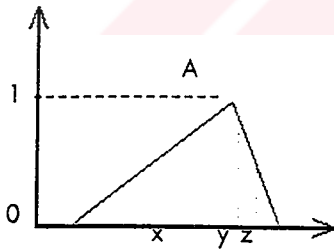
Bulanık kümenin grafik olarak gösterilişinden daha kolay görülebileceği gibi bazı üyelik işlev tanımları bulunmaktadır. Bunlar göbek, sınır ve destektir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Üyelik fonksiyonlarında göbek,sınır ve destek

Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonlarının $m(c) = 1$ olan tüm c elemanlarını kapsayan bölgesi, göbek olarak adlandırılır. Yine bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonlarının $0 < m(c) < 1$ olan tüm c elemanlarını kapsayan bölgesi sınır olarak adlandırılır. Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonlarının $m(c) > 0$ olan tüm bölgeleri de destek bölgeleridir. [6]

Olağan bulanık küme, üyelik elemanının en az bir c elemanı için 1 değerini aldığı bulanık kümelerdir (Şekil 2.7). Eğer bulanık kümede bir ve yalnızca bir elemanın üyelik değeri bir ise, bu eleman, kümenin prototopik elemanı olarak tanımlanır. Bunun dışındaki bulanık kümelere ise olağan altı bulanık kümeler denir.



Şekil 2.7 Olağan bulanık küme

2.4 BULANIK SAYILAR

X evreninde tanımlanan F bulanık kümesi normal ve konveks ise bulanık küme “bulanık sayı” olarak adlandırılır. Formsal olarak göstermek istersek;

$$\max \mu_F(x) = 1 \text{ (normal)} \quad x \in X \quad (2.26)$$

$$\mu_F(\lambda \chi_1 + (1-\lambda) \chi_2) \geq \min(\mu_F(\chi_1), \mu_F(\chi_2)) \quad (\text{Konveks}) \quad (2.27)$$

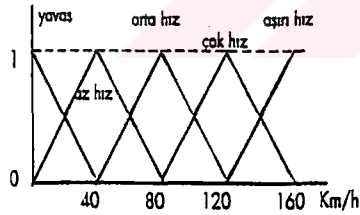
$\chi_1, \chi_2 \in X \quad \lambda \in [0, 1]$ şartlarını sağlayan F bulanık kümesi “bulanık sayı”dır.[8]

2.5 BULANIKLAŞTIRMA

Fiziksel giriş bilgilerinin, dilsel niteleyicilerle ifade edebileceğimiz bulanık mantık bilgileri şekline çevirme işlemine bulanıklaştırma denir. Burada bilgilerin tümünün kesin bilgiler olması gerekli değildir. Bulanıklaştırma işlemi önemli ölçüde kesin olmayan bilgiyi de içine alır ve bulanıklaştırır. Bulanıklaştırma sonucu elde edilen değişkenlere dilsel değişkenler denir.

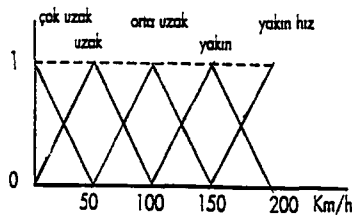
2.6 DİLSEL DEĞİŞKENLER

Bunu daha iyi açıklayabilmek için bir örnek ele alalım ; bir sürücü önüne çıkan bir engel karşısında ne yapar ? Buradaki giriş değerleri hız ve uzaklık , buna karşın çıkış değerimiz fren olsun. Bulanık kümeler genellikle üç, beş veya yedi üyelik fonksiyonundan oluşabilirler. Örneğimize göre; yavaş, az hızlı, orta hızlı, çok hızlı, aşırı hızlı şeklinde üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık hız kümesi oluşturabiliriz (Şekil 2.8). [6]



Şekil 2.8 Bulanık hız kümesi.

Burada kullanılan nitelemelere dilsel değişkenler adı verilir. Aynı düşünce tarzını uzaklık içinde yapabiliriz (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Bulanık mesafe kümesi.

2.7 BULANIK ÇIKARIM

Bulanık mantıkta da geleneksel mantıkta olduğu gibi bazı mantık işlemleri yer almaktadır. Ancak bu komutlar AND, OR, NOT IF ve THEN (VE, VEYA, DEĞİL, EĞER, ÖYLEYSE) ile sınırlı çok basit ve kullanışlıdır. Bu şartlar bütününe kurallar ya da kural tabanı denilir. Buna göre örneğimiz için bir kural tabanı oluşturalım.

EĞER araba Aşırı-Hızlı VE uzaklık Aşırı-Yakın ÖYLEYSE frene Tam-Kuvvetle bas.

EĞER araba Orta-Hızlı VE uzaklık Orta -Yakın ÖYLEYSE frene Orta-Kuvvetle bas.

EĞER araba Normal-Hızlı VE uzaklık Normal -Yakın ÖYLEYSE frene Normal - Kuvvetle bas.

EĞER araba Normal-Hızlı VE uzaklık Normal -Yakın ÖYLEYSE frene Normal - Kuvvetle bas.

Hız kısaca 'h' ve uzaklıkta 'u' ile gösterirsek, fren 'f' fonksiyonu $f(u,h)$ şeklinde olacaktır. Eğer değişkenler arasında VE kullanılmış ise buna göre oluşacak fonksiyon minimum değer alacaktır. Yani ,

$$F((h) \text{ VE } (u)) = \min(f(h), f(u)) \quad (2.28)$$

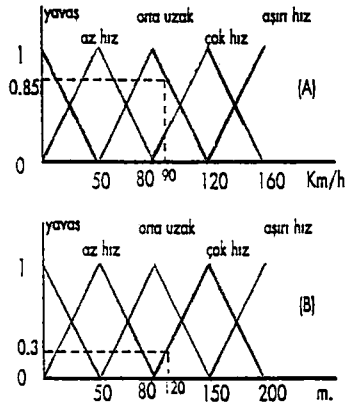
olacaktır. Değişkenler arasında VEYA kullanılmış ise

$$F((h) \text{ VEYA } (u)) = \max(f(h), f(u)) \quad (2.29)$$

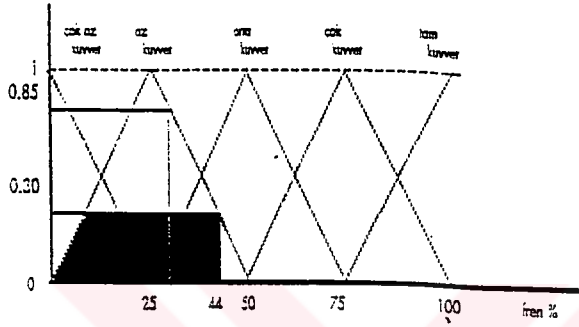
olacaktır. Örnek için orta hızlı ve mesafe uzak olan durumu incelersek ;

EĞER araba Normal-Hızlı VE uzaklık uzak ÖYLEYSE frene Az -Kuvvetle bas olarak ifade edilir. Bu duruma ait çıkarım değerleri Şekil 2.10 da grafiksel olarak verilmiştir.

Değişkenler arasında VE bağlacı kullanıldığı için burada elde edilen iki doğruluk değerinden ($dd=0.30$, $dd=0.85$) küçük olan seçilecektir. Yani elde edilen çıkarım $dd=0.30$ dan dolayı %44 fren şiddetidir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Bulanık hız ve mesafe kümeleri için örnek giriş değerleri.



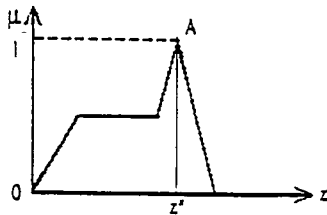
Şekil 2.11 Fren için çıkış grafiği.

2.8 DURULAMA

Bulanık küme çıkarımlarının, sistem üzerine uygulanabilmesi için yeniden fiziksel kesin sayılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işleme durulama denilir. Bir çok durulama yöntemi bulunmaktadır. [5,6,10] Bunlardan en çok kullanılan yöntemler şunlardır;

Üyelik fonksiyonlarının en yüksek noktası (Şekil 2.12);

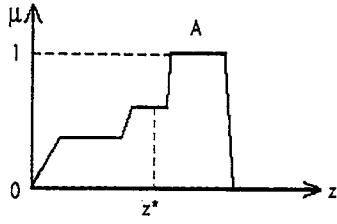
$$\mu_A(z^*) \geq \mu_A(z) \quad (2.30)$$



Şekil 2.12 Üyelik fonksiyonlarının en yüksek noktası.

- Merkez yöntemi (Şekil 2.13);

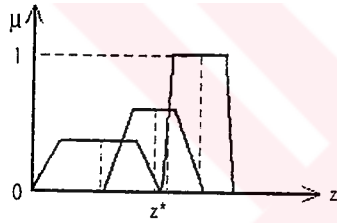
$$z^* = \frac{\int \mu(z).zdz}{\int \mu(z).dz} \quad (2.31)$$



Şekil 2.13 Merkez yöntemi.

- Ağırlıklı ortalama yöntemi (Şekil 2.14);

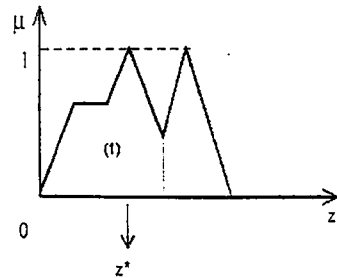
$$z^* = \frac{\sum \mu(z).z}{\sum \mu(z)} \quad (2.32)$$



Şekil 2.14 Ağırlıklı ortalama yöntemi.

- Geniş alan merkezi (Şekil 2.15)

$$z^* = \frac{\int \mu_{Am}(z).zdz}{\int \mu_{Am}(z).dz} \quad (2.33)$$



Şekil 2.15 Geniş alan merkezi.

3. BMK TASARIMI ve UYGULAMA ALANLARI

3.1 BULANIK MANTIK KONTROLÖR TASARIMI

Bulanık kontrol, bulanık teoride bulanık kuralları doğrudan kullanan en önemli uygulamadır. Ebrahim Mamdani kaynaklı bir yöntem kullanarak üç adımda bir bulanık mantık kontrollü makine modeli oluşturmak mümkündür. [9,10,11,14]

- 1) Bulanıklaştırma (bir durumun üyelik fonksiyonları ile grafiksel ifade edilmesi),
- 2) Kural tabanı oluşturma ,
- 3) Durulama .

Bir mikrokontrolör ile bulanık mantık kontrol yapılan geribeslemeli sistemi ele alalım (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Geribeslemeli bir BMK sistemi blok şeması

Bu bulanık set için giriş değişkeni olarak hatayı e , hatanın değişim miktarını Δe ve çıkış değerini u ile gösterirsek :

pb: pozitif büyük

pk: pozitif küçük

s: sıfır

nk: negatif küçük

nb: negatif büyük

Çözünürlüğü 0.25 olan bir ADC ile hatanın +1 ile -1 değerleri arasında değiştiği ölçülüyor olsun. Bu durumda giriş değişkeninin bulanık kümesini çok basit bir tablo ile tanımlayabiliriz. Aşağıda e , Δe ve u elemanlarına ait değerler üst kolonda olacak şekilde, her bir üyelik fonksiyonunun gerçek değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1 e , Δe ve u elemanlarına ait üyelik fonksiyonlarının gerçek değerleri

	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
$\mu(p_b)$	0	0	0	0	0	0	0.3	0.7	1
$\mu(p_o)$	0	0	0	0	0.3	0.7	1	0.7	0.3
$\mu(s)$	0	0	0.3	0.7	1	0.7	0.3	0	0
$\mu(n_k)$	0.3	0.7	1	0.7	0.3	0	0	0	0
$\mu(n_b)$	1	0.7	0.3	0	0	0	0	0	0

Grafik şeklinde gösterirsek ; (burada her "x" işareti 0.1 değerine sahiptir):

	NB	NK	S	PK	PB
-1.0	XXXXXXXXXX	XXX	:	:	:
-0.75	XXXXXXX	XXXXXXX	:	:	:
-0.5	XXX	XXXXXXXXXX	XXX	:	:
-0.25	:	XXXXXXX	XXXXXXX	:	:
0.00	:	XXX	XXXXXXXXXX	XXX	:
0.25	:	:	XXXXXXX	XXXXXXX	:
0.50	:	:	XXX	XXXXXXXXXX	XXX
0.75	:	:	:	XXXXXXX	XXXXXX
1.0	:	:	:	XXX	XXXXXXXXXX

Şekil 3.2 tablo 3.1 deki değerlerin grafik şeklinde gösterilmesi

bulanık sistemin aşağıdaki kuralları gerçekleştiği düşünölsün ;

kural 1: EĞER $e = s$ VE $\Delta e = s$ ÖYLEYSE $u = s$

kural 2: EĞER $e = s$ VE $\Delta e = pk$ ÖYLEYSE $u = nk$

kural 3: EĞER $e = nk$ VE $\Delta e = nk$ ÖYLEYSE $u = pb$

kural 4: EĞER $e = pb$ VEYA $\Delta e = pb$ ÖYLEYSE $u = nb$

Bu kurallar iki giriş ve bir çıkışlı kontrol uygulamaları için genel bir yapıyı gösterirler. Oluşturulan çıkışları, parçalı alan merkezleri yöntemi kullanılarak hesaplamak istersek, durulaştırma işleminin program yazılımı şöyle olacaktır ;

$$\text{SUM}(I = 1 \text{ TO } 4 \text{ OF } (\mu(I) * u(I))) / \text{SUM}(I = 1 \text{ TO } 4 \text{ OF } \mu(I))$$

Şimdi yukarıda belirtilen kuralları ve durulaştırma sonuçlarını daha net görebilmek için ,

$$e = 0.25$$

$$\Delta e = 0.5$$

olduğunu varsayarak çıkışları hesaplayalım. Buna göre tablo 3.1 den

Tablo 3.2 e , Δe elemanlarına tablo 3.1 de karşılık düşen değerler

	e	Δe
$\mu(pb)$	0	0.3
$\mu(pk)$	0.7	1
$\mu(s)$	0.7	0.3
$\mu(nk)$	0	0
$\mu(nb)$	0	0

tablo 3.2 deki değerler bulunur. Bu değerleri 1. kuralda yerine koyarsak ;

kural 1: EĞER $e = s$ VE $\Delta e = s$ ÖYLEYSE $u = s$

$$\mu(1) = \text{MIN}(0.7, 0.3) = 0.3$$

$$u(1) = 0$$

olacaktır. Burada ,

- $\mu(1)$: birinci kural için üyelik fonksiyonunun seçilen minimum alma yöntemine göre aldığı değeri gösterir.
- $u(1)$: birinci kural için üyelik fonksiyonunun değerine karşılık çıkış bulanık fonksiyonunun merkezi hesaplama yöntemi kullanılarak yapılan bulanıklaştırma işleminin sonucudur.

Yukarıdaki işlemleri diğer kurallar içinde yaparsak ;

kural 2: EĞER $e = S$ VE $\Delta e = PK$ ÖYLEYSE $u = NK$

$$\mu(2) = \min(0.7, 1) = 0.7$$

$$u(2) = -0.5$$

kural 3: EĞER $e = NK$ VE $\Delta e = NK$ ÖYLEYSE $u = PB$

$$\mu(3) = \min(0.0, 0.0) = 0$$

$$u(3) = 0.75$$

kural 4: EĞER $e = PB$ VEYA $\Delta e = PB$ ÖYLEYSE $u = NB$

$$\mu(4) = \max(0.0, 0.3) = 0.3$$

$$u(4) = -1$$

değerleri bulunur. Bulunan bu değerler sonucunda elde edilen çıkış ise (3.1) 'e göre şu şekilde hesaplanır ;

$$\frac{\mu(1)*u(1) + \mu(2)*u(2) + \mu(3)*u(3) + \mu(4)*u(4)}{\mu(1) + \mu(2) + \mu(3) + \mu(4)} \quad (3.1)$$

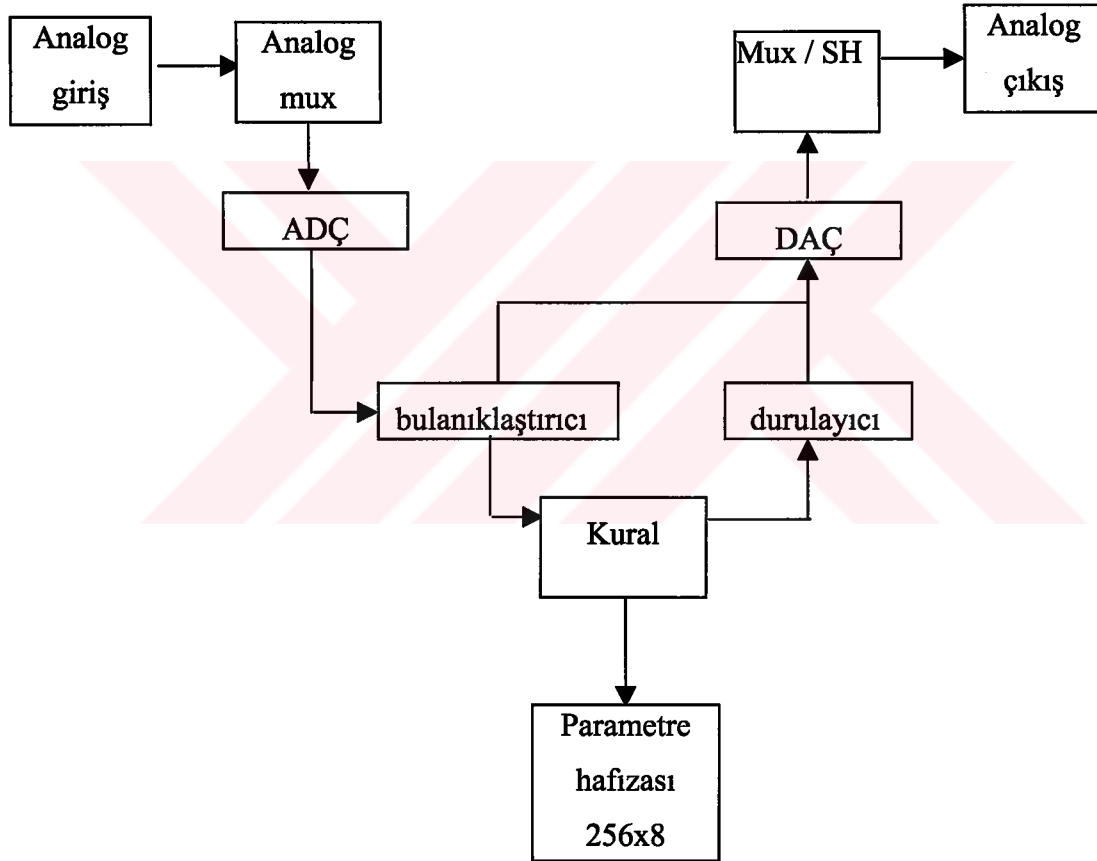
gerçek değerler formül 3.1 de yerine konulursa

$$\frac{(0.3 * 0) + (0.7 * -0.5) + (0 * 0.75) + (0.3 * -1)}{0.3 + 0.7 + 0 + 0.3}$$

= -0.5 olarak bulunur.

Böylece herhangi bir hata ve ondaki değişim miktarına göre çıkış değeri kolay bir yöntemle bulunmuş oldu. Elbette burada zor olan pratikte bu sonuçların doğru elde edilebilmesidir.

- Bu sistem bir mikrokontrolör ile oluşturulabilir. Ancak, halihazırda bulanık kontrolör içeren yongalar bulmakta mümkündür. Aşağıda bir hazır yonganın basitleştirilmiş blok şemasını görebilirsiniz.
- Örneğin AL220 işlemcileri 50 kurala kadar yazılabilen bir ROM a sahiptirler ve giriş değişkenlerine saniyede 10000 örnekleme yapabilmektedir. Ayrıca bu yongalar saniyede 500000 kural işlemi yapabilmektedirler.



Şekil 3.3 Bir BMK işlemcisinin basitleştirilmiş blok şeması

ADÇ: analog dijital çevirici

DAÇ: dijital analog çevirici

SH: örnekleme/tutma

3.2 KURALLARINI ÜRETEB BULANIK SİSTEMLER

Bulanık sistemin temeli, kullandığı kurallardır. Şu anda pazarda satılan hemen hemen tüm bulanık tüketim ürünleri bir uzmanın sağladığı kurallara dayanmaktadır. Daha sonra mühendisler devreye girerek uzun bir süreç içinde bu kural ve bulanık kümeleri ayarlamaya çalışırlar.

Bu süreci otomatikleştirmek amacıyla kimi mühendisler bu ilk kuralları daha da rafineleştirmek ve hatta hiç yoktan oluşturabilmek üzere sinirsel ağ ya da başka istatistik araçlarından yararlanan, uyum sağlama yeteneğine sahip (adaptive) bulanık sistemler tasarlıyorlar. [12]

Sinir ağları, “sinir hücreleri” ve “sinapslar”, yani sinir hücresi kavşaklarından oluşur. Sinapslar, çevredeki sinir hücresi ve diğer sinapslardan gelen girdilere tepki olarak değerlerini değiştirirler. Sinir ağları tıpkı bir bilgisayar gibi davranmaktadır, çünkü bunlar da girdileri çıktılara çevirmektedir. Sinir hücresi ve sinapslar, silikon elemanlardan ya da bunların davranışını veren benzeşim yazılımlarına ait denklemlerden oluşabilir. Bir sinir hücresi öteki sinir hücrelerinden gelen bütün sinyalleri toplar, sonra da kendi yanıtını sayı biçimine sokarak çevresine yayar. Sinyaller, sinir hücreleri sinyallerinin akışını ölçen sayısal değerleri olan sinapslar içinden geçip gider. Yeni girdi verileri bir ağın sinir hücrelerini harekete geçirdiğinde sinaps değerleri biraz değişebilir. Sinirsel ağ, sinapslarının değerini değiştirdiğinde “öğrenir”. Eldeki verilere bağlı olarak, ağlar, örnekleri denetimli de denetimsiz de öğrenebilir. Denetlenen bir ağ, bir öğretmenin kılavuzluğunda, deneme yanılma yoluyla öğrenir. Ağ, yanlışlık yaptığıında (istenenden değişik bir yanıt çıkardığında) insan bunu gösterebilir. Ağ her girdiyi doğru yanıtlayıncaya kadar, örnek verilere doğru yanıtlar öğretmen tarafından verilir. [2,6,15]

Denetlenen ağlar bulanık bir sistemin kurallarını bu kurallar sanki sinapslarmış gibi ayarlar. İlk kurallar kümesini kullanıcı verir, sinirsel ağ yüz binlerce girdiyle çalışarak bunları arındırır, sistemim ne kadar iyi çalıştığını görmek üzere her defasında bulanık kümeleri biraz değiştirir. Ağ, verimi arttıran değişiklikleri tutmaya, verimi azaltan değişiklikleri de yok saymaya yatkındır. Şimdi Japonya’da bir çok ürün, işleyişlerini denetleyen bulanık kurallar düzenlemek üzere, denetlenen sinirsel öğretimi kullanıyor. Bunlar arasında Sanyo’nun mikrodalga fırını ve çeşitli

şirketlerin çamaşır makineleri var. Sharp , bulanık soğutucusunda kural dönüşümleri için bu tekniği kullanıyor. Böylece aygıt, karnı aç sahibinin ne sıklıkta kapıyı açtığını öğreniyor, soğutma döngüsünü de ona göre ayarlıyor. Şimdiye kadar sinirsel ağın “bilgisayar kontrolü dışında “ laboratuarda, ortalama müşterilerin az sayıdaki davranış örneklerinden yararlanarak öğrenmesi gerekiyordu. Japonya’da Laboratory for International Fuzzy Engineering ve Fuzzy Logic Systems Institute gibi topluluklarda araştırmacılar zamanla her müşterinin gereksinimine uyum sağlayacak bulanık sistemler yapmayı ummaktadırlar. [5,6]

Denetlenen ağların sakıncaları vardır. Bu tür sistemlerin ayarlanması uzun bilgisayar saat ya da günleri gerektirebilir, çünkü ağlar uygun olmayan bir çözüme ya da kurala yakınsayabilir ya da hiç yakınsamayabilirler. Sinirsel ağ araştırmacıları bu durumu hafifletmek için yüzlerce yol önermişler, ancak hiçbiri problemi ortadan kaldırmamıştır. Uzunca bir ayarlama süresinden sonra bile son kurallar ilk kümelerden daha iyi olmayabilir. Denetlenmeyen sinirsel ağlar, bir uzmanın eğitim verileri kümesi sağlamasına ve öğrenme sürecinde ağı düzeltmesine dayanmak yerine bir uzmanın kararlarını gözlemleyerek öğrenirler. Böylelikle, uyumlu bir bulanık sistem kural örneklerini girdilere yansıtmayı öğrenebilir. Az sayıda girdiye dayanan geniş kural alanları kolayca oluşur. Bu alanlar giderek daha iyi belirlenir.

Denetlenmeyen sinirsel ağlar mekanik olarak verileri birbirine benzeyen gruplar içinde toplar. Bu durumda ne kesin doğru ve yanlışlar , ne de verileri düzenleyici bir kural vardır. Kullanılan algoritma basittir ve en azından teorik olarak ağın verileri sadece bir kez işlemesi yeterlidir. Verilerin az olduğu durumlarda, sinirsel ağ, bu verileri birçok kez işler. Sonuç olarak, denetlenmeyen öğrenme, denetlenen öğrenmeden çok daha hızlıdır.

Denetlenmeyen bir sinirsel ağ, bir uzman , fiziksel bir süreç ve hatta bir algoritmanın verdiği sayısal girdi ve çıktılar ile bulanık bir sistemin ilk kurallar kümesini oluşturur. Kuralların kalitesi, verilerin kalitesine, dolayısıyla verileri üretmiş olan uzmanın hünerlerine bağlıdır. Şimdi denetlenenlerden daha az sayıda denetlenmeyen uyum sağlama yeteneğine sahip bulanık sistem bulunuyor. Denetlenmeyen ağlar, kuralları yaratmada en iyi, denetlenen ağlar da kuralların kesinleştirilmesinde daha iyi oldukları için, melez uyum sağlama yeteneğine sahip bulanık sistemler her ikisini de içermektedir. Bulanık mantık mühendislerinin çoğu denetim kuramcıları

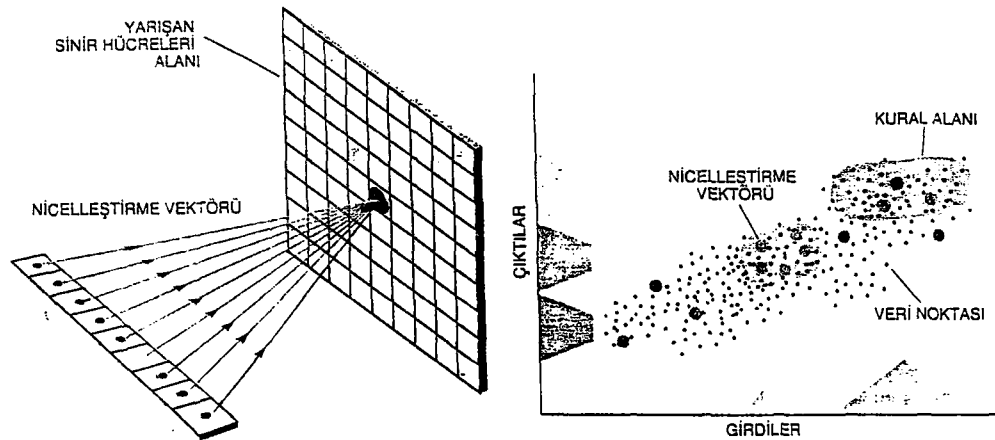
olduklarından ve tüketim ürünlerinin çoğu da bir denetim döngüsü (control loops) tarafından düzenlendiği için bugüne kadar ki bulanık mantık sistemleri genellikle az değişkenli denetim sistemlerinden oluşmaktadır.

Gelecek kuşak bulanık mantık araştırmalarının önündeki çetin iş, büyük çapta, çok değişkenli doğrusal olmayan sistemlerle uğraşmak olacaktır. İnsanlar fabrikaları denetlemeye, uçakların uçuşlarını programlamaya ya da ekonomiyi modellemeye çalışırken sorunlar ortaya çıkabilir. Bu sistemleri hiçbir uzman betimlemeyebilir. Sağduyu tökezleyebilir ya da uygulanmayabilir. Bu çetin problemleri modellemenin kurallarını öğrenmesi gereken sinirsel ağların çalışabileceği veri çok az olabilir ya da hiç olmayabilir. [15]

Bir başka problem, diğer herhangi bir matematik ya da bilgisayar modelinde olduğu gibi, bulanık mantığın “ boyutluluk laneti “ ne kurban gitmesidir ; sistem değişkenleri sayısı artmasına bağlı olarak büyüme eğilimi göstermektedir. Bulanık sistemlerin bir değiş-tokuşla uğraşmaları gerekir. Büyük kural alanları, sistemin daha kolay yönetilebilir ancak daha az doğru olduğu anlamına gelir. Bu değiş-tokuşta eşitlik sağlayarak, bulanık mantık çoğu kez dünyanın belirsizliğini küme kuramının siyah-beyaz kavramlarından daha iyi modelleyebilir. Bu nedenle bulanık mantık sistemleri gittikçe artan sayıda bilgisayara, ev aletlerine ve teorik modellere kolayca girebilirler. Gelecek yüzyıl düşündüğümüzden de bulanık olabilir.

3.2.1 Akıllı Bulanık Sistemler Kuralları Nasıl Öğrenirler ?

Sinirsel ağlar denen uyum sağlama yeteneğine sahip sistemler, bulanık sistemlerinin kural öğrenmesine yardımcı olabilirler.



Şekil 3.4 Sinirsel ağlar

Bir sinirsel ağ, klima sıcaklığı ve motor hızları gibi girdi ve çıktı çiftlerini alır ve onları az sayıda prototipler ya da sınıf şeklinde gruplar. Ağ içinde her prototip bir sinir hücresini besleyen sinapslar yerine geçen bir nicelleştirme vektörü bir sayılar listesi gibi davranır.

Yeni bir veri noktası ağa girdiğinde, veriye en çok uyan prototiple bağlantılı sinir hücresini uyarır. “Kazanan “ sinapsların değerleri, aldıkları veriyi yansıtacak biçimde düzenlenir. Veriler bir araya toplanırken, kural alanlarını betimleyen nicelleştirme vektörleri de bir araya toplanır. Veriler çoğalırsa alan sayısı da artar, kesinlikleri de çoğalır (Şekil 3.4). [5]

3.3 BMK’ NIN UYGULAMA ALANLARI

Tablo 3.3’ te değişik endüstri sahalarında bulanık mantık kontrolün pratik uygulamalarına örnekler verilmiştir [4]. Bunlardan bazıları fabrika ürün kontrolünde kullanılmaktadır. Diğerleri değerlendirme bölümündedir. Bu örnekler arasında, kağıt sarma gergi kontrolü (Tablo 3.3’deki No:1), kablo izolasyon kaplaması, şekil verme ve pişirme fırını, ürün ve kalite geliştirme açısından mükemmeldirler. Tablo 3.3’deki örneklerde girişler ve çıkışların klasik PID döngü kontroldekinin aynısı olduğuna dikkat edilebilir. Aralarındaki fark PID kontroldeki parametre ayarlamaları yerine bulanık mantık kontrolünün yerleştirilmiş olmasıdır. Referanslar kontrol sistemi için kural yapılarını vermez. Çünkü her bir kuralın çıkarılması, kullanıcının vereceği bilgiler alanındadır. Uzman bilgi tabanı ve deneyimsel kural yapısı, bulanık mantık kontrol tasarımının deneyimsel doğasını oluşturur.

Tablo 3.3 Endüstri sahalarında BMK ün pratik uygulama örnekleri

	Uygulama Örneği	Girişler	Çıkışlar	Bilgi Tabanı
1	Kağıt sarma makinasında gerilim kontrolü	Hız sensörü(2) tamburun gergi pozisyonu	Servo sürücüler(her bir besleme için bir tane sarıcı)	Hız,sargı bilgileri ve diğer değişkenleri
2	Gaz ve hava kaynaklı kazan	Sıcaklık ve oksijen algılayıcısı	Hava valfi, gaz valfi	Optimum yanma
3	Kablo izolasyon kaplaması	Çekme basıncı,hız ve reçine sıcaklığı	Isıtıcı,servomotor	Sıcaklık ve basınçtaki değişimi
4	Bilgi tabanlı şekil verme	Operatör gözlemleri,paketleme,ürünün yerleşmesi	Isıtıcı,motor	Optimum şekil verme koşullarının karar verilmesi
5	Kazan suyunun oksijenlenmesi	Elektrik iletkenliği	Oksijen valfi	Pompa hızı ve akışı
6	Maksimum elektrik yük denetimi	Wattmetre,sistem sıcaklığı, parlaklık,ürün zamanlaması	Devre kesiciler(her bir besleme için)	Tahmini elektrik kullanımı
7	Vakum tankı basınç stabilizasyonu	Tank basıncı,pompa basıncı	Pompa hızı	Pompa ve tank karakteristiği çıkarımı
8	Yüksek hassaslıklı taşlama	Taşlama motoru akımı ve ölçüm büyüklüğü	Aşırı yükte nümerik kontrol için sinyalizasyon	Fuzzy profil interpolasyonu
9	Meyve suyu çıkarma işlemi	Şeker yoğunluk ölçeri	Pompa motorunun hızı	Karışım eğrisi çıkarımı
10	Sprey boyama	Sıcaklık ,boya akışı, viskozitesi, incelik	Kontrol döngüsüne akış oranı sinyali	Viskozite ve sıcaklık tayini
11	Püskürtme kaplama	Yapışmadaki oparetör kararları,sarmalama ve pota	Şekil verme kontrolüne sıcaklık ve basınç sinyali	Ürün görünüşü kuralları
12	Paketleme konveyörü	Mal girişine karton boşluğu	Konveyör hızı	Mamule uygun paket büyüklüğü

13	Gemi yüklemesi	Yük hücreleri kapakları arası açısı	Kapı motoru	Akış oranı ve ayar noktası çıkarımı
14	Film nemlilik kontrolü	Film hızı,hava nemliliği ısıtıcı sıcaklığı	Isıtıcı sıcaklığı,kontrolöre nem sıcaklığı	Nemlilik,hız,sıcaklık ve hava
15	Otomatik kılavuzlanmış taşıyıcı(AGV)	AGV hızı,kargo ağırlığı	AGV motor ağırlığı	Hız ve eğilme(yana yatırma)
16	Pişirme fırını kontrolü	Sıcaklık,renk,koku,çıkış gazı	Isıcı gücü	Gevreklikteki,dokunma adaki ve incelikteki operatör kararları
17	Çimento fırını nem kontrolü	Cüruf sıcaklığı,su içeriği ,ağırlık, iletkenlik, fırın sıcaklığı	Su valfi	Ürün çıkışının 5 dakika sonrası sonuç
18	Beton karışımı	Sıcaklık,nem, motor akımı	Suyun valflenmesi,çimento, kum ve çakıl	Hammadde laboratuvar testine dayanan netice
19	Kule vinç	Kargo yönü, hız, sallanma	Motor hızı	Eğer sallanma ileride,yük geride ise hızı yavaş yavaş arttırır.
20	Elektronik konsantrasyon	pH, seviye, işleme zamanı hesabı	Su, asit için valf	Elektrolit aktivitesinin tahminine dayanan kontrol
21	Sera çevresel ortamı	Dış sıcaklık,nem, sera iç sıcaklığı, hava hızı	Isıtıcı valfleri, nemlendirici,pencere hareketlendirici	Hava tahminleri ve gün zamanı çıkarımı
22	Erimiş metal taşıyan kepçenin kontrolü	Kepçe ağırlığı,meyil açısı,yük hücresi	Meyil motoru	Elle döküyormuş gibi kepçeyi hareketlendirmek
23	Teyp sarma gerginlik kontrolü	Besleme ve sarma hızı pozisyonu	Motor hızı : sürme, besleme, sarma	Teyp hızı yön değiştirilmesi

3.4 ENDÜSTRİYEL OTOMASYONDA BMK

Son yıllarda bulanık mantığın endüstriyel otomasyon uygulamaları içinde geniş bir potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır. Hepsinden önemlisi mühendisler için bu uygulama alanında geliştirilen kavramlara duyulan güven artmıştır. Dijital kontrol için genelde programlanabilir lojik kontrolörler kullanılmaktaydı. Bu kontrolörlerin programlamaları elektriksel bağlantı şemalarına benzetilerek oluşturulan merdiven (ladder) diyagramların kullanılmasıyla yapılmaktadır. Sürekli ve hassas kontroller için ise yine bu kontrolörlerin bazı modellerinde bulunan PID kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. PID tipi kontrolörler çalışma koşulu sürekli ve değişmeyen bir proses için iyi sonuçlar verirken, sistem içinde aşağıda verilen durumlar oluşuyorsa yetersiz kalmaktadır.

- Büyük ve etkin bozuk etkiler oluşuyorsa (lineerlik yok)
- Zamana bağlı değişkenler proseste etkin ise (lineerlik yok)
- Ölü zamana sahip bir sistem ise.

Sonuç olarak lineer çalışmanın etkin olduğu uygulamalar için PID kontrolörler kullanılmaktadır. Belirli bir kararlı durum içinde kontrol edilen bir proseste ani ve çok büyük değerlerde bozuk etkiler oluşabilir. Bu etkilerde sistemin, ayar edilen ve çalışması gereken ayar noktalarından farklı noktalarda çalışmasına neden olur. Genellikle lineer mantığın kullanıldığı kontrolörler bu durumlarda kullanılamazlar. Bütün bunlar sistemin zamana bağlı parametreleri etkin ise de geçerlidir. [13]

Lineerliğin kaybolduğu durumlarda çeşitli kontrol mantıkları ve kavramları ortaya atılmıştır. Bu kavramlar içinde en çok ilgi gören ve en çok uygulama alanı bulan kavram bulanık mantık kavramıdır.

3.4.1 Çok Değişkenli Kontrol

Bulanık mantığın endüstriyel otomasyondaki gerçek bir potansiyele sahip olmasının en önemli sebebi, çok değişkenli kontrolörlerin dizaynına olanak sağlamasıdır.

Bir çok uygulamalarda, basit bir proses değişkenini bir PID tipi kontrolör ile sabit tutmak yeterli olabilmektedir. Fakat tüm özel kontrol çevrimleri için gerekli ayarlar

Çalışanlar yani operatörler tarafından elle yapılması gerekir. Burada operatörler prosesin durumunu incelerler ve en uygun çalışmayı sağlamak için PID kontrolörlerin ayar noktalarını değiştirirler. Buna da denetlemeli kontrol denir ve çoğunlukla çoklu değişkenleri kapsar.

Ne yazık ki PID tipi kontrolörler yalnızca tek değişken ile başa ıkabilmekteler. Bu da birçok bağımsız kontrol çevrimlerine neden olmaktadır.

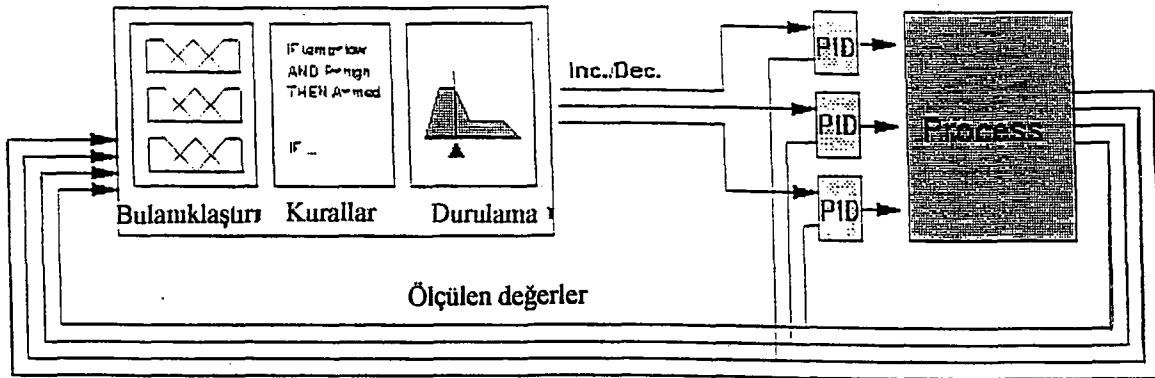
Bu çevrimler ise birbirleriyle iletişim kuramazlar. Oysa fiziksel değişkenlerin birbirlerine bağlı olarak işletilmeleri istenir ve bazen de gereklidir. Bu da prosesin , tam bir matematiksel modelinin çıkarılmasını zorunlu kılar ve bir çözümün bulunması için diferansiyel eşitliklerin çıkarılması kaçınılmazdır. Bu nadiren uygulama alanı bulur.

- Gerçek hayatta bir prosesin matematiksel modelinin çıkarılması yıllar süren çalışmalar gerektirebilir.
- Matematiksel model elde edilse bile kontrolöre uygulamadan basitleştirmeler ve lineerleştirmeler gereklidir.
- Matematiksel modelden elde edilmiş kontrolöre ait bozucu faktörlerin ayarlanması hemen hemen imkansızdır. Çünkü herhangi bir noktada yapılacak ayar diğer noktaları etkileyecektir ve bir noktada yüksek performans elde edilse bile diğer bölgelerin performansı azalabilecektir. Ayrıca birçok uygulamacı bunları çıkarabilecek matematiksel altyapıya sahip değildir.

Böylece kaba bir bakışla endüstride tek bir prosesin değişkenleri PID gibi basit kontrol yöntemleri ile insan operatörlerin kontrolünde ayarlanırlar.

Bu tür problemler için bulanık mantık çok güzel ve verimli çözümler getirir. Bulanık mantık çok değişkenli kontrolörlerin denetlenmesinin sağlanmasında matematiksel modeller yerine operatörlerin tecrübelerini ve / veya deneysel sonuçları kullanır. Şekil 3.5 de endüstriyel otomasyon uygulamalarındaki bulanık mantık tabanlı kontrol sistemleri için uygun yapı gösterilmiştir. Burada bulanık mantık sisteminden PID kontrolörün ayar değerleri için çıkan değişkenler ile herhangi bir proses değişkeninin sabit ve kararlı olması sağlanmıştır. Bu yöntem bir fırının birkaç sıcaklık odasının veya bir atık su havuzundaki oksijen konsantrasyonun kontrolü gibi tipik

Çalışmalarda kullanılmaktadır . Başka bir değişle bulanık mantık tam bir kapaklı çevrim kontrol için gerçeklenebilir bir çözüm geliştirmek mümkün olmaktadır.



şekil 3.5 BMK ile çok değişkenli kontrol örneği

3.5 ENDÜSTRİYEL OTOMASYONDA BMK' NİN KULLANIM ALANLARI

Bulanık mantık kontrol sistemi tasarımı tecrübeye dayalı bir süreçtir. Endüstriyel otomasyonda bulanık mantığın ne zaman kullanılacağı, ne zaman kullanılmayacağı uygulama örnekleri göz önüne alınarak belirtilebilir. Prosesin ya da fabrikanın kontrolü karmaşık, lineer olmayan ve operatör bağımlılığı olması durumunda bulanık mantık kontrolü pratikte kullanılabilir. Teknoloji, operatör kararlarında yardımcı olabilmek için kullanılan yapay zekayı oluşturan bulanık mantık kullanımını da giderek artırmaktadır.

Aslında bulanık mantık kontrol tasarımı yaşamdan esinlenmiştir. Giriş bilgileri örneğin, sıcaklık var veya yok denilmez ama ılık, sıcak, çok sıcak diye dilsel olarak telaffuz edilir. Karar mekanizması, bilinen temel kurallar üzerinde işler. Kumanda edilen prosesin mükemmel bir modeli yoktur. Fakat bu, bulanık mantık tasarımının deneme yanılma ile elde edildiği manasına gelmez. Prosedürlerin cebri kriterlerle ifade edilememesine rağmen, tasarım ve iterasyon için belirli metotlar vardır.

Bilgi tabanının bulanık mantık kontrolünün ayrılmaz bir parçası olması nedeniyle kendi kendine öğrenme eğrisinin gerçekleşmesi,aslında sistemi hızdan öteye bir faydaya götürmektedir. [4,9,14]

3.5.1 Bulanık Mantık Kontrolü Ne Zaman Kullanılır?

Tablo 3.3'deki uygulama örnekleri bulanık mantık kontrol sistemi için koşulların nerelerde daha kazançlı ve muhtemel olduklarını incelemektedir. Bazı koşullar aşağıda özetlendiği şekilde bazı belirtilerle tespit edilir.

1) İşlem ve Tesisin Kontrolü Çok Güç ve Kompleks Olduğunda:

Değirmen ya da öğütme prosesi kompleks işlemeye bir örnektir. Her bir durumda işlem, kütüğün değişken olması sebebiyle komplekstir. Bulanık mantık kontrolü deneyimsel bilgi tecrübesi manasında bu ihtiyaca cevap verir.

2) Seviye/Bilgi ve Dikkat Bakımından Operatöre Bağımlı Sistem Operasyonlarında:

Örneğin Kanada'daki "Alcan firması" kok kömürü üretimi için en deneyimli bir operatörün bile tutarlı bir ürün kalitesi elde edemediği sıralarda sistemi en iyi kontrol eden bir bulanık mantık kontrol sistemi bulmuştur.

3) Prosesin Bir Parametresinin Diğer Parametreyi Etkilemesi Durumunda:

Sera klima kontrolü bu koşullara sahiptir (Tablo 3.3,No:21). Sera iç ve dış sıcaklığı, nem havalandırma gibi çevresel faktörler birbiri ile ilgilidir. Kapalı ortamda birinin değişimi diğer faktörleri de değiştirerek, ortam sıcaklığını ve nisbi nemi istenilen seviyede tutmak zorlaştırır. [2]

Tablo 3.3 'te 18 numaralı örnek beton karıştırıcı sistemi, proses parametrelerinin birbirine bağımlı olduğu sistemler için somut bir birleşik örnektir.

4) Dilsel Olarak Modellenebilen ve Matematiksel Modellenemeyen Süreçler:

Film ve kağıt gergi kontrolü (Tablo 3.3,No:1) dilsel olarak ve gergi silindirin pozisyonunu bağlı olarak tanımlanabilir. Bu temel bulanık mantık kumanda kurallarının formüle edilmesi için yeterlidir. Bir matematik modele ihtiyaç yoktur.

Elektrikli taşıyıcılar için otomatik geri enerji kazanımla frenleme kolayca matematiksel olarak modellenemez. Bununla birlikte doğal frenlemedeki taşıyıcının hızı üye fonksiyonlarla doğal bir uygunluk gösterir.

5) Ürün Performansı ve Kalitesinin Artırılma Olanağında:

Bulanık mantık kontrolün uygulanması ile endüstride yeni potansiyeller açmıştır. Analog PID kontrolörlere nazaran mikroişlemciler daha çok etkisi olmuştur. Daha önceki PID kontrolörler bunların görevlerini yapıyordu. Bununla beraber daha sonraları mikroişlemcilerin PID kontrolörlerinde kullanımı, sadece daha düşük maliyetli elektronik devre imalatında değil aynı zamanda hem fonksiyon hem de kullanıcıyla kontrolör arasındaki ilişkiyi kolaylaştıran daha ileri performanslı kontrolörlerin gelişmesine olanak sağladı.

Kok kömürü üretiminde sülfür içeriğinin %1 azaltılması, metal üretim maliyetinin belki de 1 milyon dolar azaltılması anlamına gelmektedir. Böylece bulanık mantık ile kontrol kullanımını klasik PID kontrolüne göre ürün kalitesinin tahmin edilemeyecek derecede artmasını sağlamıştır. Örneğin iki Alman şirketi de Rheinbraun and RWE hava kirliliğini azaltmak ve verimi artırmak için yeni tip fosil yakıtlı güç santralini geliştirmişlerdir. [4,9]

3.5.2 Bulanık Mantık Kontrolü Ne Zaman Kullanılmaz?

BMK' nın kullanılmayacağı yerler kategorik olarak sınıflandırılmaz. Burada önemli nokta eğer BMK özel bir durumda problem çıkarırsa, sistemi tekrar gözden geçirip geleneksel kontrol çözümlerine gidilebilir. Bu tip durumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Eğer proses ya da tesis tamamıyla lineer ise ya da PID çevrim kontrolü yeterince iş görüyorsa,
2. Eğer yüksek hız gerekiyorsa ve BMK' nın kuralları kapsamlıysa; BMK uygun olmayabilir. Akış kontrol proses gücünde, iç kumanda modülleri için bulanık girişim hızı her kuralda 50 μ s civarındadır. Aynı işlem için yüksek performanslı bulanık kontrolör 30 μ s civarındadır.
3. BMK' nın valf çıkışları yaklaşık son pozisyona asimptotik olarak gelmiyor ve doğal osilasyona giriyor ise; böyle bir durumda BMK bir band geçiren filtreye (band-pass filter) ihtiyaç duyar. Ancak bu durum sonsuz limitler dahilinde değildir. Band geçiren BMK ile PID'nin kombinasyonu ile sınırlandırılmaz ve elimine edilemez. Bu tip kombinasyon yaygın olarak kullanılır.

Tasarımı yapan kişiler onun kontrol gücüne ve kullanım özelliklerine baktıklarında onu nereye uygulayacaklarına karar vermelidirler. Aynı zamanda bu yeni teknoloji ile yapılan yazılım projelerini nasıl yöneteceklerine karar vermelidirler. Proje yöneticileri,sistem mimarları ve tasarım mühendislerinin aşağıdaki soruları sormaları gerekir. [4]

*Bulanık mantık kullanımında hangi tip projelerden yararlanılabilir?

*Bu teknoloji ile projeler nasıl kontrol edilir?

*Bulanık mantık ve ilgili teknolojiler ile sistemleri tasarlama,geliştirme ve test etme konularında en iyi yol nedir?



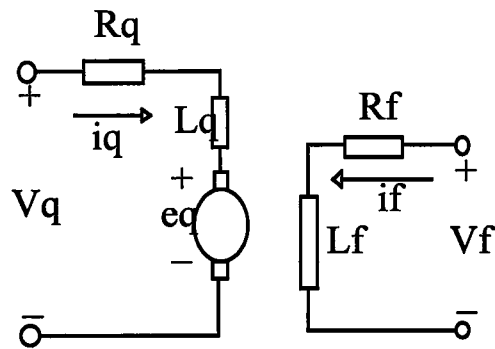
4. SÜREÇTE KULLANILAN DAM ve SÜRÜCÜSÜ

4.1 SERBEST UYARMALI DOĞRU AKIM MOTORU ve 1395 AB DAM SÜRÜCÜSÜ

Sistemde sac bobinler önce hidrolik bir üniteye yerleştirilir. Bu bobinler doğrudan servomotora bağlanmazlar. Çünkü servomotor üzerine bobin ağırlığını yansıtmak demek çok büyük güçlü bir servomotor kullanmak demektir. Bundan da önemlisi sac, durma ve kalkmalardan birebir etkilenirse oluşacak dalgalanmalar ve bobindeki ataletin etkisi ile kullanılamaz duruma gelecektir. Bu sorunları ortadan kaldırmak için bobini sürekli çekerek sistemi beslemek için bir doğru akım motoru kullanılmıştır. Doğru akım motoru kullanılmasının sebebi ise tüm bakım sorunlarına rağmen çok hassas ve kolay hız kontrolüne sahip olmasıdır. Günümüzde doğru akım motoru kadar hassas hız kontrolü yapılabilen vektör kontrollü asenkron motor sürücüleride bulunmaktadır. Fakat burada da karşımıza özellikle yüksek güçlerde büyük maliyetler çıkmaktadır.

Bütün bu sebepler göz önüne alınarak 30 hp gücünde bir doğru akım motoru ve AB 1395 dijital kontrollü doğru akım motoru sürücüsü kullanılmıştır.

4.2 SERBEST UYARMALI DOĞRU AKIM MOTORU



Şekil4.1 Serbest uyarmalı doğru akım motorunun eşdeğer devresi

Motorda (+) ve (-) fırçalar arasında indüklenen e.m.k. ni; n hız, Φ akı ve k_e gerilim katsayıları cinsinden ifade edersek,

$$e_q = k_e \cdot \Phi \cdot n \quad (4.1)$$

olacaktır. Burada akı ifadesi;

$$\Phi = A \cdot f(i_f) \quad (4.2)$$

dir. Armatür gerilim denklemi ;

$$V_q = R_q \cdot I_q + L_q \cdot d I_q / dt + e_q \quad (4.3)$$

Alan gerilim denklemi;

$$V_f = R_f \cdot I_f + L_f \cdot d I_f / dt \quad (4.4)$$

olacaktır. (4.3) ve (4.4) numaralı denklemlerde kullanılan, R_q armatür devresi direnci, L_f armatür devresi endüktansı, R_f uyarma devresi direnci ve L_f uyarma devresi endüktansıdır. Endüvi çevresinde indüklenen döndürme momenti ise;

$$M_e = k_m \cdot \Phi \cdot i_q \quad (4.5)$$

dir. Makine milindeki açısal hız ,

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 \quad (4.6)$$

elektriksel güç ;

$$P_e = e_q \cdot i_q = k_e \cdot \Phi \cdot i_q \cdot \omega \quad (4.7)$$

ve mekanik güç ;

$$P_m = \omega \cdot M_e = k_m \cdot \Phi \cdot i_q \cdot \omega \quad (4.8)$$

olacaktır. Kararlı halde $k_m=k_e$ alınırsa ,

$$P_e = P_m \quad (4.9)$$

ifadesi elde edilir. (4.7) ve (4.8) denklemlerini (4.9) da yerine koyarsak ;

$$M_e \cdot \omega = e_q \cdot i_q \quad (4.10)$$

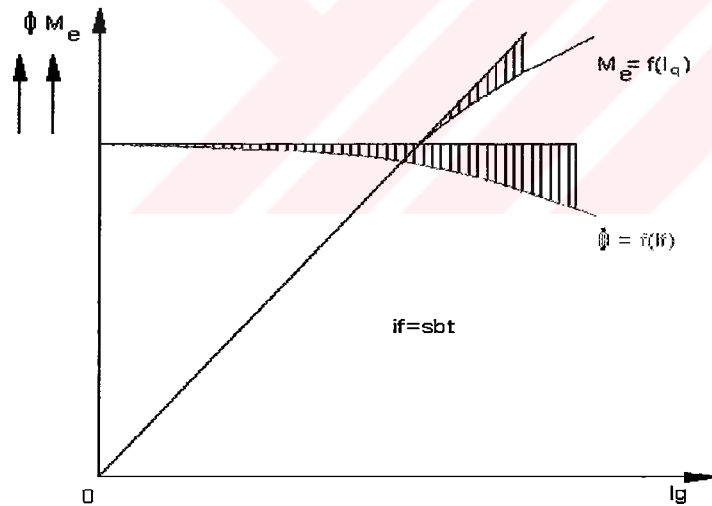
$$M_e = e_q \cdot i_q / \omega = 60 \cdot e_q \cdot i_q / 2 \cdot \pi \cdot n \quad (4.11)$$

Elektriksel moment bağıntısını elde etmiş oluruz. [17,18,20]

4.2.1 Armatür Akımı - Moment Karakteristiği

(4.2) ve (4.5) denklemlerini kullanarak ;

$$M_e = k_m \cdot i_q \cdot f(i_f) \quad (4.12)$$



Şekil 4.2 Serbest uyarmalı doğru akım motorunun $M_e = f(I_q)$ karakteristiği

Gerçektende moment, uyarma akımı i_f ve armatür akımı i_q 'nın fonksiyonudur. Uyarma akımı değişince, armatür akımı da değişecektir. İncelememizi kolaylaştırmak için uyarma akımı dolayısıyla akıyı sabit alalım. O halde M_e momentinin, armatür akımı i_q ile değişimini gösteren $M_e = \Phi(i_q)$ karakteristiği bir doğru olur. $M_e = f(I_q)$ karakteristiği endüvi reaksiyonu sebebiyle doğru gitmeyip sapma gösterir. (Şekil 4.2) [21]

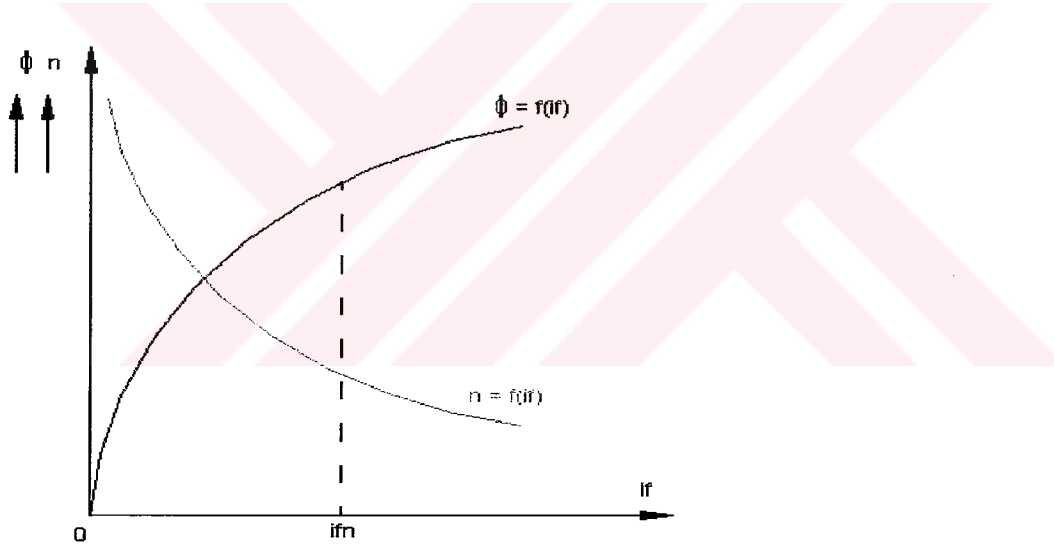
4.2.2 Dönme Hızı - Uyarma Akımı Karakteristiği

Kararlı halde çalışma için ($d/dt=0$), (4.3) ve (4.4) denklemleri göz önüne alınarak ve armatür akımı ve armatür gerilimini sabit tutarak, uyarma akımını değiştirerek, motorun hızını değiştirmek mümkündür. (4.1) denklemini (4.3) de yerine yazarsak;

$$V_q = R_q \cdot I_q + k_e \cdot n \cdot f(I_f) \quad (4.13)$$

(4.13) denkleminde armatür akımı ve gerilimi sabit kabul edildiğinden sadece iki değişken vardır, bunlardan birincisi n hızı, ikincisi Φ (I_f) uyarma akımı fonksiyonudur. Uyarma akımının çok küçük değerlerinde, n çok büyük değerlere sahiptir, böylesi büyük dönme hızı, motor için mekanik zorlanmalar açısından tehlikeli olabilir. (4.13) denklemi aşağıdaki gibi de yazılabilir;

$$n = (V_q - R_q \cdot I_q) / k_e \cdot \Phi \quad (4.14)$$



Şekil 4.3. Serbest uyarmalı doğru akım motoru için $n = f(I_f)$ karakteristiği

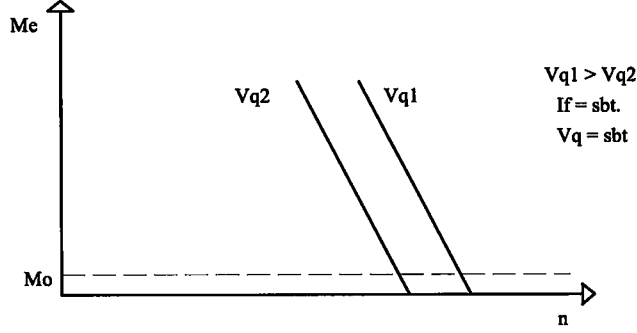
(4.14) bağıntısındaki Φ küçültülürse, henüz n değişmediğinden e_q küçülür ve dolayısıyla, V_q ile e_q arasındaki fark büyür, I_q akımı artar. (4.5) bağıntısından görüleceği üzere M_e artar, endüvi hızlanır ve n büyümeye başlar. [21]

4.2.3 Moment-Hız Karakteristiği

Bu karakteristiği elde edebilmek için armatür gerilimi V_q ve I_f uyarma akımı sabit tutulmalıdır. (4.5) bağıntısını (4.14) bağıntısında yerine koyarsak;

$$n = [V_q - R_q \cdot (M_e / k_m \cdot \Phi)] / k_e \cdot \Phi \quad (4.15)$$

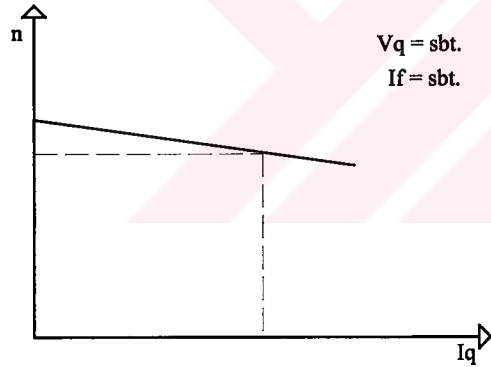
olacaktır. Bu durumda karakteristik Şekil 4.4 teki gibi olacaktır.



Şekil 4.4 $M_e = f(n)$ karakteristiği

4.2.4 Doğru Akım Motorunda Moment - Güç İlişkisi

Bir doğru akım motoru sürücüsüyle değişik yük karakteristiklerini elde etmek mümkündür. Bunlardan bazıları sabit moment yükleri, değişken moment yükleri,

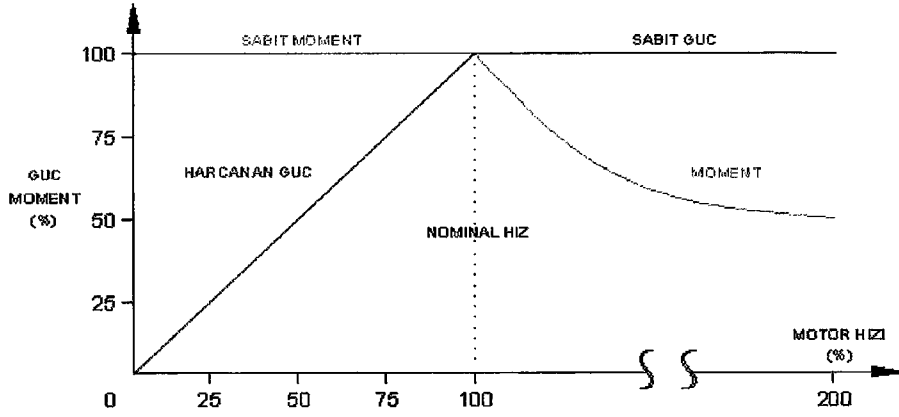


Şekil 4.5 $n = f(I_q)$ karakteristiği

sabit güç yükleri veya hem sabit moment hem de sabit güç kombinasyonudur. Hız, armatür gerilimi sıfır ile nominal değeri arasında kontrol edilerek çok hassas bir şekilde değiştirilebilir. Bir doğru akım motoru sabit moment sağlamak için de kullanılabilir, bu durumda güç sıfırdan başlayarak nominal değerine kadar arttırılabilir, nominal değerine ise, nominal hızda ulaşılabilir. [21]

Motor alanı zayıflatılarak, hız nominal hızın 3 ile 5 katı kadar artırılabilir. İşte bu hız aralığında, doğru akım motoru sabit güç karakteristiğine sahip olmasına karşın,

moment hızla ters orantılı olarak azalır. Birçok endüstriyel uygulamada sabit güç ve sabit moment karakteristiklerinin kombinasyonuna ihtiyaç duyulur. Şekil 4.6 dan da görüldüğü üzere, doğru akım motoru hız aralıklarına bağlı olarak sabit moment ve sabit güç kombinasyonuna izin verir.

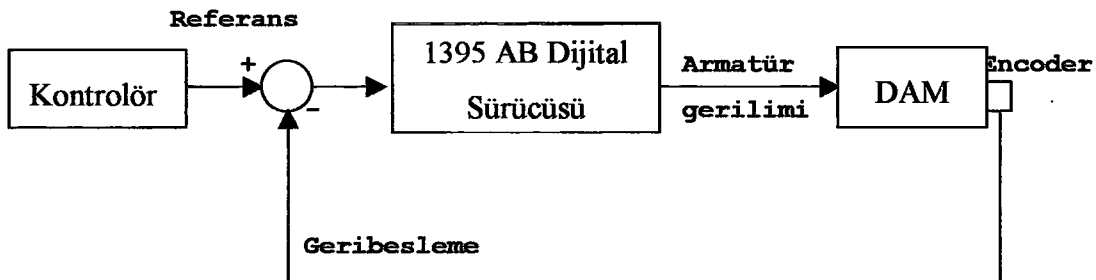


Şekil 4.6 Doğru akım motorunda moment - güç ilişkisi

4.3 DOĞRU AKIM MOTORUNUN KONTROLÜNDE TEMEL İLKELER

Değişken hızlı bir doğru akım sürücüsü doğru akım motorunun hızını, momentini, gücünü ve dönüş yönünü kontrol eder. Şekil 4.7 deki kontrolör, sistemi çalıştırır, durdurur, yönünü değiştirir, hızını değiştirir vs. Bu tür uygulamalarda sanayide çoğunlukla programlanabilir lojik kontrolörler kullanılır.

Doğru akım sürücüsü ise girişine uygulanan sabit alternatif gerilimi değişken doğru gerilime çevirip, doğru akım motoruna uygular. Doğru akım motoru ise, sürücüden kendisine gelen ayarlanabilir doğru gerilimi, dönme mekanik enerjisine çevirir. Motor milinin dönüş hızı ve dönme yönü, motora uygulanan ayarlanabilir gerilimin genliği ve polaritesi ile doğru orantılıdır.



Şekil 4.7 Doğru akım motorunun kontrolüne ilişkin temel blok diyagram

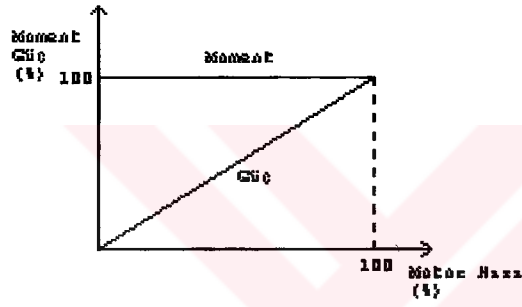
4.4 DOĞRU AKIM SÜRÜCÜSÜNÜN UYGULAMA TİPLERİ

4.4.1 Sabit Moment Uygulamaları;

Armatür gerilimini kontrol eden doğru akım sürücülerinde sabit momentli sürücülerdir. Uyarma akımı sabit tutularak, sürücü tarafından kontrol edilen doğru akım motoru için;

$$P_m = M_c \cdot n \quad (4.16)$$

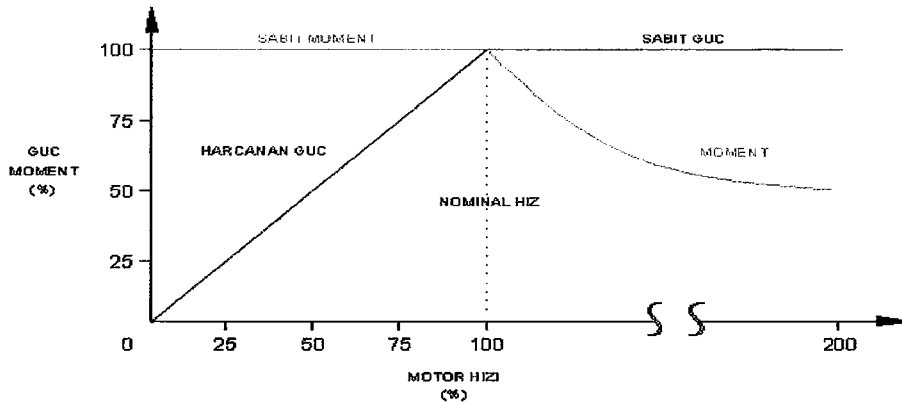
Şekil 4.2 den de görüleceği üzere, % 50 lik bir hıza ulaşabilmek için, % 50 civarında bir güç gerekirken, moment sabit kalmaktadır.



Şekil 4.8 Sabit moment uygulaması ile ilgili karakteristik

4.4.2 Sabit Güç Uygulamaları;

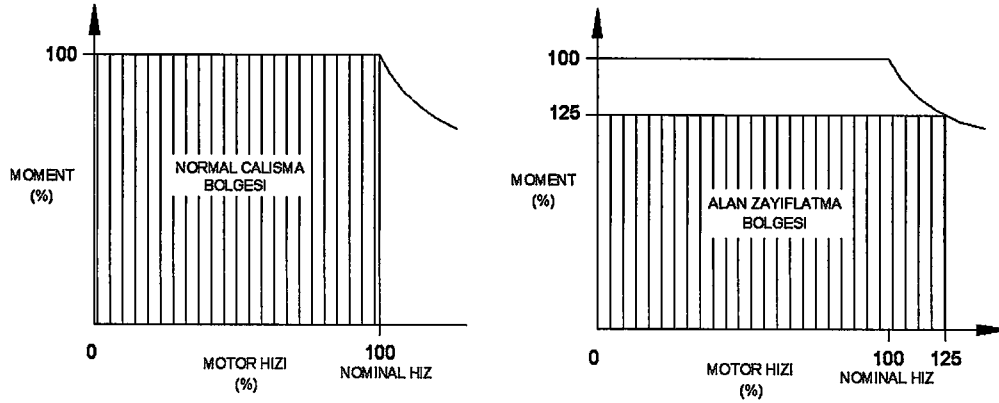
Hem armatür, hem de uyarma kontrolünün yapıldığı doğru akım sürücü uygulamalarıdır. Bazı uygulamalar nominal hızın üzerinde ve sabit güçte çalışma gerektirir.



Şekil 4.9 Sabit güç uygulamaları ile ilgili karakteristik

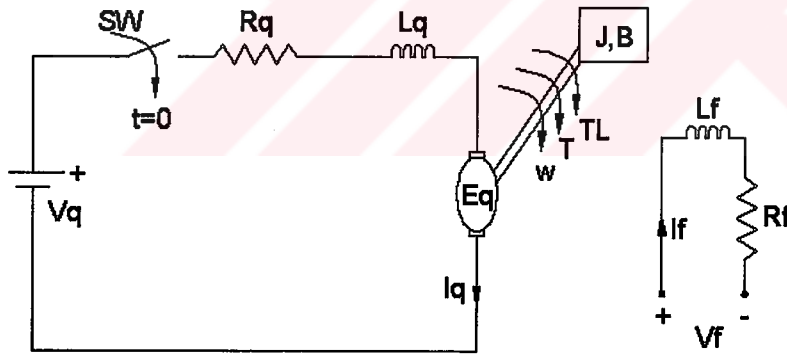
4.4.3 Değişken Moment Uygulamaları;

Armatür akımı motor yükünün bir fonksiyonudur. Motor yükü arttığında, armatür akımının da artacağı doğaldır. Motor akımını nominal değerinde tutabilmek için, nominal hızın üzerine çıkılıp, motor yükü azaltılmalıdır. Bu durumun bir sonucu olarak çıkış momenti azalacaktır.



Şekil 4.10 Değişken moment uygulamaları ile ilgili karakteristikler

4.5 GENEL SÜRÜCÜ KARAKTERİSTİKLERİ



Şekil 4.11 Doğru akım motoruyla ilgili eşdeğer devre

İlk önce, temel eşitlikleri tekrar göz önüne alalım;

$$V_f = R_f \cdot i_f + L_f \cdot (di_f / dt) \quad (4.17)$$

$$V_q = R_q \cdot i_q + L_q \cdot (di_q / dt) + e_q \quad (4.18)$$

$$e_q = K_e \cdot w \cdot i_f \quad (4.19)$$

$$M_e = K_m \cdot i_f \cdot i_q \quad (4.20)$$

$$M_e = J \cdot (dw/dt) + B \cdot w + M_L \quad (4.21)$$

Kararlı halde 4.18 denkleminde 4.17 ve 4.19 denklemlerini koyup w' yı çekersek;

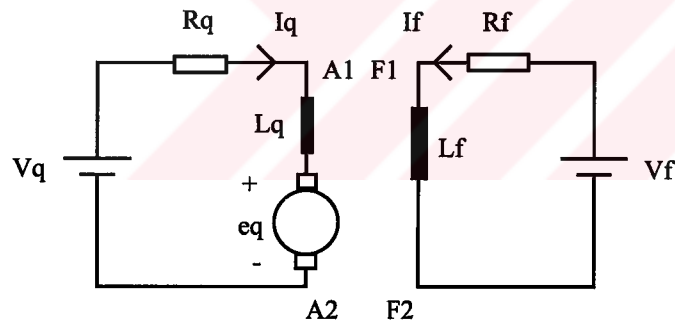
$$w = (V_q - R_q \cdot I_q) / K_e \cdot I_f = (V_q - R_q \cdot I_q) / K_e \cdot (V_f / R_f) \quad (4.22)$$

olacaktır. 4.22 denklemi de göstermektedir ki, motor hızı üç yolla kontrol edilebilir.

- V_q gerilimi kontrol edilerek
- I_f akımı kontrol edilerek
- I_q kontrol edilip, I_f sabit tutularak.

4.6 ÇALIŞMA MODLARI

- Motor çalışma

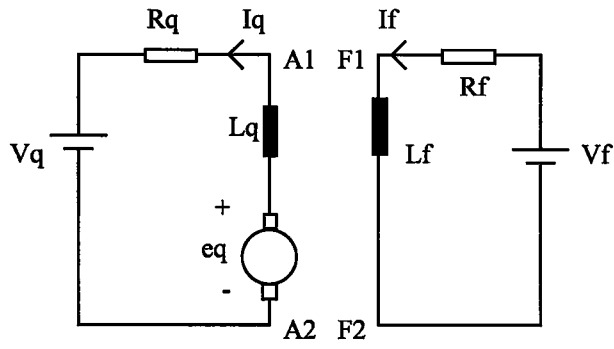


Şekil 4.12. Motor çalışmayla ilgili eşdeğer devre

Bu çalışma tarzında, e_q , V_q den daha küçüktür. Hem armatür, hem de uyarma akımları pozitifdir. Motor yüke bağımlı olarak moment üretir.

- Jeneratör çalışma

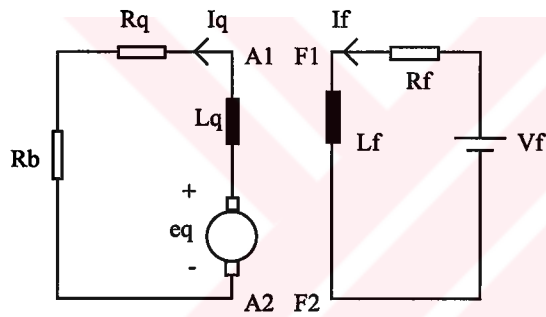
Motor jeneratör gibi davranır. e_q , V_q den daha büyüktür. Armatür akımı negatif ve uyarma akımı pozitifdir. Motorun kinetik enerjisi kaynağa geri döner.



ŞEKİL 4.13 Jeneratör çalışma ile ilgili eşdeğer devre

- Dinamik frenleme

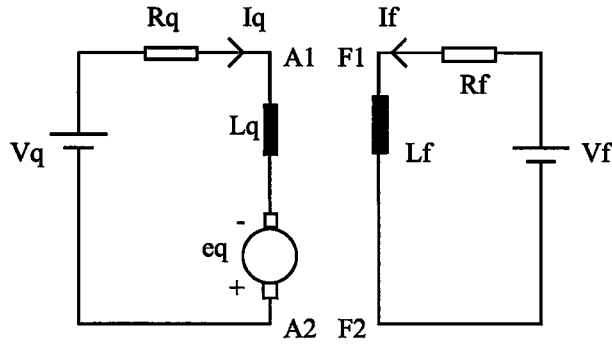
Şekil 4.8 den de anlaşılacağı gibi, dinamik fren çalışma ile jeneratör çalışma hemen hemen birbirinin aynıdır. Ancak bu çalışma tarzında V_q yerine R_b direnci kullanılmıştır. Motorun kinetik enerjisi R_b direnci üzerinde harcanır.



ŞEKİL 4.14. Dinamik frenleme ile ilgili eş değer devre

- Tıkama fren çalışma

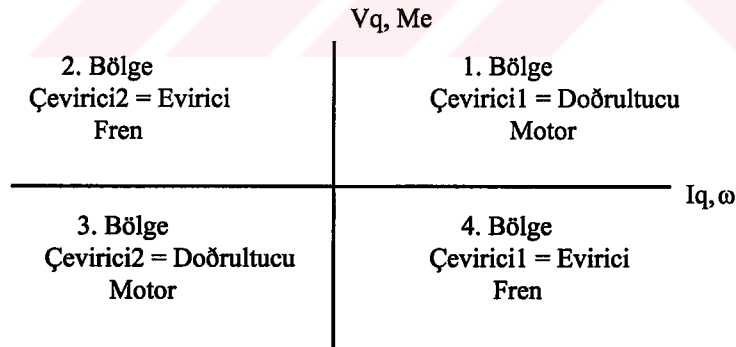
Motor dönüyorken, motor terminal gerilimi ters döner. Uygulanan gerilim ve e_q aynı yöndedir. Armatür akımı ters döner, bu nedenle bir frenleme momenti oluşur. Uyarma akımı pozitifdir.



Şekil 4.15. Tıkama fren çalışma ile ilgili eşdeğer çalışma

4.7 DÖRT BÖLGE ÇALIŞMA

Allen - Bradley doğru akım sürücülerinde ikili çevirici kullanılmıştır. Şimdi de ikili çeviriciler ile dört bölge kontrolü inceleyelim. 1.Bölgede V_q , e_q ve I_q pozitif olduğundan, moment ve hız da pozitifdir. 2. bölgede motor ileri doğru dönerken, e_q yine pozitifdir. Moment negatif olup, enerji akışı ters ve armatür akımı negatiftir ($V_q < e_q$). 3. bölgede V_q , e_q , I_q hepsi negatiftir. Moment ve hız da negatiftir. Moment negatif tutularak enerjinin kaynaktan motora akması sağlanır ($|V_q| > |e_q|$). 4. bölgede ise, V_q ve e_q negatif olup, pozitif moment için enerji motordan kaynağa doğru akar. Aynı zamanda armatür akımı pozitifdir ($|V_q| < |e_q|$).



Şekil 4.16 Tıkama fren çalışma ile ilgili eşdeğer çalışma

Hız geri besleme seçimi;

Sürücü, üç muhtemel geri besleme tipinden birinin seçilip, kullanılacağı biçimde dizayn edilmiştir. Hız kontrolünde hız referansı ile seçilen geri besleme cihazından gelen gerçek hız değeri karşılaştırılıp, hız hatası işareti elde edilir.

Moment referansı seçimi;

1395 doğru akım sürücüsü bir hız regülatörü olarak kullanıldığı gibi, bir moment regülatörü gibi de kullanılabilir. Bunlara ek olarak hem hız hem de moment regülatörü olarak kullanılabilir. Bu durumda, sürücü hem hız referansını ve hem de moment referansını aynı anda alır.

Armatür akımı kontrolünde;

Armatür akımı referansı ile armatür akımı geri beslemesi karşılaştırılıp, ilgili hata işareti elde edilir. Armatür akımı kontrol bloğunda, armatür senkronizasyon ve ateşleme lojiği kontrol bloğuna gönderilmek üzere bir gerilim referans işareti üretilir. Ayrıca, armatür akımı kontrolüyle, üç faz alternatif gerilim ve armatür gerilimi geri beslemesi de izlenmiş olur. Armatür senkronizasyonu ve ateşleme lojiği bloğuna gelen gerilim referansı, burada bir faz açısı referansına ve sonunda da bir zaman referansına çevrilir. Bu sinyal armatür köprüsündeki tristörlerin kapı ateşleme darbelerini oluşturmak için giriş üç fazlı hattı senkronize eder. Ayrıca, bu lojik bilgi, uyarma senkronizasyon ve ateşleme lojiği için senkronizasyon bilgisi üretir.

Uyarma akısı kontrolü;

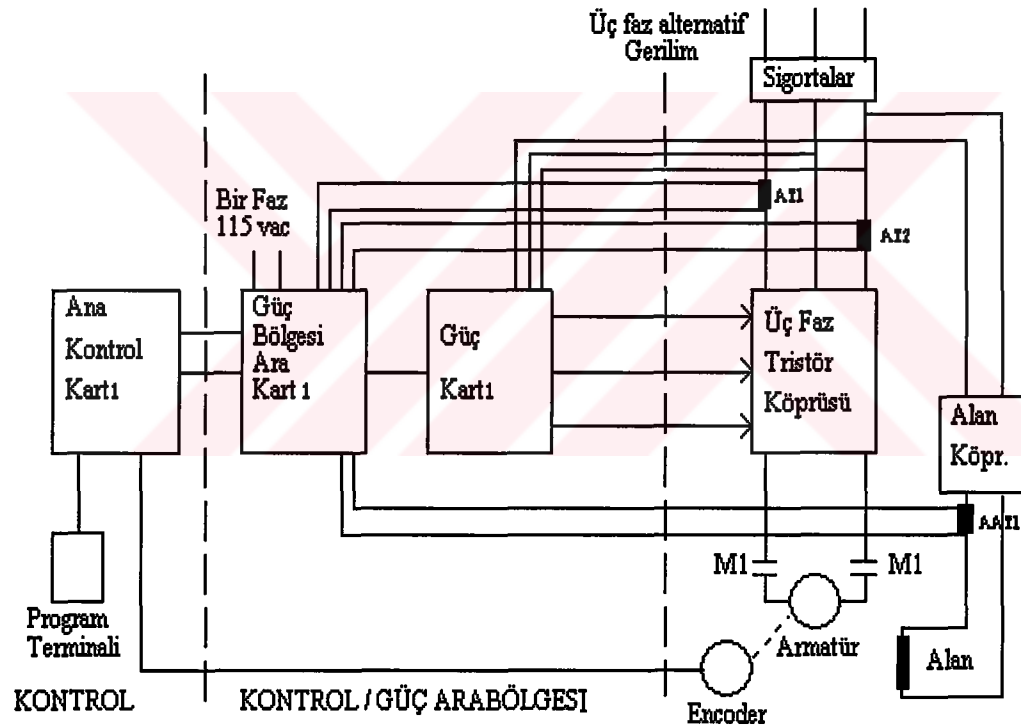
Bir uyarma akımı referansı üretebilmek için hız kontrolünden gelen uyarma akısı referansını kullanır. Bu referans, uyarma akımı geri beslemesi ile karşılaştırılıp, elde edilen hata işareti uyarma senkronizasyonu ve ateşleme lojiği bloğuna gönderilmek üzere bir uyarma faz açısı değeri üretir. Uyarma senkronizasyonu ve ateşleme lojiği bloğunda, faz açısı referansı bir zaman referansına çevrilir ve ayrıca armatür senkronizasyonu ve ateşleme lojiği bloğundan gelen hat senkronizasyon sinyali ile birlikte uyarma devresindeki tristörlerin kapı ateşleme darbelerini üretir.

Sac kesme sisteminde bir adet 1395 AB 460 VAC B serisi dijital DC sürücü kullanılmıştır. Bu sürücünün iç yapısını incelersek;

5.2 AB 1395 1- 30 HP 230 VAC / 2 - 60 HP 460 VAC B SERİSİ SÜRÜCÜLER

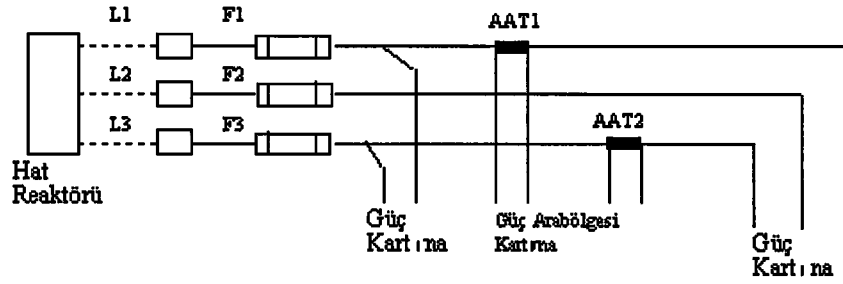
5.2.1 Armatür Köprüsü Elemanları

Şekil 5.3 den de görüleceği üzere, armatür devresinin girişinde kullanılan hat reaktörü, güç köprüsünü ani akım değişimlerinden korumak amacıyla kullanılmıştır. Hat reaktörü yerine izolasyon transformatörü de kullanılabilir. Devredeki F1, F2, F3, sigortaları hızlı tepki veren yarı iletken sigortalardır ve her biri sürücü girişinde mevcuttur. AAT1 (Armatür akım transformatörü 1) ve AAT2 (Armatür akım transformatörü 2) akım geri beslemesi bilgisinin belirlenip, güç bölgesi ara elemanı kartına gönderilmesi için kullanılır. Bu bilgi bu kartta bir doğru gerilim bilgisine dönüştürülüp, ana kontrol kartına gönderilir.

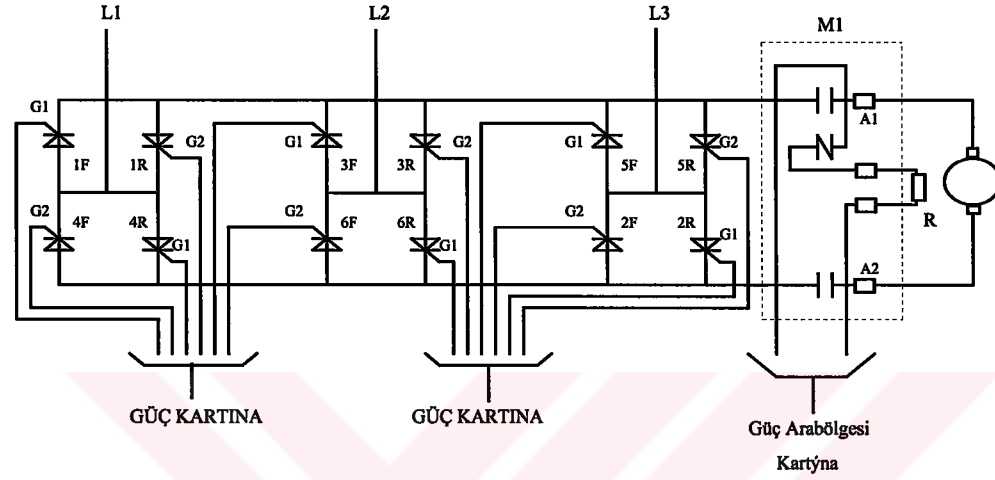


Şekil 5.2 2-60 HP 460 VAC B serisi sürücünün güç kartının genel görünümü

Armatür köprüsü çıkış elemanlarını gösteren Şekil 5.4 de görülen darbe transformatörleri ile kapı ateşleme darbeleri elde edilir. Yine aynı şekildeki M1 ise doğru akım kontaktörüdür.[17]



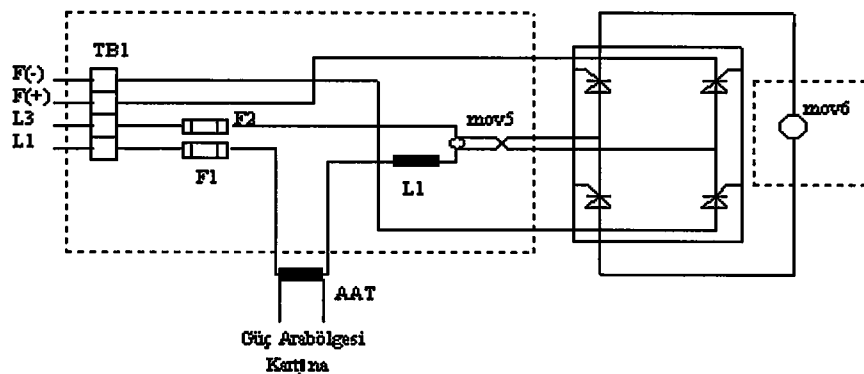
Şekil 5.3 Giriş elemanları



Şekil 5.4 Armatür köprüsü elemanları

5.2.2 Uyarma Köprüsü Elemanları

Uyarma devresinde tek fazlı tam dalga doğrultucu kullanılır. Uyarma akımı transformatörü, uyarma akımı geri besleme bilgisini belirler ve bunu güç bölgesi ara elemanı kartına gönderir. Güç bölgesi ara elemanı kartında bu bilgi, bir doğru gerilim değerine çevrilir ve ana kontrol kartına gönderilir.

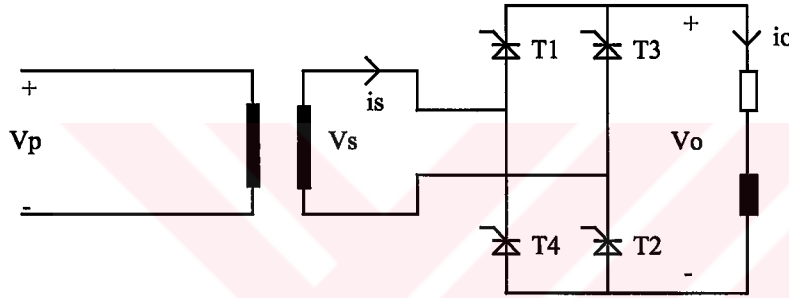


Şekil 5.5 Uyarma köprüsü elemanları

Dikkat edilirse, Şekil 5.5 deki devrede bir L1 endüktansı kullanılmıştır, bu endüktans uyarma güç köprüsü elemanlarını ani akım değişimlerinden (di/dt) korur. Uyarma köprüsündeki tristörlerin tetikleşmesi ise güç kartında bulunan kapı tetikleme darbelerini üreten uyarma darbe transformatörleri ile sağlanır.

5.2.3 Bir Fazlı Tam Dalga Doğrultucu

Bir fazlı tam dalga doğrultucu uyarma devresinde kullanılır (Şekil 5.6). Burada gerilimin pozitif yarım dalgasında T1 ve T2 iletim, T3 ve T4 tıkama konumundadır. Gerilimin pozitif yarım dalgası yük uçlarına gelir. Beslemenin negatif yarım dalgasında ise bu kez T3 ve T4 tristörleri tetiklenir ve yük uçlarına bu negatif yarım dalganın tersi yine pozitif olarak gelir.



Şekil 5.6 Bir fazlı tam dalga doğrultucu devresi

α dan π ye kadar giriş gerilimi V_s ve giriş akımı I_s pozitifdir ve güç kaynaktan yüke doğru akar. Bu çalışma şekline doğrultucu modda çalışma denir. π , $\pi+\alpha$ periyodunda ise V_s negatif, I_s ise pozitif olup, güç tersine akış göstererek, yükten kaynağa doğru yönelir. Bu çalışma tarzına, evirici modda çalışma ismi verilir. Ortalama çıkış gerilimi;

$$V_{dc} = (2 / 2. \pi). \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} V_m \sin \omega t. d(\omega t) \quad (5.1)$$

$$V_{dc} = (2. V_m / 2. \pi). [-\cos \omega t]_{\pi}^{\pi+\alpha} \quad (5.2)$$

$$V_{dc} = (2. V_m / \pi). \cos \alpha \quad (5.3)$$

V_{dc} , $(2.V_m / \pi)$ den $(-2.V_m / \pi)$ ye kadar değişir, bu esnada α da sıfırdan π ye kadar

değişir. Maksimum ortalama gerilim;

$$V_{dm} = 2 \cdot V_m / \pi \quad (5.4)$$

Normalleştirilmiş ortalama çıkış gerilimi;

$$V_{dn} = V_{dc} / V_{dm} = \cos \alpha \quad (5.5)$$

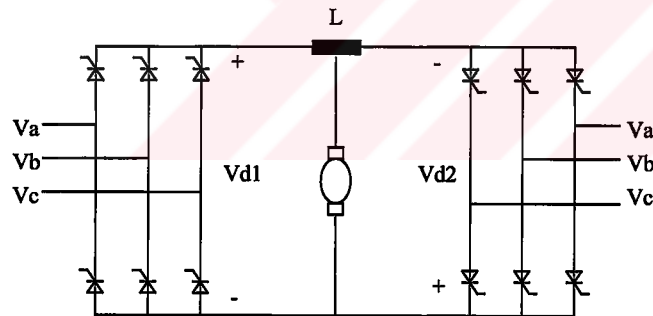
Çıkış geriliminin efektif değeri ise;

$$V_{eff} = \left\{ (2/2 \cdot \pi) \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} V_m \cdot \sin wt \cdot d(wt) \right\}^2 \quad (5.6)$$

$$V_{eff} = V_m / 2 = V_s \quad (5.7)$$

olarak bulunacaklardır. [22]

5.2.4 Armatür Devresinde Kullanılan İkili Çeviriciler



Şekil 5.7 İkili tip çevirici devresi

Bir tam dalga çeviricinin terminal doğru akımı tek yönlüdür, ancak terminal doğru gerilimi ters çevrilebilir. Dolayısıyla iki bölge kontrolü sağlanır. Eğer iki çeviriciyi arka arkaya bağlarsak, doğru gerilim terminalindeki hem gerilim hem de akım ters çevrilebilir ve böylece dört bölgede kontrol sağlanır. İşte bu tip çeviricilere ikili tip çevirici adı verilir (Şekil 5.7).

5.2.4.1 İdeal İkili Çevirici

Çeviricilerin ideal olduğunu varsayıp, her iki çeviricinin ürettiği çıkış doğru geriliminin oldukça düzgün olduğunu yani alternatif gerilim dalgalanması içermediğini varsayalım.

$$V_q(\alpha) = V_d(\alpha) = (3/\pi) \cdot \int_{\alpha+\frac{\pi}{6}}^{\alpha+\frac{\pi}{6}+\frac{\pi}{3}} (V_a - V_b) \cdot d(\omega t) \quad (5.8)$$

$$V_q(\alpha) = (3 \cdot \sqrt{6} \cdot V / \pi) \cdot \cos \alpha \quad (5.9)$$

Eşitlik (5.9) dan da görüldüğü üzere doğru gerilimin genliği çeviricilerin ateşleme açısının kosinüsüne bağlıdır.

Şekil 5.8 deki gibi bir yerleşimi ele alalım, bu devrede kullanılan seri diyodların amacı, çeviricilerden tek yönde akımın akmasıdır.

Her iki çeviricinin ateşleme açıları bir kontrol gerilimi olan V_c tarafından ayarlanır, böylece onların doğru gerilimleri yaklaşık olarak birbirine eşit olup, aynı polariteye sahip olur. Her iki çevirici aynı terminal gerilimini ürettiğinden, biri doğrultucu olarak çalışırken diğeri evirici olarak çalışır. Eşitlik (5.9) u dikkate alarak;

$$V_{d1} = V_{dmax} \cdot \cos \alpha_1 \quad (5.10)$$

$$V_{d2} = V_{dmax} \cdot \cos \alpha_2 \quad (5.11)$$

İdeal çevirici varsayarak;

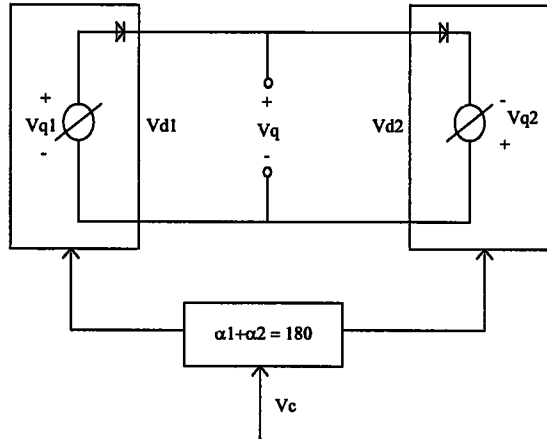
$$V_d = V_{d1} = V_{d2} \quad (5.12)$$

$$V_{dmax} \cdot \cos \alpha_1 = -V_{dmax} \cdot \cos \alpha_2 \quad (5.13)$$

$$\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2 = 0 \quad (5.14)$$

(5.15)

Kontrol sinyali V_c değiştirilerek, (5.15) eşitliğine bağlı kalmak suretiyle α_1 ve α_2 değişecektir.



Şekil 5.8 İdeal ikili çeviricinin eşdeğer devresi

5.2.4.2 İdeal Olmayan İkili Çevirici

Eğer $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$ olacak şekilde ateşleme darbeleri kontrol edildiğinde ve her iki çevirici aynı anda çalıştığında, çeviriciler aynı ortalama terminal gerilimini üretecek ve bu gerilimde ortalama terminal doğru gerilimine eşit olacaktır. Bir çevirici doğrultucu modunda çalışırken, diğeri evirici modunda çalışacaktır. Ancak pratikte ikili çevirici ideal değildir, her bir çevirici bir dalgalanma gerilimi üretecektir. Bu dalgalanma gerilimleri çoğunlukla faz dışıdır. Bu nedenle iki çevirici bağlandığında, iki çeviricinin de terminallerinde oluşan gerilim farkı, yükten geçmeyen, ama iki çevirici arasında anormal bir akıma neden olur. Bahsi geçen bu akıma sirkülasyon akımı denir ve mutlaka kontrol edilmelidir. Bunun için de iki yöntem vardır;

1.Sirkülasyon akımsız çalışma: Sirkülasyon akımına, ateşleme darbelerinin otomatik kontrolüyle, tamamıyla engel olunabilir. Sadece bir çevirici çalışıp, yük akımını taşıırken, diğeri geçici bir süre bloke olur.

2.Sirkülasyon akımlı çalışma: Sirkülasyon akımını sınırlayabilmek için iki çeviricinin doğru gerilim terminalleri arasına bir reaktör konur.

5.2.5 Ateşleme Kontrol Mantığı

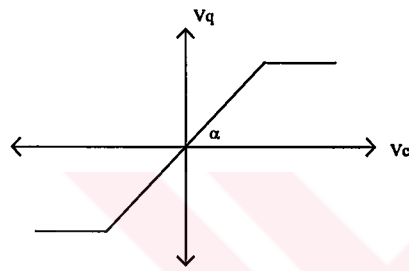
$$V_q = K \cdot \cos\mu \quad (5.16)$$

$$V_q = -K \cdot \cos\mu \quad (5.17)$$

böylece;

$$V_c = K \cdot \cos\alpha_1 \quad (5.18)$$

$$V_c = -K \cdot \cos\alpha_2 \quad (5.19)$$



Şekil 5.9 Kosinüs ateşleme mantığında gerilim transfer karakteristiği

$$\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2 = 0 \text{ ve } \alpha_1 + \alpha_2 = 180 \quad (5.20)$$

Şekil 5.9 dan yararlanarak;

$$\tan\alpha = V_q / V_c = V_{dmax} / K \quad (5.21)$$

$$\cos\alpha_1 = V_c / K \text{ ve } \cos\alpha_2 = -V_c / K \quad (5.22)$$

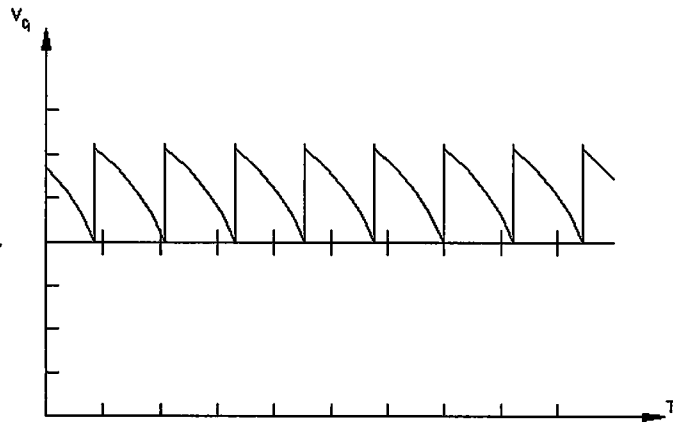
$$V_{d1} = V_{dmax} \cdot \cos\alpha_1 = V_{dmax} \cdot (V_c / K) \quad (5.23)$$

$$V_{d2} = V_{dmax} \cdot \cos\alpha_2 = -V_{dmax} \cdot (V_c / K) \quad (5.24)$$

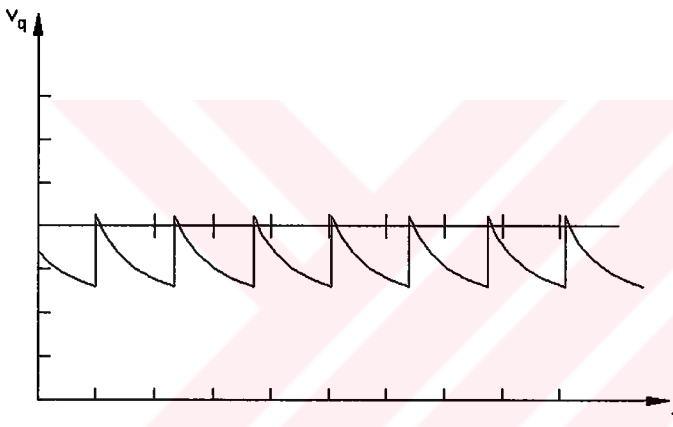
$$V_q = V_{d1} = -V_{d2} = (V_{dmax} / K) \cdot V_c \quad (5.25)$$

İkili çeviricinin terminal doğru gerilimi yukarıdan da görüleceği gibi, kontrol gerilimi V_c ile doğru orantılıdır.

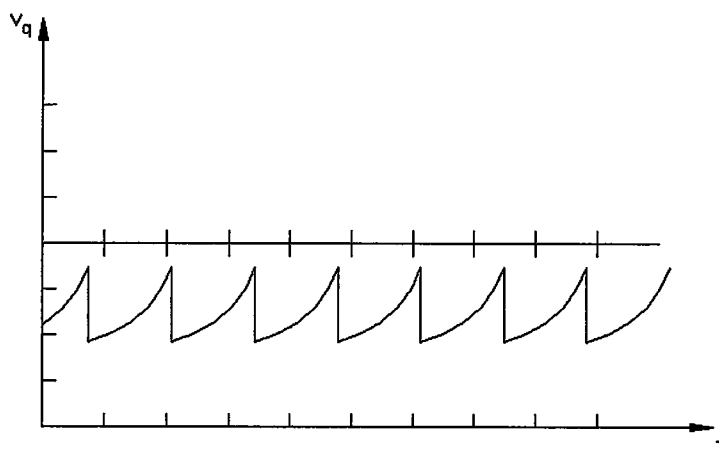
5.3 ALLEN - BRADLEY DOĞRU AKIM SÜRÜCÜSÜNÜN BAZI AKIM VE GERİM DALGA ŞEKİLLERİ [18]



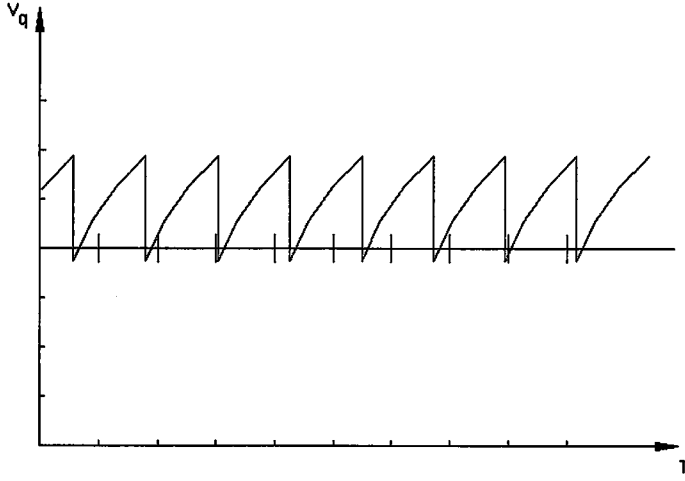
Şekil 5.10. Armatür gerilimi geri beslemesi (Motor ileri)



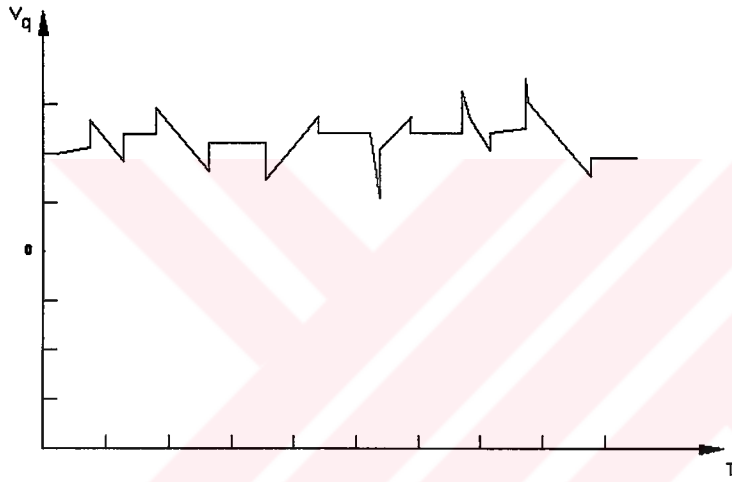
Şekil 5.11 Armatür gerilimi geri beslemesi (Enerji geri kazanımlı ileri)



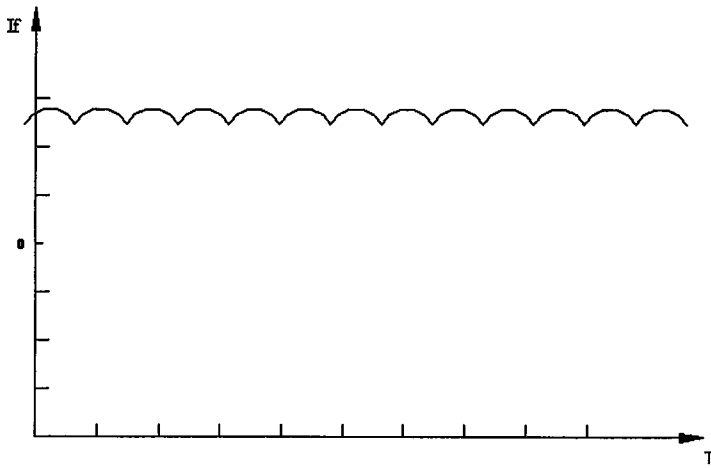
Şekil 5.12 Armatür gerilimi geri beslemesi (Motor ters)



Şekil 5.13 Armatür gerilim geri beslemesi (Enerji geri kazanımlı. ters)



Şekil 5.14 Armatür gerilimi geri beslemesi (Sabit hız ve yüksüz)



Şekil 5.15 Uyarma akımı geri beslemesi

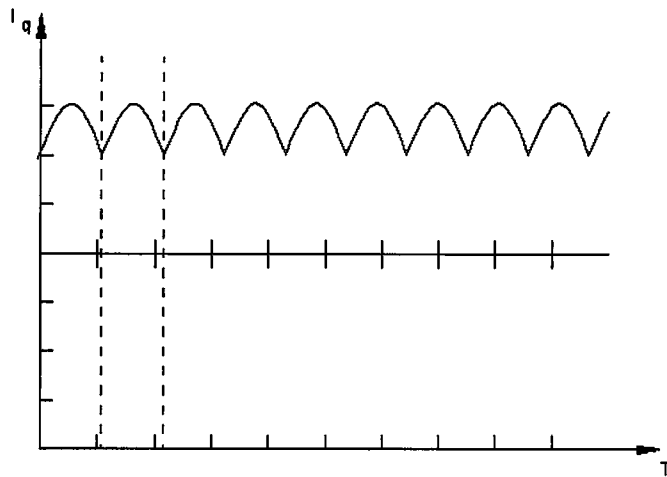
5.4 ALLEN BRADLEY DOĞRU AKIM SÜRÜCÜSÜNDE SİSTEM TESTLERİ VE PARAMETRE KESTİRİMİ [17,18]

Allen-Bradley doğru akım sürücüsünde akım devresi, hız devresi ve uyarma akısı devresi için sistem testleri ve parametre kestirimi yapılabilir. Şimdi bunları inceleyelim.

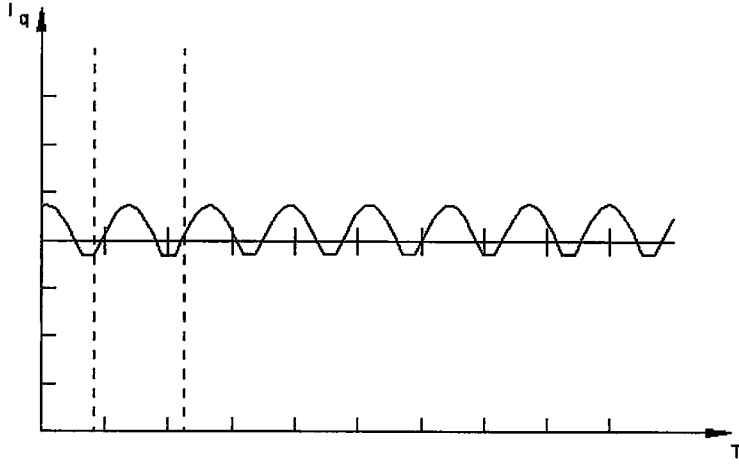
5.4.1 Armatür Akım Devresi Fonksiyonu

İki ayrı fonksiyonu içermektedir. İlk fonksiyonda, sürücünün armatür köprüsünün kontrolü gerçekleştirilir. İkinci fonksiyonda ise, akım devresi kazançları ile ilgili parametre kestirimi gerçekleştirilir. Akım devresi fonksiyonunda aşağıdaki parametreler önemlidir.

- KP armatür devresi parametresi : Armatür akımı devresinde, PI düzenleyicisi için oransal kazançtır.
- KI armatür devresi parametresi : Armatür akımı devresinde, PI düzenleyicisi için entegral kazancıdır.
- K süreksizlik parametresi : Süreksiz ve sürekli armatür akımı tepe noktaları arasındaki akım geri besleme değerinin ortalamasıyla ilgili bir parametredir. Armatür akım devresini lineerleştirmek ve armatür akım devresi kazançlarını hesaplamak için kullanılır. (Şekil 5.16-17).



Şekil 5.16 Armatür akımı geri beslemesi (Sürekli akım)



Şekil 5.17 Armatür akımı geri beslemesi (Süreksiz akım)

- **İstenilen akım devresi band genişliği :** Bu parametre, kullanıcı ve akım devresinin dinamik davranışının belirlediği, gerekli armatür akım devresi band genişliğini belirler. İstenilen band genişliği, akım prosesörü tarafından hesaplanan maksimum ulaşılabilecek band genişliği değeri ile sınırlıdır. Band genişliği arttırılırsa, akım devresi cevabı daha hassaslaşır, ancak, armatür akımı daha çok gürültü içerir ve dalgalanma artar. Tipik olarak, band genişliği mümkün olan en büyük değere ayarlanır, böylece hız devresi performansı akım devresi ile sınırlanmamış olur.
- **Maksimum akım devresi band genişliği parametresi :** Bu parametre, akım prosesörü tarafından hesaplanan, maksimum ulaşılabilecek armatür akımı devresi band genişliğini belirler. Maksimum band genişliği akım devresi sönüm faktörü ve alternatif akım hat frekansının bir fonksiyonudur.
- **Akım devresi sönüm faktörü :** Bu armatür akım devresinin dinamik davranışını belirler. Bu parametre, geçici hal esnasında, akım devresindeki dalgalanma miktarına etkir. Sönüm faktörü birin altına indirilirse, akım genellikle daha çok dalgalanma ve salınım gösterir. Sönüm faktörü birin üzerinde ise, armatür akımı daha az dalgalanma gösterir ve verilen akım devresi band genişliği için yükselme zamanı daha kısadır.

5.4.2 Armatür Akım Devresi Testi

Akım devresi test fonksiyonunu gerçekleştirebilmek için, doğru akım kontaktörü kapalı ve armatür akımı doğru akım motoruna iletilir. Bu test esnasında, uyarma akımının tamamı uygulanır ve motorda yavaşça bir dönme beklenir. Testte ilk olarak armatür devresindeki tristörler kısa devre testine tabi tutulur. Eğer, akım bir tristörden geçerse, tristörün kısa devre olduğu raporlanır. Bir sonraki aşamada ise, armatür köprüsüne açık devre testi uygulanır. Son olarak, ortalama süreksiz armatür akımı ölçülür ve K süreksizlik parametresi güncelleştirilir.

5.4.3 Armatür Akımı Devresi Parametre Kestirimi

Bu fonksiyon maksimum akım devresi band genişliği ve akım devresi kazançları ile ilgili parametrelerin değerlerini tespit eder. Armatür devresi KP ve KI kazançları, maksimum süreksiz akım , istenilen akım devresi band genişliği ve sönüm faktörüne bağlıdır. K süreksizlik parametresi bu kestirim fonksiyonunda, akım devresi kazançlarının hesaplanmasında kullanılır, K süreksizlik parametresi armatür endüktansı ile ters orantılıdır.

$$K \text{ Süreksizlik} = \text{Moment komutu} \times (I_N / \text{Armatür köprüsü akımı}) \times 1024 \quad (5.26)$$

Moment komutu : Moment ve hız referanslarının ulaştığı moment seçim bloğunun çıkışında, elde edilen bir değerdir.

$$KP \text{ Armatür devresi} = 74600 / K \text{ Süreksizlik} \quad (5.27)$$

$$KI \text{ Armatür devresi} = 137000 / K \text{ Süreksizlik} \quad (5.28)$$

Kazançları belirlemek için, gerçek akım devresi cevabına ve gerçek band genişliğine bakılmaz. Bu nedenle istenilen band genişliği kullanılır. Örneğin, maksimum performans bekleniyorsa, istenilen band genişliği maksimum band genişliğine eşitlenir.

Akım işlemcisi, sürücü tarafından maksimum band genişliğinin hesaplanması için istenilen band genişliğini sınırlar. Akım devresi kazançları sönüm faktörü, istenilen

band genişliği, maksimum süreksiz armatür akımı ve alternatif akımı hat frekansına bağlı olarak hesaplanır. Band genişliği arttırıldıkça, akım devresi daha hassaslaşır. Ama, akım devresi band genişliğinin artması daha çok gürültüye ve dalgalanmaya neden olur. Bu durumu azaltmak amacıyla, band genişliği alabileceği maksimum değerin %90 ı civarında bir değere ayarlanır. Sönüm faktörü, geçici halde akım devresi darbe miktarına etkir. Sönüm faktörü birin aşağısına indirilirse, akım daha çok darbeleri olur. Sönüm faktörü birin üzerinde ise, armatür akımı darbeleri azalır.

5.4.4 Hız Devresi Fonksiyonu

Hız devresi fonksiyonu sürücünün yüksüz halde ve yüklü halde motorun kalibrasyonunu yapmamızı sağlar. Hız devresi fonksiyonu aşağıdaki parametrelere etkir,

- Motor atalet parametresi : Bu parametre yüksüz halde motorun sıfır hızdan, nominal armatür ve uyarma akımlarında nominal hıza ulaşacağı saniye cinsinden zamanı belirler.
- KI hız devresi parametresi : Bu parametre hız regülatörünün entegral hata kazancını kontrol eder.
- KP hız devresi parametresi : Bu parametre hız regülatörünün oransal hata kazancını kontrol eder.
- Hız devresi istenilen band genişliği : Bu parametre, kullanıcı ve hız devresinin dinamik davranışının belirlediği, gerekli hız devresi band genişliğini belirler. İstenilen band genişliği, hız prosesörü tarafından hesaplanan maksimum ulaşılacak band genişliği değeri ile sınırlıdır. Band genişliği arttırılırsa, hız devresi cevabı daha hassaslaşır, ancak, bu halde hız daha çok gürültü içerir ve dalgalanma artar.
- Maksimum hız band genişliği parametresi : Bu parametre, hız prosesörü tarafından hesaplanan, maksimum ulaşılacak hız devresi band genişliğini belirler. Maksimum band genişliği hız devresi sönüm faktörü ve sistemin ataletinin bir fonksiyonudur.

- Sistem atalet parametresi : Bu parametre yüklü halde motorun sıfır hızdan, nominal armatür ve uyarma akımlarında nominal hıza ulaşacağı saniye cinsinden zamanı belirler.
- Hız devresi sönüm faktörü parametresi : Bu parametre, hız devresinin dinamik davranışını belirler. Sönüm faktörü, geçici hal esnasında, hız devresindeki dalgalanma miktarına etkir. Sönüm faktörü birin altına indirilirse, hız genellikle daha çok dalgalanma ve salınım gösterir. Sönüm faktörü birin üzerinde ise, hız devresi daha az dalgalanma gösterir ve verilen hız devresi band genişliği için yükselme zamanı daha kısadır.
- KF hız devresi parametresi : Bu parametre, hız regülatörünün ileri kazancını kontrol eder.

5.4.5 Hız Devresi Motor Testi

Motor testi, sürücü üzerinden motor belirli bir hızda sürülüyorken, motor ataletini hesaplar. Bu işlem tamamlanırken, moment ve hızlanma, yavaşlama zamanları kullanılır.

5.4.6 Hız Devresi Sistem Testi

Sistem testi, sürücü üzerinden motor yüklü halde, belirli bir hızda sürülüyorken, sistem ataletini hesaplar. Bu işlem tamamlanırken, moment ve hızlanma, yavaşlama zamanları kullanılır.

5.4.7 Hız Devresi Parametre Kestirimi

Bu fonksiyon motor ve sistem testlerinin neticesine göre hız devresi kazançlarını kalibre eder. Bu esnada yararlanılabilecek temel ifadeler,

$$(\text{Poz. ref.} - \text{Poz. grbsm}) \times KI + (\text{Hız ref.} - \text{Hız grbsm}) \times KP = \text{Hız Hat.} \quad (5.29)$$

Burada, pozisyon referansı ; hız referansının integrali alınmasıyla elde edilir, pozisyon geri beslemesi ; hız geri beslemesinin integrali alınarak elde edilir.

5.4.8 Uyarma Akısı Fonksiyonu

Bu fonksiyon uyarma akımı değerlerini hesaplar ve kalibre eder. Eğer armatür gerilimi geri beslemesi kullanılırsa, bu fonksiyonun bir işlevi kalmaz. Ayrıca bu fonksiyon motor hızına direkt etkimez.



6. SÜREÇTE KULLANILAN DİĞER KONTROL EKİPMANLARI

6.1 SİSTEMDE KULLANILAN SERVOMOTOR VE KONTROL SİSTEMİ

Güç elektroniği ve mikroişlemci teknolojisindeki gelişmeler servomotor sistemlerinde yeni sürücü sistemlerinin doğmasına sebep olmuştur. DC fırçalı motorlarda kullanılan fırça ve komütatör elemanlarının yerine elektronik anahtarlama elemanlarının kullanılması, bunların mikroişlemci & güç elektroniği elemanları kullanılarak anahtarlama ve bu yöntemle kontrol edilen akım ve voltaj değerinin motor sarımlarına verilmesi suretiyle fırçasız motor yapısı elde edilmiştir. Mikroişlemcilerdeki işlem hızlarının artması sonucunda mikroişlemci kontrollü güç elektroniği ve bunun bir bileşeni olan fırçasız servomotor sürücüleri kompleks yapıdaki kontrol algoritmaları ile rahatlıkla kontrol edilebilir hale gelmiştir.

Fırça ve komütatör elemanlarının olmaması sebebi ile fırçasız servomotorlar sürücü sistemlerinde daha fazla kullanılır hale gelmiştir. Sistem bir bütün açısından ele alındığında güç elektroniği, mikroişlemci teknolojisi, programlama tekniği, elektrik motorları ve kontrol teknolojisi gibi çok geniş bir alana yayılmaktadır. Uzak doğu literatüründe bu yeni oluşan çalışma alanı Mekatronik (Mechatronics) Mühendisliği, batı literatüründe ise Motion Control (Hareket Kontrol) mühendisliği olarak adlandırılmaktadır. Günümüz sistemlerinde büyük önem kazanan fırçasız servomotorlar bahsedilen bu çalışma alanlarının ortak ürünü olarak üretilmiştir.

Otomasyon dünyasında robotların ve sayısal kontrollü tezgahların yeri ve önemi kaçınılmazdır. Mikroişlemci ve güç elektroniği teknolojisindeki baş döndürücü gelişmeler sayısal kontrollü tezgahlar ve robot sistemlerin kontrol yapılarında yeni sürücü bileşenlerinin doğmasına sebep olmuştur. Mekanik sistemlerde sürücü elemanı olarak çok büyük bir önem arz eden motor ve bileşenleri yeni teknolojilerin adaptasyonu ile daha da fazla ilgi alanı doğurmuştur. [27,28]

6.1.1 Servomotor İle Hareket Kontrolü

Servomotor ve hareket kontrol teknolojileri mekanik ve elektroniğin ortak birleşeni olan Mekatronik biliminin temelini teşkil eder. Güç elektroniği ve mikroişlemci teknolojisindeki gelişmeler, gelişmiş mertebede servomotor ve hassas hareket kontrol teknolojisini imkan dahiline getirmiştir.

Günümüzün servo sistemleri hafif, kompakt, kolay entegre edilebilen, verimli, kontrol edilebilir ve bakım gerektirmeyen sistemler haline gelmiştir. İnsansız fabrikalarda kullanılan çok sayıdaki servomotor kontrol sistemlerinde servomotor bakımının kolay olması arzu edilir. Böyle uygulamalarda, komütasyon elemanı olarak fırça ve komütatörün bulunmayışı dolayısı ile fırçasız servomotorlar kayda değer performans artışı sağlamaktadır.

Servomotorlarda, motor armatürlerinden geçen alternatif akım sinüzoidal, kare, trapezoidal ve diğer dalga şekillerinden herhangi birisi olabilir. Doğru akım motorlarında alternatif akımı elde etmek için mekanik komütatör elemanları (fırçalar) kullanılır. Bunun yerine, güç elektroniği teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, günümüz servo sistemlerinde, alternatif akımın fırçalar yerine dış ortamdaki yarı iletken bir anahtarlama devresi ile verildiği yeni tip servo sistemler göze çarpmaktadır. Bu tip motor sistemleri fırçasız servomotorlar olarak adlandırılmaktadır. Fırçasız servomotorların; yüksek çalışma hızı değerleri ve daha fazla kapasite, zor ortam şartlarında motorun ve elemanların korunması, düşük bakım maliyeti gibi üstünlükleri vardır.

Bir servomotorun kontrol edilmesi için gerekli olan bileşenler;

- (1) Ana Motor,
- (2) Açıcı, açısal hız, akım, voltaj, manyetik akı, sıcaklık algılayıcıları,
- (3) Yarı iletken güç çeviricileridir.

Çoğu dijital servo sistemlerinde hız sinyalinin belirlenmesi amacıyla bir kodlayıcı (encoder) veya resolver kullanılabilir. Böylece kodlayıcı ve motor tek bir ana iskelet üzerinde toplanmakta ve sistem daha kompakt bir yapıda olmaktadır. [27]

6.1.2 Fırçasız Servomotorların Avantajları Ve Dezavantajları

Fırçasız servomotorun en açık üstünlüğü fırça elemanlarının olmamasıdır. Bu sebeple fırçaların bakımı diye bir şeyden bahsedilmez ve fırçalardan kaynaklanan çoğu problem elimine edilmiştir. Komütatörlü DC servomotorlarda oluşan problemler bazen çok açık bir şekilde belli olmaz. Bazen fırçalarda oluşan pislenme dahi problem teşkil edebilir. Fırçaların performansı ve ömrü atmosferik şartlarla bile değiştiğinden dolayı değişik ortam koşullarında değişik yapılı fırçalar kullanılabilmektedir.

Fırçasız konfigürasyonda sarımların sabit stator içine sarılması sebebi ile ısı yalıtımı için daha fazla en-kesit alanı sağlanabilmekte ve sargılarda oluşabilecek ısı artışı algılama elemanları vasıtasıyla kolayca algılanabilmektedir.

Fırçasız servomotorlarda verim eş ölçülerdeki bir doğru akım komütatör motora oranla daha yüksektir ve fırçaların sürtünme etkisi olmadığından dolayı sürtünme kuvveti verime katkıda bulunur. Komütatör ve fırça aksamının yokluğu motor boyunu düşürür. Bu sadece motor hacmini düşürmekle kalmaz rotor destek rulmanları arasındaki mesafe ve rotor boyunun kısalması dolayısı ile rotorun yanal rijitliği de artırılmış olmaktadır. Bu özellikle yüksek hız/eylemsizlik oranına gereksinim duyulan uygulamalarda önemlidir.

Fırçasız motorun yukarıda belirtilen üstünlüklerinin yanında dezavantajları olarak, rotor pozisyonunun bir kodlayıcı vasıtasıyla mutlak olarak algılanması ve motor kontrol devresinin kompleks olması gösterilebilir.

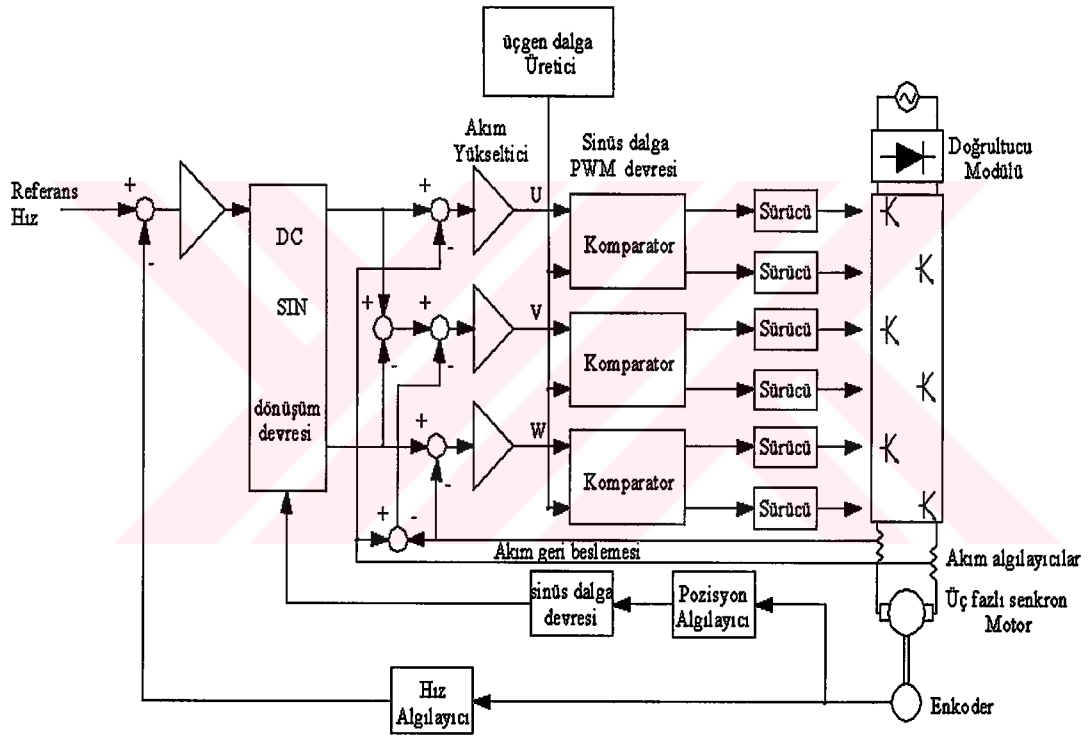
6.1.3 Fırçasız Servomotorların Çalışma Esasları

Fırçasız servomotorda DC motorda bulunan doğrultucu devreler yoktur. Bununla birlikte rotor pozisyonuna uygun olacak şekilde akım akışını sağlayan ve besleme kaynağını kontrol eden bir devre motor kontrol sisteminde bulunmaktadır. Moment dalgalanmaları DC motorda komütatör segmentlerini arttırarak, fırçasız motorda ise sarımların üç fazlı yapılması ve her bir faza ait akımın sinüs dalgaya dönüştürülmesi ile en aza indirilir.

Yukarıda bahsedilenlerden, stator sargılarından üç fazlı akım geçirmek suretiyle sürekli bir döner alan elde edebileceği sonucuna varılmaktadır. Eğer sinüs dalga fazı ve manyetik akı birbirleri ile daima 90° doğrultuda olacak şekilde düzenlenirse; fırça kullanmadan düzgün moment veren yüksek verimli bir motor elde edilebilir. Bu tür yapı fırçasız servomotorların ana yapısını teşkil eder.[27]

6.1.4 Fırçasız Servomotor Kontrol Devreleri

Fırçasız servomotorun kontrolü için kullanılan kontrol elemanı, rotor pozisyonuna göre değişen manyetik akı doğrultusu arasındaki ortogonal ilişkiyi sağlamalıdır.



Şekil 6.1 Fırçasız servomotorların kontrolüne ait blok diyagramı

Fırçasız servomotor kontrol devresi Şekil 6.1 de gösterilmektedir. DC motorda kontrol edilecek olan gerilim tek faz, fırçasız servomotorda ise üç fazdır. Ayrıca fırçasız servomotor, rotor pozisyonu algılama elemanı, sinüs dalga üretim devresi, DC-SIN dönüşüm devresi hız algılayıcı devrelerine gereksinim duyar. [27,28]

6.1.4.1 Rotor Pozisyonu Algılayıcısı

Daha önceki kısımlarda bahsedildiği gibi, manyetik akı ile stator sarımlarından geçen akımın doğrultuları arasında ortogonal ilişki temin edilebilmesi için rotor pozisyonunun hassas bir şekilde algılanması gerekir. Rotor pozisyonu algılayıcısı devresi, rotora monte edilen kodlayıcı sinyallerini algılayan ve bu dijital bilgileri kendisinden sonra gelen sinüs-dalga üretim devresi tarafından kullanılacak sinyaller şekline dönüştüren bir devredir. Eğer rotora monte edilen kodlayıcı 8 bitlik mutlak kodlayıcı ise rotorun bir tam dönüşünde 256 farklı kod, kodlayıcıdan rotor pozisyonu algılayıcısına gönderilir.

6.1.4.2 Hız Algılayıcısı

Genellikle DC servomotorda hız algılayıcı olarak takojeneratör (TG) kullanılır. Bununla birlikte takojeneratörlerde fırçalar vardır ve fırçaların bakımı problem yaratır. Fırçasız servomotorlarda pozisyon algılama elemanı olarak enkoderlar kullanılmaktadır. Servomotorlar geri-besleme sinyali olmaksızın kullanılamazlar. Pozisyon ölçümü için değişik tiplerde geri-besleme sinyalleri olmasına karşın, yapısının basit ve ucuz olması sebebi ile artımsal kodlayıcılar (incremental encoders) özel önem arz eder.

6.1.5 Mikroişlemci temelli fırçasız servomotor kontrolü

Günümüzde, pozisyonlandırma işlemi mikroişlemci ile yerine getirilmektedir. CPU' da (Merkezi İşlem Birimi) yapılan hesaplar sonucu elde edilen dijital hız komutu analog sinyale dönüştürüldükten sonra servo sürücü devresine gönderilir. Bu sebeple pozisyonlandırma kontrolü yapan bütün bir sistemde, CPU servo sürücünün kabul ettiği analog hız sinyallerini direkt olarak gönderir. Bu yöntem ile aşağıda belirtilen üstünlükler elde edilir.

1. Tüm girişler dijitale çevrildiğinden, pozisyonlandırma kontrolü çalışma sıcaklığında oluşabilecek sıcaklık değişimlerinden minimum mertebede etkilenir ve bu yüzden sistem son derece güvenilirdir.
2. Yükleme durumlarına göre parametrelerin otomatik olarak değiştirilmesi mümkündür.
3. Tüm sistemin bir CPU ile kontrolü sayesinde, maliyet ve birim ölçüleri düşer.

6.1.5.1 Rotor pozisyonu algılama ve sinüs dalga üretim devresi

Motora yol verildikten sonra sayıcı devreye Z faz sinyali gelir gelmez sayıcı devre sıfırlanır. Sonra gelen artımsal darbeler sayılır ve sayılan değerler sayıcı devreye kaydedilir. Kaydedilen bu değerler sinüs dalga tablosunun adresini teşkil eder.

6.1.5.2 Hız kontrol devresi

Motor hızı PID kontrol algoritmasının ayrık zamanlı modelinin tatbik edilmesi suretiyle kontrol edilir. Bu algoritma ile motora verilecek akım değeri:

$$I_{rn}=K_p (\Delta N_n-\Delta N_{n-1})-K_i (\Delta N_n)+K_d (\Delta N_{n-2} \Delta N_{n-1}+ \Delta N_{n-2})+I_r \quad (6.1)$$

ifadesi ile hesaplanır ve bu değer mikroişlemci ile D/D çevirici devresine gönderilir. Burada I_{rn} :Referans akım değeri, $\Delta N_n = N_r - N_f$, N_r : Referans hız değeri, N_f : Geri besleme hız değeri şeklinde belirtilir.

6.1.5.3 Akım Kontrol Devresi

Hız kontrol devresi ile elde edilen akım değeri doğru akım değeri olduğundan dolayı bu değer sinüs tablosundan alınan genlik değeri ile çarpılması gerekir. Sinüs dalga referans akımı bu şekilde elde edilir. Akım geri besleme sinyalleri analog formdadır; bu sebeple en az 8 bitlik bir ADC devresi ile bu değerlerin dijital forma dönüştürülmesi gerekir. Analog akım kontrol devresi PI kontrol yapısında olduğundan dolayı, hız kontrol devresindeki gibi, hesaplama algoritması hız algoritmasının benzeri şekilde oluşmuştur.

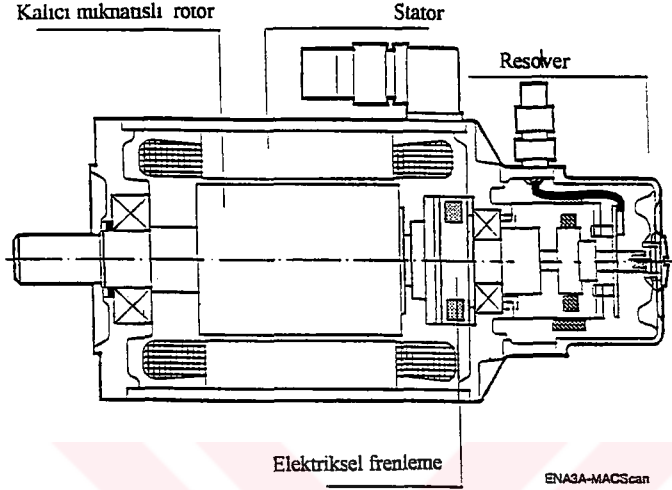
6.1.5.4 PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) Devresi

- 1.CPU 'ya bir sayıcı bağlanır ve CPU operasyon sonucu ile yüklenir.
- 2.Aynı esnada (yüklenme anında), dış bir flip-flop set edilir.
- 3.Verilen periyodun her bir darbesi ile sayıcı azalır,
- 4.Sayıcının sıfırlandığında, flip-flop sıfırlanır.

Yukarıda verilen operasyon sonucunda, flip-flopun çıkışı, operasyon sonucu ile orantılı olan bir darbe genişliğine sahiptir ki bu da PWM işleminin oluşturulması demektir.

6.1.6 Fırçasız Servomotorların Yapısı

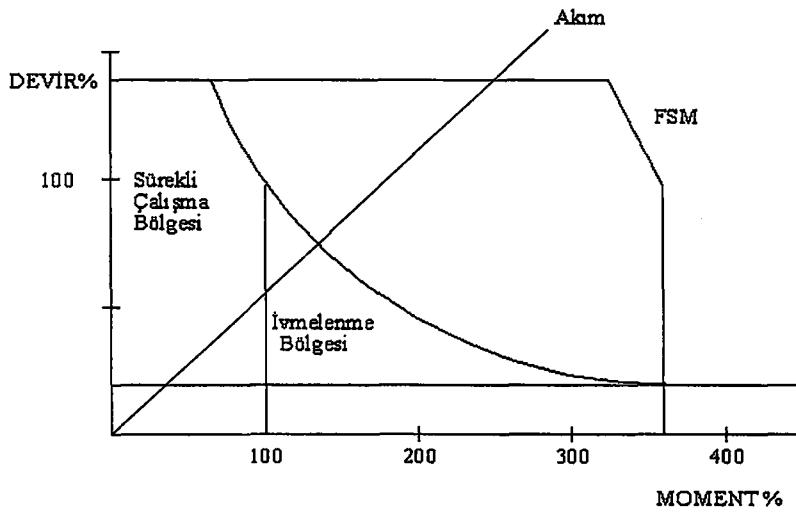
Fırçasız servomotorlar DC servomotorların bakım gereksinimlerinin ortadan kaldırılması amacı ile geliştirilmiştir. Fırçasız bir servomotorun yapısı Şekil 6.2 de gösterilmektedir. Bu motor yapısında manyetik akıyı üretmek için olan mıknatıs rotora monte edildiğinden dolayı döner-alan tipli motor yapısındadır. [27]



Şekil 6.2 Fırçasız Servomotor Yapısı

6.1.6.1 Yapıdan kaynaklanan motor karakteristikleri

Servomotorlar kullanımları gereği çok sık şekilde ivmeleşme ve yavaşlatma işlemlerine maruz kaldıklarından dolayı maksimum moment değeri anma momentlerinin katlarca fazlası olmalıdır. DC servomotorlarda anma momentlerinin



Şekil 6.3 Fırçasız Servomotor ve DC servomotor performans eğrileri

aşılması durumunda komütatör aksamında kıvılcımlaşma olayı gözükür. Aynı şekilde hız arttıkça moment değeri de çok hızlı bir şekilde düşer.

Fırçasız servomotorlarda ise yukarıda bahsedilen kıvılcımlaşma olayı yapı dolayısı ile görülmez. Fırçasız servomotorlar maksimum momenti düşürmeden yüksek hız limitlerinde çalıştırılabilir. Şekil 6.3de fırçasız servomotorlar ile DC servomotorların performans karakteristikleri kıyaslanmaktadır. Fırçasız servomotorlarda döner kısım sarımların olmaması sebebi ile ısı oluşmaz. Sabit kısım olarak bilinen stator sargılarında oluşan ısı ise kolay monte edilen ısı iletim devresi ile dışarı verilebilir. Bundan dolayı fırçasız servomotorlarda ısınma olayı DC servomotorlara oranla daha az problem teşkil eder. Aynı şekilde stator sargıları arasına yerleştirilen bir ısı algılama devresi ile (termik eleman) motorun aşırı ısınma sonucu hasar görmesinin önüne geçilebilir.

6.1.7 Fırçasız Servomotor Bileşenleri

Standart bir servomotor stator, rotor, pozisyon ve hız algılayıcı, rulmanlar ve kaplin bileşenlerinden ibarettir. Şimdi bu bileşenleri inceleyelim.

6.1.7.1 Rotor

Kalıcı mıknatısların monte edildiği motorun döner kısmıdır. Mıknatıslar rotora monte edildiğinden dolayı döner-alan tipli bir yapı mevcuttur. Genellikle mıknatıs silindirik ve çıkıntılı kutuplu olmak üzere iki tiptir.

6.1.7.2 Stator

Fırçasız servomotorlar statorlarına yerleştirilen üç fazlı sargılara üç fazlı alternatif akım verilmek suretiyle çalıştırılırlar. Rotor pozisyonu ile uygun olacak şekilde üç fazlı alternatif akım stator sarımlarına tatbik edildiğinde statorda döner manyetik alan elde edilir. Bu manyetik alan senkron hızda döner. Senkron hız ise motorun kutup sayısı ve alternatif akım frekansı ile orantılıdır.

$$N_e = \frac{120.f_e}{2p} \quad (6.2)$$

Burada 'N_e' senkron hız, 'f_e' frekans, '2p' de kutup sayısıdır.

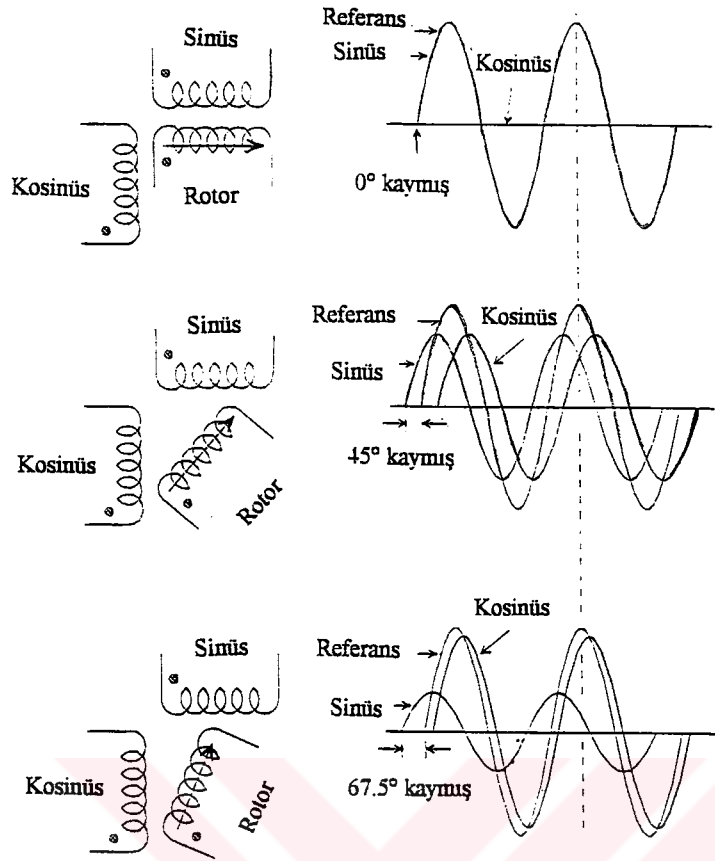
Statorda elde edilen döner manyetik alan statora yerleştirilen iletkenleri keserek iletkenlerde e.m.k. indükler. Bununla birlikte iletkenlerde indüklenen e.m.k. ler arasında iletkenleri farklı stator oluklarında olması dolayısı ile bir faz farkı oluşur.

Fırçasız servomotorların temeli stator sarımlarında döner manyetik alanın elde edilmesi olduğundan dolayı stator sarımlarında döner manyetik alan elde edilmesi için servomotorun kutup sayısına göre stator sarımları düzenlenir.

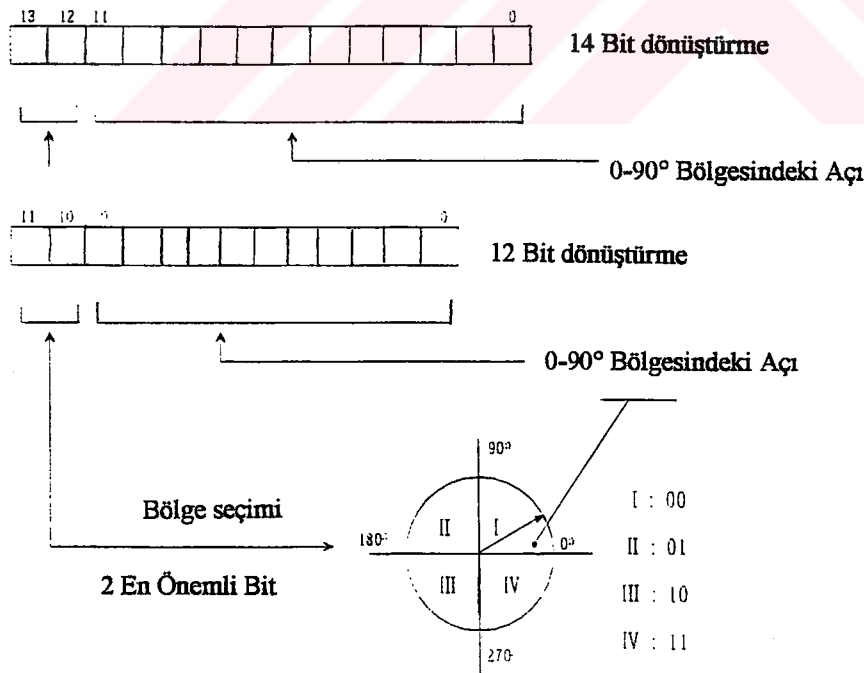
6.1.7.3 Algılayıcılar

Fırçasız servomotorlarda algılayıcılar iki temel amaç için kullanılır. Bunlardan birincisi rotor pozisyonun algılanması ve diğeri ise dönme hızının ölçülmesidir. Genellikle fırçasız servomotorlarda döner kodlayıcılar ve fırçasız resolverlar kullanılır. Kodlayıcıların maliyetinin düşük olması sebebi ile en fazla kullanılan pozisyon algılayıcı türüdür. Resolver ise encoderlerin aksine yüksek çözünürlük için yüksek örnekleme aralığına sahiptirler. Bir resolver uyarma frekansı ile döndüğünden ölçüm serbestçe yapılabilir. Bu yüzden bir resolver bir konum algılayıcı olarak çok fazla esneklik sağlar.

Resolver bir birincil ve bir ikincil sargısı olan küçük trafoya benzer. Sargılar arasındaki gerçek çevrim oranı ve polarite shaftın açısı ile değişir. Buna döner trafo denir. Bir döner trafonun sekonder sargıları, aralarında 90^0 açı olarak şekilde yerleştirilir. Bunlara stator denir. Primer sargısı ise resolverin gövdesine yerleştirilir ve rotor adını alır. Bir AC giriş gerilimi sabit bir frekansta uygulanırsa , statorun her iki çıkış işareti aynı frekansta fakat mekanik yerleşimden dolayı 90^0 faz farkına sahip olacaklardır. Birine sinüs dersek diğeri kosinüs olacaktır. Resolverın önemli karakteristiği her bir sekonder sargının tepe gerilim büyüklüğüdür. Gerilim tepe değeri dönen resolverın gövdesi ile değişecektir. Büyüklükleri gövdenin açısı ile orantılıdır. Şekil 6.4'de en üstte gösterildiği gibi gövde açısı 0^0 dir. Bu konum sinüs işareti için, maksimum referans geriliminde ve kosinüs işareti için minimum referans gerilimi verir. Şeklin ortasında ise gövde açısı 45^0 dir ve sinüs ile kosinüs işaretleri maksimum referans geriliminin %70.7 sini verir. Kosinüs ve sinüs çıkış gerilimlerinin işaretleri gövdenin yerinin belirlenmesinde kullanılırlar. Daha sonra sinüs ve kosinüs olarak belirtilen analog değerleri monolog- dijital çeviriciler ile dijital formata çevrilirler . (Şekil 6.5) [31]



Şekil 6.4 Gövde açısının sinüs ve kosinüs tepe gerilimleri üzerindeki etkileri



Şekil 6.5 Resolver çeviricinin dijital formatı

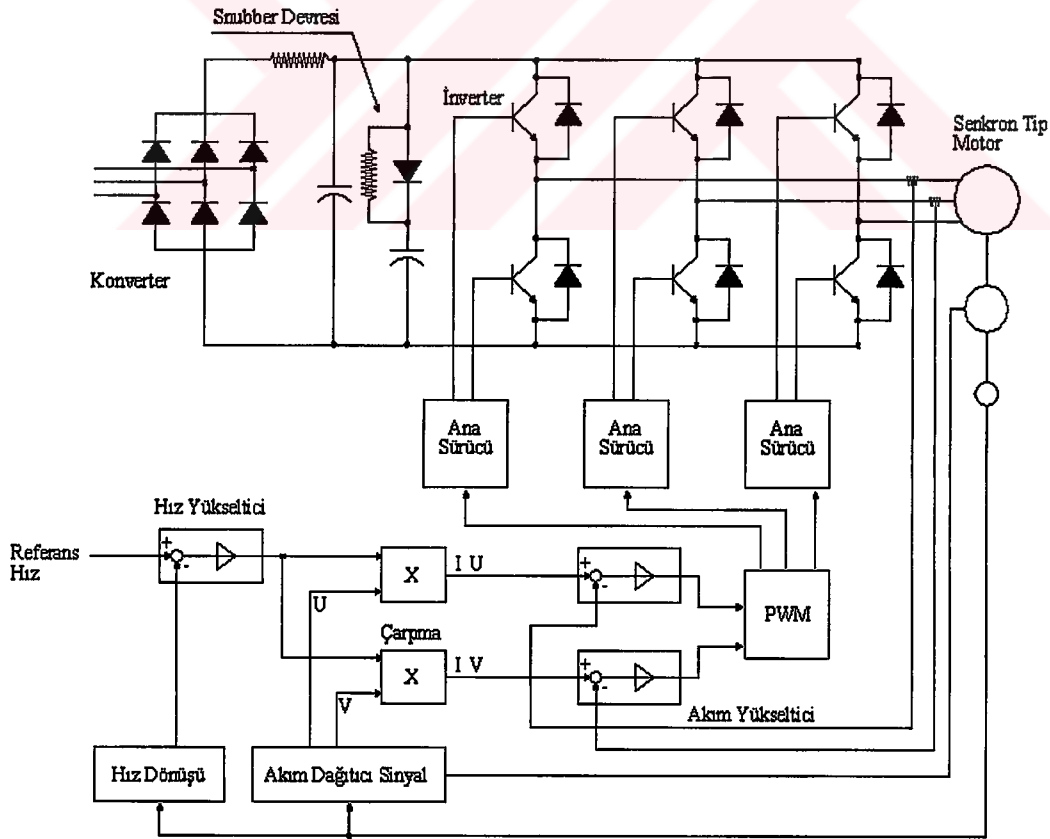
6.1.7.4 Fren

Bazı servomotorlar frenlemeyi kolaylaştırması amacıyla aksel tipli frenler kullanılır. Bu tip frenlerin servomotora monte edilmesi suretiyle servomotor yapısı daha küçük ebatlı olabilmektedir.

6.1.8 FIRÇASIZ SERVOMOTORLARIN SÜRÜCÜ DEVRELERİ

6.1.8.1 Güç Yarı-İletkenleri Ve Motor Kontrolü

Fırçasız servomotorların sürücü devresi otomatik kapama ve yüksek hızda anahtarlama özelliklerine sahip olan yarı-iletken elemanlar ile donatılmıştır. Servo sürücülerde kullanılan yarı iletken anahtarlama elemanları; bipolar transistör, MOSFET ve IGBT'dir. Bu yarı-iletken elemanlar sadece frekans kontrolü yapmakla kalmazlar aynı zamanda çok hızlı voltaj ve akım dalgası üretim işini de yerine getirirler bir başka deyişle motor kontrol işlemlerinde kritik öneme sahip olan moment kontrolü vazifesini de yerine getirirler.



Şekil 6.6 Servomotor sürücüsü kontrol devresi

Bipolar transistörler 700-1000V 'luk gerilim aralıklarında ve düşük değerlerde düşük ON-konum direnci ve kısa anahtarlama zamanları dolayısı ile geniş bir oranda kullanılmaktadır. Bipolar transistörler Darlington bağlantısı ile paketlenir ve diyodlar ile birleştirilmek suretiyle modüler şekilde piyasaya sunulur. Bu tip transistor paketleri güç elektroniği literatüründe transistor modülü olarak bilinir.

MOSFET 'ler orta kapasiteden düşük kapasiteye kadar 20 kHz' den fazla olan anahtarlama frekanslarında kullanılır. Anahtarlama devreleri çok basittir. Mikroişlemcilere entegrasyonu çok kolaydır. Güç yarı-iletken elemanları PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) vasıtası ile tetiklenir ve kontrol edilir. Giriş gücü faktörü, verim ve dinamik cevap açısından PWM tekniği üstünlük arz eder. Şekil 6.6 de servomotorun kontrolü için gerekli olan sürücü devre şeması verilmektedir. [28]

6.1.9 Uygulamaya Göre Servomotor Seçimi

Günümüz servomotorları çok sayıda firma tarafından çok çeşitli özellikleri içerecek şekilde dizayn edilmektedir. Bütün bu çeşitlilik içinde uygulamamız için gerekli olan servomotorun seçilmesi oldukça önemlidir. Bu kısımda genel olarak servo uygulamalarında (mekatronik mühendisliği) kullanılan servomotorların, tatbik edilecek uygulama alanına ve çalışma şartlarına göre nasıl seçileceği üzerinde durulacaktır.

6.1.9.1 Motor Gücü

Bir motor gücü ile tanımlanır; imalatçı kataloglarında ilk olarak çıkış belirtilir. Genellikle bir motora ait etikette, çıkış gücü, koruma metodu, kutup sayısı öncelikle belirtilen terimlerdir. Bu belirtilen üç terim motoru seçmek için gerekli olan minimum verilerdir. Herhangi bir devirde motorun anma momentini ürettiği durumdaki çıkış gücü motor gücü olarak tanımlanır. Hızı-ayarlanabilir motor olarak kullanılan DC servomotorun veya fırçasız servomotorun anma momenti motor imal edilmeden evvel belirlenir. Diğer motorlardan farklı olarak, servomotorlar anma frekanslarında nadiren çalıştırılır. Genellikle servomotorlar sık-sık durma ve hızlanma işlemi yaparlar. Bu uygulamalarda kullanılan servomotorlar anma momentlerinin 3-5 katı fazla momentler ürettikleri gibi, anma akımının da 3-5 katı fazla değerlerinde çalışırlar. Bir motor akımla orantılı miktarda ısı üretir. Bu sebeple

tatbik edilen yük değıştikçe, ısı hesabının yükün sabit olduğu durumda üretilen ısı hesabından farklı bir metot ile hesabı yapılması gerekir. Kataloglarda ve motor etiketlerinde belirtilen çıkış gücü, anma momentinde motorun kararlı durumda kaldığı dönme frekansının maksimum değeri baz alınarak hesaplanır. [27]

6.1.9.2 Uygulamaya Göre Servo sistemin Belirlenmesi

Çoğu uygulamalar yükün hassas ve kontrollü bir şekilde hareket ettirilmesini gerektirir. Hareket kontrolü servo sistem vasıtasıyla temin edilir. Servo sistemden istenilen yüksek performansı elde etmek için, yük karakterize edilmeli ve hareket profili saptanmalıdır. Servo sistem doğru olmayan bir şekilde belirlendiği takdirde performans düşüşleri, motorun ısınması ve aşırı maliyet gibi sorunlarla karşılaşırız.

6.1.9.3 Yük Şartlarına Bağlı Olarak Uygun Motorun Seçilmesi

Motor şaftına yansıyan iki çeşit moment vardır, yük momenti ve eylemsizlik momenti. Motor seçimi sırasında bu değerler hassas bir şekilde hesaplanmalıdır. Hesaplanan bu değerlere göre motor seçimi için aşağıda verilen kriterlerin göz önüne alınması gerekir.

Makine kesme işlemi oluşmadan motor şaftına yansıyan moment, motorun sürekli anma momenti aralığında olmalıdır. Motoru durdurma esnasında ve düşük devirlerde sürtünme katsayısındaki artış dolayısı ile moment artar ise motora verilen akım dolayısı ile ısınma olayı oluşur. Diğer yönden yüksek hızlarda viskoziteden kaynaklanan ek momentler motor şaftına yansıyan moment değerini artırır ve bunun sonucu olarak anma momenti değerinin üstüne çıkılır. Bu durumda yeterli ivmelenme momenti verilmediği takdirde ivmelenme zamanı aşırı derecede artar.

İvmelenme işlemi istenen zaman sabiti ile yapılır. Genel olarak yük momenti yavaşlamaya yardımcı olduğundan dolayı, ivmelenme işlemi için kullanılan zaman sabiti yavaşlama işlemi için de kullanılabilir. İvmelenme işleminin aşağıda belirtilen prosedüre göre yapılması gerekir. İvmelenme oranı belirlenen ivmelenme/yavaşlama profiline göre yapıldığı farz edilerek elde edilir.[32]

İvmelenme momenti toplam eylemsizlik oranı (motor eylemsizliği + motor şaftına yansıyan yük eylemsizliği) değerinin ivmelenme oranı değeri ile çarpılması ile elde

edilir. Yık momentı (sürtünme momentı), motor şaftı için gerekli olan moment değerini bulmak için ivmelenme momentı değerine eklenir.

Bir önceki adımda bulunan moment değerinin verilmesi için gerekli olan akım değerinin servo-sürücü akımının maksimum değerini (maksimum motor momentı) aşmaması gerekir.

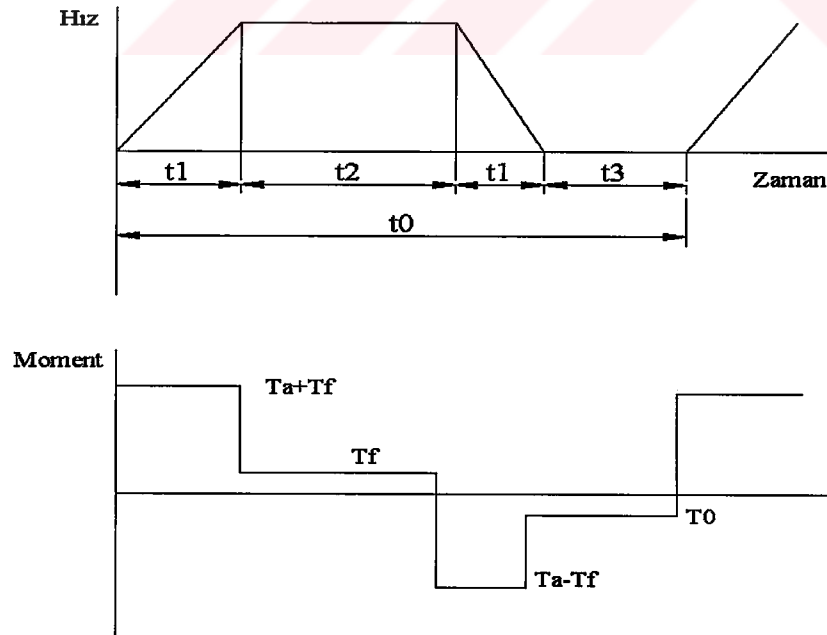
Maksimum hareket Sıklığı; Genel olarak bu değer sıradan kesme işlemlerinde bir problem teşkil etmez, bununla birlikte sık sık hızlı hareketlere gereksinim duyulan özel işleme ekipmanlarında, ivmelenme ve yavaşlama için gerekli olan akım değeri için motorun aşırı ısınıp ısınmadığını kontrol etmek gerekir. Bu durumda tek bir çevrim için motor momentinin ortalama değerinin hesaplanması gerekir ve bu değerin motor anma momentı değerinin altında olması şarttır.

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{(T_a + T_f)^2 \cdot t_1 + T_f^2 \cdot t_2 + (T_a - T_f)^2 \cdot t_1 + T_0^2 \cdot t_3}{t_0}} \quad (6.3)$$

T_a: İvmelenme momentı

T_f:Sürtünme momentı

T₀:Durma anındaki moment



Şekil 6.7 Hızlı hareket profili ve moment diyagramı

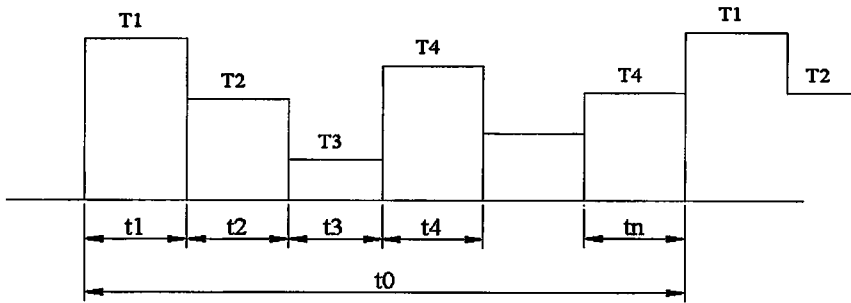
Yük durumları tek bir çevrim esnasında dalgalanma gösteriyor ise bir önceki metotta belirtilen değerin benzeri olacak yük momentinin ortalama değeri hesaplanmalı ve hesaplanan bu değer anma momenti değerinin altında olmalıdır.

Yük eylemsizlik limiti; yük eylemsizliği motor cevabını ve hızlı hareket ivmelenme/yavaşlama zamanını etkiler. Büyük yük eylemsizliği durumunda hız komutu değiştiği takdirde, verilen hız değerine ulaşılması için daha fazla zaman gerekir. Bunun sonucu olarak dairesel yay şeklinde olan şekillerin işlenmesi sırasında veya yüksek hızda aynı anda iki eksen kontrollü kesme işlemlerinde düşük eylemsizlik değerlerine oranla hata daha fazladır.

$$t_0 = t_1 + t_2 + \dots + t_n$$

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{(T_1^2 \cdot t_1 + T_2^2 \cdot t_2 + \dots + T_n^2 \cdot t_n)}{t_0}} \quad (6.4)$$

Genel olarak yük eylemsizliği motor eylemsizliğinden düşük olduğu durumda, yukarıda belirtilen problemler oluşmaz. Rotor eylemsizliğinin üç katına kadar, cevap bir mertebe düşük olur fakat özel metalleri işleyen makinalarda pratik problemler oluşmayabilir. Yüksek hızda çok sayıda eğri yüzey işlemlerinin oluşturulduğu makinalarda, yük eylemsizliğinin rotor eylemsizliğinden düşük tutulması iyi sonuçlar verir. [32]



Şekil 6.8 Değişken yük şartları ve moment

6.2 ULTRASONİK ALGILAYICILAR

Ultrasonik algılayıcılar özellikle temas olmaması gereken veya sehim kullanılarak yapılan endüstriyel süreçlerde kullanılan en ideal ölçüm cihazlarıdır. Ultrasonik algılayıcılar kağıt, kumaş, plastik, bazı sıvı maddeler ile metal malzemeler için aynı derecede kullanışlı ve hatasız çalışan malzemelerdir. Ultrasonik algılayıcılar özellikle mesafe ölçümlerinde (sehim derinliği gibi) ölçülen mesafe ile orantılı mükemmel analog sinyaller üretirler. Hatta bir çok akıllı algılayıcılar RS-285 veya RS-422/485 ara yüzleri kullanılarak bu işaretlerin skalalanmasına ve hassasiyetlerinin ayarlanmasına imkan verebilmektedirler.

Ultrasonik algılayıcıların genel çalışma prensibi algılayıcının ürettiği enerji dalgalarının yansımaları mantığına dayanmaktadır (echo pulse technology). Böylece yollanan enerji dalgalarının hedeften yansımaları ve geri dönme süreleri ölçülür. Burada bir ultrasonik algılayıcı çevirgeç (transducer), hedefe yollanan ve yansıtılarak geri dönen sinyalleri yayar. Bir mikroişlemci yardımıyla enerjinin yansıma ve geri dönme sırasında geçen süre ölçülür. Burada hedefin menzili sesin algılayıcının kullanıldığı ortamdaki hızı da göz önüne alınarak hesaplanmış olur. Ultrasonik algılayıcıların çalışmasını ortamdaki dielektrik, yoğunluk veya sıcaklık gibi değişkenlerin değişimleri etkilemez. Bir ultrasonik algılayıcı seçmeden önce şu hususlara dikkat etmek gerekir;

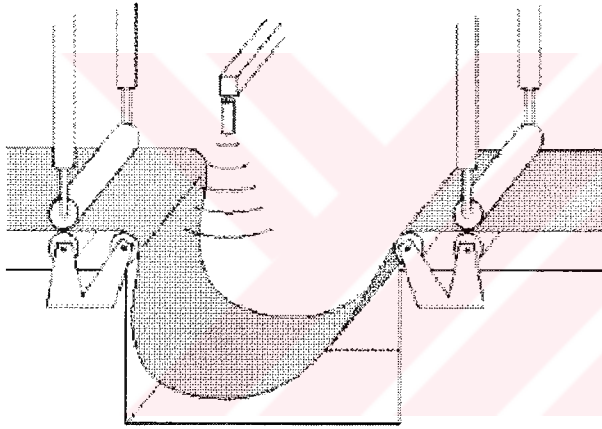
- Hedef yüzeyin salınımı (sıvı ölçümlerinde)
- Hedef yüzeyin sertliği
- Hedefe dik montaj
- Ortam
- Kaynak gerilimi
- Çıkış fonksiyonları
- Çıkış büyüklükleri v.b.g.

Burada özellikle çıkış büyüklükleri üzerinde durmak gerekiyor. Bu büyüklükler

uygulamada kullanılan ve büyüklüklerin taşındığı kontrol ekipmanlarının özelliklerine göre değişirler. Endüstride ise en yaygın olarak 0-20 mA, 4-20 mA, 0-10 VDC, -10+10 VDC analog işaretleri kullanılır. Bu işaretler şu anlama gelirler; algılayıcı, ölçeceği büyüklüğü minimum ve maksimum değerleri için analog ve lineer orantılı olarak bu değerler arasında ifade edecektir.

Ayrıca ölçülen büyüklüğün hassasiyetine ve kullanılan kontrol ekipmanının özelliklerine göre algılayıcının çözünürlüğü önem kazanır. Örneğin bizim kullandığımız sistem için çözünürlük çok önemli değildir. Bu yüzden 10 bitlik bir çıkış yeterli bulunmuştur.

Yukarıda bahsettiğimiz tüm özellikler göstermektedir ki özellikle sehim kullanılan süreçlerde mesafe ölçümleri için çok uygundurlar (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 Sehim kontrolünde kullanılan bir ultrasonik algılayıcı

6.3 SÜREÇTE KULLANILAN ALLEN BRADLEY PLC5 KONTROLÖR

PLC programlanabilir hafızalı, sayısal bir cihazdır. Hafızasında bulunan çeşitli komutlar sayesinde lojik, zamanlayıcı, sayıcı, aritmetik fonksiyonlar gibi özel işlemler yapabilir. Bu cihaz temelde dört kısımdan oluşur,

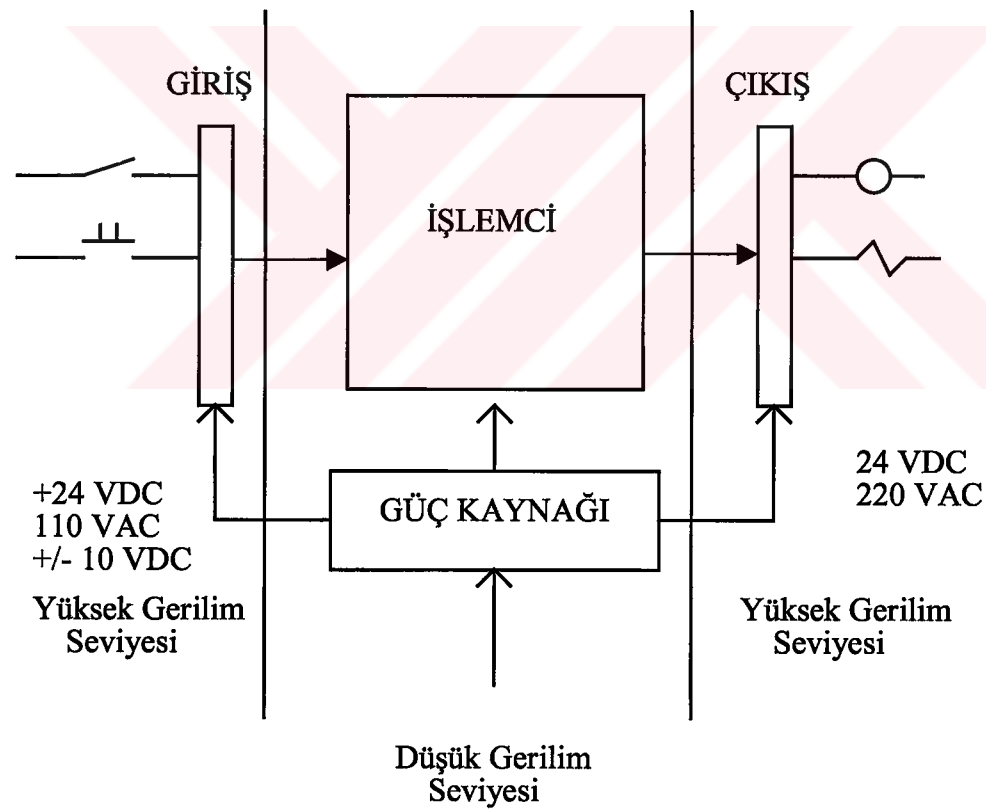
i. İşlemci : Sistemin en önemli kısmıdır. Bilgi saklar, transfer eder ve prosesle ilgili kararlar verir.

ii. Giriş arabirimi : İşlemci ve giriş cihazları arasında arabirim vazifesi gören kısımdır.

iii. Çıkış arabirimi : İşlemci ve çıkış cihazları arasında arabirim vazifesi gören kısımdır.

iv. Güç kaynağı : Kullanıcının verdiği besleme gerilimini, işlemcinin ve giriş/çıkış kısımlarının kullanacağı seviye ve tipe çeviren kısımdır.

Bizim sürecimizde Allen-Bradley PLC 5/40 serisi programlanabilir lojik kontrolör kullanılmıştır. Bu PLC 48 k hafızaya sahip olup, 2048 giriş ve 2048 çıkış bilgisi ve 16 lojik rak kullanılabilir. Prosesimizde 32 noktalı giriş ve çıkış modülleri kullanıldığından, yarım slot adresleme kullanılacaktır.[19]



Şekil 6.10 PLC' nin genel blok ifadesi

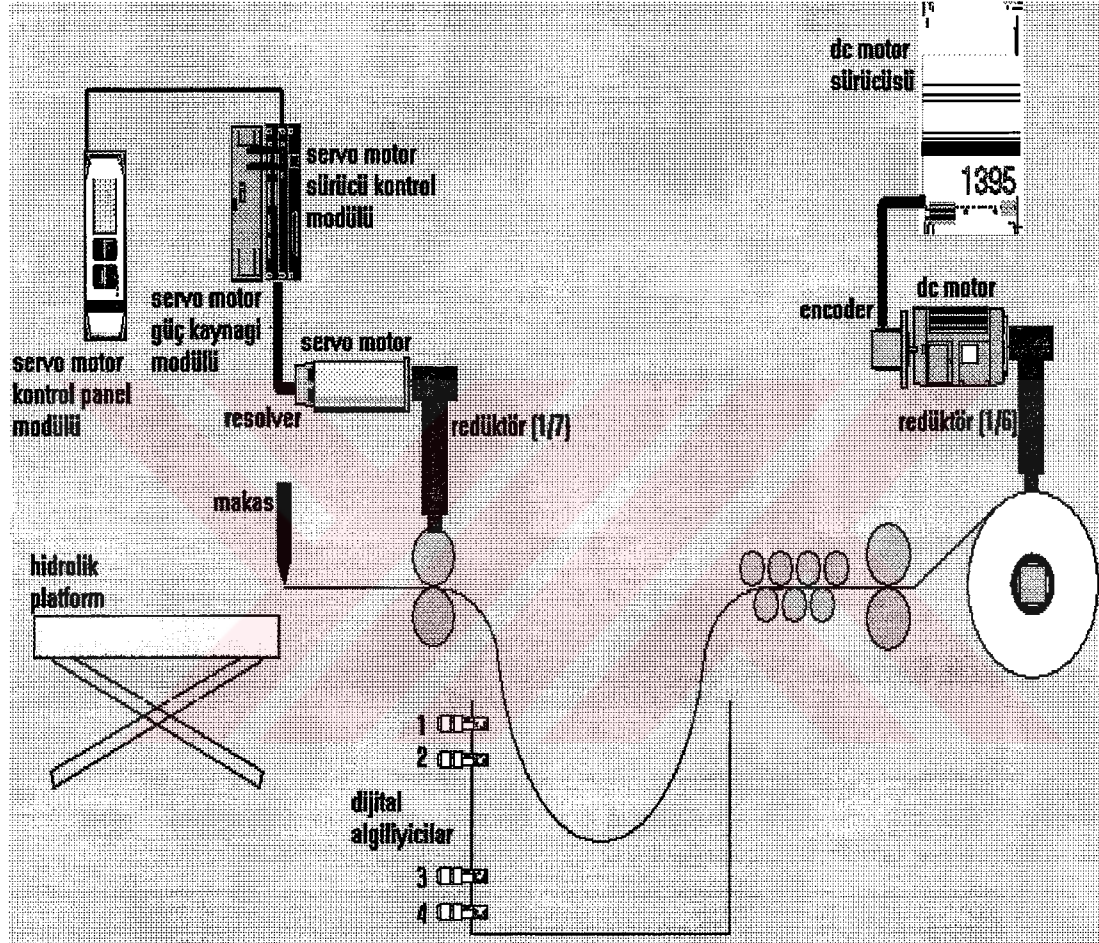
Allen-Bradley PLC adreslemelerde octal sistem kullanılır yani, I veya O : slot no . rack no . grup no / octal cinsten nokta şeklinde gerçekleştirilir. Sistemimizde remote I/O haberleşme protokolü kullanılmıştır, çünkü bu protokolle sistemdeki PLC ile

sürücü arası bilgi akışı sağlanır, uygun arabirimle bir PC aracılığı ile sistemdeki her PLC ye ulaşılabilir. Uygulamamızda bir adet plc5/40, bir adet üzerinde remote I/O haberleşme kartı takılı doğru akım sürücüsü, bir adet kalıcı mıknatıslı servomotor sürücüsü, iki adet vektör kontrollü asenkron motor sürücüsü ve bir adet operatör paneli mevcuttur.



7. SAC KESME PROSESİ

7.1 PROSESİN AÇIKLAMASI



Şekil 7.1 Sistemin PLC kontrollü görünümü.

Bulanık mantıkla kontrol uygulamak için seçtiğimiz sistemi inceleyelim; Sac kesme sistemi, yine aynı fabrikada boyanan ve rulo halinde sarılan sacları istenilen uzunlukta kesme ve istiflemeye kullanılmaktadır. Bu sistem PLC kontrolü ile maksimum 60 m/d lık bir hızda çalışmaktadır.

Prosesin çalışmasını özetlersek ; Rulo halinde gelen sac, besleme mandreline takılır. Besleme mandreli hidrolik bir yapıya sahiptir. Bu sistem rulonun sisteme dik girmesi için kullanılır ve ileri-geri hareket kabiliyetine sahiptir. Mandrele takılan sac önce baskı merdanelerinden geçirilir ve bir hareketli platform aracılığı ile servomotor merdanelerine sıkıştırılır. Daha sonra servomotor elle kumanda edilerek makasın ağzına kadar getirilir. Kesilmek istenen sac parça adedi ve parça uzunluğu bu sistem için özel olarak üretilen servo sürücünün programlama modülüne girilir. Burada ölçme işlemi 0.01mm hassaslıkla kalıcı mıknatıslı fırçasız ac servomotor tarafından yapılmaktadır. Fakat burada servomotorun hassasiyetinin korunması için yükten arındırılması gerekir. Bunun için Şekil 7.1 deki düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenekten de görülebildiği gibi sacın bir kısmı çukura bırakılmıştır. Böylece servomotor üzerindeki yük sadece çukur içindeki sacın ağırlığı olacaktır. İlk takıldığında yaklaşık ağırlığı 10 tona kadar ulaşan ruloları çekmesi için 30 kW gücünde bir doğru akım motoru kullanılmıştır. Sac çukur içinde sehim oluşacak şekilde bırakılır. Sacın kesilmeye hazır bir hale getirilmesinden sonra malzemenin çekilme hızı yine servo sürücünün programlama modülüne girilir. Sistem otomatik çalışma moduna alınır ve servomotor malzemeyi çekmeye başlar. Servomotor bu ayarlar doğrultusunda hareketini tamamladığında devreye makas girer. Makas adı verilen sistem, arabalardaki debriyaj sistemine benzeyen bir çalışma mantığı ile devreye girer ve devreden çıkar. Yani servomotordan aldığı ‘ölçü tamamlandı’ bilgisiyle makas devreye girer. Aslında makası tahrik eden asenkron motor sürekli ve sabit hızda dönmektedir. Sadece işaret geldiğinde makasın bir defa inip kalkmasını sağlamak için debriyaj sistemi devreye girer ve motor ile makas birlikte hareket ederler. Makasın kesme işlemi tamamlandığında yine aynı şekilde makas ile asenkron motora bağlı volan devreden çıkar. Makas motor ile ayrıldığında yine sınır anahtarlar aracılığı ile ‘kesme tamam’ işareti alınır ve bu bilgi servomotorun sürücüsüne taşınır. Sürücü bu işaret ile diğer parçayı çekmeye başlar. Bu işlem otomatik olarak, kesilecek sac sayısına ulaşılan kadar devam eder.

Kesilen tüm saclar üst üste istiflenirler. İstifleme işleminde ise hidrolik olarak yukarı aşağı hareket edebilen bir platform kullanılmıştır. Yukarı aşağı hareketin nedeni kesilen sac ile platform arasındaki mesafenin sabit tutulmasıdır. Böylece sacın kesim sonrası yüksek bir noktadan düşmesi engellenmiştir. Platform kenarına yerleştirilen bir cisimden yansımali algılayıcı ile biriken saclar belli bir mesafeye ulaştığı

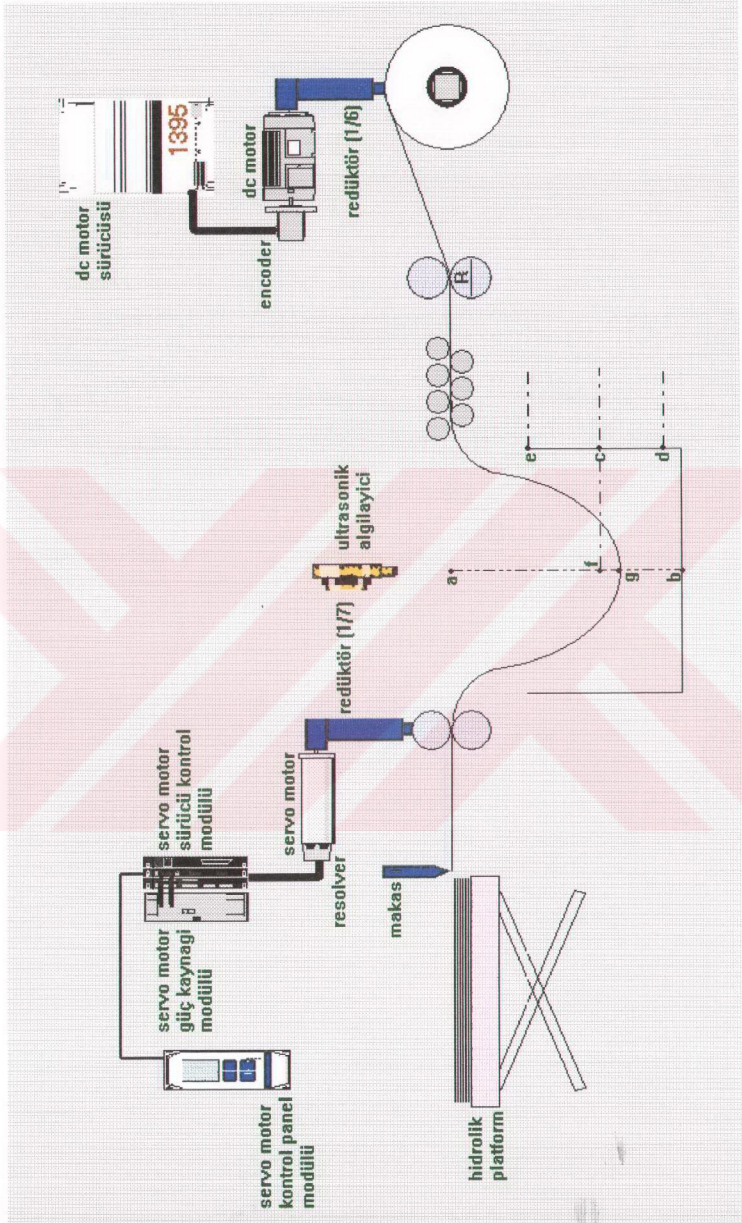
görülmekte ve platform her seferinde bir miktar aşağı kaymaktadır. İstifleme tamamlanınca platform tamamen aşağı iner. Son olarak iki adet konveyör aracılığı ile sac paketleri sürecin çıkışına taşınır.

Yapılan hesaplamalar göstermiştir ki idealde böylesi bir sistemin verimli ve istenilen hızda çalışabilmesi için çukur derinliğinin 15 metreden fazla olması gerekmektedir. Bunu gerçek hayata geçirmek imkansızdır. Zira bu sistem içinde çukur derinliği iki metredir. Yinede sacın yere değmesini veya gerilmesini önlemek gerekir. Bunun içinde 4 adet dijital algılayıcı kullanılmıştır. Bu algılayıcılar sacı görünce 24 volt dc gerilim üretirler. Bu algılayıcılardan gelen bilgiler PLC programında kullanılarak doğru akım motorunun hızı kontrol edilir.

PLC programının işleme mantığı genel olarak şu şekildedir; Eğer en üstteki algılayıcı görüyorsa motor hızı artırılır veya tam tersi en alttaki görüyorsa hız azaltılır. Hızın artırılması veya azaltılması işlemi hattın hızının belirli katsayılar ile çarpılmasıyla ayarlanır. Bu katsayılar tamamen deneme yoluyla, ortalama bir hız için tespit edilir. Burada hassasiyet çok az ve kontrol çok zor olmaktadır. Zira yüksek hızlarda bu katsayılar yetersiz kalmaktadır. . Bu oranlar sabit ve bir kere ayarlanabildiğinden sistem en ufak bir hız değişikliğine çok uzun sürede cevap verebilmektedir. Hatta sınır hızlarında çalışma büyük risk taşımaktadır. Bu yüzden hattın hızı 60 m/d ile sınırlandırılmıştır. Oysa tasarlanan sistemin mekanik ve kontrol ekipmanları daha yüksek hızlarda kesim yapabilirler .

7.2 BULANIK SAC KESME SİSTEMİ

Servomotorun sürekli durup kalkma işlemi doğru akım motorunun sistemi beslemesini etkilemektedir. Bulanık sistem için bu dört dijital algılayıcı yerine bir adet ultrasonik algılayıcı kullanılarak Şekil 7.2 deki a ve b noktaları arası mesafenin ölçülmesi amaçlanmıştır. Ultrasonik algılayıcının kontrol paneli kullanılarak a noktası (sacın en alta olma durumu) ile b noktası (sacın en üstte olma durumu) arası mesafe ölçülecek bölge olarak tanımlanmıştır. Ultrasonik algılayıcının bu menzil için vereceği çıkış işareti 0-10VDC olacak özellikte seçilmiştir. Böylece algılayıcı 0 metre yani b noktası için 0 VDC , 3 metre yani a noktası için 10 VDC gerilim üretecektir. Ayrıca bu değerler arası değişimler lineer olarak algılanabilecektir.



Şekil 7.2 Benzetişimi yapılan saç kesme sistemi

Konum hatasını belirlemek için bir referans noktaya gereksinim vardır (Şekil 7.2 de f noktası). Bu noktayı belirledikten sonra sacın bu noktaya olan uzaklığını yani konum hatasını (e) belirlemek kolaydır. Buna göre hata,

$$e = |ag| - |af| \quad (7.1)$$

olarak ifade edilebilir.

Ayrıca sacın yere temasını ve de gerilmesini engellemek için hatanın ± 0.9 metrelik bir aralıkta değiştiği kabul edilmiştir. Hesaplanan bu hata değeri BMK' nın ilk giriş değişkeni olacaktır.

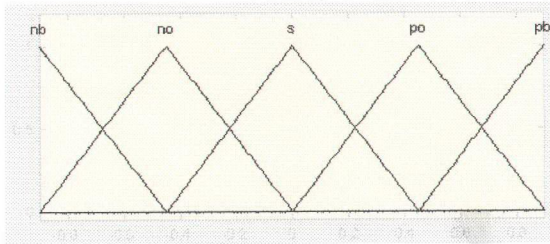
Sadece hatayı ölçmek yeterli olmayacaktır. Sistemde hatanın değişim hızı da (Δe) oldukça önemlidir. Zira hata 0'a yaklaşıp bile yaklaşma hızı büyük ise 0'dan uzaklaşması da uzun sürmeyecektir. Bu yüzden Δe yi Δt süredeki hata değişimi yani;

$$\Delta e = e(t_2) - e(t_1) \quad (7.2)$$

olarak tanımlayabiliriz. Bu değişkende BMK' nın ikinci giriş büyüklüğü olacaktır.

BMK için gerekli giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyonlarını inceleyelim.

İlk olarak Şekil 7.3. de (e) konum hatasına ait üyelik fonksiyonları verilmiştir.

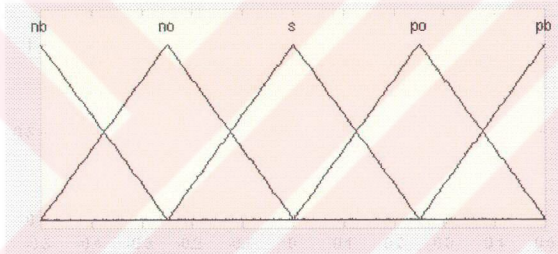


Şekil 7.3 (e) hataya ait üyelik fonksiyonları

Hata için beş adet üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bunları kısaca açıklamak gerekirse;

- S : hatanın olmadığı durumu gösterir. ($e = 0$) (Sıfır)
- PB : hatanın çok büyük olduğu durumdur ve sacın dibe çok yakın olduğu durumunu gösterir. (Pozitif Büyük)
- PO : hatanın az olduğu durumdur ve sacın referans noktasından pozitif sapması azdır. (Pozitif Orta)
- NB : hatanın az olduğu durumdur ve sacın üst noktaya çok yakın olduğu durumu gösterir. (Negatif Büyük)
- NO : hatanın az olduğu durumdur ve sacın referans noktasından negatif sapması azdır. (Negatif Orta)

Şekil 7.4. de ise (Δe) konum hatasına ait üyelik fonksiyonları verilmiştir

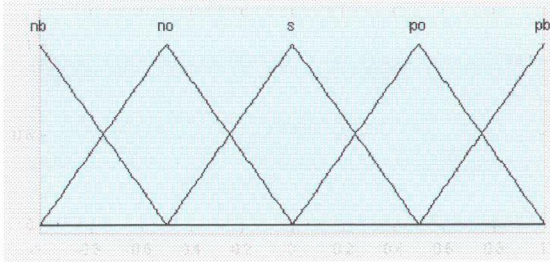


Şekil 7.4. (Δe) konum hatasına ait üyelik fonksiyonları

Hatanın değişimi için beş adet üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlar;

- S : hatadaki değişimin olmadığı durumu gösterir. ($\Delta e = 0$)
- PB : hatadaki değişimin çok büyük olduğu durumdur ve sacın referans noktasından pozitif sapma hızı büyüktür.
- PO : hatadaki değişimin az olduğu durumdur ve sacın referans noktasından pozitif sapma hızı ortadır.
- NB : hatadaki değişimin çok büyük olduğu durumdur ve sacın referans noktasından negatif sapma hızı büyüktür.
- NO : hatadaki değişimin az olduğu durumdur ve sacın referans noktasından negatif sapma hızı ortadır.

Bu değişkenlere göre bulanık mantık kontrolör bir çıkış üretir. Şekil 7.5 de u çıkış değerine ait üyelik fonksiyonları verilmiştir.

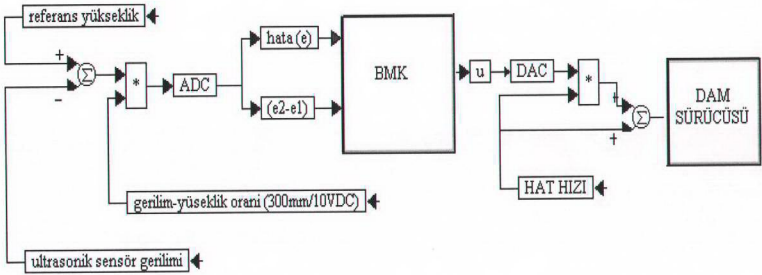


Şekil 7.5. (u) bulanık mantık kontrolör çıkışına ait üyelik fonksiyonları

BMK çıkış değişkeni için beş adet üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlar;

- S : çıkışın olmadığı durumu gösterir.
- PB : çıkışın çok büyük olduğu durumdur ve doğru akım motorun hızı çok artırılır.
- PO : çıkışın küçük olduğu durumdur ve doğru akım motorun hızı orta artırılır.
- NB : çıkışın büyük olduğu durumdur ve doğru akım motorun hızı çok azaltılır.
- NO : çıkışın küçük olduğu durumdur ve doğru akım motorun hızı orta azaltılır.

Bu çıkış hatayı azaltacak yönde doğru akım motoruna hızlan veya yavaşla komutu yollar. Çıkış üyelik fonksiyonu, -1 (tamamen yavaşla) ile $+1$ (tamamen hızlan) arasında değerler alır. Bu değerler servo sürücünün kontrol paneline girilen hat hızı ile çarpılır bulunan değer kadar hız artırılmış veya azaltılmış olur (Şekil 7.6). Bu işlemler sonucu elde edilen hız bilgisi (kontrol gerilimi - $V_{kontrol}$) kullanılarak doğru akım motorunun kontrol gerilimi üretilmiş olur. Bu kontrol gerilimi doğru akım motorunun sürücüsüne uygulanır. Bu kontrol gerilimi sürücüde kullanılan kumanda kartında bulunan hız kumanda girişine uygulanır. Buraya uygulanacak analog değer 0-10 VDC olmalıdır. Sürücü ise kontrol gerilim değerine denk düşen devir sayısını elde edebilmek için gerekli armatür gerilimini motora uygular. Burada motor miline bağlı bir enkoder ile de hız geribeslemesi sürücüye girilir. Böylece istenen hız nominal hızın %0,001 i hassasiyetle sağlanmış olur. Şekil7.6 de sisteme ait blok diyagram verilmiştir.



Şekil 7.6 Sistemin bulanık mantık ile kontrolüne ait blok diyagram

Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları arasında ilişki kurmak için bulanık kurallar kullanılır. Bizim uygulamamız için belirlenen kurallar aşağıda verilmiştir.

1. If (e is nb) and (ce is nb) then (u is nb) (1)
2. If (e is nb) and (ce is no) then (u is no) (1)
3. If (e is nb) and (ce is s) then (u is no) (1)
4. If (e is no) and (ce is nb) then (u is no) (1)
5. If (e is no) and (ce is no) then (u is no) (1)
6. If (e is no) and (ce is s) then (u is no) (1)
7. If (e is s) and (ce is nb) then (u is no) (1)
8. If (e is s) and (ce is no) then (u is no) (1)
9. If (e is s) and (ce is s) then (u is s) (1)
10. If (e is s) and (ce is po) then (u is po) (1)
11. If (e is s) and (ce is pb) then (u is po) (1)
12. If (e is po) and (ce is s) then (u is po) (1)
13. If (e is po) and (ce is po) then (u is po) (1)
14. If (e is po) and (ce is pb) then (u is pb) (1)
15. If (e is pb) and (ce is s) then (u is po) (1)
16. If (e is pb) and (ce is po) then (u is pb) (1)
17. If (e is pb) and (ce is pb) then (u is pb) (1)

Tablo 7.1 Bulanık kurallar

$\Delta e^{+}, e$	nb	no	s	po	pb
nb	nb	no	no	-	-
no	no	no	no	-	-
s	no	no	s	po	po
po	-	-	po	po	pb
pb	-	-	po	pb	pb

olacaktır.

Kurallardan bazılarının neyi anlattıklarını açıklamak istersek.

1. Hata negatif büyük ve hata değişimi negatif orta ise DAM' nın hızını çok azalt,
2. Hata negatif büyük ve hata değişimi negatif orta ise DAM' nın hızını orta derecede azalt,
3. Hata negatif büyük ve hata değişimi sıfır ise DAM' nın hızını orta derecede azalt...

8. SÜRECİN MATLAB PROGRAMI İLE BENZETİŞİMİ

8.1 MATLAB PROGRAMI

Sayısal hesaplamalar ve grafiksel programlar için geliştirilen Matlab; sayısal analiz, matris işlemleri, sinyal işleme ve grafik çizimlerini kullanımı kolay bir ortamda bir bütün olarak sunar. Bu tezde de benzetişim bu program kullanılarak yapılmıştır.

8.2 SİSTEMİN BİLGİSAYAR BENZETİŞİMİ

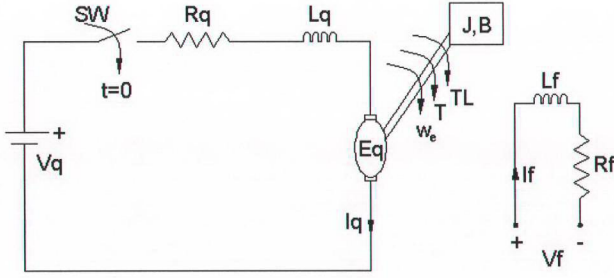
Endüstride çalışmakta olan bir sac kesme sürecinin bilgisayar ortamında benzetimi Matlab programı ile yapılmıştır. Sistemdeki doğru akım motor benzetişimi ve sürecin blok şeması Simulink , bulanık kontrolöre ait bulanıklaştırma , kuralların işletilmesi ve durulama işlemleri ise Fuzzy Logic Toolbox editörü ile gerçekleştirilmiştir.

- D.A. Motor benzetişimi
- Sürecin Simulink benzetim modeli

8.2.1 D.A. Motor Benzetişimi

D.A. motorunun sistemin bir parçası olarak kullanılmasından dolayı analizin karmaşıklığını azaltmak için aşağıdaki kabuller ve yaklaşımlar yapılmıştır.

1. Manyetik doyma ihmal edilmiştir.
2. Uyarma elektromotor kuvveti (mmf) q-aksi boyunca etkidiği varsayıldı. Böylece (mutual) bağlı endüktansların armatür reaksiyonuna etkisi ihmal edildi.



Şekil 8.1 Serbest uyarmalı DC motor sistemini

Şekil 8.1 de verilen serbest uyarmalı doğru akım motor sistemi için, manyetik alanın lineer olduğu varsayılarak temel eşitlikleri tekrar yazarsak, armatür gerilimi ve moment ifadeleri,

$$e_q = K_e \cdot w_e \quad (8.1)$$

$$T_e = K_e \cdot i_a \quad (8.2)$$

idi. Bu ifadeleri Laplace formunda yazarsak,

$$E_q(s) = K_e \cdot w_e(s) \quad (8.3)$$

$$T_e(s) = K_e \cdot I_q(s) \quad (8.4)$$

olacaktır.

Ayrıca 8.4 denklemini yeniden yazarsak

$$V_q = R_q \cdot I_q + L_q \cdot d I_q / dt + e_q \quad (8.5)$$

ve 8.2 denklemini 8.5 de yerine koyarsak,

$$V_q = R_q \cdot I_q + L_q \cdot d I_q / dt + K_e \cdot w_e \quad (8.6)$$

olur.

Denklem 8.6 yı Laplace formunda yazarsak $t = 0$ başlangıç koşulunda ;

$$V_q(s) = R_q \cdot I_q(s) + L_q \cdot I_q(s) \cdot s + K_e \cdot \omega_e(s) \quad (8.7)$$

$$V_q(s) = I_q(s) (1 + \tau_q \cdot s) + K_e \cdot \omega_e(s) \quad (8.8)$$

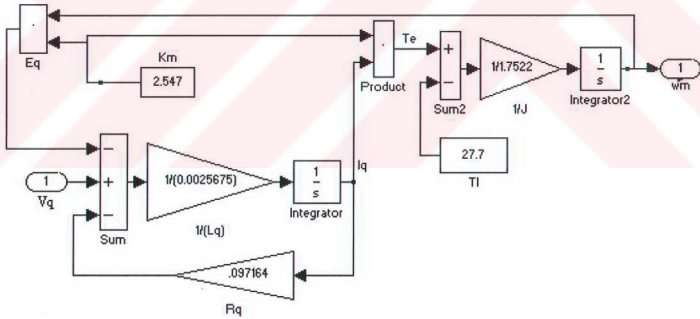
olacaktır. Burada $\tau_q = L_q / R_q$ dır.

Mekanik sistemin dinamik denklemini de yazmak istersek

$$T_e = K_e \cdot I_q = J \cdot d \omega_e / dt + B \cdot \omega_e + T_L \quad (8.9)$$

Burada J yükün atalet momenti , B viskos sürtünme katsayısı ve T_L ’de mekanik yükü verir. [21,24,29]

Yukarıdaki denklemlerden faydalanarak doğru akım motorunun benzetişim modeli Şekil 8.2 deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 8.2 Serbest uyarmalı DAM benzetişimin blok diyagramı.

8.2.2 Sürecin Benzetişimi

Sac kesme sisteminin çalışma şekli daha önce anlatılmıştı. Burada benzetim yapılırken izlenen yol ve yapılan yaklaşımlar üzerinde durulacaktır. Ultrasonik algılayıcıdan gelen mesafe bilgisi 'h', referans alınan yükseklik 'h₀', doğru akım motorunun devir sayısı 'n_{dc}', servomotorun sacı çekme hızı 'v_{sm}', sacın çukur içinde

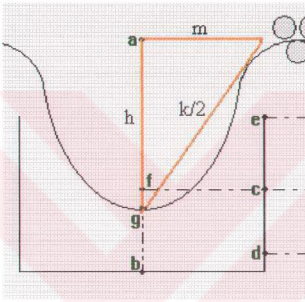
kalan uzunluğu 'k', sistem ilk çalıştığında sacın çukur içinde kalan uzunluğu 'k₀' ve hattın set edilen çekme hızı 'v_h' olarak ifade edilsin. Buna göre ;

$$e=h- h_0 \quad (8.10)$$

$$\Delta e=e_2-e_1 \quad (8.11)$$

$$\Delta t=t_2-t_1 \quad (8.12)$$

olacaktır. 'h' değeri ise Şekil 8.3 de gösterildiği şekilde bir yaklaşımla kolayca hesaplanabilir;



Şekil 8.3 'h' değerinin bulunması.

$$h = \sqrt{\frac{k^2}{4} - m^2} \quad (8.13)$$

Önemli olan k değerini hesaplamaktır. Bu yüzden doğru akım motoru ve servomotorun çekme hızları arasındaki fark göz önüne alınarak birim zamanda çukur içindeki sac uzunluğunun değişimi hesaplanmaktadır. Şöyle ki;

$$k(t_n)=k(t_{n-1}) + [v_{dc}(t_n)- v_{sm}(t_n)].(t_n -t_{n-1}) \quad (8.14)$$

dir.

v_{sm} 'a ait değerler, değişik set hızları için, sürecin çalışması izlenerek bir SCADA programı yardımıyla belirlenmiş ve 'look up table' fonksiyonu kullanılarak elle girilmiştir (ek1).

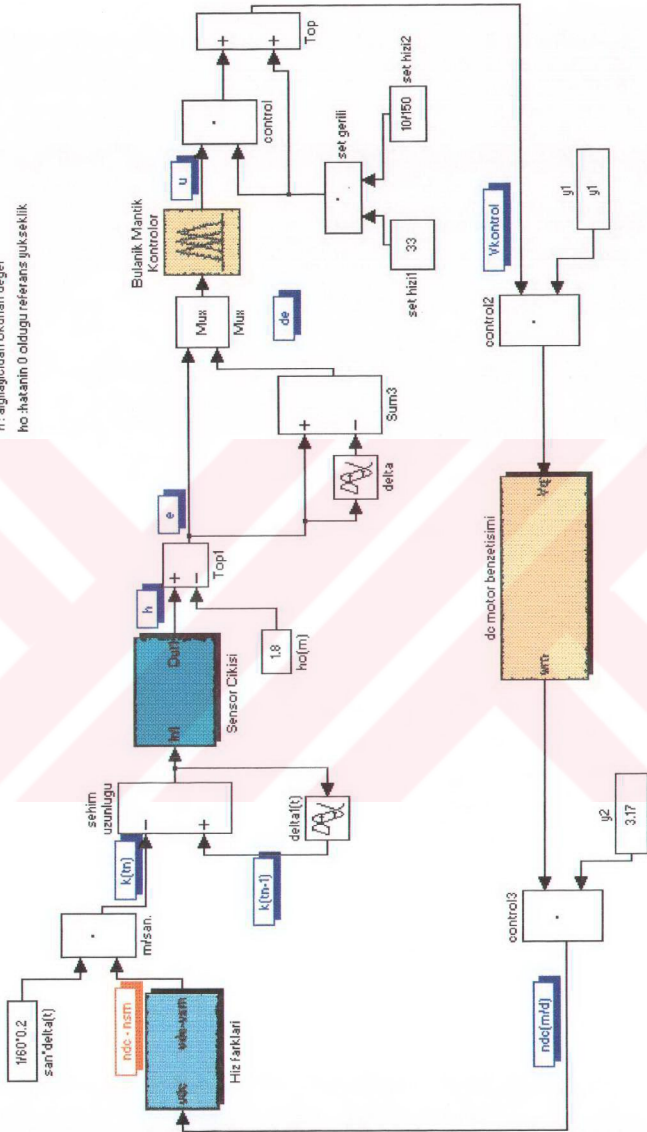
Doğru akım motorunun hızı içinde başlangıçta hat hızı referans olarak girilir. Bulanık mantık kontrolörün ürettiği çıkış kullanılarak doğru akım motorunun hızı ayarlanır. Doğru akım motoru için belirlenen kontrol gerilimi y_1 katsayısı ile çarpılarak doğru akım motoru benzetişim bloğuna girilir. Burada amaç kontrol geriliminden motora uygulanacak armatür geriliminin çıkarılmasıdır. Bu armatür gerilimine göre elde edilen devir sayısı ' n_{dc} ' bulunmuş olur. Bulunan devir sayısını redüktör oranı ve redüktöre bağlı merdanenin çevresi hesaba katılarak metre/dakika cinsinden ifade etmek gerekir. Bunun için y_2 katsayısı kullanılır ve

$$y_2 = \frac{w_m \cdot 60 \cdot R \cdot \pi}{2 \cdot \pi \cdot c} = \frac{60 \cdot 0,634}{2 \cdot 6} = 3,17 \quad (8.15)$$

olarak belirlenir. Burada c redüktörün çevirme oranı, R ise doğru akım motorunun bağlı olduğu merdanenin çapıdır .

Yukarıda açıkladığımız koşullar altında yapılan bulanık sac kesme süreci benzetişimi Şekil 8.5 te verilmiştir.

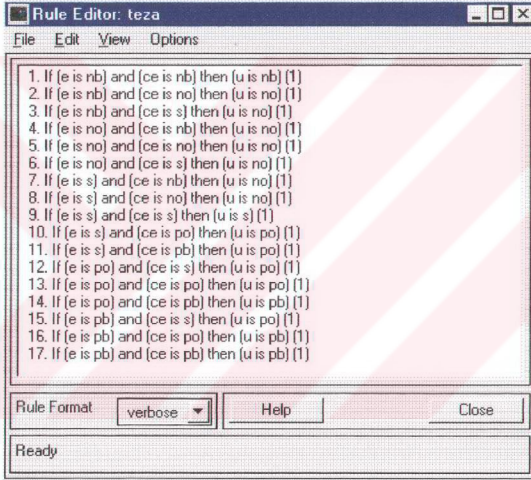
h: algılayıcıdan okunan değer
ho: hatanın 0 olduğu referans yükseklik



Şekil 8.4 Bulanık sac kesme sistemi

8.3 BMK 'NIN SİMULİNK BENZETİM MODELİNİN OLUŞTURULMASI

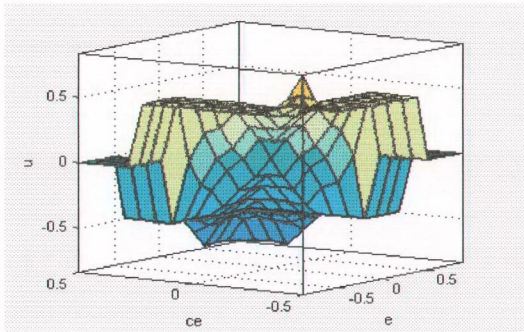
BMK' nın benzetimi Matlab programı altında Fuzzy Logic Toolbox editörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık editörü giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarını grafiksel olarak girilmesine uygun olarak oluşturulmuştur. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonu sayıları , adları ve aralıkları ile her bir eleman için kaçar adet üyelik fonksiyonu kullanılacağı belirtilir. Burada bulanıklaştırma ve durulama yöntemleri hazır olarak verilmiştir. Bunlardan kullanmak istediğiniz yöntemi seçtikten sonra kural editörü açılır ve kurallar dilsel (İngilizce) veya sembolik olarak yazılır (Şekil 8.5).



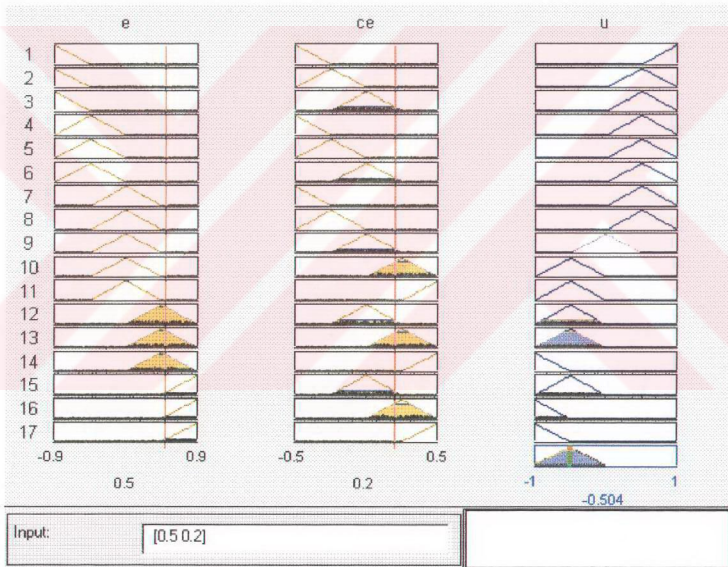
Şekil 8.5 Kural editörü

Yine aynı editör kullanılarak bulanık mantık kontrolörün girişleri (konum hatası -e- ; hatanın değişim miktarı -Δe-) ile çıkış arasındaki ilişkileri gösteren üç boyutlu kontrol yüzeyleri de çizilebilmektedir (Şekil 8.6).

Yazılan tüm kuralların nasıl sonuçlar verdiklerini de görmek mümkündür Bunun için ise kural izleme özelliği kullanılır (Şekil 8.7). Burada giriş değişkenlerine istenen değerler verilerek kurallar işletilir ve çıkış değişkeninin alacağı değer izlenebilir. [16]



Şekil 8.6 Giriş çıkış elemanları arasındaki ilişkilerin üç boyutlu gösterimi.



Şekil 8.7 Kural izleme editörü

8.4 BENZETİM SONUÇLARI

Aşağıda farklı çalışma koşulları için sac kesme sisteminin benzetim sonuçları verilmiştir. Kullanılan doğru akım motoru modelinin parametreleri;

$$V_N=400 \text{ Volt}$$

$$W_N=157.1 \text{ rad/s}$$

$$R_q=0.097164 \, \Omega$$

$$L_q=0.0055675 \text{ H}$$

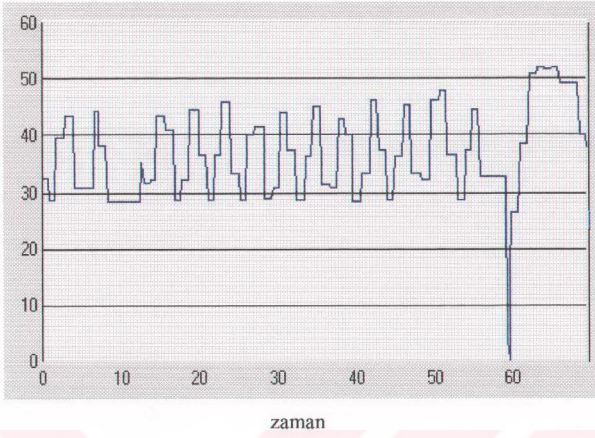
$$J=1.7522 \text{ kg.m}^2$$

$$K_m=2.547 \text{ V.s/rad}$$

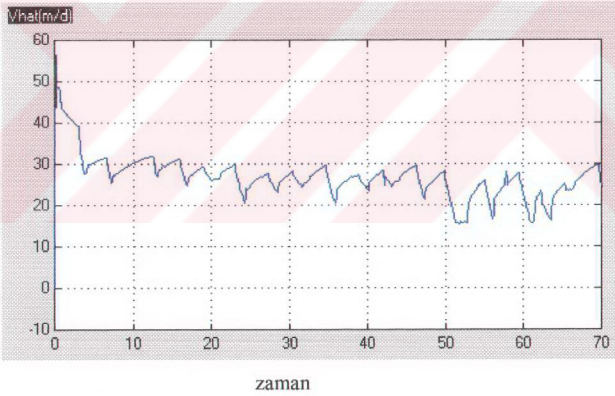
$$T_m=27.7 \text{ Nm}$$

olarak belirlenmiştir.[26] Aşağıda PLC ile kontrol edilen sac kesme sisteminin çalışması sırasında Intouch Wonderware SCADA programı kullanılarak kaydedilen belirli hat hızları için doğru akım motorunun besleme hızları ile benzetişim sonucu elde edilen doğru akım motorunun besleme hızları karşılaştırılmıştır.

Hat hızı 33 m/d için ölçülen doğru akım motorunun hattı besleme hızı (Şekil 8.8) ile bulanık sürecin ürettiği doğru akım motorunun hattı besleme hızı (Şekil 8.9) verilmiştir. Burada en çok dikkat çeken nokta bulanık sistemin sistemde oluşabilecek aşırı salınımlara çok daha iyi cevap verdiğidir.

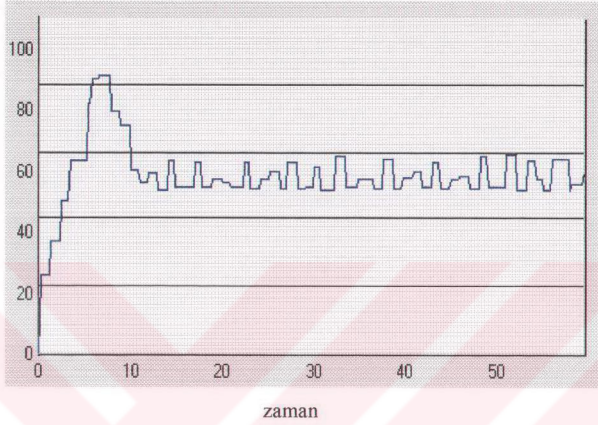


Şekil 8.8 $V_{\hat{a}}=33$ m/d için ölçülen DAM besleme hızı (V_{dc})

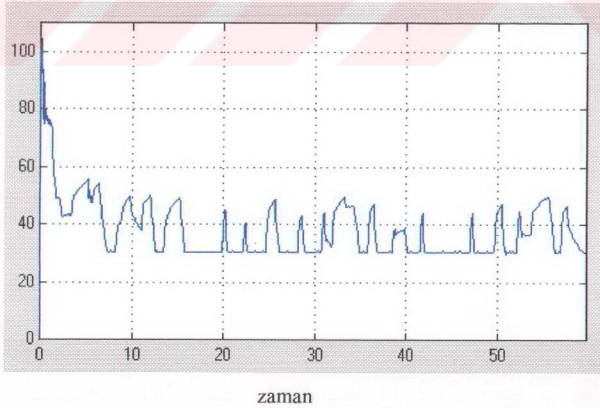


Şekil 8.9 $V_{\hat{a}}=33$ m/d için benzetişim sonucu elde edilen DAM besleme hızı (V_{dc})

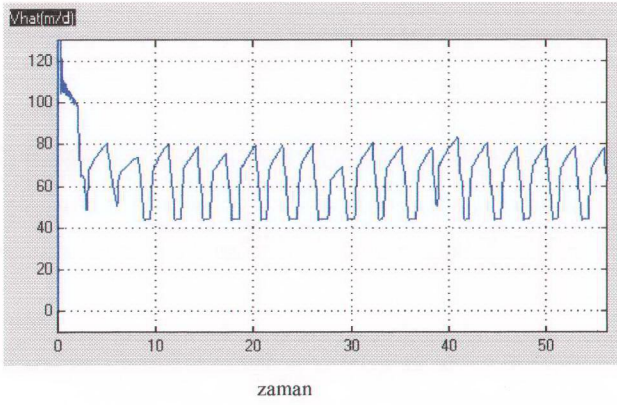
Aynı işlemler hat hızı 61 m/d ve 90 m/d iken de yapılmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi PLC kontrollü sistemin maksimum hızı 60 m/d olarak belirlenmiştir. Oysa Şekil 8.12 de görüldüğü gibi bulanık sac kesme sistemi 90 m/d hat hızında da olumlu sonuç vermektedir.



Şekil 8.10 $V_{\text{hat}}=61$ m/d için ölçülen DAM besleme hızı (V_{dc})



Şekil 8.11 $V_{\text{hat}}=61$ m/d için benzetişim sonucu elde edilen DAM besleme hızı (V_{dc})



Şekil 8.12 $V_{hat}=90$ m/d için benzetişim sonucu elde edilen DAM besleme hızı (V_{dc})

9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada son yılların en ilgi çeken konularından biri olan bulanık mantık kontrolörler incelenmiştir. Endüstriyel alanda da çok fazla kullanılan bu kontrol yönteminin uygulanabilir olduğunu göstermek için halihazırda sanayide çalışmakta olan bir süreç seçilmiştir. Bu süreçte kullanılan kontrol ekipmanları tek tek incelenmiş, genel yapıları, matematiksel modelleri ve çalışma prensipleri anlatılmıştır. Süreçte kullanılan doğru akım motorunun ve yeni sistem için kullanılması planlanan ultrasonik algılayıcının benzetişimleri yapılmıştır. burada önemle üzerinde durulması gereken bir noktada süreçte kullanılan servomotorun benzetişim modeli yerine çalışan sistemden toplanan veriler kullanılmıştır. Bunu gerçekleştirmek içinde veri toplama ve toplanan verileri grafik, resim veya hareketli nesnelerle göstermede kullanılan bir SCADA yazılımı kullanılmıştır. BU yazılım ile küçük bir program oluşturulmuş ve sistemde kullanılan PLC aracılığı ile servomotorun çalışması izlenmiştir. Yapılan izleme ile servomotorun çalışması sırasında ürettiği geribesleme bilgisi kaydedilmiş ve buna denk düşen hat hızı hesaplanmıştır. Daha sonra yine bu yazılım kullanılarak toplanan veriler Excel programına atılmıştır. Excel programında tablo halinde elde edilen servomotor hız bilgisi SIMULINK programında kullanılmıştır.

Bu tezde PLC ile dört adet dijital algılayıcı kullanılarak iki konumlu kontrol uygulanan sistem yerine önerilen bulanık mantık kontrolör kullanılarak benzetişimi yapılan alternatif bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Benzetişimi yapılan bulanık saç kesme sürecinde dört adet iki konumlu algılayıcı yerine bir adet ultrasonik algılayıcı benzetişimi kullanılmış ve böylece daha hassas konum bilgisi alınması amaçlanmıştır.

Oluşturulan bulanık saç kesme sitemi benzetişim modeli MATLAB SIMULINK programı kullanılarak simüle edilmiştir. Benzetişim sonuçları ile gerçek sistemin çalışması sırasında elde edilen doğru akım motoruna ait hat hızı bilgileri karşılaştırılmıştır. PLC ile dört adet dijital algılayıcı kullanılarak iki konumlu kontrol

uygulanan sisteme ait doğru akım motoru hat hızı verilerinin toplanmasında da servomotorun hat hızı verilerinin toplanmasında kullanılan yöntem uygulanmıştır.

İki sistem karşılaştırıldığında görülmektedir ki bulanık mantık kontrolör kullanılarak benzetişimi yapılan bulanık saç kesme sistemi çalışma sırasında oluşan olumsuz ve ani değişimlere daha iyi cevap vermektedir. Ayrıca sistemin çalışma hızı %50 oranında artırılabilir. Böylece daha hızlı ve güvenli kesim yapılabilir. Yine sonuçlar karşılaştırıldığında bulanık sistem ile kontrol edilen doğru akım motorunun ortalama hızı daha düşüktür. Buda enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki bulanık kontrolör ile tasarlanan sistem daha olumlu sonuçlar vermiştir. Bu da endüstride bu tür uygulamaların gerçekleştirilmesinde bulanık mantık kullanılması için uygulamacılara cesaret vermelidir.



KAYNAKLAR

- [1] **Aray, O.**, 1997. Asenkron makine otomasyonu ve bir bant taşıma sisteminin otomasyonunun projelendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Yen J., Zadeh L. A., Langari R.**, 1995. Applications of Fuzzy Logic And Intelligent Systems , IEEE Press.
- [3] **Cox, E.**, Fuzzy Fundamentals, *IEEE Spectrum*, pp.58, Oct. 1992
- [4] **İstanbulu, A. ve Yılmaz, M. Ç. ve Bulut ,M.**, 1997, Bulanık mantık endüstriyel kontrolde ne zaman ve nerede kullanılır?, *Otomasyon Dergisi*, s. 70-74,aralık.
- [5] **Kosko, B. And Satoru I.**, 1993. Fuzzy Logic, Scientific American, July; "Puslu mantık", *Bilim*, s. 56-60,Eylül.
- [6] **Günel Ü.**, Bulanık Mantık , *Otomasyon dergisi* , sayı 56, s.170-173, 1997.
- [7] **Kandel, A.**, Fuzzy Mathematical Techniques with Applications, Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- [8] **El-Hawary M. E.**, 1998 , Electric Power Applications of Fuzzy Systems , IEEE Press.
- [9] **Yazıcıoğlu, H.**, 1997, Bulanık Mantık Teorisi ve Yeni Bir Kontrolör Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Demirel A.**, 1998, Elektrikli Taşıtlar İçin Doğrudan Sürüşlü ve Bulanık Patinaj Önleyicili Bir Tahrik Sistemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [11] **Saetio, S. And Torrey, D. A.**, 1998, Fuzzy logic control of a space-vector PWM current regulator for three phase power converters, *I.E.E.E., Tr. On fuzzy systems*, vol.1, no. 2, pp. 146.
- [12] **Wang, L. X.**, 1993, Stable adaptive fuzzy-control of non-linear systems , *I.E.E.E., Tr. On power electronics*, vol. 13, no. 3, pp. 419-426.
- [13] **Zadeh, L.A.** , Making Computer think Like People ,*I.E.E.E. Spectrum*, Vol. 8, pp. 26-32, 1984.
- [14] **Self K.** , Designing with Fuzzy Logic, *I.E.E.E. Spectrum*, Vol. 108 , pp. 42-44, 1990.
- [15] **Kosko, B.**, 1991. Neural Network and fuzzy system, Prentice Hall, New Jersey.
- [16] **The Math Works**, 1998, Fuzzy Logic Toolbox for Use with Matlab User's Guide.
- [17] **Allen - Bradley** , 1997, Digital Dc Drives Manual
- [18] **Allen - Bradley** , 1997, Digital DC drives troubleshooting
- [19] **Allen - Bradley** , 1995, PLC5 eğitim notları
- [20] **Çetin, İ. Ve Schuisky, W.**, 1987, Elektrik motorları, 1.kısım, Fatih yayınevi.
- [21] **Tschilikin, M. G.**, 1977. Elektrik motoru ile tahrik, kutulmuş matbaası.
- [22] **Tunçay, R. N. ve Tacer, E.**, 1992, Güç elektroniği ders notları, İ.T.Ü.
- [23] **Dewan, S.B., Slemon, G.R. And Straughen, A.**, 1984, Power semiconductor drives, John Willey and sons.
- [24] **Sarioğlu, M. K.**, 1996, Dynamics of electrical machines.
- [25] **Sarioğlu, M. K.**, 1990, Elektrik makinalarının temelleri 1, enerji dönüşümü ve makina modelleri, İ.T.Ü.
- [26] **Nieniewski, M.J., Marleau R.S.**, 1978, Digital Simulation of an SCR-Driven DC Motor, *IEEE, Transaction on Industry Applications*, Vol.14.

- [27] **Dote, Y. And Kinoshita, S. ,** 1990, Brushless Servomotors Fundamentals and applications, Clarendon press.
- [28] **Mamur, T.,** 1996, Fırçasız Servomotorlar Yapıları Ve Kontrol Esasları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] **Ong, C.-M.,** 1998, Dynamic simulation of electric machinery using matlab/simulink, Prentice Hall, New Jersey.
- [30] **Miller T.J.E.,** 1989, Brussless Permanent magnet and Brushless DC Motors, Clarendon Press, Oxford.
- [31] **Ormec Application Notes,** 1997, Encoders vs. resolver based servo systems.
- [32] **Mannesman Rexroth,** Indramat servo driver-user manual, 1993, December.



Ek 1

Doğru akım motorunun çeşitli hat hızları için sahadan toplanmış hız geribesleme değerleri.

Zaman	$V_{\text{hat}}=33$
0	0
0.2	33
3	33
3.2	0
4	0
4.2	33
6.6	33
6.8	3
7.2	3
7.4	32
8.2	32
8.4	33
12.6	33
12.8	1
13	1
13.2	33
16	33
16.2	7
16.8	7
17	33
19	33
19.2	20
20	20
20.2	27
21	27
21.2	33
23	33
23.2	3
24.2	3

Zaman	$V_{\text{hat}}=61$
0	0
.2	61
1.2	61
1.4	6
2.4	6
2.6	44
3.4	44
3.6	62
5.2	62
5.4	26
5.6	26
5.8	61
6.4	61
6.6	3
7.6	3
7.8	49
8.8	49
9	61
9.8	61
10	31
11	31
11.2	61
12	61
12.2	2
13	2
13.2	56
14	56
14.2	58
15.2	58

Zaman	$V_{\text{hat}}=90$
0	0
.2	90
2	90
2.3	2
2.9	2
3.1	88
5	88
5.4	30
6	30
6.2	79
8.2	79
8.5	7
9.1	7
9.4	90
11.3	90
11.6	2
12.2	2
12.5	89
14.3	89
14.5	1
15.1	1
15.4	85
17.2	85
17.5	5
18.1	5
18.4	90
20.2	90
20.5	0
21	0

24.4	33
26.2	33
26.4	31
27.2	31
27.4	15
28.4	15
28.6	33
30.4	33
30.6	19
31.6	19
31.8	28
32.4	28
32.6	33
34.6	33
34.8	4
35.8	4
36	33
37.8	33
38	30
38.8	30
39	17
40	17
40.2	33
42	33
42.2	17
43	17
43.2	28
44	28
44.2	33
46.2	33
46.4	2
47.2	2
47.4	33
49.8	33
50	0

15.4	1
16.4	1
16.6	61
17	61
17.2	22
18.2	22
18.4	29
19.4	29
19.6	61
20.2	61
20.4	2
21.2	2
21.4	54
22.4	54
22.6	15
23.4	15
23.6	35
24.4	35
24.6	62
25.6	62
25.8	1
27	1
27.2	58
27.6	58
27.8	55
28.6	55
28.8	2
29.8	2
30	61
31	61
31.2	28
31.8	28
32	60
33.2	60
33.4	47

21.3	90
23	90
23.3	02
24	2
24.3	91
26.1	91
26.3	0
27	0
27.3	77
29.1	77
29.4	11
30	11
30.3	90
32.2	90
32.5	1
33	1
33.3	88
35.2	88
35.5	4
36.2	4
36.5	89
38.3	89
38.5	0
38.7	0
39	91
40.9	91
41.2	6
41.8	6
42.1	90
44	90
44.3	0
45	0
45.2	90
47	90
47.3	8

52	2
52.2	32
53.2	32
53.4	33
55	33
55.2	0
56	0
56.2	33
59.4	33
59.6	0
61	0
61.2	33
62.2	33
62.4	10
63.4	10
63.6	33
65.2	33
65.4	24
66.4	24
66.6	33
69.6	33
69.8	1

34.2	47
34.4	8
35.4	8
35.6	62
36.4	62
36.6	0
37.6	0
37.8	60
38.6	60
38.8	41
39.8	41
40	13
41	13
41.2	62
41.8	62
42	5
43	5
43.2	47
44.2	47
44.4	23
45.2	23
45.4	28
46.4	28
46.6	62
47.2	62
47.4	2
48.4	2
48.6	53
49.4	53
49.6	60
50.4	60
50.6	0
51.4	0
51.6	61
52.4	61

48	8
48.2	90
50	90
50.3	11
51	11
51.2	89
53	89
53.2	11
54	11
54.3	89
56	89
56.3	0

52.6	36
53.6	36
53.8	57
54.8	57
55	55
55.6	55
55.8	3
56.6	3
56.8	61
57.6	61
57.8	28
59.4	28
59.6	25
59.8	25

