

29091

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR ELEKTROMEKANİKSEL SİSTEMİN TASARIMI VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜRSEL ŞEFKAT

BURSA,EYLÜL,1993

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR ELEKTROMEKANİKSEL SİSTEMİN TASARIMI VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜRSEL ŞEFKAT

Sınav Günü: 14.09.1993

Jüri Üyeleri : Prof.Dr.İbrahim YÜKSEL .  (Danışman)

Doç.Dr. Ferruh ÖZTÜRK . 

Doç.Dr. Osman KOPMAZ . 

BURSA,EYLÜL,1993

ÖZ

Bu çalışmada, elektromekanik aygıtlar hakkında bilgi verilmiş ve bir uygulaması olan elektromanyetik fren sisteminin tasarımı ve analizi yapılmıştır.

Sistemin matematiksel modeli kurularak bilgisayar simülasyonu gerçekleştirilmiş ve kurulan deney tesisatı üzerinden alınan statik ve dinamik değerlerle karşılaştırılmıştır.



ABSTRACT

In this study, firstly the electromechanical devices have been described and then as an application electromagnetic brake has been designed and analysed.

A mathematical model has been established and the computer simulation of the system has been realized. The theoretical results have been compared with the static and dynamic results.



ŞEKİL LİSTESİ

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Giriş	1
------------------	---

BÖLÜM 2

ELEKTROMANYETİZMA

2.1. Manyetizma	5
2.1.1. Manyetik Kütle	5
2.1.2. Coulomb Kanunu	5
2.1.3. Manyetik Alan	6
2.1.4. Manyetik İndüksiyon	8
2.1.5. Manyetik Fluks (Akı)	9
2.2. Elektromanyetizma	11
2.2.1. Bir Akımın Doğurduğu Manyetik Alan (Amper Kanunu)	11
2.2.2. Bir Manyetik Alanın Bir Elektrik Akımı Üzerine Etkisi	13
2.2.3. Elektromanyetik İndüksiyon Olayı	15
2.2.4. Self İndüksiyon	17
2.2.5. Manyetik Devre-Maddelerin Manyetik Özellikleri ...	19
2.2.5.1. Diyamanyetik, Paramanyetik ve Ferromanyetik Malzemeler	19
2.2.5.2. Miknatıslanma Eğrisi	20
2.2.5.3. Manyetik Devreler	22
2.2.5.4. Magnemotor Kuvvet	25
2.2.5.5. Manyetik Gerilim Düşümü	25

BÖLÜM 3

ELEKTROMEKANİK AYGITLAR

3.1. Doğru Akım Motorları	26
3.1.1. Çalışma Prensibi	26
3.1.2. D.A. Motorlarında Moment ve Güç	29
3.1.3. D.A. Motor Çeşitlerinin Özellikleri	30
3.1.4. D.A. Motorlarının Devir Sayısı Ayarı	31
3.2. Elektromıknatıslar	32
4.2.1. Elektromıknatis Karakteristik Özellikleri	35
4.2.2. Elektromıknatısların Kullanım Alanı	38

BÖLÜM 4

FRENLER

4.1. Genel İfadeler ve Sınıflandırma	43
4.2. Enerji Denklemi	44
4.3. Pabuçlu Fremler	45
4.3.1. Dıştan Pabuçlu Fremler	46
4.3.2. İçten Pabuçlu Fremler	50
4.4. Bantlı Fremler	51
4.5. Diskli Fremler	52

BÖLÜM 5

GERGİ KONTROL SİSTEMLERİ

5.1. Giriş	53
5.2. Kuram	54
5.2.1. Kinematik İnceleme	54
5.2.2. Birinci Örnek Sistem	55
5.2.3. İkinci Örnek Sistem	57
5.3. Önerilen Gergi Kontrol Sistemleri	59
5.3.1 Analog Gergi Kontrol Sistemleri	59
5.3.2 Sarkaç (Dancer) Gergi Kontrol Sistemi	60

5.3.3 Yük Hücreli Kontrol Sistemi	61
---	----

BÖLÜM 6

MANYETİK FRENİN ANALİZİ VE TASARIM

6.1. Manyetik Devrenin Hesaplanması ve Nümerik Çözümü	63
6.2. Elektromekanik Frenin Dinamik Davranışı	69
6.2.1. Elektromıknatıssal Sistemin Tasarım ve Özellikleri	69
6.3. Elektromekaniksel Sistemin Dinamik Davranışı	72
6.3.1. Kuramsal Tanımlar	72
6.3.2. Sistem Eşitliklerinin Çözümü	76
6.3.3. Manyetik Devre Kısımının Boyutlandırılması	79

BÖLÜM 7

DENEY VE BULGULAR

7.1. GİRİŞ	83
7.2. Elektromıknatıs Karakteristiği Deney Düzeneği ve Yapılışı	83
7.3. Statik ve Dinamik Deney Tesisatı ve yapıılışı	87
7.3.1 Statik Deney Tesisatı ve Yapılışı	87
7.3.2 Dinamik Deney Tesisatı ve yapıılışı	91

BÖLÜM 8

TARTIŞMA VE SONUÇ

8.1. Tartışma ve Sonuç	93
ÖZET	96
KAYNAKLAR	97
TEŞEKKÜR	98
ÖZGEÇMİŞ	99
EKLER	100

EK1 - Matlab ve Programlarda Kullanılan alt Programlar	100
EK-1.1 Matlab	100
Ek-1.2 Kullanılan Alt Programlar	101
EK2 - Bilgisayar Programları Akış Diyagramları ve Listeleri	105
EK3 - Deney Tesisatında Kullanılan Parçalar	113
EK4 - Akım Sürücüsünün Elektronik Devre Şeması	116



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Pistonlu Elektromıknatıslar

Şekil 2.1 Çubuk mıknatıs

Şekil 2.2 Manyetik kütle (K_1 ve K_2 farklı işaretli kütleler)

Şekil 2.3 Manyetik alan vektörü

Şekil 2.4 Mıknatıslı ibre

Şekil 2.5 Aynı işaretli kutuplar birbirlerini çekerler ((a), (b), (c)), aynı işaretli kutuplar birbirlerini iterler (d)

Şekil 2.6a Manyetik akı

Şekil 2.6b Manyetik akı

Şekil 2.7 Kuvvet borusu

Şekil 2.8 Akının yönü

Şekil 2.9 Demirde manyetik akı

Şekil 2.10 Amper kanunu

Şekil 2.11 Manyetik alanın yönü

Şekil 2.12 Solenoid (bobin)

Şekil 2.13 Manyetik alanın bir elektrik akımı üzerine etkisi

Şekil 2.14 İçinden akım geçen iki uzun düz paralel hat arasındaki kuvvet

Şekil 2.15 Bobinde doğan e.m.k.

Şekil 2.16 Kuvvet çizgilerini dik olarak v hızı ile kesen iletkendeki e.m.k.

Şekil 2.17 Self indüksiyon

Şekil 2.18 Mıknatıslanma eğrisi

Şekil 2.19 Demir halka ve bilezik içinde akı

Şekil 2.20 Manyetik devre çeşitleri

Şekil 2.21 Mıknatıslanma eğrisi

Şekil 3.1 Manyetik alanın içindeki bir iletkenin durumu

Şekil 3.2 Manyetik alanın içindeki bobinin hareketi

Şekil 3.3 Pistonlu solenoid

Şekil 3.4 Pistonlu ve diskli solenoid

Şekil 3.5 Oransal solenoid

Şekil 3.6 AC solenoid

Şekil 4.1 Frenlerin sınıflandırılması

Şekil 4.2 Frenlerin çalışma prensiplerine göre sınıflandırılması

Şekil 4.3 Dıştan ve içten pabuçlu frenler

Şekil 4.4 Frenlemeye etki eden kuvvetler

Şekil 4.5 İçten pabuçlu fren çeşitleri

Şekil 4.6 Bantlı fren

Şekil 5.1 Rulo

Şekil 5.2 Gergi kontrol sistemi

Şekil 5.3 Serbest cisim diyağramı

Şekil 5.4 Blok şeması

Şekil 5.5 Gergi kontrol sistemi

Şekil 5.6 Serbest cisim diyağramı

Şekil 5.7 Blok şeması

Şekil 5.8 Analog Gergi Kontrol Sistemi

Şekil 5.9 Sarkaç Gergi Kontrol Sistemi

Şekil 5.10 Yük Hücreli gergi Kontrol Sistemi

Şekil 6.1 Elektromıknatis geometrisi

Şekil 6.2 Elektromekaniksel sistem

Şekil 6.3 Elektromekaniksel model

Şekil 6.4 Kuvvet eğrileri

Şekil 6.5 Anahtarlama zamanı

Şekil 6.6 Kullanılan elektromıknatisin kuvvet-yerdeğiştirme karakteristikleri

Şekil 7.1a Elektromıknatis Karakteristiği test düzeneği

Şekil 7.1b Elektromıknatis Karakteristiği deney tesisatının üstten görünüşü

Şekil 7.2 Deneysel sonuçlar

Şekil 7.3 Dinamik deney düzeneği

Şekil 7.4a $P_s=70$ bar, $I=4$ A' deki Sistem Dinamik Cevabı

Şekil 7.4b $P_s=70$ bar, $I=2$ A' deki Sistem Dinamik Cevabı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

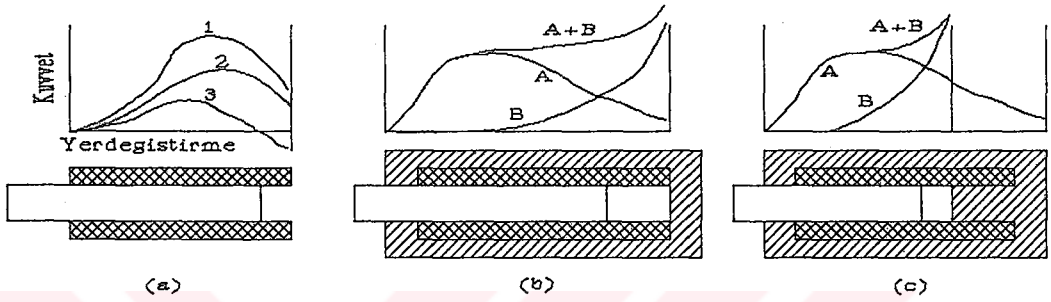
Elektromekanik aygıtlar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren cihazlardır. Elektrik enerjisini, mekanik (dönme hareketi) enerjiye çeviren aygıtlara elektrik motoru diyoruz. Doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elektrik motorlarına doğru akım motorları, alternatif akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elektrik motorlarına da alternatif akım motorları denir. Doğru akım motorlarına ileride değineceğiz.

Elektrik enerjisini mekanik (öteleme hareketi) enerjiye çeviren aygıtlara genellikle solenoid adı verilmekle birlikte elektromıknatis olarak bilinirler. Bu aygıtlar manyetik kuvvetle, elektromıknatisin hareketli elemanını (armatür) itme veya çekme prensibi ile çalışırlar.

Elektromıknatisin iki genel tipi, armatürün hareketi veya diğer bir parça içinde yerdeğiştirmesi için tasarlanır ve bu tür çalışmasıyla da çekme mıknatisi olarak adlandırılırlar. Sadece manyetik malzemeleri tutmak için ve çoğunlukla doğru akımla çalışan elektromıknatisler portatif elektromıknatis olarak bilinirler. Portatif elektromıknatis, ani yakalamalar (tutmalar) ve eğer herhangi bir harekete neden olacaksa kısa mesafeli tipte tasarlanır. Çeşitli farklılıkları; hareketli kabuk, hareketli piston sonu ve demir kaplı elektromıknatis üzerinde genellikle giriş ve çıkış veya her ikisinde de çekimi artıran aletleri kapsamıyla tanımlanır. Manyetik kuvvet tasarımı için, elektromıknatislerin tüm çeşitlerinin imalatında farklı yöntemleri ve genellikle at nalı şeklinde iki bobine sahip pistonlu elektromıknatisler vardır. Bunların bazılarının detayları aşağıda tanımlanmıştır.

Doğru akım gücüyle yukarıda bahsedilen elektromıknatislerin birkaçının

statik kuvvet karakteristikleri şekil 1.1a'da gösterilmiştir. 1. eğri pistonun solenoidten daha uzun olduğu, 2. eğri pistonla solenoid aynı uzunlukta, 3. eğri pistonun solenoidten daha küçükken ki karakteristikerini gösterir [1]. Solenoid ile piston arasındaki bu çekme şekil 1.1b ve 1.1c'de A olarak işaretlenmiştir.



Rekil 1.1 - Pistonlu elektromıknatıslar

Şekil 1.1b'de B eğrisi sadece pistonun sonu ile çerçeve arasında bulunan hava aralığındaki, şekil 1.1c'deki B eğrisi durdurucu ile piston arasındaki çekme kuvvetini gösterir. Toplam çekme şekil 1.1'de gösterildiği gibi bu iki çekmenin toplamıdır. Elektromıknatısların kuvvet-yerdeğiştirme karakteristikerini elde etmek için, bazı durumlarda elektromıknatısla temasta bulunan düğme, kama, manivela kolu veya diskler kullanılır. Bazı mekanik aletler (manivela kolu gibi) mekanik kuvveti yükseltir, ancak buna karşılık hareket aralığındaki etkiyi azaltırlar. Aralık artırılırsa mekanik kuvvet azalır ve hareket aralığı boyunca yaklaşık olarak üniform kuvvet elde edilir. Basit kaldıraçlarda yaygın olarak kullanılır. Diğer metodlar şekillendirme ve oransal bobin, piston, hareketli elemanı şeklini ve hava aralığını kapsar. Bobin şeklinin genel amacı sarım sayısını değiştirerek çok veya az manyetik kuvvet elde etmektir. Portatif elektromıknatısların çekme kuvveti Φ^2/S ile orantılıdır. Bu sebeple ilgili S alanı, aynı büyüklükteki manyetik akı için küçültülürse çekme kuvveti artar. Bu etki 10 ton veya daha fazla yüklerin elektromıknatıslarla kaldırılmasına izin verir.

Solenoid, bir demir çekirdek üzerine sarılmış iletken bir telden oluşur. Bu yapı

bobin olarak da bilinir. Tüm elektromıknatis çeşitleri de bu prensibe dayanır. Elektro-akışkan valflerin elektriksel kumandasında çok yaygın olarak kullanılan solenoidlerde uygulanan akımın oluşturduğu mıknatis alanı, solenoidin hareketli elemanı üzerinde mıknatıssal bir çekim kuvveti doğurur. Çekim kuvvetinin doğurduğu hareketle genellikle solenoidle doğrudan bağlantılı bulunan valf hareketli elemanını konumlandırarak bir akışkan sinyali sağlarlar. Bunun dışında elektromıknatısları, otomatik olarak hassas kontrol elde etmek mümkün olduğu için geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Özellikle yukarıda bahsettiğimiz gibi elektro-akışkan valflerde çok büyük kullanım alanına sahiptirler. Bunun yanında manyetik fren, amortisör, kavrama, ayırıcı, tutucu, kaldırma mıknatısı vs. gibi alanlarda da kontrol imkanı sağladığı için yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Manyetik fren, kontrol edilebilirliği ve cevap hızı açısından günümüzde kullanılan frenlerden üstündür. Özellikle kağıt, plastik, kumaş, saç gibi şerit halindeki malzemelerin rulo olarak endüstriyel süreçlere girdiği tesislerde ruloların uygun açılıp sarılmasını sağlayan temel öge, şeritteki gergi kuvvetidir. Bu gergi değeri yüksek olduğunda şeridin kopması, az olduğunda ise gevşemeden dolayı üretim hattında önemli aksamalara neden olacaktır. Gergi kontrol sisteminin amacı, söz konusu yerlerde, arzu edilen gergi değerini minimum hata ile sağlamaktır. Buda ancak hızlı ve hassas bir kontrol sistemiyle sağlanır. Günümüzde kullanılan mekanik gergi kontrol sistemleri bu amacı belli ölçüde sağlamakla birlikte, gergi kuvvetinin çok küçük bir bantta değiştiği iplik ve filament üretim tesislerinde hassas kontrol gerekmektedir. Ayrıca mekanik sistemlerin kapladığı alan, elektromanyetik sistemlere göre çok büyüktür.

Hemen hemen sürekli baskı makinaları veya gergi makinalarının hepsinde hassas bir gergi kontrolü istenir. Şeridin makinadan sabit bir F ile çekilebilmesi veya gerilebilmesi yoluyla hassas bir sarma veya kaliteli malzeme işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Herne kadar şerit çekme makinaları belli oranda çeşitli germe kontrol mekanizmaları içersede çoğunlukla çalışma hızındaki ani değişmelerden, bobinin daireselliğinin tam olmamasından, sarma veya boşalma bobininin düzgün olmayan çekilmesinde işlem yapılacak malzemelerin uygun şekilde beslenememesi gibi nedenlerden dolayı bir takım problemler ortaya çıkar. Yetersiz gergi kontrolü sonucu ise işlenen malzemenin kalitesi düşer, malzeme israfına neden olur.

Buna karşılık modüler formda elektriksel ve elektronik sistemler, daha hassas bir gergi kontrolü sağlarlar. [12]

SİSTEMİN AVANTAJLARI

- 1.) Tüm sistem elektriksel olarak çalışmakta
- 2.) Cevap hızının yüksek olması
- 3.) Uygulanma esnekliği
- 4.) Tamamen otomatik olarak çalışması
- 5.) Hassasiyet
- 6.) Güvenirlik
- 7.) Yer problemi
- 8.) Elle ayarlanabilirlik.

Elektromekaniksel sistemler, elektronikteki gelişmelere paralel olarak yaygınlaşmakta olup artık günümüzde bilgisayar kontrollü alanlarda yerini almaktadır.

BÖLÜM 2

ELEKTROMANYETİZMA

2.1. MANYETİZMA

2.1.1. Manyetik Kütle :

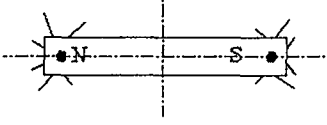
Bir mıknatısın manyetik etkileri kutuplarından gelir (Şek.2.1). Kutuplar mıknatısın içinde birer nokta teşkil ederler: **N** ve **S**. Bir düz mıknatısı (çubuk mıknatıs) ağırlık merkezinden astığımız zaman **N** kutbu dünyanın kuzeyine doğru yönelir; dolayısıyla **S** kutbu dünyanın güneyine yönelmiş olur. Bu sebeple, **N** kutbuna mıknatısın Kuzey Kutbu, **S** kutbuna ise Güney Kutbu denir.

Bir düz mıknatısı ortasından ikiye ayırırsak, Kuzey kutbu Güney kutuptan ayırmak mümkün olmaz: iki ayrı mıknatıs elde ederiz. Yani pratik olarak Güney kutbu Kuzey kutuptan ayırmaya imkan yoktur; daima farklı isimli iki kutup birarada bulunur.

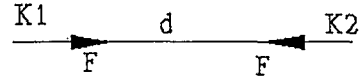
Fakat, hayalimizde bir düz mıknatısın boyuna sonsuz uzun düşünmek suretiyle Kuzey kutbu Güney kutuptan tecrit edilebilir ve etkileri müstakil olarak irdelenebilir. Böylece, mıknatısın manyetik etkilerinin kutuplarında merkezlenmiş bulunan manyetik kütlelerden doğduğu kabul edilir.

2.1.2. Coulomb Kanunu :

İki kutup birbirlerini bu kutuplardaki manyetik kütlelerin çarpımı ile doğru ve kutuplar arasındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olarak çekerler veya iterler (Şek.2.2).



Şekil 2.1 - Çubuk mıknatıs.



Şekil 2.2 - Manyetik kütle (K1 ve K2 farklı işaretli kütleler)

$$F = \frac{1}{4 \pi \mu} \frac{K1 K2}{d^2} \quad (2.1)$$

Burada K1, K2; Kutupların manyetik kütleleri (Wb), d; kutuplar arası mesafe (m), μ ; ortamın manyetik geçirgenliği (H/m), F; manyetik kütleler arası kuvvet (N)'dur.

Birim Manyetik Kütle Tanımı; havada birbirlerinden 1 m mesafede bulunan aynı şiddette iki manyetik kütle birbirlerini $1/(4\pi)^2 10^{-7}$ Newton kuvvetle iterler veya çekerlerse bunlar 1 Weber'lik manyetik kütlelerdir.

2.1.3. Manyetik Alan:

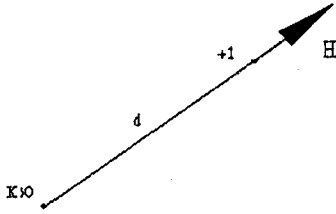
Bir manyetik kütle diğer bir manyetik kütle üzerine kuvvet etkisi yapması bir manyetik alan doğurmasından ileri gelir. Böyle bir manyetik alanın mevcut bulunduğu uzay içine yerleştirilen her manyetik kütle bir kuvvete maruz kalır.

Manyetik alan şiddetinin tanımı: Bir manyetik alan içinde (+) birim manyetik kütle üzerine tesir eden kuvvete manyetik alan şiddeti denir. Şu halde, manyetik alan içindeki bir noktaya yerleştirilmiş (+) Wb'lik manyetik kütle üzerine tesir eden Newton (N) cinsinden kuvvet o noktadaki manyetik alan şiddetidir.

Bir manyetik kütle uzayda doğurduğu manyetik alan: Coulomb kanununa göre K manyetik kütlelerden d mesafede bulunan birim manyetik kütle üzerine tesir eden kuvvet yani manyetik alanın şiddeti;

$$H = \frac{K}{4 \pi \mu d^2} \quad (2.2)$$

Burada H; manyetik alan şiddeti (A/m) dir. (Şek. 2.3)



Şekil 2.3 - Manyetik alan vektörü

Manyetik alan bir kuvvettir; şu halde Vektörel bir büyüklük'tür. Bir vektörel büyüklüğün belli olması için 3 unsurun verilmesi gerekir:

- Vektörün başlangıç veya tatbik noktası
- Vektörün doğrultu ve yönü
- Vektörün şiddeti

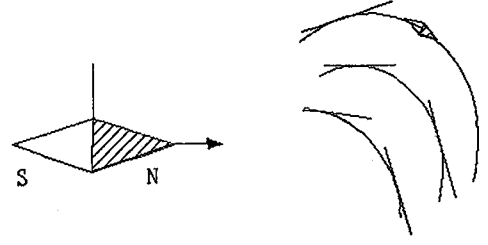
O halde manyetik alanı bir vektör ifadesiyle göstermemiz gerekir: \vec{H} . Bir manyetik alan içindeki bir noktada, manyetik alan dediğimiz zaman o noktadaki manyetik alan vektörünü anlayacağız. Manyetik alanın \vec{H} olduğu noktaya yerleştirilen K' manyetik kütle sine gelen kuvvet $\vec{F} = K' \cdot \vec{H}$ olacaktır.

Alan doğrultusu ve kuvvet çizgileri: Bir manyetik alan içinde her noktada bir manyetik alan vektörü mevcuttur. Birçok yöntemlerle manyetik alan meydana getirilir: bunları ilerde göreceğiz.

Ağırlık merkezinden asılmış bir küçük mıknatısa mıknatıslı ibre denir (Şek.2.4). Mıknatıslı ibrenin yönü S'den N'e doğrudur. Böyle bir mıknatıslı ibreyi manyetik alan içinde gezdirmek suretiyle her noktadaki alan vektörünün doğrultu ve yönünü buluruz; şöyle ki: Bir noktadaki alan vektörünün doğrultu ve yönü ağırlık merkezi o noktaya yerleştirilmiş bulunan mıknatıslı ibrenin alacağı doğrultu ve yöndür.

Bu suretle, bir manyetik alan içinde her noktada alan vektörünün doğrultu ve yönlerini bulup bunları resmettikten sonra bu doğrultulara her noktada tağet olan eğrileri çizersek kuvvet çizgilerini elde ederiz.

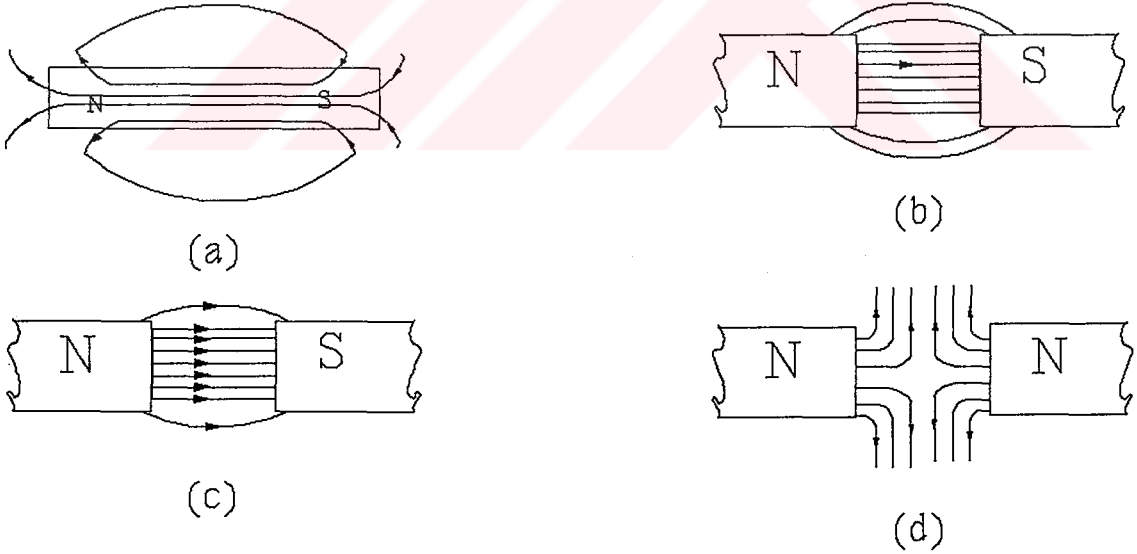
Bir düz mıknatısın kuvvet çizgileri Şek.2.5' deki gibidir. Mıknatısın dışında Kuzey kutuptan Güney kutuba, mıknatısın içinde ise Güney kutuptan Kuzey kutuba giderler.



Şekil 2.4 - Mıknatıslı ibre

Kuvvet çizgileri doğrultusunda bir çekme kuvvetinin, bunlara dik doğrultuda ise bir itme kuvvetinin mevcut olduğu kabul edilir.

İki zıt kutup arasındaki mesafe küçük ise aralarındaki kuvvet çizgileri birbirine paralel olur. Böyle bir alana üniform alan denir. Üniform bir alanın her noktasında alan şiddeti aynı değerdedir.



Şekil 2.5 - Ayrı işaretli kutuplar birbirlerini çekerler ((a), (b), (c)), aynı işaretli kutuplar birbirlerini iterler (c).

2.1.4. Manyetik İndüksiyon :

μ ortamı içinde herhangi bir manyetik alan vektörünü göz önüne alalım. $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$ vektörüne manyetik indüksiyon vektörü denir (Şek. 2.6). Görüldüğü gibi,

manyetik indüksiyon vektörü manyetik alan vektörünün doğrultu ve yönünde bir vektördür yalnız şiddeti μ ile çarpılmıştır. Şiddetin birimi Wb/m^2 dir.

$$B = \mu H \quad (2.3)$$

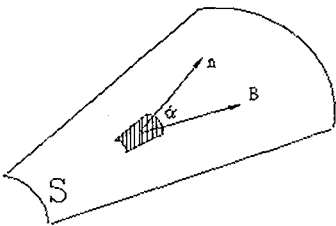
2.1.5. Manyetik Fluks (Akı)

Uzayda bir manyetik alan içinde bir S yüzeyini düşünelim. Yüzeyin her noktasında bir indüksiyon vektörü B mevcuttur. Bu vektör etrafında sonsuz küçük bir dS yüzeyini ele alalım. dS yüzeyinin normali n vektörü ile B vektörü, α açısını yapsınlar (Şek. 2.6a).

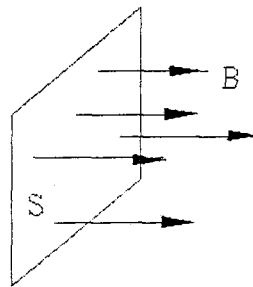
$$\phi = \int B \cos \alpha \, dS \quad (2.4)$$

entegralini hesaplayalım. Bu ϕ entegraline S yüzeyinden geçen manyetik fluks denir (manyetik akı).

Üniform alan içinde kuvvet çizgilerine dik kesit için $\phi=B.S$ olur. Çünkü $\alpha=0$, $\cos \alpha=1$, $B=\text{sabit}$. ϕ 'nin birimi Wb 'dir



Şekil. 2.6a - Manyetik Alan

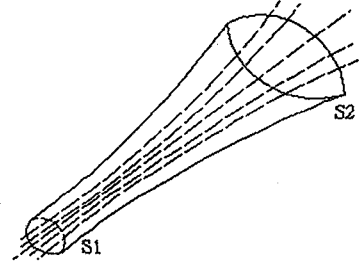


Şekil. 2.6b - Manyetik Alan

KuvvetBorusu

Kuvvet çizgileriyle sınırlandırılmış boru şeklinde bir yüzeyi göz önüne alalım. Yüzeyin S_1 kesitinden giren kuvvet çizgileri tamamen S_2 kesitinden çıkmaktadır (Şek.2.7). Yani borunun yan cidarını teşkil eden yüzey kısımdan hiçbir kuvvet çizgisi

girmemekte ve çıkmamaktadır. Böyle bir boruya kuvvet borusu denir. Kolayca ispat edilir ki, S_1 ve S_2 kesitlerinden geçen akılar birbirlerine eşittir. Dolayısıyla buradan şu genel sonucu çıkarabiliriz: Akı, kuvvet çizgileri sayısı ile orantılıdır.

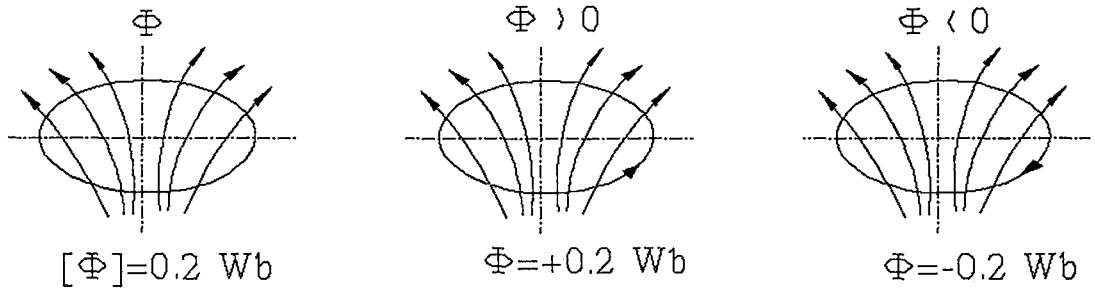


Şekil 2.7 - Kuvvet borusu

Kuvvet çizgilerinin nasıl tanımlandığını hatırlarsak, bunların sonsuz sayıda olduğu görürüz. Fakat bir çok hallerde, fikirleri tespit edebilmek ve şekil çizebilmek için, belli Wb değerinde bir akı, belli sayıda kuvvet çizgisiyle temsil edilir.

Akının İşareti

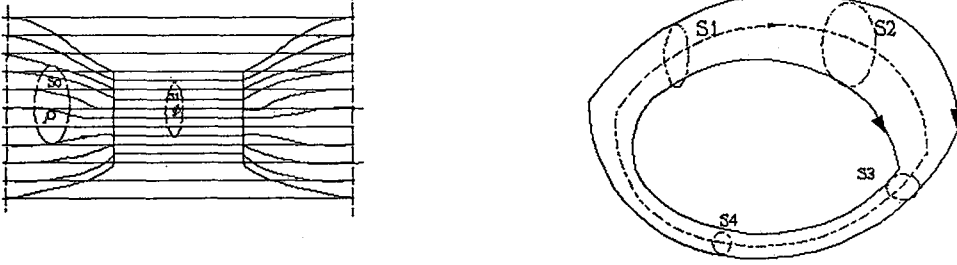
Bir yüzeyden geçen akı, negatif veya pozitif olarak işaretlenebilir (Şek. 2.8). Şöyle ki: Yüzeyi çevreleyen eğri üzerinde bir dönüş yönü seçilir; buna pozitif dönüş yönü deriz. Bu yöne nazaran yüzeyden geçen akının (+) veya (-) olduğu şu şekilde tarif edilir: Bir tirbuşonu, yüzeyin ortasına saplanacak şekilde çevre yönüncce döndürelim; tirbuşon ucunun ilerleme yönü, kuvvet çizgileri yönünde ise akı (+) dir, aksi yönde ise (-) dir.



Şekil 2.8 - Akının yönü

Havadaki ve demirde manyetik akı

Havadaki bir manyetik alan içine bir demir çubuk sokarsak kuvvet çizgilerinin



Şekil 2.9 - Demirde manyetik akı

demir çubuk üzerinde toplandığı görülür (Şek.2.9). Demir içindeki indüksiyon hava içindeki indüksiyondan μ misli büyüktür.

Kapalı bir kuvvet borusuna manyetik devre denir. Elektrik devresine benzerse de bazı önemli farkları vardır ilerde değineceğiz (Şek. 2.9).

2.2 ELEKTROMANYETİZMA

2.2.1. Bir akımın doğurduğu alan (Amper kanunu)

Oersted görmüştür ki, akım taşıyan bir iletkenin yakınındaki uzay içinde bir mıknatıslı ibre sapmaktadır. Demek ki, bir akım, etrafındaki uzay içinde bir manyetik alan doğurmaktadır.

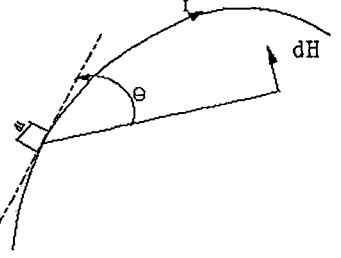
Bu olaya dair amper kanunu şöyledir: I akımını taşıyan sonsuz küçük (dl) elemanından (x) mesafesindeki (P) noktada meydana gelen manyetik alanın genliği:

$$dH = \frac{I dl \sin\theta}{4 \pi x^2} \quad (2.5)$$

Burada;

θ , eleman ile elemanı (P) noktasına bağlayan doğru arasındaki açıdır.

Bu sonsuz küçük alan vektörü (dH), (P) noktası ile elemanın teşkil ettiği düzleme diktir. Yönü ise, sağ el kuralı ile bulunur: (a) baş parmak, elemanın yönünde, (b) işaret parmağı, noktaya bakmakta, (c) orta parmak alanın yönünü verir.



Şekil 2.10 - Amper kanunu

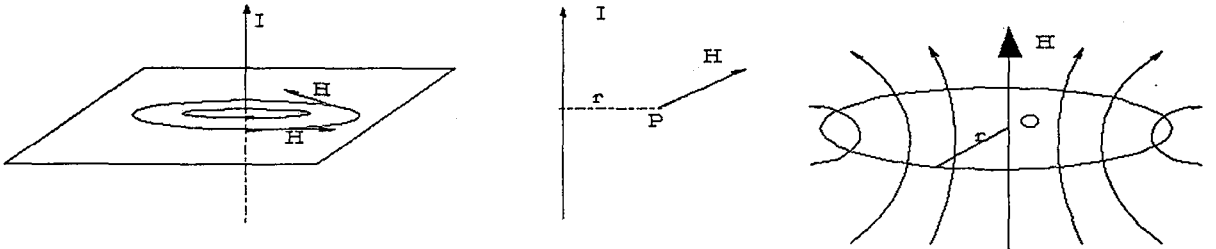
Bu kanunu aşağıdaki iletkenlere uygulayalım;

(a) Doğru hat şeklinde sonsuz uzun bir iletkenin doğurduğu alan:

I akımını taşıyan doğru hat şeklinde sonsuz uzun bir iletkenin (r) mesafesindeki (P) noktasında doğan manyetik alanın genliğinin;

$$H = \frac{I}{2 \pi r} \quad (2.6)$$

değerine eşit olduğu yukardaki amper kanunu uygulanarak kolayca ispat edilir. Yönü şekildeki gibidir(Şek. 2.11)



Şekil. 2.11 - Manyetik alanın yönü

(b) *Daire şeklinde bir iletkenin merkezinde doğurduğu alan:*

I akımını taşıyan (r) yarıçapında dairesel bir iletkenin (O) merkezinde doğan manyetik alanın genliğinin;

$$H = \frac{I}{2r} \quad (2.7)$$

değerine eşit olduğu Amper kanununun uygulanmasıyla görülür. Bu halde, H vektörünün yönünü bulmak için tirbuşon kaidesi uygulanır.

(c) *Solenoid şeklinde bir iletkenin içinde doğurduğu alan:*

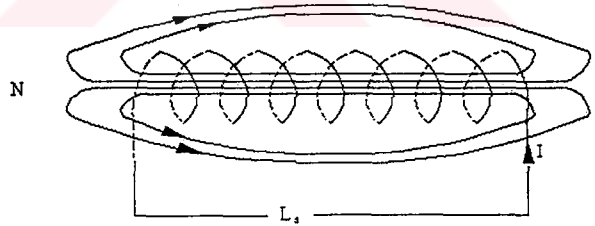
I akımını taşıyan (L_s) boyunda (N) sarımlı solenoid şeklinde sarılmış bir iletkenin ortasındaki boşluk içinde doğurduğu manyetik alanın genliği;

$$H = N \frac{I}{L_s} \quad (2.8)$$

değerine eşittir.

Solenoidin (pratikte buna bobin diyoruz) ortasındaki yani içindeki alan üniformdur. Bu alanın doğrultu yönünü de (b) şıkında olduğu gibi

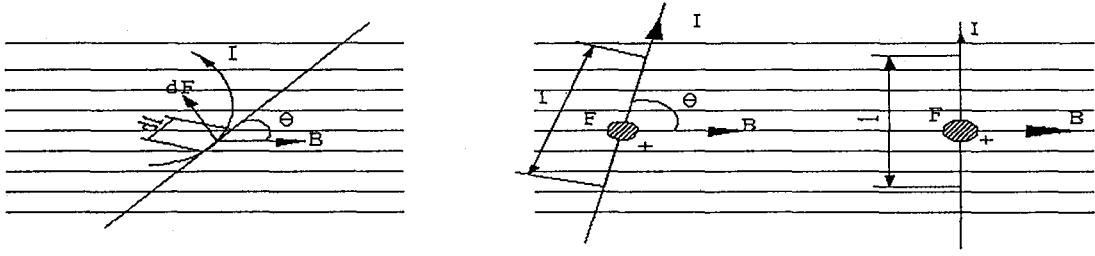
tirbuşon kaidesiyle kolayca buluruz.



Şekil 2.12 - Solenoid (bobin)

2.2.2. Bir manyetik alanın bir elektrik akımı üzerine etkisi

Deneyler göstermiştir ki, bir manyetik alan içine rastlayan bir elektrik akımı, kuvvet çizgilerine dik bir kuvvete maruz kalır. Bu olay, bir moment doğurmak için elektrik motorlarında kullanılmaktadır (Bölüm 3): Bu moment motoru döndürür ve bu suretle devrenin verdiği elektrik enerjisi mekanik enerjiye çevrilmiş olur. Doğan bu



Şekil 2.13 - Manyetik alanın bir elektrik akımı üzerine etkisi

kuvvetin şiddeti iletkenden geçen I akımı, manyetik alanın B indüksiyonu ve iletkenin alan doğrultusuna dik L uzunluk bileşeni ile orantılıdır. Şekil 2.13'ün ilk kısmında indüksiyonun B olduğu üniform bir manyetik alan içinde ve kağıt düzleminde bir iletken üzerindeki dl uzunluk elemanı göz önüne alınmıştır; bu elemanın ekseni kuvvet çizgileri doğrultusu ile θ açısı yapmaktadır. İletkenden I akımı geçmektedir. Bu durumda, dl elemanına gelen dF kuvveti şuna eşittir.

$$dF = B I dl \sin\theta \quad (2.9)$$

Bu kuvvetin doğrultusu kağıt düzlemine diktir; yönü ise önden arkaya doğrudur. İletkenin diğer kısımlarına gelen kuvvet de aynı şekilde bulunur.

Uzunluğu l olan doğru bir hat şeklindeki bir iletken halinde (Şek. 2.13) $F=B.I.l.\sin\theta$ olur; iletkenin ekseni kuvvet çizgilerine dik bulunuyorsa $\theta=\pi/2$ olacağından:

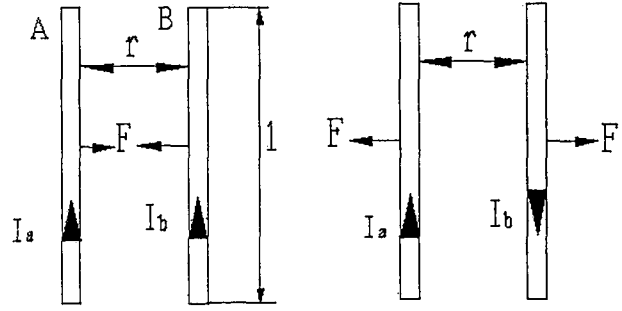
$$F = B I l \quad (2.10)$$

Kuvvetin yönünü bulmak için pratikte sağ el kuralı kullanılır. Bu takdirde, baş parmak; akım yönü, işaret parmağı; alan yönü, orta parmak; kuvvet yönünü verir.

İki uzun düz paralel hat arasındaki kuvvet etkisi:

Çok uzun doğru hat şeklinde birbirine paralel iki iletkeni göz önüne alalım: A

ve B (Şek. 2.14). A dan geçen akım I_a , B den geçen akım I_b olsun ve iletkenler arasındaki hava aralığı r olsun. r mesafesi yanında iletkenlerin çap kalınlıklarını ihmal edelim. A iletkeninden geçen I_a akımı tarafından, civardaki r mesafesinde meydana getirilen indüksiyon



Şekil 2.14 - İçinden akım geçen iki uzun düz paralel hat arasındaki kuvvet

$$B_a = \frac{\mu_o I_a}{2 \pi r} \quad \text{Wb/m}^2 \quad (2.11)$$

dir. B_a indüksiyonundan ötürü B iletkenine gelen kuvvet ise şu değere eşit olur;

$$F = \frac{\mu_o}{2 \pi r} I I_a I_b \quad (2.12)$$

2.2.3. Elektromanyetik İndüksiyon Olayı

1830 yılında Faraday şu olayı keşfetti; bir iletken kuvvet hatlarını kestiği zaman içinde bir elektromotor kuvveti doğar (indüklenir). İletkeni veya akıyı veya her ikisini hareket ettirmek suretiyle bir iletken içinde bir gerilim doğabileceğini buldu. Bu olay, dinamoların, alternatörlerin, transformatorlarının, vb. nin prensibini teşkil eder. Faraday'ın bulduğu kanun şudur: Elektromanyetik tesirle bir iletken içinde indüklenen, doğan, üreyen, elektromotor kuvvet, iletkenin çevrelediği yüzeyin içinden geçen akının zamana nazaran değişme hızıyla veya iletkenin kuvvet çizgilerini kesme hızıyla orantılıdır.

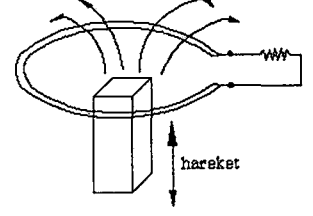
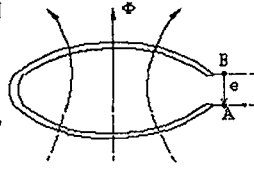
Lenz Kanunu ise, bu e.m.k.'nin yönünü verir:

İndüksiyon e.m.k.'i her an kendisini doğuran sebebe karşı gelecek

yöndedir. Bu kanunları bazı örneklerle izah edelim.

a) Ortasından değişken Φ akısı geçmekte olan bir sarımda doğan e.m.k.:

Sarım üzerinde (+) akıyı tarif etmek için seçtiğimiz dönüş yönünü aynı zamanda, doğan e.m.k. ve akımın (+) yönü olarak kabul edersek, Faraday Kanununu şöyle ifade edebiliriz:



$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.13)$$

Şekil 2.15 - Bobinde doğan e.m.k.

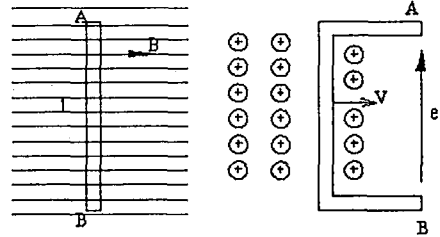
Şayet söz konusu iletken bir tek sarım değil de, N adet sarımdan meydana gelmiş bir bobin ise formül şu şekli alır:

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.14)$$

Yukardaki formülde (-) işaretini atarak e.m.k.'nin mutlak değerini $e=N.d\Phi/dt$ formülüyle hesaplayıp yönünü Lenz Kanunundan giderek de bulmak mümkündür.

b) Kuvvet çizgilerini dik olarak v hızıyla kesen iletkende doğan e.m.k.:

İndüksiyonun B olduğu üniform bir alan içinde kuvvet çizgilerine dik v hızıyla hareket eden l boyundaki iletken içinde doğan e.m.k. şu formülle hesaplanır:



$$e = B l v \quad (2.15)$$

Şekil 2.16 - Kuvvet çizgilerini dik olarak v hızı ile kesen iletkendeki e.m.k.

Yukardaki formülü (a) şikkındaki genel ifadeden giderek çıkarmak

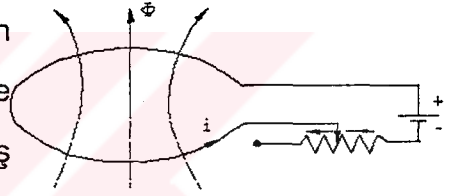
kolaydır.Şayet bir tek iletken yerine N adet seri bağı iletken varsa formül şu şekli alır.

$$e = - N B l v \quad (2.16)$$

Yukardaki formülde (-) işaretini atarak e.m.k.'nin mutlak değerini $e=N.B.L.v$ formülüyle hesaplayıp Lenz Kanununu uygulayarak yönünü buluruz (sağ el kuralı).

2.2.4. Self İndüksiyon Olayı

Bir elektrik devresinden geçen akım sabit olmayıp zamanla değiştiği takdirde bu akımın meydana getirdiği manyetik alan da değişecek ve böylece devre (sargı, bobin) tarafından sınırlanmış yüzey içinden geçen akı da zamanla değişmiş olacaktır. Faraday Kanununa göre devre içinde bir



Şekil 2.17 - Self indüksiyon

indüksiyon e.m.k.'i doğacaktır. Bu indüksiyon e.m.k.'ni bizat devreden geçen akımın kendisi doğurduğundan buna özel bir ad verilir; self-indüksiyon e.m.k.'i denir (Şek.2.17).

Genel olarak, bu akı ya devreden geçen akımla orantılıdır veya akımın küçük değişimleri orantılı olarak değiştiği kabul edilebilir. Dolayısıyla, Self-indüksiyon e.m.k.'i akımın zamana göre değişme hızıyla orantılı olur; Faraday Kanununa göre aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$e_L = - N \frac{d\phi}{dt} = - L \frac{di}{dt} \quad (2.17)$$

Burada L orantı faktörü olup buna devrenin self-indüksiyon katsayısı (Devrenin self-indüktansı veya indüktansı veya kısaca selfi) denir. Yukardaki formülde işaretin (-) oluşu Lenz Kanununu ifade eder: Self-indüksiyon e.m.k.'nin yönü akımın değişmesini önleyecek yöndedir.

Yukardaki denklemleri kullanmak suretiyle selfi iki şekilde ifade edebiliriz.

(a) Denklemin son eşitliğinden giderek;

$$L = \frac{e_1}{\frac{di}{dt}} \quad (2.18)$$

Bir devrenin selfi akımın birim zaman zarfındaki değişimi başına doğan self-indüksiyon voltajıdır. Bu suretle, self biriminin tarifini de yapabiliriz.

Bir devrede akım 1 saniyede 1 amper değiştiği zaman 1 volt'luk bir self-indüksiyon e.m.k.'i doğuyorsa o devrenin selfi 1 Henry'dir.

(b) Denklemin son iki teriminden giderek

$$L = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.19)$$

yazılır. L'nin sabit olduğu hallerde:

$$L \int_0^I di = N \int_0^\phi d\phi \quad (2.20)$$

olur veya

$$L I = N \phi \quad (2.21)$$

yazılır. Bu ifade bize selfin ikinci tarifini verir:

$$L = \frac{N \phi}{I} \quad (2.22)$$

Devreden geçen akım şiddeti birimi başına doğan aku, devrenin selfine eşittir.

Ortamda demir cinsinden manyetik malzeme bulunmadığı takdirde bir devrenin selfi sabit olur yani akımın değerine bağlı olmaz, dolayısıyla sadece devrenin geometrik şekliyle değişir. Bu yüzden selfe bir devre sabitesi denir tıpkı R direncinde olduğu gibi. Belli uzunlukta bir tel doğru hat şeklinde gerildiği zaman selfi minimumdur. Bir bobinin selfi sarım sayısının karesiyle orantılıdır.

Bir solenoidin selfini arttırmak için bunu demir çubuk üzerine sarmak ve sarım sayısını arttırmak çok etkili olur.

Selfi büyük olan bir devredeki akımı ani olarak kesersek çok büyük self-indüksiyon e.m.k.'leri doğabilir. Bu yüksek gerilim, akımın kesildiği yerde bir şerare (ark) meydana getirir. Bu şerare genellikle arzu edilmez çünkü kontakları tahrip eder. Şerarenin önlenmesine veya söndürülmesine çalışılır.

Self katsayısı, mekanikteki atalet katsayısına (kütle) benzer. Selfi büyük olan devrede akım yavaş yükselir ve yavaş söner; aksine, selfi küçük olan devrede akım çabuk yükselir, çabuk söner.

2.2.5. Manyetik Devre - Maddelerin manyetik özellikleri

2.2.5.1. Diyamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik maddeler:

- Diyamanyetik maddeler:

Bu maddelerde bağıl manyetik geçirgenlik birden küçüktür: $\mu_r < 1$, $\mu < \mu_0$ ve maddenin bulunduğu yerde hüküm süren manyetik alan şiddetine (H) bağlı değildir. Bizmut, bakır, gümüş, çinko, su ve hidrojen bu sınıfa girerler. Diyamanyetik maddelerde μ_r birden çok az küçük olduğundan pratikte $\mu_r = 1$ ve dolayısıyla $\mu = \mu_0$ alınır (Örneğin, bakırda $\mu_r = 1-12 \cdot 10^{-6}$ kadardır). Diyamanyetik maddelerin bağıl geçirgenliği sıcaklığa da bağlı değildir.

- Paramanyetik maddeler:

Bu maddelerin bağıl geçirgenliği birden büyüktür $\mu_r > 1$, $\mu > \mu_0$ ve diyamanyetik maddelerde olduğu gibi alan şiddetine bağlı değildir. Hava, tahta, aliminyum, platin ve oksijen bu sınıfa girerler. Bu maddelerde de μ_r birden çok az büyük olduğundan pratikte $\mu = \mu_0$ alınır (Örneğin, havada $\mu_r = 1 + 0.35 \cdot 10^{-6}$).

Paramanyetik maddelerin geçirgenliği genellikle sıcaklığa bağlıdır.

-Ferromanyetik maddeler:

Bu maddeler diyamanyetik ve paramanyetik maddelerden tamamen farklıdır. Bu sınıfa giren maddelerin başında demir gelir. Bu nedenle, bu sınıfa ferromanyetik adı verilmiştir. Demirden başka nikel ve kobalt maddeleri ile bazı alaşımlar da bu sınıfa girer. Bu gruptaki maddeler elektronik bakımdan çok önemlidir. Ferromanyetik maddelerin başlıca özellikleri şunlardır.

- μ_r birden çok büyük olan değerler alabilir. pratikte ferromanyetik malzemelerin bağlı geçirgenliği 10000'e ve daha yüksek değgerlere çıkabilir.

- Bu maddelerde μ_r sabit olmayıp maddenin bulunduğu ortamda hüküm süren manyetik alan şiddetine bağlı olarak değişir.

- Ferromanyetik maddelerin manyetik özellikleri maddelerin daha önce geçirmiş olduğu manyetik hallere bağlıdır. Manyetik geçirgenliğin ferromanyetik maddenin daha önce geçirmiş olduğu manyetik hallerle ilgili olmasına histerezis denir. Daimi mıknatıslar mevcudiyetlerini bu özelliğe borçludurlar.

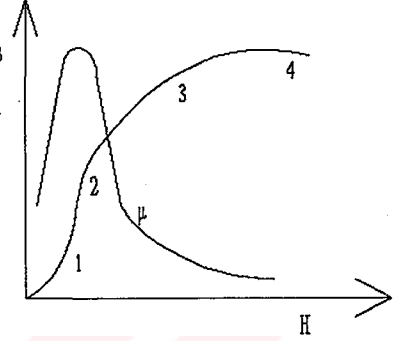
- Son olarak, bu maddenin özellikleri sıcaklığa bağlı olup 770°C civarında bunlar paramanyetik hale geçerler.

2.2.5.2. Mıknatıslanma Eğrisi

Şiddeti H olan bir üniform manyetik alan içine sokulan her hangi bir maddede içinde şiddeti B olan bir indüksiyon meydana gelir. Manyetik alanın şiddetini değiştirdiğimiz zaman bu indüksiyon değeride değişir. $B=f(H)$ eğrisine o maddenin Mıknatıslanma eğrisi (Şek. 2.21) denir. Diğer taraftan, genel olarak $B=\mu H$ bağıntısı mevcuttur.

Diyamanyetik ve paramanyetik maddelerde $\mu \approx \mu_0 = \text{sabit}$ olduğundan (pratikte) bunları mıknatıslanma eğrileri merkezden geçen bir doğru hattır (lineer, doğrusal bir bağıntı vardır).

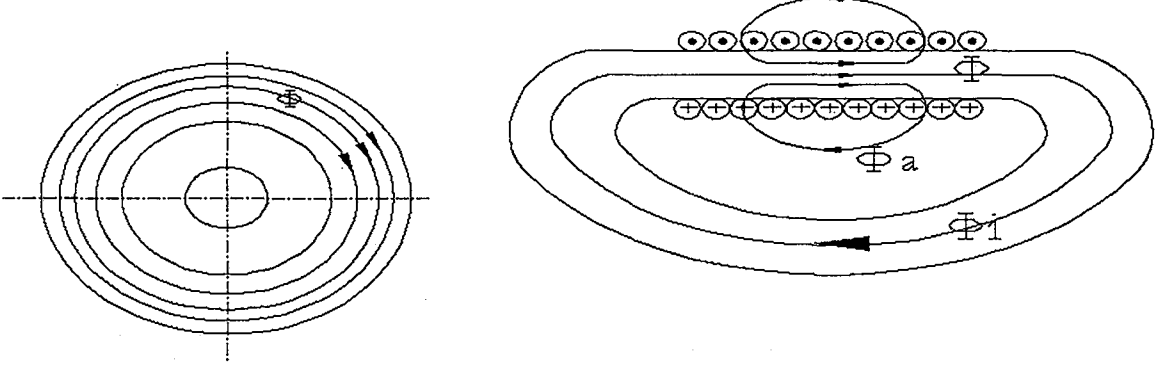
Ferromanyetik cisimlerde μ_r ve dolayısıyla μ sabit olmadığından B ile H arasındaki bağıntı lineer değildir. Belli bir ferromanyetik madde için $B=f(H)$ eğrisi deneyle bulunur. Hiç mıknatıslanmamış (yani ilk defa mıknatıslanacak) bir ferromanyetik maddenin mıknatıslanma eğrisi Şek. 2.18'deki gibidir. Manyetik alan H sıfır değerinden itibaren



Şekil 2.18 - Mıknatıslanma eğrisi

yavaş yavaş artırıldığı zaman, indüksiyon B önce yavaş olarak artar. (1) noktasından sonra artış hızlanır ve (2) noktasına kadar sabit bir artış hızı devam eder. Bu kısımda yani (1)-(2) arasında B'nin artışı H ile orantılıdır; bu kısma mıknatıslanma eğrisinin lineer kısmı denebilir. Bu kısımda manyetik geçirgenlik μ sabit olup en yüksek değerini alır. (2)-(3) arasında indüksiyon daha yavaş artmaya devam eder ve manyetik geçirgenlik aniden düşer; eğri eğiminin çok çabuk değiştiği bu kısma eğrinin dirsek kısmı denir. (3) noktasından sonra manyetik alanı artırdığımız takdirde indüksiyondaki artış çok az olur. Bu kısma eğrinin doymuş kısmı denir; malzeme doymuştur, indüksiyon çok az artmaktadır, malzeme daha fazla kuvvet çizgisi alamamaktadır ve bu kısımda μ çok küçüktür. Pratikte doymuş kısımda indüksiyonun, manyetik alan değerindeki değişikliğe bağlı olmayıp sabit bir değerde kaldığı kabul edilir.

Pratikte en çok karşılaşılan kısım, dirsek kısmının altındaki lineer kısımdır. Çünkü, bu kısımda H'ı az artırmakla B de büyük artışlar elde ederiz. Genellikle, dirsek kısmının üstündeki doymuş kısımda çalışılmaz, çünkü H'ı çok artırdığımız halde bile B de belirli bir artış göremeyiz.



Şekil 2.19 - Demir halka ve bilezik içinde akı

2.2.5.3. Manyetik Devreler

Manyetik geçirgenliği büyük olan ferromanyetik maddelere manyetik malzeme de denir. Diyamanyetik ve paramanyetik maddelere de manyetik olmayan malzeme de denir. Manyetik malzeme yerine mıknatıslanabilen, manyetik olmayanlarada mıknatıslanamayan malzeme tabirleride kullanılır.

Yüksek geçirgenlikte manyetik malzeme kullanmak suretiyle, bir manyetik akıyı belli bir yol üzerinden geçirmek mümkündür, tıpkı, elektrik akımını yüksek iletkenlikte bir tel içersinden geçirmenin mümkün olması gibi.

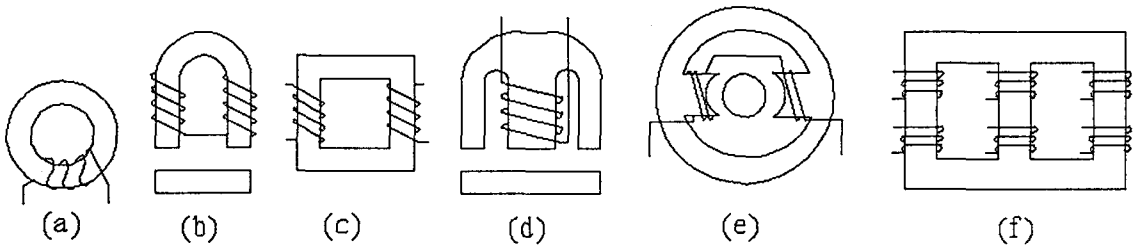
Örneğin, bir tel demir halkanın ortasından geçirildiği takdirde, telden geçen bir akım halka içinde bir akı doğurur. Şek. 2.19'da ki gibi bir demir bileziğin üzerine bir solenoid sarılmıştır; solenoid içinden bir akım geçirildiği takdirde, bilezik içinde bir akı doğar. Halka ve bilezik kapalı manyetik yollardır yani manyetik devrelerdir.

Bir elektrik devresi etrafındaki uzay hava veya başka bir manyetik olmayan malzemedan yapılmış ise manyetik devrenin sınırları Şek. 2.19'daki gibi açıkça belli olmaz. Buna rağmen, genel olarak, kapalı kuvvet çizgileri bulunan bir bölgeye

manyetik devre ismi verilir. Bazı hallerde kuvvet çizgilerinin sonsuzda kapandığı kabul edilir.

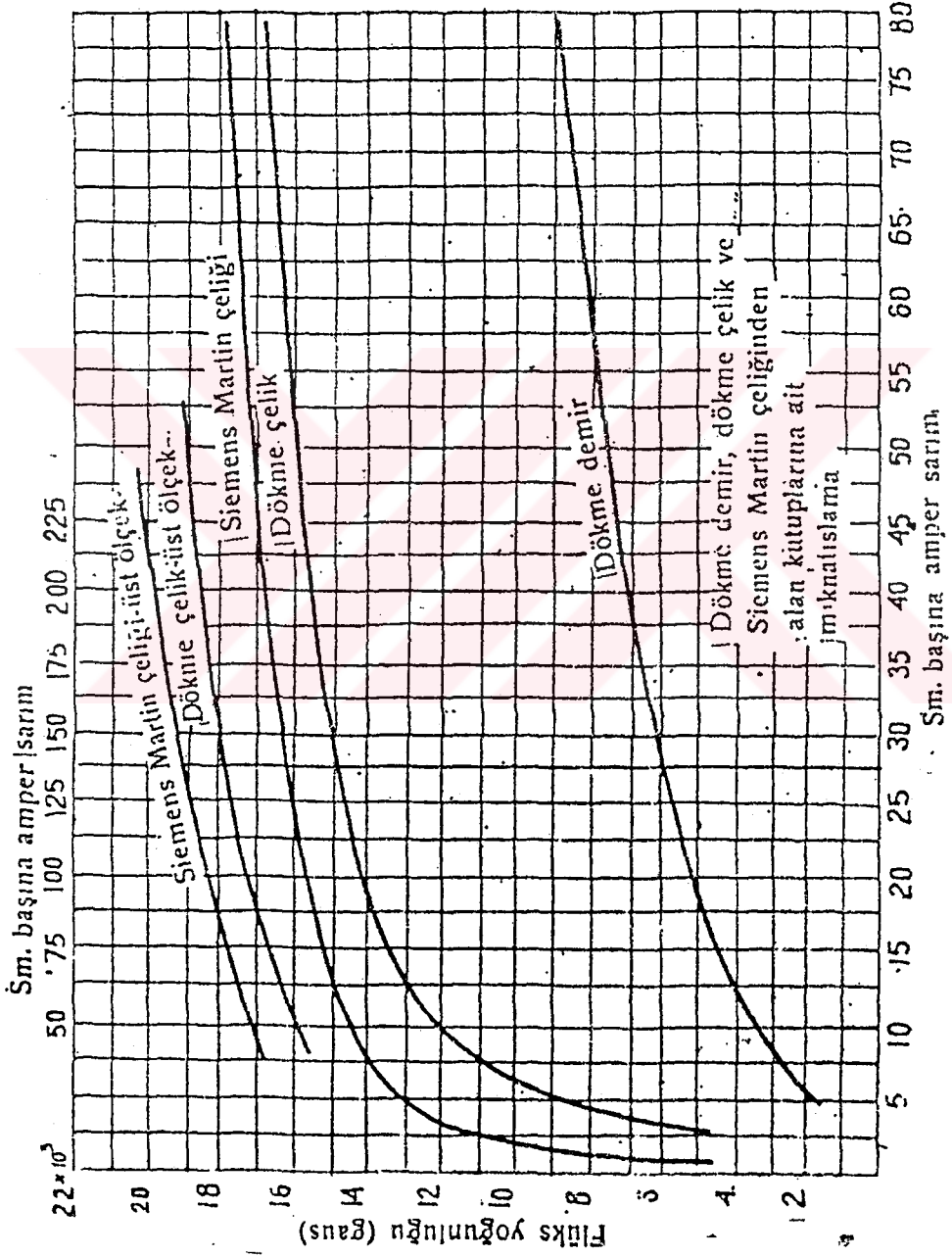
Farklı malzemelerin elektriksel iletkenliklerinin geniş sınırlar arasında değiştiğini biliyoruz. Bazı malzemelerin, örneğin, bakır ve alüminyum iletkenlikleri mika ve kuvarza göre çok yüksektir, dolayısıyla bu malzemeler normal gerilimler için tamamen izolan maddelerdir. En iyi iletken en kötü iletkene nazaran 10^{20} daha iyidir.

Halbuki, malzemelerin manyetik geçirgenlikleri bu kadar geniş sınırlar arasında değişmez. Manyetik olmayan bütün malzemeler akıyı aynı derecede naklederler yani μ 'leri pratik olarak μ_0 değerine eşittir. Manyetik izolator diyebileceğimiz bir madde yoktur. Manyetik malzemelerin miktarı da azdır. Bunların en çok manyetik olanı ile en az manyetik olanı arasındaki oran sadece 10^3 mertebesinde. Dolayısıyla, manyetik devreler cidarlarındaki uzaydan bir elektrik devresi gibi izole edilemezler. Şekil 2.19' da görüldüğü gibi, bir bobin bir bilezik üzerine sarılır ve içinden bir akım geçirilirse demir bilezik içinde Φ_i akısı doğar. Fakat, bobin tarafından oluşturulan Φ akısının tamamı demir bilezik içinden geçmez. Bu akının Φ_a kadar kısmı demirin dışındaki hava içinden devresini kapar. Hava içersinden devresini kapayan bu akıya kaçak akı adı verilir. Bobin ortasından geçen toplam akı demirden geçen akı ile havadan geçen akının toplamı $\Phi = \Phi_i + \Phi_a$ 'dır.



Şekil 2.20 - Manyetik devre çeşitleri

a Toroid, b At nalı elektromıknatis, c Monofaze transf., d Çan tipi elektromıknatis, e D.C. makinası, f Trifaze transf.



Şekil 2.21 - Miknatıslanma eğrisi

Pratikte çeşitli tipte manyetik devrelere rastlanır. Şek.2.20' de bazı manyetik devre tipleri görülmektedir. Daimi mıknatıslar dışındaki bütün manyetik devrelerde manyetik alan (akı), sistem üzerine sarılmış bir veya birden fazla sargı yardımıyla elde edilir. Manyetik devreyi meydana getirmek için bu sargıdan bir akım geçirmek gerekir. Bu akıma ikaz (uyarma) akımı, sargıyada ikaz (uyarma) sargısı denir. Hareket halinde kısımları bulunan manyetik devrelerde (mesela elektromıknatıslarda; elektrik motorlarında, v.b.), devrenin bir veya bir kaç yerinde hava aralıkları bulunur.

2.2.5.4. Magnemotor Kuvvet (F)

Bir manyetik devre içinde bir akı oluşturmak için bu devrenin üzerine sarılmış bobinden devamlı suretle bir akım geçirmek gerekir. Tanım olarak Magnemotor kuvvet diye, Bobinin sarım sayısı (N) ile bobinden geçirilen akımın (I) çarpımına denir; $F=NI$. Pratik sistemde magnemotor kuvvetin birimi; Amper*Sarım'dır. Buna Amper*Tur'da denir.

2.2.5.5. Manyetik Gerilim Düşümü (H.l)

Bir manyetik devre içinde bir kuvvet çizgisini göz önüne alalım. Bu kuvvet çizgisi üzerinde manyetik alanın sabit değerinde olduğu (H) bir kısmın uzunluğu (l) olsun; H.l değerine bu kısım boyunca manyetik gerilim düşümü denir. Manyetik gerilim düşümünün birimi; Amper'dir. [2]

BÖLÜM 3

ELEKTROMEKANİK AYGITLAR

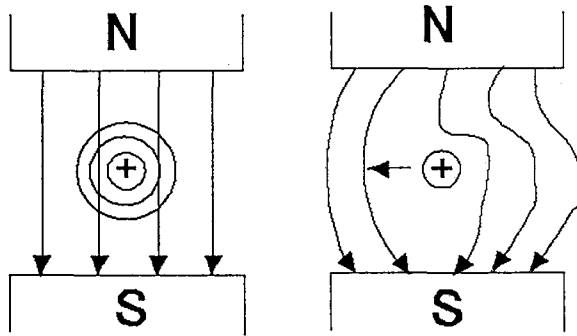
3.1. DOĞRU AKIM MOTORLARI

Doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren, elektrik makinesine Doğru Akım Motoru denir.

3.1.1. Çalışma Prensibi

a.) Manyetik Alandaki Bir İletkenin Hareketi

İçinden akım geçirilen bir iletkenin etrafında, sağ el kuralına uygun olarak, manyetik alan oluşur. İçinden akım geçirilen bu iletken, bir mıknatısın N-S kutupları arasına sokulduğunda iletken sabit durmamakta Şekil 3.1' de görüldüğü gibi, hareket yapmaktadır.



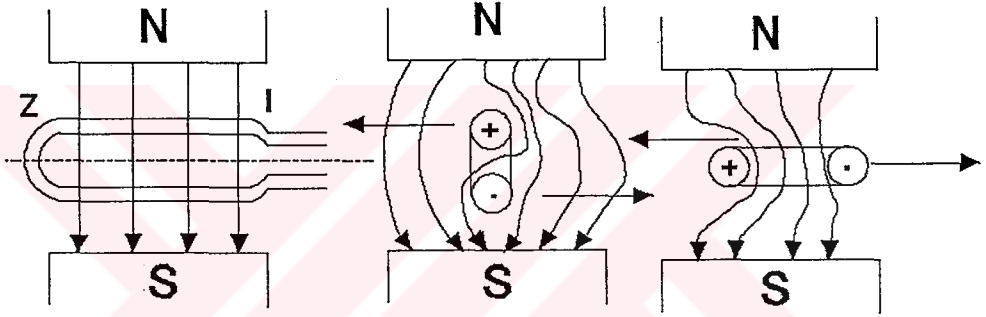
Şekil 3.1 Manyetik alanın içindeki bir iletkenin durumu

Bunun nedeni, iletkenin manyetik alanı ile mıknatısın manyetik alanının birbirleri

üzerindeki etkisidir. İletken alanı mıknatis alanını, solda zayıflatmakta sağda ise güçlendirmektedir.

Bu nedenle, iletken sola doğru hareket etmektedir. Mıknatis alanının veya iletkendeki akımın yönü değiştirilmesi durumunda, manyetik alanın içindeki iletkenin hareket yönü de değişecektir.

b.) *Manyetik Alanın İçindeki Bir Bobinin Hareketi*



Şekil 3.2 Manyetik alan içindeki bobinin hareketi

Z eksenini etrafında dönebilen ve içinden akım geçirilen bir bobin, N-S kutupları arasında konulduğunda, Şekil 3.2' deki hareketi yapacaktır. Bobin üzerinde oluşacak olan manyetik alan ana alanı bozacaktır.

Bu yüzden ana alanın bir kısmı güçlenir, diğer bir kısmı ise zayıflatır. Bundan dolayı bobin Z eksenini etrafında Şekil 3.2' de görüldüğü gibi hareket edecektir.

Kutuplar arasında tek bir bobin yerine bir çok bobin yerleştirilip, bobin uçları kollektöre bağlanırsa, sistemin düzgün bir şekilde dönmesi sağlanır.

Büyük motorlarda N-S kutuplarını oluşturmak için mıknatıs yerine elektromıknatıs kullanılır.

c.) *D.A. Motorlarında Zıt E.M.K*

Manyetik alan içinde dönen ve iletkenleri kuvvet çizgileri tarafından kesilen endüvi (bobinlerin sarılı olduğu dönen nüve) üzerinde e.m.k (elektromotor kuvvet) indüklenir. Bu durumda manyetik alan içinde hareket eden bobinler üzerinde, endüviye uygulanan U gerilimi zıt yönde, bir e.m.k oluşur.

Bu durumda zıt e.m.k' nin değeri;

$$E_b = U - I_a \cdot R_a \quad (3.1)$$

olur.

E_b : Zıt e.m.k (volt)

U : Endüviye uygulanan gerilim (volt)

I_a : Endüvi devresinden geçen akım (amper)

R_a : Endüvi devresinin direnci (ohm)

E_b şu şekilde de ifade edilebilir :

$$E_b = K \cdot \Phi \cdot n \quad (3.2)$$

$$K = 2p \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \cdot 10^{-8} \quad (3.3)$$

Buradan;

$$E_b = \Phi \cdot 2p \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \cdot 10^{-8} \quad (3.4)$$

Formülde;

- ϕ : Kutuplardaki manyetik akı (Maxwell)
- n : Motorun dakikadaki devir sayısı (dev/dak)
- z : Endüvinin toplam iletken sayısı
- $2a$: Endüvideki paralel kol sayısı
- $2p$: Kutup sayısı

Zıt e.m.k sayesinde doğru akım motorlarında, artan yüke göre geçen akımı ayarlayacak ayrı bir düzeneğe gerek yoktur.

Makinenin yükünde meydana gelecek bir artma devir sayısını düşürür. Devir sayısının azalması, $E_b = K \cdot \phi \cdot n$ formülüne göre zıt e.m.k' nin azmasına neden olur. E_b azalınca $I_a \cdot R_a = U - E_b$ formülüne göre ; U ve R_a sabit olduğundan I_a akımı artar. Artan I_a akımı motorun gücünü karşılar.

3.1.2. D.A. Motorlarında Moment ve Güç

Endüvi iletkenlerinden akım geçtiğinde, iletkenler manyetik alan tarafından alanın dışına doğru itilirler. Böylece endüvi çevresinde endüviyi döndüren bir kuvvet veya moment meydana gelir.

Endüvide meydana gelen moment :

$$M_e = \frac{D}{2} \cdot F \quad (3.5)$$

D : Endüvi çapı (m)

F : Endüvi çevresinde meydana gelen kuvvet (N)

Endüvide meydana gelen güç :

$$P_e = M_e \cdot \omega = \frac{D}{2} \cdot F \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad (3.6)$$

Bir motorda endüviye verilen güç :

$$P_1 = U \cdot I_a$$

Endüvide meydana gelen güç :

$$P_e = I_a \cdot E_b = \frac{M_e \cdot n}{0.975} \quad (w) \quad (3.7)$$

M_e yukarıdaki eşitlikten çekilirse :

$$M_e = \frac{I_a \cdot E_b \cdot 0.975}{n} \quad (3.8)$$

$$M_e = I_a \cdot \phi \cdot \frac{2p \cdot z}{2a \cdot 60} \cdot 0.975 \cdot 10^{-8}$$

Bu formülden de anlaşıldığı gibi I_a 'nin artması, endüvide meydana gelen momenti artırır. Böylece motorun gücü artan yükü karşılar.

3.1.3. D.A. Akım Motor Çeşitlerinin Özellikleri

a.) Şönt Motorlar

1.) Yol alma anındaki momentleri yüksek değildir. Bu bakımdan aşırı yüklerde kolay yol alamazlar.

2.) Devir sayıları yük ile çok az değişme gösterir. Bu nedenle devir sayıları hemen hemen sabit kabul edilebilir.

3.) Motor boşta çalışırken, devir sayıları, olduğu gibi tehlikeli değerlere çıkmayıp, normal değerinde kalır. Ancak uyarım devresindeki bir kopukluk devir sayısının tehlikeli değerler almasına neden olabilir ki buda özel tertiplerle önlenebilir.

b.) Seri Motorlar

1.) Seri motorların yol alma anındaki momentleri çok yüksektir.

2.) Devir sayıları yükle çok değişir.

3.) Boşta hiç bir zaman çalıştırılmazlar. Aksi halde devir sayıları çok yükselerek motorun parçalanmasına neden olabilir. Bu bakımdan seri motor iş yerine ya dişli ile veya direkt olarak bağlanmalı, kayış veya zincirle hiç bir zaman bağlantı yapılmamalıdır.

c.) Kompunt Motorlar

1.) Eklemeli kompunt motorların devir sayıları seri ve şönt arası bir değişim gösterir, yani sabit değildir. Ters kompunta ise yükselen veya hiç değişmeyen devir sayısı elde edilebilir.

2.) Her iki kompunt motor da boşta çalıştığında devir sayıları, seri motorda olduğu gibi tehlikeli değerler almaz.

3.) Eklemeli kompunt motorların yolalma momentleri oldukça yüksektir. Ters kompuntların ise zayıftır.

3.1.4. D.A. Motorlarının Devir Sayısı Ayarı

a.) Sabit Kutup Geriliminde Alan şiddetini Değiştirerek

Manyetik alanı etkileyen uyarım akımı değiştirilerek devir sayısı geniş sınırlar içinde ayarlanır.

Doğru akım motorlarında devir sayısı formülü :

$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{K \cdot \phi} \quad (3.9)$$

Devir sayısını (ϕ) manyetik alanına etki edilerek ayarlamanın bazı sakıncaları vardır. Şönt ve kompunt motorlarda devir sayısı, şönt uyarım sargısına seri olarak bağlanan bir dirençle yapılır.

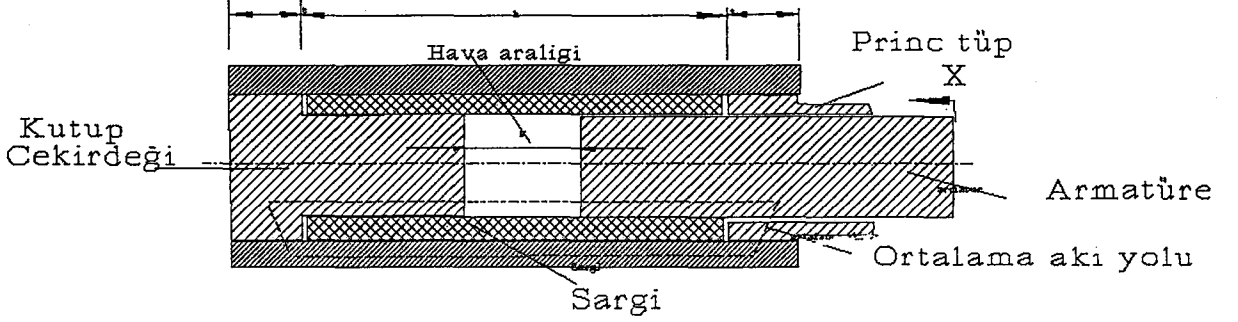
b.) *Motorlara Uygulanan Gerilimi Değiştirerek Ayarlama*

Devir sayısının çok geniş sınırlar içinde ve tehlikesizce ayarlanabilmesi için genellikle makine endüvisine uygulanan gerilim değiştirilir. Bu yolla devir sayısı ayarında kutup sargılarına uygulanan gerilim sabit olmalıdır. Saniyede (U) gerilimini değiştirerek devir sayısı ayarı için çeşitli metodlar vardır.

- 1.) Ön dirençle gerilimi değiştirerek devir sayısı ayarı
- 2.) Çok hatlı doğru akım sistemleri kullanılarak devir sayısı ayarı.

3.2. ELEKTROMİKNATISLAR

Solenoid olarak da tabir edilen bir elektro-mıknatıssal mekanizma, elektriksel giriş sinyalini mekaniksel bir öteleme hareketine dönüştüren elektromekaniksel dönüştürgeç (transducer) elemandır. Elektro-akışkan valflerin elektriksel kumandasında çok yaygın olarak kullanılan elektromıknatıslarda uygulanan akımın oluşturduğu mıknatıs alanı elektromıknatısın hareketli elemanı (armature) üzerinde mıknatıssal bir çekim kuvveti doğurur. Çekim kuvvetinin doğurduğu hareketle genellikle elektromıknatısa doğrudan bağlantılı bulunan valf hareketli elemanını konumlandırarak bir akışkan sinyali



Şekil 3.3 - Pistonlu solenoid

sağlanır.

Şekil 3.3' de sargı devresi etrafında maksimum akı geçirgenlikli bir mıknatıs akı yolu oluşturan,ferro-mıknatıs malzemeye sahip pistonlu (plunger) tabir edilen elektromıknatıs, bir hareketli eleman ve kutup çekirdeğinden ibarettir. Armatüre, kutup çekirdeği ve sargıyı çevreleyen kabuk ferro-mıknatıs malzemededen yapılmış olup yüksek mıknatıs geçirgenlikli bir akı yolu sağlar.

Sargıya uygulanan akım sonucu armatüre üzerine etki eden mıknatıssal çekim kuvveti, tüm mıknatıs enerjisinin hava aralığında depolandığı varsayımına göre aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$F_m = \frac{\mu A N^2 i^2}{2 Z (g-x)^2} \quad (3.10)$$

Burada,

z: çalışma aralığı sayısı olup şekil 3.3' deki elektromıknatıs tiplerinde 1, atnalı ve diskli elektromıknatıs tiplerinde 2 dir.

μ : Havanın mıknatıssal geçirgenliği,

- A:** Çalışma (armature) kesit alanı,
g: kutup çekirdeği ile armature arasındaki toplam hava aralığı ,
x: mıknatıssal çekim yönünde ölçülen armature yerdeğiştirmesi,

Elektromıknatısa uygulanan v gerilimi sonucu direnci R, indüktansı,

$$L = \frac{\mu A N^2}{2 Z (g - x)} \quad (3.11)$$

olan sargı devresinde aşşağıdaki elektriksel bağıntı ile ifade edilen bir gerilim düşümüne neden olacaktır.

$$\begin{aligned} R i + \frac{d}{dt} (iL) &= v \\ R i + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} &= v \\ R i + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dx} \frac{dx}{dt} &= v \end{aligned} \quad (3.12)$$

Devrede dolaşan akım sonucu oluşacak çekim kuvveti, yay sabiti k olan bir yay kuvvetine ve yapışkanlık (viskous) sürtünme katsayısı b olan yapışkan ortama maruz M kütlesindeki armatüreyi hareket ettirdiğini varsayarsak sistemin mekaniksel eşitliği aşşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_m - F_d \quad (3.13)$$

Burada,

F_m : eşitlik (3.10) da verilen mıknatıssal çekim kuvveti,

F_d : armature, mıknatıssal kuvvetin zıt yönünde, uygulanan herhangi bir dış kuvettir.

Herhangi bir elektromıknatısın dinamik davranışını temsil eden yukardaki eşitlikler nonlineer (doğrusal olmayan) olup bunların açık analitik çözümleri yoktur. Ancak sayısal çözümlene yöntemleri uygulayarak bu eşitliklerin bilgisayar çözümlerini elde etmek mümkündür.

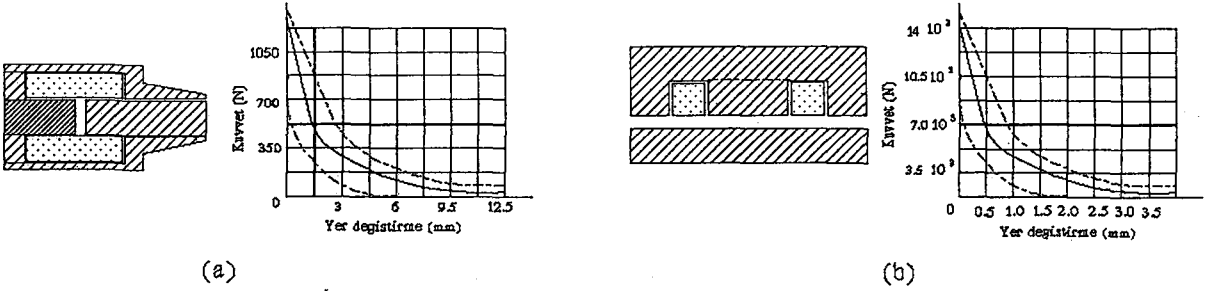
3.2.1. ELEKTROMİKNATISLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Elektromıknatıslar genel olarak (3.10) nolu eşitlikten de görüleceği gibi uyarı akımı ve yerdeğiştirme ile çekim kuvveti arasında doğrusal olmayan bağıntılar veren aygıtlardır. Bu nedenle, pratikte elektromıknatıslar daha çok aç-kapa (on-off) hareketi sağlayan tahrik mekanizmaları olarak kullanılmaktadırlar. Bununla beraber son zamanlarda bazı yapısal değişiklikler uygulamak suretiyle oransal çalışan solenoidler yapılmaktadır.

Elektromıknatısların karakteristik özelliklerini, verilen belli bir uyarı akımına göre elde edilen, kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinden izlemek mümkündür. Şekil3.4a' da doğru akımla çalışan pistonlu (plunger) armature olarak da tabir edilen klasik bir elektromıknatıs ve eğrisi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kutup çekirdeği ve armature arasındaki hava aralığı en az olduğu zaman çekim kuvveti en yüksek değerdedir. Armaturenin kutup çekirdeğinden uzaklaşması sonucu hava aralığının artması ile birlikte çekim kuvvetindeki düşme oldukça ani olmaktadır.

Belli bir aralıktan sonra çekim kuvveti çok küçük etkin olmayan bir değere düşmektedir.

Şekil 3.4b' de ise çift çalışma aralığına sahip armature disk şeklinde olan değişik bir elektromıknatıs yapısı verilmiştir. Bu tür elektromıknatıslar nispeten küçük hava aralıklarında çok yüksek çekim kuvvetleri elde etmek için kullanılırlar. Şekilden de



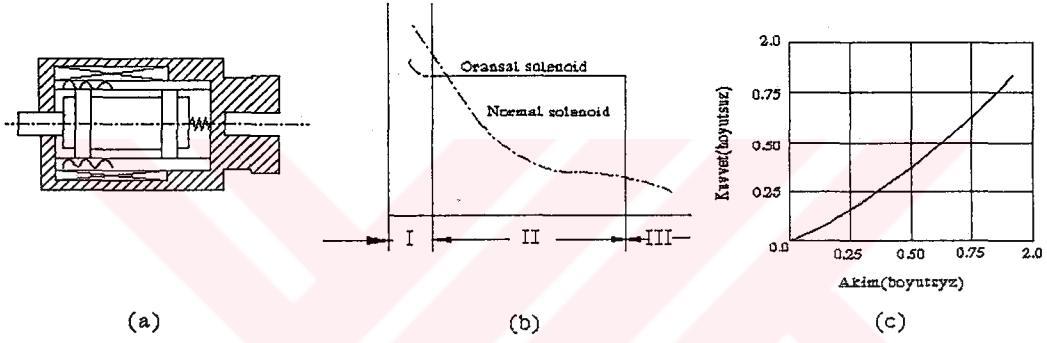
Şekil 3.4 - Pistonlu ve diskli solenoid

görüldüğü gibi mıknatısal çekim kuvveti başlangıçta çok yüksek olmakla beraber hava aralığının artması ile birlikte çok ani olarak düşmektedir. Küçük hava aralıklarında çok yüksek çekim kuvvetleri elde edilmesine karşılık nisbeten daha büyük hava aralıklarında sağlanan kuvvet klasik elektromıknatıslara nazaran düşüktür. (Bu nedenle diskli elektromıknatısların yüksek anahtarlama hızlarına sahip aç-kapa (on-off) valflerin tasarımlarında kullanımları uygun olmaktadır. Bunlarda elektromıknatis hareketli elemanı olan disk aynı zamanda oturma tipi bir valfte hareketli elemanı teşkil ettiğinden ayrıca klasik elektromıknatıslarda olduğu gibi armature ile valf elemanı arasında itme çubuğu ve yay gibi bağlantı elemanlarına gerek kalmamaktadır). [3]

Şekil 3.5a' da da oransal çalışan bir elektromıknatis tipi ve onun karakteristik eğrileri verilmiştir. Bilindiği gibi elektromıknatısın mıknatısal geçirgenliği, dolayısıyla çekim kuvveti, elektromıknatısta bulunan hava aralığı ile denetlenir. Diskli elektromıknatıslarda bu hava aralığı disk ile kutup çekirdeği arasında yer almakta, buna karşılık pistonlu elektromıknatıslarda denetim hem armature ile kutup çekirdeği ve hemde sargı ile armature arasındaki silindirik hava aralığı ile sağlanmaktadır. Silindirik hava aralığının artmasıyla birlikte faydalı etkin çekim kuvveti düşmekte, buna karşılık bazı yapısal değişikliklerle birlikte solenoidlerden oransal özellikler elde etmek mümkün olmaktadır. Şekil 3.5b' den izlenildiği gibi, bu tür elektromıknatıslarda

başlangıçta belli bir hava aralığında oldukça yüksek ve ani olarak düşme gösteren bir çekim kuvveti elde edilmektedir. Belli bir hava aralığı sınırları içerisinde ise armatürenin hareketine rağmen çekim kuvveti sabit kalmaktadır. Eğer armatürenin çalışma aralığı yerdeğiştirmelerle kuvvetin sabit kaldığı II. bölgede sınırlandırılacak olursa şekil 3.5c' de görüldüğü gibi, uyarı akımı ile mıknatıssal çıkış kuvveti arasında oransal bir bağıntı elde etmek mümkün olmaktadır.

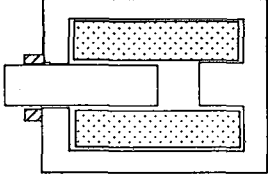
Buraya kadar doğru akımla (DC) çalışan elektromıknatıslar dan sözedildi.



Şekil 3.5 - Oransal solenoid

Diğer taraftan endüstride daha çok, bir kapalı döngü devresinden ziyade, bir akış yolunu açıp kapayan veya büyük hidrolik silindirlerde yön denetim valflerini uzaktan kumandalı olarak tahrik eden alternatif akımla (AC) çalışan elektromıknatıslar da kullanılmaktadır. Bu tür elektromıknatıslar doğrudan doğruya AC şebekesinden bağlanabildiklerinden ayrıca DC adaptörlerine ve elektronik kuvvetlendiricilere ihtiyaç göstermezler. AC elektromıknatısların ani mıknatıs akısı ve mıknatıssal çekim kuvveti bağıntıları DC elektromıknatıslarla aynıdır. Yalnız aynı büyüklükteki bir AC elektromıknatısından, DC elektromıknatısının yarısı değerinde bir çekim kuvveti elde etmek mümkün olduğundan AC elektromıknatısları yapıcı daha hantal ve daha ağırdırlar.

Şekil 3.6' da, tüm AC çalışan elektromekaniksel aygıtlarda olduğu gibi



Şekil 3.6 - AC solenoid

çevrinti (eddy) akımlarının etkisini azaltacak şekilde sıkıştırılmış silisli ince saç malzemeden prizmatik biçimde yapılmış, bir AC elektromıknatısı verilmiştir. AC elektromıknatıslar sabit bir akım kaynağına bağlı olarak da çalıştırılmakla beraber, daha çok sabit bir gerilim kaynağına bağlı olarak çalıştırılmaktadırlar. Başlangıçta armature ile kutup çekirdeği arasındaki hava aralığı en yüksek değerde olduğu zaman büyük bir enerji gerektiğinden çekilen akım en yüksek değerde olmaktadır. Armaturenin hareketi ile birlikte enerji ihtiyacı azalmakta ve buna bağlı olarakda çekilen akım düşmektedir. Çekim kuvveti ise hava aralığının azalması ile birlikte çekilen akımda bağlı olarak artmaktadır. AC solenoidlerinde yüksek hava aralıklarında çekilen akımın yüksek olmasından dolayı herhangi bir şekilde armaturenin hareketi önlenemez olursa sargıların yanması sonucu arızalar ortaya çıkabilir.

3.2.2. ELEKTROMİKNATISIN KULLANIM ALANI [1]

Elektromıknatısların sürekli mıknatıslanmaya göre en büyük avantajı cihazların doğru ve hızlı kontrolüdür, bununla beraber uzaktan kumanda da edilebilirler. Elektromıknatısların bazı tiplerinin kullanımı aşağıda izah edilecektir. Tek başına yerini aldığı uygulamalar, elektromıknatis kullanım alanının çok büyük bir kısmını oluşturur.

Manyetik Fren; sürtünmeli frenlerdir, genellikle kauçuk, band ve diskli diye sınıflandırılırlar. Ayrıca diskli tipi bir veya bir kaç diskle kontrol edilebilirler. Daha çok elevatör, kreyin, ve kaldırma makinalarının bütün çeşitlerinde kullanılırlar. Kauçuk tipi üstündür. Frenler yayla veya bir ağırlıkla uygulanırlar, sadece elektromıknatis bunları terkeder. Manyetik fren uygulamalarında şiddetli gürültü istenmez. Bir otomotik

elektromıknatis frende, şiddetli gürültüler elimine edilir ve plunger küçük boyutlu bir yay üzerine düşürülür. Büyük boyutlarda tek yönlü yağ tankı kullanılır.

Manyetik valfler; çoğunlukla solenoidle işlerler. Doğrudan veya kontrollü her ikisinde de buhar, gaz, hava vs. için valfin işlemlerini, otomatik ve uzaktan kumanda ile geçişi sağlarlar. Valf normalde, bir yayla açık veya valf üzerine kabul edilebilen bir akışkan basıncı ile sıkıca kapalı tutulabilirler. Manyetik valflerin pistonlu tipinde plunger kısa ve serbest olarak harekete başladığından, valf üzerine otururken ki gürültü oluşmaz.

Manyetik ayırıcılar; manyetik malzemeleri toplamada, tezgahı korumada kullanılır şöyle ki, ağır hareketli malzemenin yuvarlanma basıncından, tezgahın ilgili kısımlarını ezilmeye karşı korur ve böylece tezgahın iyi niteliklerinin bozulma tehlikesini ortadan kaldırır. Delme ve tornalamada oluşan manyetik ve nonmanyetik demir tozlarını ayırdığı kadar iyi bir şekilde, kimyasal demir parçacıklarını kauçuk, plastik ve gıda maddelerinden temizlerler, mamül demiri imalat yoluna geçirirler ve bunların her ikisinde imalat esnasında yaparlar. Dökümhanelerde reddedilen veya cürufu manyetik malzemeleri temizlerler. Farklı tiplerin hepsi doğru akımla çalışırlar.

Ayırıcı mıknatis; dairesel kaldırma mıknatisine oldukça benzerler. Konveyör kayışı üzerine asılan bu magnet kömür içindeki; yakıt ikmal aracının otomatik sıkıştırması sonucu ilgili kısımlarda ezilme ve kopma (toz halinde) ile oluşan ağır hareketli demir parçacıklarını ayırırlar.

Manyetik makara; ayırıcı makaralar diye de adlandırılırlar. Konveyör kayışı üzerindeki son makaranın yerini değiştirirler. Manyetik makaraya, malzeme ulaştığı zaman ağır hareketli bütün demirler çekilir ve manyetik makaranın altından bir

sonraki ayrılana kadar kayışa karşı tutulur. Ağır hareketli demir manyetik alanın dışına kaçtığıında, farklı bir bölüme düşer.

Diğer manyetik ayırıcılar; yüksek yoğunluktaki rolün üzerinden geçerken, manyetik parçaların yön değiştirme temeline dayanır ve prensib düze karşı keskin olarak karakterize edilirken konveyör kayışına dik olarak hareket eden iki kayış vasıtasıyla, üç farklı malzeme "yüksek manyetik", "zayıf manyetik"ve "nonmanyetik" toplanır. Akışkan hareketlerini kontrol eden levhalar gibi kutup parçaları üzerinde yüksek akı konsantrasyonu oluşturmak için keskin mıknatıs köşeleri kullanılır. Akışkan, ayırıcı üzerine akarken sıvıları yakın temasa getirmek için, seramik ve çömlek atelyelerinde kil artıklarını, cilayı ve kaygan şekilli demir parçalarını uzaklaştırmak için, bazı durumlarda da baskı mürekkebi ve boyalardaki demir parçacıklarını ayırmak için saptırıcı olarak da kullanılırlar.

Kaldırma mıknatısları; dairesel, dikdörtgen ve iki kutuplu tipindedirler. Doğru akımla çalışırlar. Dairesel tip özellikle kaba kullanma ve ısıya dayanıklı olması açısından daha pürüzlü olarak imal edilir. Dairesel magnetler atık demirlerin düzenlenmesinde, 60.000 lb'lik top mermilerinin taşınmasında, batık gemileri çelik çubuklarının çıkarılmasında, çelik ve demir imal eden yerlerde malzeme transferinde vs. kullanılırlar. Ray, boru, yapısal şekiller, çelik çubuklar, oluklu saç katmanların düzenlenmesinde tek veya çift olarak da kullanılırlar. Bir otomatik boşaltma kontrolörü, kreyn sürücü mahalinde uzman bir swiçle, hızlı kavrama ve yükü boşaltmada ters akımla otomatik olarak kesilmesiyle kontrol edilirler.

Manyetik kavrama; kaygan bilezik kapsayan dairesel tipli elektromıknatıs, motor sürücü cihazlarında geniş bir alanda kullanılırlar. Doğru akımla çalışırlar. Bu sürtünme bilezikli manyetik kavrama, çoğunlukla "sürtünme tipli" diye bilinir. Sürtünme,

bileziksiz ise manyetik kavramalar, "manyetik kapling" olarak adlandırılırlar. Manyetik fren, manyetik kavrama ve kapling temasla hareketi durdurmada veya yavaşlatmada kullanılır.

Sürtünme tipli manyetik kavrama; yük temastayken kısa periyotlu kayma için tasarlanır ki bu yük, temas esnasında maksimum yük olmayıp 1000 Kw'lık bir jeneratör motorunun durmaksızın 150d/dak' ya karşılık gelen yüküdür.

Değişken hızlı sürücü veya kapling; elektromanyetik sürücü, manyetik kayıp prensibine dayanır. Farklı hız gerektiren yük için sabit hız sürücüsünden değişik biçimde kontrollü, tork iletiminde kullanılır. Birbirini etkileyerek (sıkıştırarak) dönen sabit hız sürücüsüyle halka sürücüsündeki akı bağıntısı ve değişken hızlı şaftın, aksenal çok kutuplu mıknatısla teması gibi iki basit kısımdan oluşur. Kayma kaybı, kaymayla orantılı olup, iki elemanın hızları farklıdır. Hava aralığından iletilen moment, kayma bileziği elektromıknatısı için oldukça zayıf doğru kontrol akımının reosta ile düzenlenip uygulanması ile kontrol edilir. Bu sürücü özellikle, merkezi pompalarda ve değişken hızın geniş bir aralıkta doğru kontrol edilmesini gerektiren buhar kazanı fanlarının tasarımı için uygundur. Hız ve gücün geniş bir aralığı için uygulanabilir.

Manyetik kapling; işçi kazalarının çok olduğu kauçuk karıştırma silindirleri, bölme silindirleri vs. nin sürücülerinde kullanılır. Küçük manyetik kapling tiyatros ışıklarının şiddetini ayarlayan, küçük cihazların değişik tiplerinde kullanılırlar. Kavrama, manyetik kaplingde çok hızlıdır.

Manyetik tutucular; portatif elektromıknatısların özel bir şeklidir. Genellikle öğütme, dikey öğütme makinalarının, planyanın ve tornanın üzerinde işlenmeye başlayan manyetik malzemeyi tutmak için ızgaralı düz bir yüzeyden oluşur. Manyetik tutucuların bir çok çeşidi vardır fakat hepside sinüs, zigzag vs. gibi manyetik kenarın uzatılması prensibine dayanırlar. Kısa mesafeli hava aralığında kuvvet meydana

getirme şeklidirler. Bütün işlemler doğru akımlıdır. Kademeli yüzeylerde çalışmada kutup sayısı artırılır. Manyetik tutucular, çalışma alanında $0.5-1 \text{ W/m}^2$ kullanarak yaklaşık 100 Psi lik maksimum basınçta yüklemeyi tutarlar, çünkü kalıcı mıknatısın rezistörden veya heran ters akımla çalışması ve tutucunun mıknatıslığını bırakması zorunludur.

Mıknatıslanmama; manyetik tutucunun tuttuğu cisimler gibi malzemedeki mıknatıslığı yok etmek için kullanılırlar, alternatif manyetik alan içinden ve cisimlerin geri çağırılmasıyla bu etki başlar. Kesin mıknatıslığı yok etme, geri çağırılana ve mıknatıslı cisimler üzerine iki çelik kaplama ile elde edilir. D-C mıknatıslığı, iki yüzey arasında bir elektromıknatısın döndürülmesi etkisiyle dengelenir.

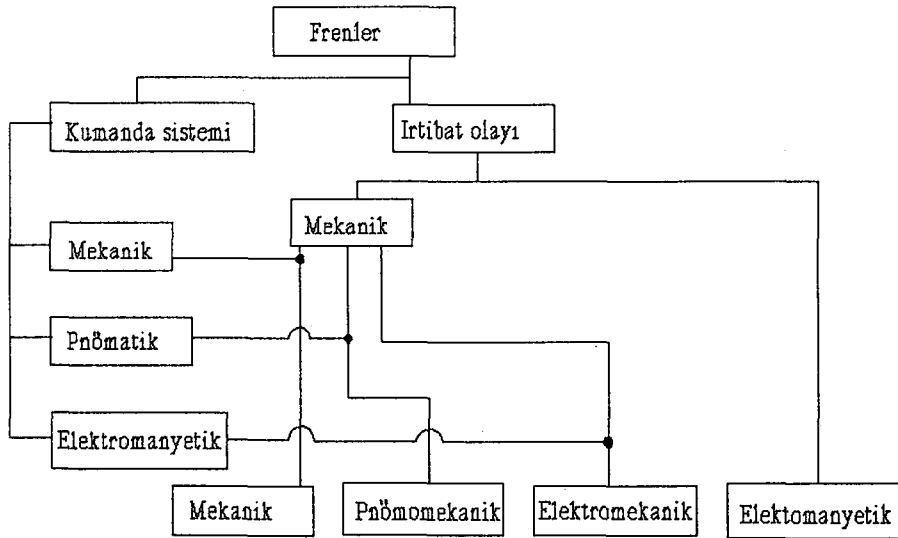


BÖLÜM 4

FRENLER

4.1. Genel İfadeler ve Sınıflandırma







Fonksiyon bakımından kavrama ile fren arasındaki fark şundan ibarettir. Kavramalar dönen bir elemanı başka bir elemana bağlarlar; şöyle ki, her ikisini de aynı hıza getirirler. Frenler ise, dönen bir elemanı sabit bir elemana bağlayarak hareketi durdururlar veya yavaşlatırlar. Her iki amaç için de aynı prensipler uygulanır ki, bunlar da sürtünme, sıvı veya gaz enerjisi ve elektromanyetik alan gibi fiziksel olaylardır. Bununla beraber fren durdurma sırasında, dönmekte olan bütün elemanların kinetik enerjisini yuttuğundan, sıcaklık problemi kavramalara nazaran daha önemlidir. Fiziksel prensipleri aynı olduğundan herhangi bir kavrama fren ve herhangi bir fren kavrama olarak kullanılabilir. Bununla beraber, papuçlu, bantlı, diskli gibi bazı konstrüksiyonlar daha çok fren olarak görev yaparlar. Frenleri kumanda sistemlerine ve irtibat olaylarına göre şöyle sınıflandırabiliriz;



Şekil 4.1 - Frenlerin sınıflandırılması

Ayrıca frenleri yapacakları işe göre indirme, yürütme, tutma frenleri olarak üç gruba ayırmak mümkündür. İndirme frenleri indirilen bir sistemin kinetik enerjisini alan, yürütme frenleri hareket halinde bulunan bir sistemin (örneğin taşıtlarda) kinetik enerjisini alan ve tutma frenleri herhangi bir yükü, mesela asansörleri, askıda tutan frenlerdir.

Çalışma prensiplerine ve konstrüksiyon özelliklerine göre frenlerin genel sınıflandırılması Şek. 4.2'de verilmiştir.

Frenleme elemanının hareket yönü	Radyal				Eksenel	
	Sürtünme yüzeylerinin şekli	Pabuç		Bant		Disk
	Silindir		Silindir		Disk	Koni
Sürtünme	Dış	İç	Dış	İç	Diskli	Konik
Sema						

Şekil. 4.2 Frenlerin çalışma prensiplerine göre sınıflandırılması

4.2. Enerji Denklemi

Genel olarak sabit bir hızla hareket eden bir elemanın veya sistemin kinetik enerjisi;

$$W_{Kv} = m \frac{v^2}{2} \quad (4.1)$$

ve dönme hareketi yapması halinde;

$$W_{K\omega} = I_m \frac{\omega^2}{2} \quad (4.2)$$

bağıntıları ile hesaplanır. Burada v ; Doğrusal hız, ω ; açısal hız, m ; elemanın veya sistemin kütlesi ve I_m elemanın veya sistemin kütlelesel eylemsizlik momentidir. Durdurma esnasında meydana gelen potansiyel enerji

$$W_p = m g v_0 t = \frac{1}{2} m g v t \quad (4.3)$$

şeklindedir. Burada v_0 ; frenleme esnasındaki ortalama hız, $v_0=v/2$ ve t ; frenleme zamanıdır. Böylece durdurma fonksiyonunu yapan frenin yutması gereken enerji

$$W_T = W_{Kv} + W_{K\omega} + W_p = m \frac{v^2}{2} + \sum I_m \frac{\omega^2}{2} + m g v_0 t \quad (4.4)$$

den ibarettir.

Fren yalnız yavaşlatma fonksiyonunu yaparsa ve v_1 , ω_1 ile başlangıçtaki doğrusal ve açısal hızlar, v_2 , ω_2 ile frenleme sonucundaki doğrusal ve açısal hızlar gösterilirse ;

$$\begin{aligned} W_{Kv} &= m \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \\ W_{K\omega} &= I_m \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} \\ W_p &= m g v_0 t = m g \frac{v_1 + v_2}{2} t \end{aligned} \quad (4.5)$$

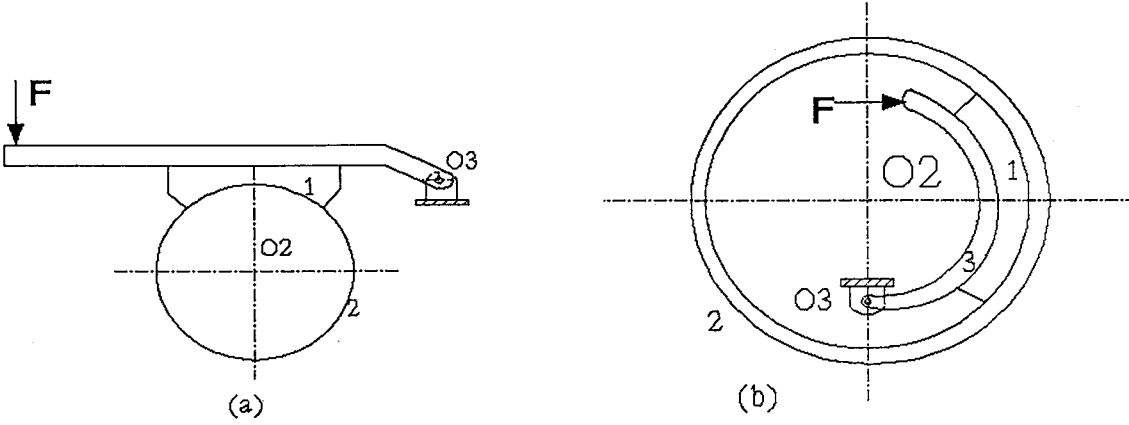
bağıntıları elde edilir. Böylece frenin yutması gereken enerji

$$W_T = W_{Kv} + W_{K\omega} + W_p \quad (4.6)$$

şeklinde bulunur.

4.3. Pabuçlu Frenler

Dıştan (Şek. 4.3a) veya içten (Şek. 4.3b) pabuçlu frenler esas itibarıyla üç elemandan oluşur. Sürtünme malzemesi (1) ile kaplı bir fren pabucu veya takozun (3), dönen bir fren tamburuna (2) içten veya dıştan radyal yönde bastırılması prensibine



Şekil 4.3 - Dıştan ve içten pabuçlu frenler

göre çalışırlar. Pabuç adedi bakımından pabuçlu frenler tek pabuçlu veya çift pabuçlu olabilir. Prensib olarak fren hesabında, fren kolunu etkileyen çeşitli kuvvetler arasında, frenleme momentini göz önüne almak şartıyla bir bağıntı kurmak mümkündür. Bunun için kol, çeşitli kuvvetlerle yüklenmiş rijit bir çubuk olarak kabul edilir ve denge denklemleri yazılarak istenen bağıntı elde edilir.

4.3.1. Dıştan Pabuçlu Frenler

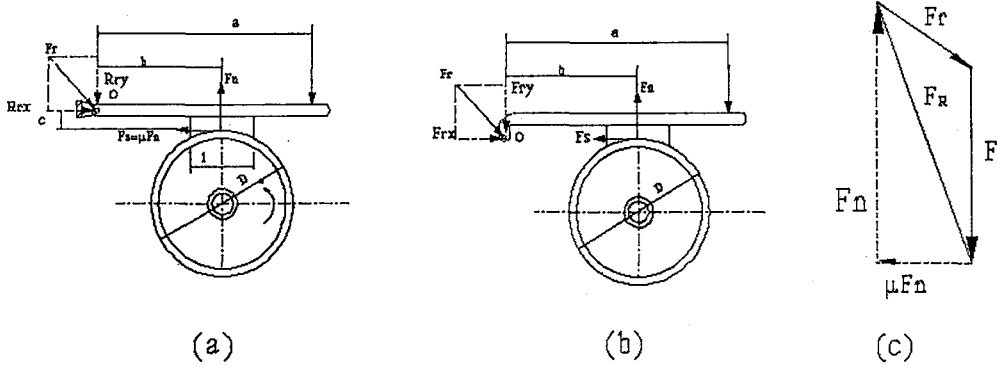
Hesaplar, sürtünme yüzeyi boyunca basıncın eşit olarak yayılması haline göre yapılacaktır.

Üzerine kısa bir kaplama bulunan pabuclara uygulanan bu hesap yöntemine göre, temas yüzeyleri arasında (Şekil. 4.4a) meydana gelen normal kuvvet,

$$F_n = p b l \quad (4.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, l ; pabucun uzunluğu, b ; pabucun genişliğidir.

Bu halde fren koluna etki eden kuvvetler (Şek. 4.4a), F kumanda kuvveti, temas yüzeyleri arasındaki F_n normal kuvveti, F_s sürtünme kuvveti ve henüz doğrultusu



Şekil 4.4 - Frenlemeye etki eden kuvvetler

bilinmeyen mafsaldaki F_r tepki kuvvetidir.

Sürtünme katsayısı μ 'nün sabit kaldığı kabul edilir ve sürtünme kuvveti $F_s = \mu F_n$ ile gösterilirse, O mafsal merkezine göre moment denklemi

$$F a - F_n b + \mu F_n c = 0 \quad (4.8)$$

şeklinde yazılır ki, bundan da

$$F_n = F \frac{a}{b - \mu c} \quad (4.9)$$

ifadesi bulunur. Frenleme momenti,

$$M_f = \mu F_n \frac{D}{2} \quad (4.10)$$

veya

$$M_f = \mu F \frac{a}{b - \mu c} \frac{D}{2} \quad (4.11)$$

olarak yazılır. Eşitliğin sol tarafındaki terim yani M_f momenti, esas sisteme tesir eden ve frenlenmesi istenilen momenttir. Eşitliğin sağ tarafındaki terim ise, frenin frenleme kabiliyetini gösteren momenttir; şöyle ki, F_t teğetsel kuvvet ifade edildiği takdirde, frenleme momenti

$$M_f = F_t \frac{D}{2} \quad (4.12)$$

olarak yazılır. Böylece (4.11) denklemini yardımıyla teğetsel kuvvet,

$$M_f = F_t \frac{D}{2} \quad (4.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Fren tamburunun dönüş yönü ters olduğu takdirde sürtünme kuvveti yön değiştirir. Böylece (4.9) ve (4.11) denklemleri

$$F_n = F \frac{a}{b + \mu c} \quad (4.14)$$

$$M_f = \mu F \frac{a}{b + \mu c} \frac{D}{2} \quad (4.15)$$

şeklini alır.

Yukarıdaki incelemelerden şu sonuçlar elde edilir:

- Fren tamburunun dönüş yönüne göre sürtünme kuvvetinin istikameti kumanda kuvvetininki ile aynı veya ters olabilir. (4.11) ve (4.15) denklemlerinin incelenmesinden görüldüğü üzere, birinci halde sürtünme kuvveti kapayıcı bir moment doğurur. Bundan dolayı μ , F , a , b , c , ve D değerlerinin sabit kalması şartıyla daha büyük frenleme momentinin bu şekilde etkilenmesine kendi kendine enerji verme hali denir. İkinci halde sürtünme kuvveti ayırıcı bir moment meydana getirir.

-Kendi kendine enerji verme hali için geçerli olan (4.9) denklemini

$$F = F_n \frac{b - \mu c}{a} \quad (4.16)$$

şeklinde yazılırsa, $b \leq \mu c$ olması halinde $F \leq 0$ olur; yani kumanda kuvvetine ihtiyaç yoktur. Pratikte takoz, fren tamburuna temas eder etmez fren kendiliğinden sıkışır,

bu da frenin klitlenme özelliğine sahip olduğunu gösterir. Ancak bu durumda freni açmak için bir dış kuvvetin tatbik edilmesine ihtiyaç vardır.

Bazı konstrüksiyonlarda O mafsalsal noktası, F_s sürtünme kuvveti doğrultusundadır (Şek. 4.4); yani $c=0$ dir. Bu halde

$$F_n = F \frac{a}{b} \quad (4.17)$$

ve

$$M_f = \mu F_n \frac{D}{2} = \mu F \frac{a}{b} \frac{D}{2} \quad (4.18)$$

şeklindedir ve her iki yön içinde aynı olur.

Mafsaldaki tepki kuvveti analitik veya grafik yoldan bulunabilir. Analitik olarak hesaplanması istenirse, o takdirde denge denklemleri yazılır; şöyle ki, düşey düzlemde

$$F_{ry} = F_n - F \quad (4.19)$$

ve yatay düzlemde

$$F_{rx} = F_s = \mu F_n \quad (4.20)$$

bağıntıları elde edilir. Bundan da

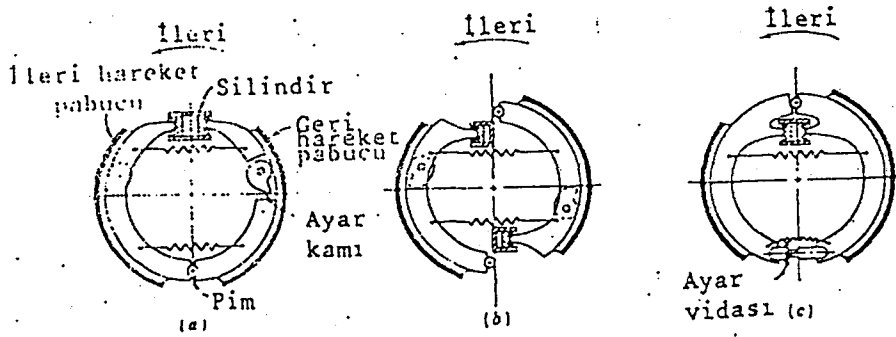
$$F_r = \sqrt{F_{rx}^2 + F_{ry}^2} \quad (4.21)$$

ifadesi bulunur. Grafik çözüm Şek. 4.4 c'de gösterilmiştir. F_R kuvveti, F_n ve μF_n kuvvetlerinin bileşkesidir.

4.3.2 İçten Pabuçlu Frenler

Çalışma prensibi bakımından içten ve dıştan pabuçlu frenler birbirine benzer. Bu frenlerde pabucun tambur ekseni ile teşkil ettiği açı genellikle 90 ile 110° değerleri arasında değişir. Bu nedenle içten pabuçlu frenlerin hesabında temas yüzeyleri arasındaki basınç yayılımının değişken olduğunu kabul etmek gerekir.

Karayolu taşıtlarında kullanılan içten pabuçlu frenler genellikle çift pabuçlu ve hidrolik kumandalı olarak yapılmaktadır. Burada göz önünde tutulması gereken husus, otomobilin ataletinden dolayı frenleme esnasında ön tekerleklere otomobil ağırlığının %55 ile %60'ı tesir ettiği; şöyle ki, bu tekerleklerin arka tekerleklere nazaran %55 ile %60 arasında daha büyük bir frenleme momentine sahip olmaları gerekir. Bunu sağlamak amacıyla aynı büyüklükte frenler kullanılabilir, ancak kumanda tertibatı ön tekerleklere daha yüksek bir basınç sevkedecek tarzda yapılmaktadır. Bu da aynı zamanda bir emniyet unsuru olmakta ve ön ile arka tekerleklere ait fren devrelerinin ayrı olarak çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.5 - İçten pabuçlu fren çeşitleri

Pratikte kullanılmakta olan çeşitli fren tipleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Tek silindirli sistemlerde (a), ileri hareketin frenlenmesinde bir pabuç kendi kendine enerji verme durumunda iken, geri hareketin frenlenmesi esnasında diğer pabuç kendi kendine enerji verme durumunda olur.

İleri harekette arka tekerleklere daha az yük geldiğinden bu sistem arka tekerlekler için daha uygundur. İki silindirli sistemlerde (b), ileri hareketin frenlenmesinde her iki pabuç kendi kendine enerji verme durumundadır. Bu sistem ön tekerlekler için çok uygundur; ancak bunun geri hareketteki frenleme kabiliyeti çok düşüktür. Şekil 4.5c' de gösterilen ve servo denilen sistemde ise, pabuçlar ayarlanabilen bir civata vasıtasıyla birbirlerine bağlanmış olup her bir pabuç için tek bir destekleme pimi ile temas haline gelinceye kadar çevresel yönde serbestçe hareket edebilir. Böylece ileri ve geri hareketin frenlenmesi esnasında her iki pabuç kendi kendine enerji verme durumunda olur. Aynı zamanda kendi kendine enerji verme durumunda olan birinci pabucun tepkisi, ikinci pabuçta kumanda kuvvetine dönüşmektedir; şöyle ki, böyle bir sistemin frenleme kabiliyeti (b) sistemininkinden daha büyük olmaktadır. Bu üstünlüklere karşı aşınmanın eşit olmaması, sürtünme katsayısındaki değişimlere karşı daha hassas olması gibi mahzurlarından bahsedilebilir. Frenlerin açılması yaylar vasıtasıyla yapılır. Gerekli ayarlar, kam (a ve b sistemlerinde) veya civata (c sisteminde) ile sağlanır.

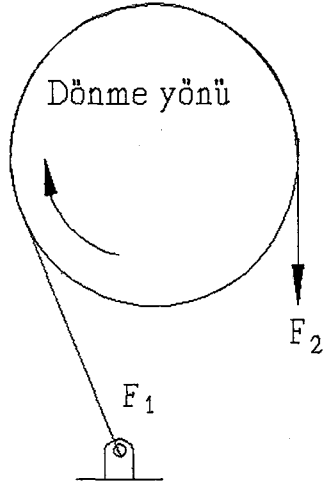
4.4 Bantlı Frenler

Basit bir konstrüksiyona sahip olan ve genellikle küçük frenleme momentleri için kullanılan bantlı frenler bir fren tamburu ile bir yüzünde sürtünme malzemesi bulunan çelik bir banttandır (Şekil 4.6).

Bantlı frenlerin;

- 1.) Basit bantlı frenler
- 2.) Diferansiyel bantlı frenler
- 3.) İntegral bantlı frenler

olmak üzere üç ayrı çeşidi vardır.



Şekil 4.6 - Bantlı fren

4.5 Diskli Frenler

Diskli frenler esas itibariyle diskli kavramalardır. Yalnız bazı hallerde konstrüktif farklılıklar mevcuttur. Mesela otomobillerde kullanılan diskli frenlerde sürtünme malzemesi çelik diskler üzerine lokmalar şeklinde bağlanmaktadır.

Diskli frenlerin başlıca üstünlükleri frenleme yüzeylerinin büyük olması, daha iyi ısı iletmesi, her iki dönüş yönünde aynı etki yapması, sıcaklığın yükselişine ve sürtünme katsayısındaki değişimlere daha az hassasiyet göstermesidir. Ayrıca diğer frenlerde olduğu gibi, artan sıcaklıkla frenleme kabiliyetinin düşmesi burada meydana gelmemektedir. [4]

BÖLÜM 5

GERGİ KONTROLÜ

5.1. GİRİŞ

Kağıt, plastik, kumaş, saç gibi şerit halindeki malzemelerin rulo olarak endüstriyel süreçlere girdiği gözlenir. Kağıt üretim tesisleri, kumaş ve iplik tesisleri, tel ve saç üretim tesislerinde söz konusu malzemelere sıkça rastlamak mümkündür. Söz konusu şerit malzemelerin kurutma, kesme, delik açma, kumaş boyama, kaplama gibi çeşitli endüstriyel işlemlere girmeden önce ruloların uygun açılıp sarılmaları gerekmektedir. Ruloya eksenini etrafında moment uygulayarak açılıp sarılmasını sağlayacak temel öge, şeritteki gergi kuvvetidir. Bu gergi kuvveti belli değerler arasında tutulmadığı takdirde başlıca iki problemle karşılaşılır. Üretimi kesecek olan kopma, şeritteki gerilme kuvvetinin şeritin kopma mukavemetini aşması halinde ortaya çıkacaktır. Öte yandan gergi kuvvetinin çok düşük değerlerde olması, şeritte gevşemelere dolayısıyla da üretim hattında önemli aksamalara sebep olacaktır.

Ruloların açılıp sarılmalarında eylemsizliklerindeki değişimler, kuru ve yağ sürtünme dirençleri, malzemedeki esneme gibi faktörler şeritteki gergi kuvvetinin zamanla değişmesine neden olacaktır. Bu da gergi kuvvetinin belli sınırlar içinde tutulması problemini gündeme getirir. Bu problem, gergi problemi olarak anılır.

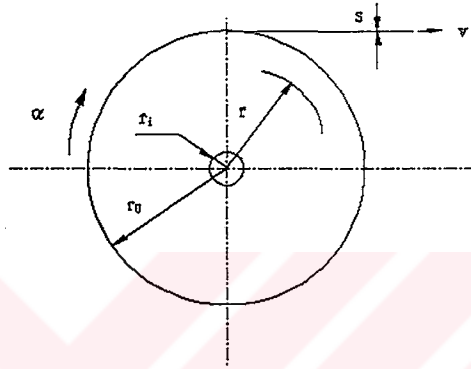
Söz konusu probleme çeşitli sistemlerle çözümler aranmıştır. Raven ve Kuo rulo sarılması durumunda şeritteki gergi kontrolünü yapan iki kontrol sistemini incelemişlerdir. Söz konusu kontrol sistemleri rulo tahrik milinin hareketini elektriksel yollarla, örneğin armatür gerilim farkı veya akım şiddetini, ayarlayan donanımlar içerir.

Burada, rulo halindeki kağıdın açılması sırasında gergi kontrol problemini çözecek mekanik kontrol sistemini inceleyeceğiz.

5.2. KURAM

5.2.1. Kinematik İnceleme

Şekil 5.1' de merkezden desteklenmiş rulo, şeritin T kuvveti altında sabit V hızı ile çekilmesiyle çözülmektedir.



Şekil 5.1 - Rulo

Rulonun bir tur dönmesinde rulo yarıçapı şerit kalınlığı kadar azalacağından

$$r = r_0 - \frac{s}{2\pi} \theta \quad (5.1)$$

yazılır. Burada şerit kalınlığı s , rulo dış yarıçapı r_0 , rulonun dönme açısı ise θ ' dir.

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{V}{r} \quad (5.2)$$

(5.1)' deki r değeri (5.2)' de yerine yazılır ve θ için integrali alınırsa,

$$\theta = \frac{r_0 - \sqrt{r_0^2 - \frac{s}{\pi} Vt}}{\frac{s}{2\pi}} \quad (5.3)$$

Burada t zamanı göstermektedir. θ 'nin zamana göre ikinci türevinden rulonun açısal ivmesi α elde edilir.

$$\alpha = \frac{V^2 s}{2\pi (r_0^2 - \frac{s}{\pi} vt)^{3/2}} \quad (5.4)$$

Ayrıca, (5.3) nolu eşitlikteki θ , (5.1) nolu eşitlikte yerine koyulmasıyla rulo yarıçapının (r), zamana göre değişimi bulunur.

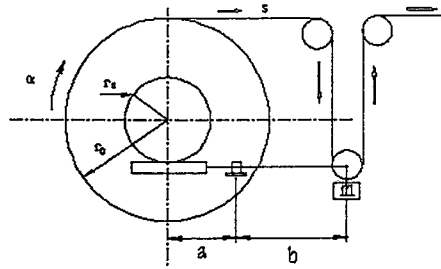
$$r = \sqrt{r_0^2 - \frac{s}{\pi} vt} \quad (5.5)$$

Rulo dönme eksenini etrafındaki kütle eylemsizlik momentinin zamanla değişimi ise şöyledir.

$$I = \frac{1}{2} \rho L \pi (r^4 - r_i^4) \quad (5.6)$$

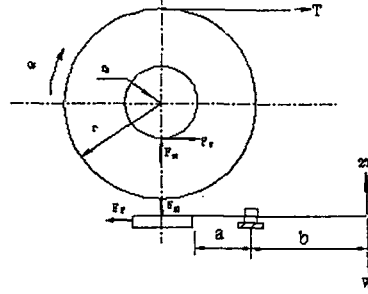
Burada, rulo genişliği L , rulo iç yarıçapı r_i , rulo yoğunluğu ρ , rulo kütle eylemsizlik momenti ise I dir.

5.2.2. Birinci Örnek Sistem



Şekil 5.2 - Gergi kontrol sistemi

Şekil 5.2' deki sistemde rulo dönme ekseninden geçen bir mil üzerine r_d yarıçapında bir disk bağlanmıştır. Bu diske mafsal noktasından a mesafedeki bir pabuç sürtünmektedir. Yine mafsal noktasından b kadar uzaklıktaki m kütesinin büyüklüğüne göre pabuç tarafından diske uygulanan kuvvet değişmektedir. Şerit ise şekil 5.2' de görülen merdaneler arasından geçirilerek, sabit bir hızla çekilmektedir.



Şekil 5.3 - Serbest cisim diyagramı

Şekil 5.3' deki serbest cisim diyagramlarından statik denge ve Euler hareket denklemleri yazılırsa,

$$M_o = F_n a + 2T b - W b = 0 \quad (5.7)$$

$$T r - r_d F_f = I \alpha \quad (5.8)$$

elde edilir. Burada O etrafındaki moment M_o , m kütesinin ağırlığı $W=m.g$, normal kuvvet F_n , sürtünme kuvveti F_f dir. Ayrıca normal ve sürtünme kuvvetleri arasında şu ilişki vardır,

$$F_f = \mu F_n \quad (5.9)$$

Burada μ , disk ile pabuç arasındaki sürtünme katsayısıdır. (5.7), (5.8), (5.9) nolu eşitlikler gerilme kuvveti T için çözümlerse şu elde edilir.

$$T = \frac{\frac{I \alpha}{2 \mu r_d (b / a)} + \frac{W}{2}}{\frac{r}{2 \mu r_d (b / a)} + 1} \quad (5.10)$$

Bu gerilme kontrol sisteminin amacı (5.11) nolu eşitlik şeklinde ifade edilebilecek olan hatanın, mümkün olduğunca, zaman içinde düşük tutulmasıdır.

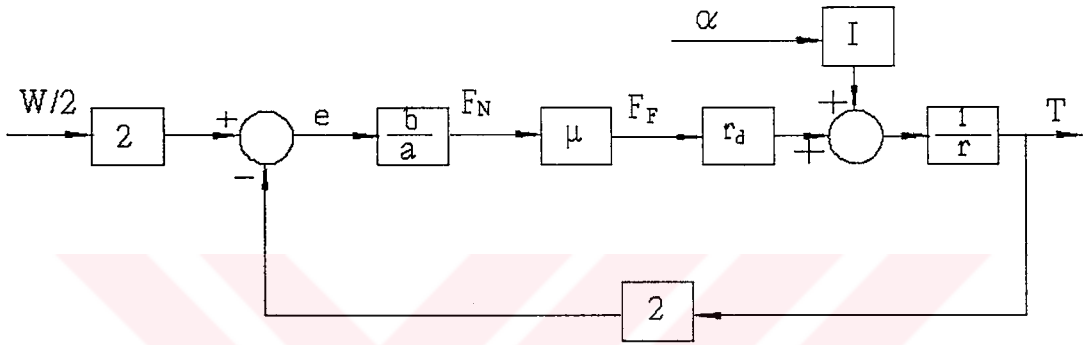
$$e = W - 2 T \quad (5.11)$$

e hata sinyalinin anlamı O mafsallı fren koluna, ucunda aşağıya doğru uygulanan net kuvettir. Amaçlanan kontrol büyüklüğü T, hata sinyali (e) bakımından yeniden

düzenlenirse şu şekli alır,

$$T = \frac{I \alpha + \mu r_d (b / a) e}{r} \quad (5.12)$$

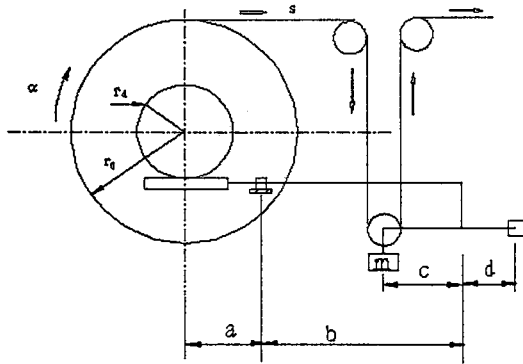
Açıktır ki ideal olarak $e=0$ halinde, $T=I\alpha/r=W/2$ olacaktır. Söz konusu kontrol sisteminin blok şeması şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4 - Blok şeması

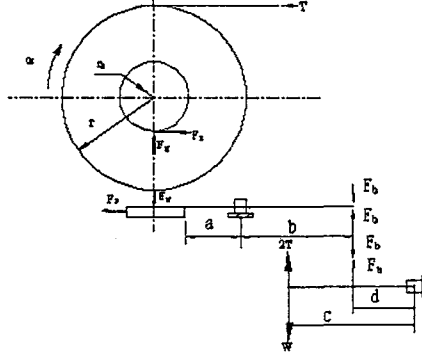
Blok şemada, b/a , μ , r_d kontrol elemanlarını, $1/r$ kontrol edilen sistemi (rulo), 2 katsayısını içeren blok geri besleme ve giriş elemanı olarak makarayı temsil etmektedir. Rulodaki açısal ivme (α) değişimi ise bozucu sinyal olarak sistemi etkilemektedir.

5.2.3. İkinci Örnek Sistem



Şekil 5.5 - Gergi kontrol sistemi

İncelenen ikinci sistem şekil 5.5' de gösterilmiştir. Burada ilk sistemden farklı olarak 4 çubuk mekanizması yardımıyla aynı gergi kuvvetinde pabucun diske uyguladığı kuvvet artırılmıştır.



Şekil 5.6 - Serbest cisim diyagramı

Şekil 5.6' daki serbest cisim diyagramlarından, biyel kolunun konumundaki değişme ihmal edilerek, statik denge denklemleri yazılırsa,

$$M_{0_2} = (W - 2T) c - F_b d = 0 \quad (5.13)$$

$$M_{0_1} = F_N a - F_b b = 0 \quad (5.14)$$

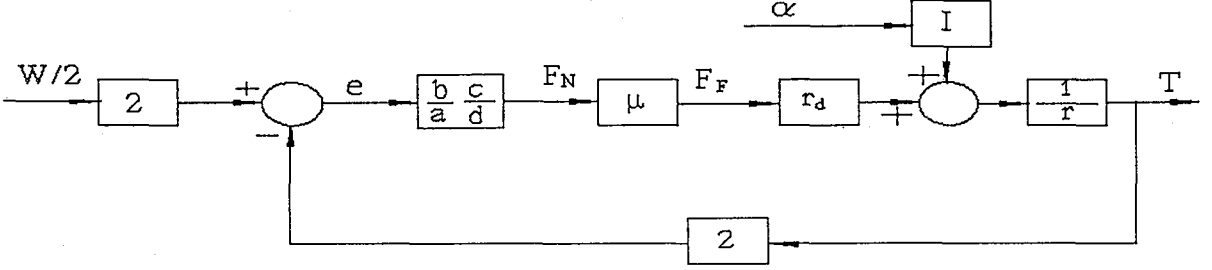
elde edilir. Rulo için (5.8), (5.9) nolu eşitlikler burada da geçerlidir. (5.8, 9, 13, 14) nolu eşitlikler T için çözümlerse,

$$T = \frac{\frac{I\alpha}{2\mu r_d (b/a) (c/d)} + \frac{W}{2}}{\frac{r}{2\mu r_d (b/a) (c/d)} + 1} \quad (5.15)$$

Gergi büyüklüğü T, tanımı (5.11) nolu eşitlikle verilen hata sinyali bakımından ifade edilirse şu sonuç bulunur.

$$T = \frac{I\alpha + \mu r_d (b/a) (c/d) e}{r} \quad (5.16)$$

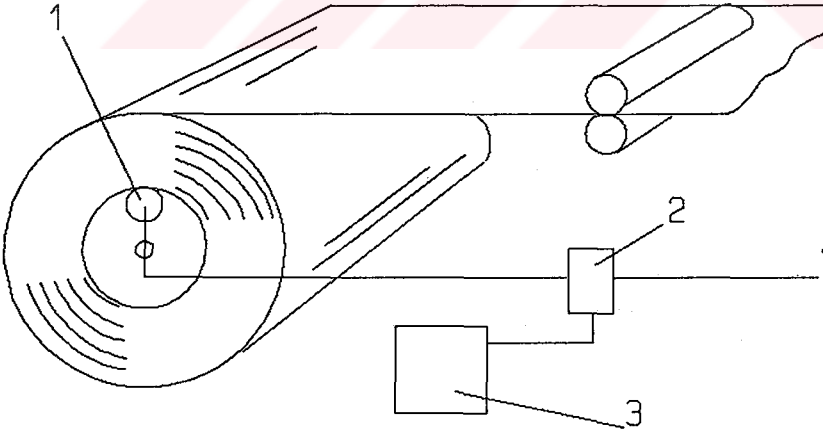
$e=0$ olması halinde $T=I\alpha/r=W/2$ elde edilecektir. Şekil 5.7' de e' yi mümkün mertebede düşük tutacak kontrol sisteminin blok şeması verilmiştir. [5]



Şekil 5.7 - Blok şeması

5.3. ÖNERİLEN GERGİ KONTROL SİSTEMLERİ

5.3.1. Analog Gergi Kontrol Sistemi



Şekil 5.8 - Analog Gergi Kontrol Sistemi

Uzaktan kumandalı Analog giriş kontrolü, açık döngü sistem olarak tasarlanmış olup mevcut gergi kontrol sistemi ile kolayca adapte olabilen veya kapalı döngü sistemini tamamlayan gergi kontrol sistemleridir. Bu sistem aynı zamanda elle gergi kontrolü için, tam bir işletmen (operatör) kontrol edilebilirliğide sağlayabilir.

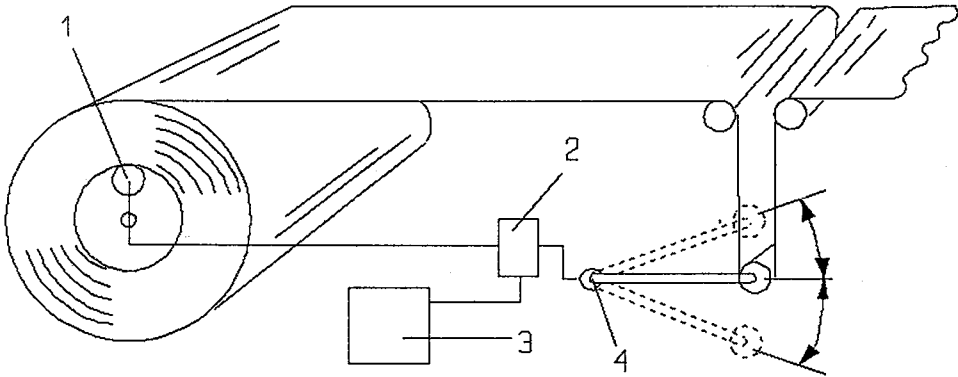
Tüm sistem şunlardan ibarettir.

- 1.) Germe freni
- 2.) Analog gergi kontrolü
- 3.) Kontrol güç kaynağı
- 4.) Opsiyonel algılayıcı (sensör) girişleri

Kontrol birimi bir analog giriş veya ayar noktası yoluyla ayarlanan, elle ayara dayanan değere bağlı olarak Gergi Freni için bir akım çıkışı sağlar. Kontrol biriminden akım değeri değiştirilmek suretiyle sağlanan frenleme kuvvetinin değişimi ayarlanabilir.

Bir takometre sistemi ile şerit izleyicisi veya düğme mantık girişleri yoluyla elektriksel kontrol devresi yarı kapalı döngü devresi sistemi ortaya koyan bir gergi kontrol ünitesi kurulabilir.

5.3.2. Sarkaç (Dancer) Gergi Kontrol Sistemi



Şekil 5.9 - Sarkaç gergi kontrol sistemi

Bu sistem, kapalı döngü bir kontrol sistemi olup kağıt, film, varak, kumaş, tel gibi malzemelerin boşaltma bobinindeki gerginliği otomatik olarak kontrol eder. Sistem beş elemandan ibaret olup bu elemanlar,

- 1.) Gergi Freni
- 2.) Sarkaç gergi kontrolü
- 3.) Kontrol güç ünitesi
- 4.) Mafsal noktası algılayıcısı (gerilim algılayıcısı)
- 5.) Sarkaç mekanizması

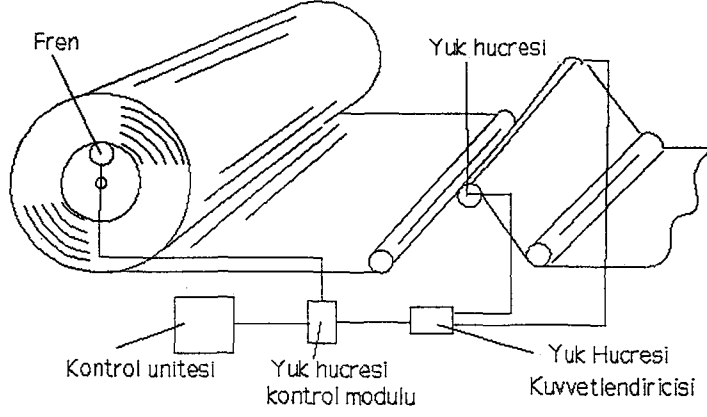
Sarkaç mekanizması veya yuklemenin ağırlığı kağıt veya benzeri şerit halindeki malzemenin üzerindeki gergiyi belirler ve sistemin geri kalan kısmı, sarkaç mekanizmasını sabit bir şekilde tutmaya çalışır. Sarkaç konumu değiştiğinde mafsal noktası algılayıcısı (gerilim algılayıcısı, dolaylı olarak gergi algılayıcısı) değişimin yönünü ve hızını algılar. Algılanan bu sinyal geri besleme yoluyla elektronik kontrol birimine gönderir. Buda sonuçta gergi freni üzerine bir akım göndererek oluşan hatayı gidermeye çalışılır.

Germe freni üzerine giden akımı yükseltmek suretiyle frenleme torku artırılmış olur bu tork da sarkacı arzu edilen konumda tutar. Buna karşılık germe freni üzerine gönderilen akım değeri düşürülürse sarkacın konumu aşağıya doğru düşer.

Kapalı döngü sarkaç kontrol sistemi tamamen otomatik olup herhangi bir işletmene ihtiyaç göstermemekte ve gergi kontrolünde çıkacak hatayı da gidermektedir. Bu sistem, çok hızlı dinamik cevaba sahip olduğundan gergi işlemi esnasındaki hatalar en kısa zamanda giderilmiş olur.

5.5.3. Yük Hücreli Kontrol Sistemi

Gergi artımına bağlı olarak şerit halindeki malzemenin uzamasındaki artışın esasına göre çalışır. Bu sistemde, yük hücreleri yoluyla algılanan sinyal Köprü devresi kuvvetlendiricisinden çıktıktan sonra kontrol birimine gönderilir. Kontrol biriminden germe frenine akım sürülür ve gergi kontrol edilmiş olur.



Şekil 5.10 - Yük hücreli gergi kontrol sistemi

Tüm sistemin elektriksel olarak çalışması, cevap hızının yüksek olması, uygulama esnekliği, tamamen otomatik olarak çalışması, hassasiyet, güvenilirlik, yerden tasarruf ve elle ayarlanabilirlik bu sistemlerin avantajlarıdır.

BÖLÜM 6

MANYETİK FREN TASARIMI

6.1. MANYETİK DEVRENİN HESAPLANMASI VE NÜMERİK ÇÖZÜMÜ

Şekil 3.4b' de, çift çalışma aralığına sahip armatüre disk şeklinde olan bir elektromıknatis yapısı verilmiştir. Bu tür elektromıknatisler nispeten küçük hava aralıklarında çok yüksek çekim kuvvetleri elde etmek için kullanılırlar. Şekil 3.4b' den de görüldüğü gibi mıknatıssal çekim kuvveti başlangıçta çok yüksek olmakla birlikte hava aralığının artmasıyla çok ani olarak düşmektedir. Küçük hava aralıklarında çok yüksek çekim kuvvetleri elde edilmesine karşılık nisbeten daha büyük hava aralıklarında sağlanan kuvvet klasik elektromıknatislere nazaran daha düşüktür. Bu yüzden diskli elektromıknatislerin yüksek cevap hızı gerektiren, gergi kontrol sistemleri gibi, tasarımlarda kullanılması uygun olmaktadır. [3]

Elektromıknatis genellikle şekil 6.1'de görüldüğü gibi, bobin, disk ve sargıdan meydana gelir. Elektromıknatis, çekirdek ve bobin sistemiyle bir elektromanyetik alan meydana getirme temeli ile çalışır. Elektromıknatis özelliğine sahip bir malzeme ile bu sistemin kaplanması, manyetik yolda maksimum geçirgenlik sağlar. Elektromıknatisin sağladığı kuvvetin faydalı (iş yapabilen) kısmı, bobin ile disk arasındaki hava aralığı ile kontrol edilir. Disk üzerine, bobin tarafından uygulanan kuvvet şöyle verilir;

$$F_m = \frac{Z}{2} \frac{B_h^2 A_c}{\mu_0} \quad (6.1)$$

Burada; Z aralık sayısı olup kullanılan elektromıknatis tipi için 2'ye eşittir.

Kuvvet eşitliğinin bir diğer şeklide şöyle gösterilebilir.

$$F_m = \mu_0 \frac{AC}{4} \left(\frac{NI}{x_h} \right)^2 \quad (6.2)$$

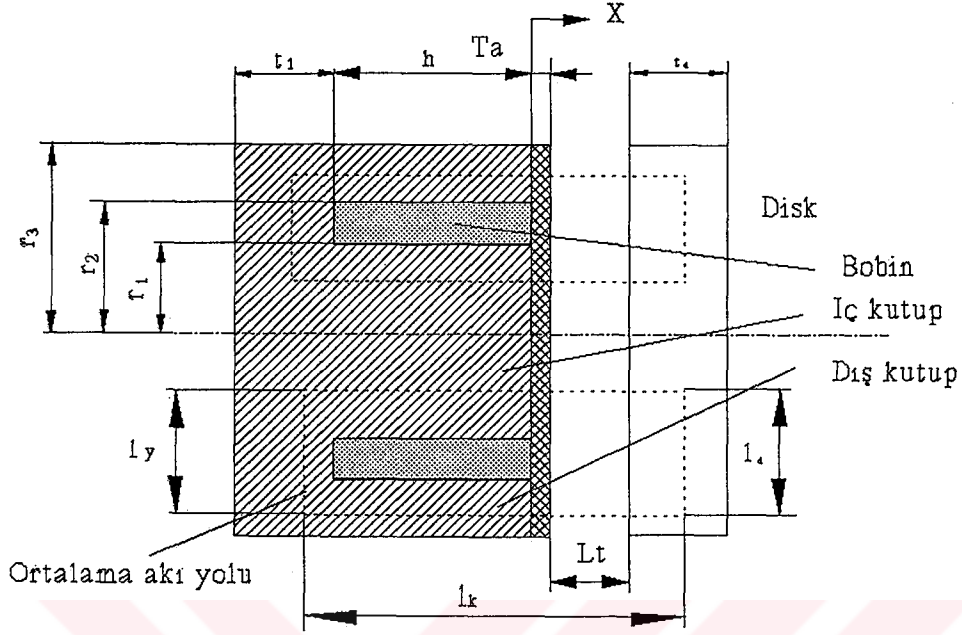
İkinci eşitlik, enerji veren kuvvet NI, demirin doyması ve manyetik kayıplara göre, verilen elektromıknatis boyutları için manyetik kuvveti verir. İlk eşitlikteki kuvvet hava aralığındaki akı yoğunluğuyla orantılıdır, bu nedenle demirin doyması ve manyetik kayıplar hesap içine alınmalıdır. Manyetik devrenin hesaplanmasında ilk eşitlik kuvveti tanımlamada kullanılacaktır. Bununla beraber, ilk eşitlik, bilinen bir uyarı akımının ikinci eşitlikte kullanılmasıyla, elektromıknatisin belirlenen veya verilen boyutlarda elde edilen kuvvetini belirlemede de kullanılır.

Kuvvet eşitliklerinin oranı ile, kayıp faktörü şöyle ifade edebiliriz;

$$f_1 = \frac{F_m (5.2)}{F_m (5.1)} = \frac{1}{4} \left(\frac{\mu_0 N I}{x_h B_h} \right)^2 \quad (6.3)$$

Manyetik kayıpların, demir doymasının, farklı aralıklar ve istenen uyarı akımları için manyetik kuvvet gibi, manyetik karakteristیکlerin etkilerinin hesaba katılması, manyetik devre hesabını zorlaştırır. Bu nedenle manyetik devre hesabında sayısal analiz yöntemleri uygulanır. Burada analizin ana amacı, elektromanyetik frende kullanılması için elektromıknatisin optimum karakteristیکlerini bulmaktır. Bu analiz kayıp faktör f_1 'in tahmininde de yardımcı olur, kullanılan elektromıknatis tipi için elde edilebilir.

Analize başlarken, şekil 6.1'de gösterildiği gibi manyetik devrenin ana boyutlarının, arzu edilen frenleme kuvvetini sağlaması için, denklem (6.1) den faydalanarak çekirdek (etkin) kesit alanı, dolayısıyla r_1 bulunur.



Şekil 6.1 - Elektromıknatis geometrisi

Optimum elektromıknatis boyutları için verilen; [6]

$$3 \leq \frac{h}{r_2 - r_1} \leq 4 \quad (6.4)$$

$$r_1^2 = r_3^2 - r_2^2 = 2r_1 t_d$$

formülleriyle r_2 , r_3 , t_d belirlenir. Bunlara bağlı olarak ortalama akı yolu boyutları l_k , l_y , l_d de belirlenmiş olur.

Bir sonraki adım, manyetik devrenin farklı kısımlarının geçirgenliğinin belirlenmesidir, böylece devredeki akı dağılımı da bilinir. Disk yerdeğiştirmesinin fonksiyonu olarak manyetik devrenin geçirgenliği, kullanılan elektromıknatisde manyetik yolun boyutları ve şekli üzerine temellendirilmiş deneysel formüllerle [6] verilir.

İç kutup geçirgenliği;

$$P_{fi} = 3.26 \mu_0 r_1 + 4 \mu_0 r_1 \ln\left(\frac{r_2 - r_1}{\pi x_h}\right) \quad (6.5)$$

Dış kutup geçirgenliği;

$$P_{fd} = 1.63 \mu_0 r_3 + 2 \mu_0 r_3 \ln\left(1 + \frac{r_1}{x_h}\right) + 3.26 \mu_0 r_2 + 4 \mu_0 r_2 \ln\left(\frac{r_2 - r_1}{\pi x_h}\right) \quad (6.6)$$

Kullanılır aralığın geçirgenliği;

$$P_{uh} = \frac{\pi \mu_0 r_1^2}{x_h} \quad (6.7a)$$

ve toplam kullanılan aralığın geçirgenliği P_u , iki hava aralığının bulunduğu elektromıknatıslarda;

$$P_u = \frac{\pi \mu_0 r_1^2}{2 x_h} \quad (6.7b)$$

İçerdeki ve dışardaki kutup çekirdeğinin arasındaki disk boyunca toplam etkili geçirgenlik;

$$P_a = \frac{1}{\frac{1}{P_{ug} + P_{fi}} + \frac{1}{P_{ug} + P_{fd}}} \quad (6.8)$$

Kutup çekirdekleri arasındaki kayıp geçirgenlik;

$$P_1 = \mu_0 \left[1.57 h \frac{(r_2 + r_1)}{(r_2 - r_1)} - \frac{(r_2 + r_1)}{2} \left(1 - \frac{\pi x_h}{(r_2 - r_1)} \right) \right] \quad (6.9)$$

Geçirgenliğin birimi amper sarım başına Maxwell'dir. Elektromanyetik devrelerin hesabı yukardaki eşitliklerden de görüldüğü gibi gerçekten çok karmaşıktır. Bu nedenle bu eşitliklerin en iyi çözümü bilgisayar destekli çözümlerdir. Bizde manyetik

devrenin sayısal hesaplamaları için bir bilgisayar programı (MATLAB paket programını) kullandık (Ek-1).

Manyetik devre hesabındaki non-lineerlikten dolayı ortaya çıkan güçlük, kullanılan manyetik malzemenin B-H ilişkisini temsil eden deneysel mıknatıslanma eğrisinin kullanılmasıyla kısmen giderilir. Bilgisayar programı içinde, verilen B değerine karşılık, H değerini elde etmek için dökme çeliğin mıknatıslanma eğrisinden (Şek. 2.21) alınan verilerle MATLAB'ın eğri uydurma programı Spline.m dosyası kullanıldı. Bu ilişki, polinomal fonksiyon $H=f(B)$ olarak elde edildi.

Bu bilgisayar programı (Ek-2), manyetik karakteristiklerin hesabında iki amaç için kullanıldı. İlki, sabit bir hava aralığında verilen akıyı sağlamak için gerekli magnemotor kuvveti; NI 'yı tanımlamak, ikincisi verilen magnemotor kuvveti NI için gerekli akıyı hesaplamaktır.

İlk durumda, sabit bir hava aralığında manyetik devrenin farklı kısımlarının geçirgenliğinin hesabından sonra, iterasyon yöntemi ile manyetik malzemenin - mıknatıslanma eğrisinden alınan verilerle oluşturulan - $H=f(B)$ eğrisinden alınan akı yoğunluğu verileri programın asıl kısmına giriş olarak verilir. İlk adımda, ferromanyetik kaplamanın akı yoğunluğu B_y ile benzer olması için alınan akı yoğunluğunun çok küçük değerleriyle başlar. Daha sonra manyetik devrenin farklı kısımlarının akı ve akı yoğunluğu aşağıdaki benzer deneysel formüllerle hesaplanır. [6]

Hava aralığındaki akı yoğunluğu;

$$B_h = \frac{P_{uh}}{P_a + P_1} B_y \quad (6.10)$$

diskin akı yoğunluğu;

$$B_d = B_h \frac{P_a}{P_{uh}} \quad (6.11)$$

kutup çekirdeğinin akı yoğunluğu;

$$B_k = B_d + \frac{2}{3} B_h \frac{P_1}{P_{uh}} \quad (6.12)$$

Manyetik devrenin demir kısmı için gerekli magnemotor kuvveti NI, polinomal fonksiyonun kullanılmasıyla hesaplanır, $H_n = f(B_n)$ 'e göre eşitlik;

$$\sum H_n l_n = H_d l_d + 2H_k l_k + H_y l_y \quad (6.13)$$

Bu eşitliğe, hava aralığındaki magnemotor kuvvetinin eklenmesiyle gerekli toplam magnemotor kuvvet şöyle hesaplanır;

$$NI = \frac{2 B_h x_h}{\mu_0} + \sum H_n l_n \quad (6.14)$$

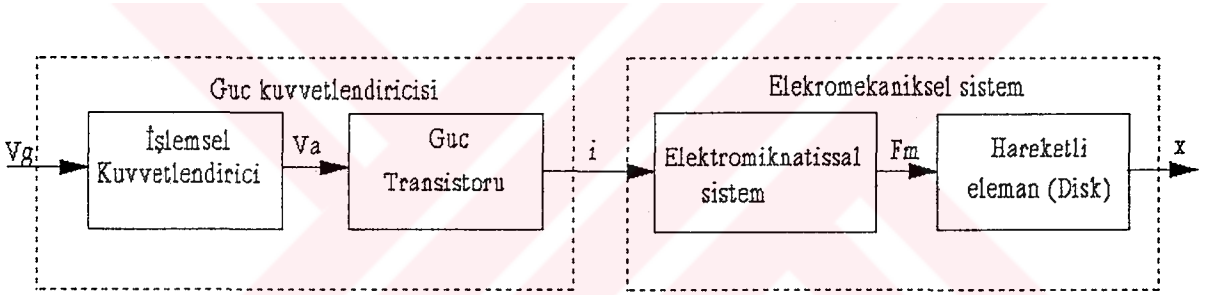
Program sonuçta, (6.1) eşitliğine göre kuvveti ve aşağıdaki eşitliğe göre akımı hesaplar,

$$I = \frac{NI}{N} \quad (6.15)$$

İkinci durum, bir döngü yoluyla iterasyon yapılarak farklı aralıklarda hesaplanan magnemotor kuvvet NI için gerekli akının belirlenmesinde kullanılır. Burada da birinci durumdaki eşitliklerden faydalanılır. Ancak akı yoğunluğu değerleri giriş verileri olarak gerekli değildir. Program bir döngüyle verilen magnemotor kuvvetine yaklaştırmaya çalışır ve verilen magnemotora ulaşıncaya kadar iterasyona devam eder. Bu yöntem sabit uyarı akımı elde edebilmek için elektromıknatısın kuvvet-yerdeğiştirme karakteristiklerini tamamlayıncaya kadar, her artan aralık için hesaplanır.

6.2. ELEKTROMEKANİK FRENİN DİNAMİK DAVRANIŞI

Genel olarak, elektromıknatısların düşük güçlü bir elektrik sinyali ile denetiminde, elektrik sinyalinin elektronik bir güç kuvvetlendirici yoluyla uyardığı akım, elektromıknatis sargısından geçerek devrede bir mıknatis alanı oluşturur. Bu mıknatis alanının oluşturduğu mıknatıssal kuvvet elektromıknatısın hareketli elemanına (armature) mekaniksel bir öteleme hareketi sağlar. Bu elektromıknatis bu açıdan bir elektrik sinyalini mekanik harekete dönüştüren bir enerji dönüştürgeci (transducer) olarak ele alınabilir. Şekil 6.2' de elektromekaniksel olarak çalışan bir elektromıknatis devresinin şematik blok diyagramı görülmektedir.

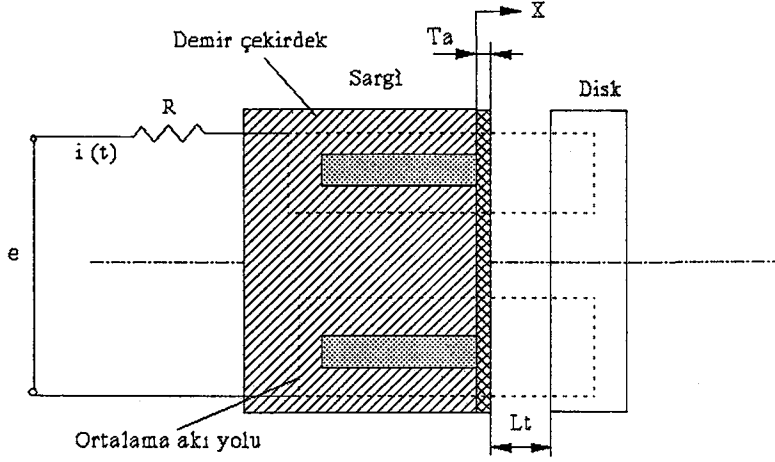


Şekil 6.2 - Elektromekaniksel sistem

Elektronik kuvvetlendirici genellikle bir işlemsel kuvvetlendirici ve güç transistörlerinden ibarettir. Transistörlerin bir ucuna düşük akımlı kuvvetlendirici çıkışı, bir ucu kollektöre diğer ucu da elektriksel güç kaynağına bağlı bulunan sargı devresinden yüksek akım geçişini tetikler. Bu şekilde transistörler aynı zamanda elektronik bir anahtar görevi de yaparlar.

6.2.1. ELEKTROMİKNATISSAL SİSTEMİN TASARIMI VE ÖZELLİKLERİ

Disk valf veya bizim incelediğimiz manyetik fren tasarım ve imalinde kullanılan, genelde solenoid olarak bilinen elektro mekanik sistem şekil 6.3' de görüldüğü gibi bir mıknatıssal demir çekirdek, bir disk ve tel sargıdan ibarettir. Mıknatıssal demir



Şekil 6.3 - Elektro mekaniksel model

çekirdek ve tel sargıdan ibaret kısım kısaca sargı devresi olarak isimlendirilir.

Manyetik frenin elektromıknatıssal kısmının tasarımında literatürde düz yüzlü hareketli eleman içeren solenoid tipi olarak bilinen elektromıknatıs kullanılmıştır. Bu tür elektromıknatıslar genellikle görece küçük disk yerdeğıştirmelerinde büyük mıknatıssal kuvvetler elde etmek için kullanılır. Bunlar oldukça kısa bir mıknatıs yoluna karşılık iki adet çalışma aralığı içeren geniş kesit alanlı mıknatıslardır. Bu çalışma aralıkları mıknatıssal olarak ardışık, mekaniksel olarak koşut bağılı olup geniş etkin tutma yüzeyi oluştururlar. Buna karşılık sürgülü tipte hareketli eleman içeren geleneksel elektromıknatısların bir tek çalışma aralığı mevcut olup mıknatıs yolu boyları oldukça uzundur.

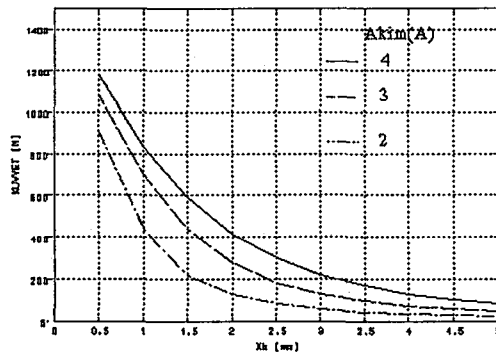
Şekil 6.3' de görülen elektromıknatıssal sistem maksimum geçirgenlikli bir mıknatıs yolu oluşturan demir mıknatıs kapalı yolu oluşturur. Elektromıknatıssal sistemin geçirgenliği sargı devresi ile disk arasındaki hava aralığı yardımı ile denetlenir. Sargı devresi tarafından diske uygulanan mıknatıssal kuvvet:

$$F_m = \frac{Z}{2} \frac{B_h^2 A_s}{\mu} \quad (6.16)$$

burada A_s mıknatıssal çekirdeğin etkin alışma kesit alanı ve Z çalışma aralığı sayısı olup kullanılan elektromıknatis tipi için 2 dir. B_h ise hava aralığı içindeki mıknatıssal akı yoğunluğu olup aynı boyutlardaki bir elektromıknatista hava aralığı uzunluğu ve uyarı akımına bağlı olarak değişmektedir.

Çeşitli disk yerdeğiştirmelerine ve uyarı akımlarına karşılık gelen mıknatıssal kuvvetlerin tam değerlerinin bulunabilmesi için mıknatıssal sızıntıyı ve doymayı hesaba katan hava aralığı akı yoğunluğu değerleriyle mıknatıssal çekirdek içindeki akı dağılımının elde edilmesi gerekir. Elektromıknatıssal sistem içindeki mıknatis yolunun boyutlarına ve biçimine dayananan amprik geçirgenlik formülleri disk yerdeğiştirmesinin bir fonksiyonu olarak verilmektedir. Elektromıknatıssal devrelerin yapısı oldukça karmaşık olduğundan sözü geçen formüller yardımıyla çeşitli disk yer değiştirmelerine ve uyarı akımlarına karşılık gelen kuvvet eğrileri bilgisayar yardımıyla elde edilebilmektedir.

Şekil 6.4' de elektromıknatis sistemin disk yer değiştirmelerine karşılık gelen kuvvet eğrileri görülmektedir. Burada değişken olarak uyarı akımı alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi mıknatıssal çekim kuvveti disk yer değiştirmesiyle ters orantılı doğrusal olmayan şekilde değişmektedir.



Şekil 6.4 - Kuvvet Eğrileri

6.3. ELEKTROMEKANİKSEL SİSTEMİN DİNAMİK DAVRANIŞI

6.3.1. KURAMSAL TANIMLAR

Ele alınan sistemin dinamik davranışına bir açıklık getirmek amacıyla bazı kabuller yaparak sistemin yaklaşık çözümünü veren eşitlikler bu bölümde çıkarılacaktır. Bu eşitlikler de pratik sisteme ait bazı etkenleri gözönünde bulunduracak şekilde modife edilerek çözülecektir.

Özellikle elektromıknatıssal sisteme ait eşitliklerin yazılmasında aşağıdaki kabuller yapılabilir.

(i). Mıknatıssal demir çekirdek malzemesinin geçirgenliği ideal olarak hava geçirgenliği yanında sonsuz büyük olduğu kabulüne dayanarak, mıknatıssal enerjinin yalnızca hava aralığında depolandığı varsayılmakta,

(ii). Mıknatıssal devrenin mıknatıssal doyması, sızıntı ve saçaklanma akıları ve hysteresis kayıpları ihmal edilmektedir.

Şekil 6.3' de tek taraflı sargı devresine sahip bir diskli elektromıknatıs modeline dayanan elektromekaniksel fren sisteminin elektriksel ve mekaniksel eşitlikleri [7] sırasıyla:

Elektriksel;

$$R i + L \frac{di}{dt} + i \frac{dl}{dx} \frac{dx}{dt} = e \quad (6.17)$$

Mekaniksel öteleme;

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_m(t) - F_y(t) \quad (6.18)$$

Burada F_m : enerjilenen sargı devresindeki mıknatıssal çekim kuvveti
 F_y : elektromıknatısın hareketli elemanını geri çeken yay kuvveti

Mekaniksel dönme;

$$J \frac{d\omega}{dt} + b\omega + F_f r = F_m \mu r \quad (6.19)$$

Burada

F_f : frenleme kuvvetidir.

F_m , genel olarak herhangi bir sargı devresi tarafından disk üzerine uygulanan elektromıknatıssal kuvvet olup enerjinin korunumuna göre aşağıdaki şekilde yazılabilir,

$$F_m = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial x} \quad (6.20)$$

Endüktans ve geçirgenlik arasındaki bağıntı,

$$L = N^2 P \quad (6.21)$$

Mıknatıs devresi geçirgenliği, P hareketli eleman disk yerdeğiştirmesinin bir fonksiyonu olarak elektromıknatıs sistem içindeki mıknatıs yolunun boyutuna ve biçimine bağlı olarak her bir özel durum için ayrı ayrı hesaplanabilir. Tüm mıknatıs enerjisinin hava aralığında toplandığı varsayımına göre sadece hava aralığı geçirgenliğini hesaba katmak yeterli olacaktır. Fren tasarımında kullandığımız elektromıknatıs tipi mıknatıssal olarak ardışık bağlı iki adet çalışma aralığı içerdiğine göre disk ve sargı devresi arasındaki toplam kullanışlı aralık geçirgenliği şöyle verilir,

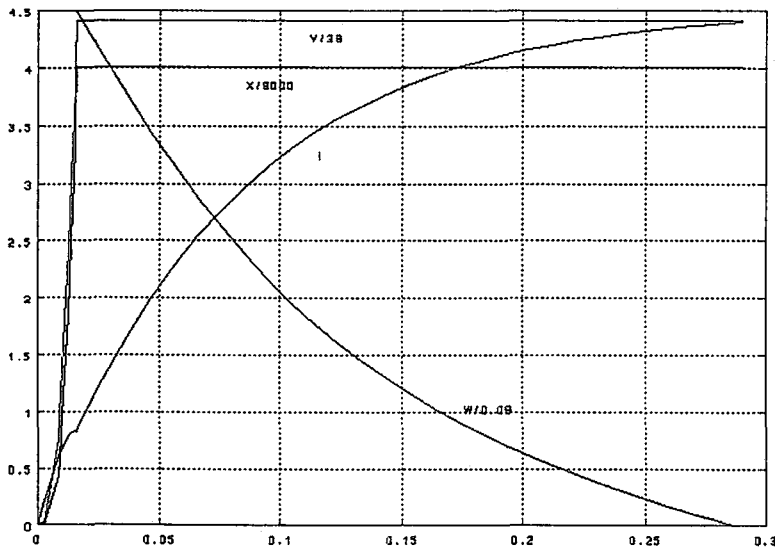
$$P(x) = \frac{A_s}{2 (L_t - x)} \quad (6.22)$$

Yukardaki geçirgenlik eşitliğini endüktans eşitliğinde değerlendirip x e göre türevini aldıktan sonra kuvvet eşitliğinde (5.20)' de yerine koyarsak,

$$F_m = \frac{\mu A_s N^2 i^2}{4 (L_t - x)^2} \quad (6.23)$$

Yukarıda elde edilen eşitlikler elektromekaniksel enerji dönüşümü sürecinde meydana gelen elektriksel ve mekaniksel hareketleri tanımlamaktadırlar. Bunların çözümü için sistemle ilgili parametreler ve başlangıç değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu eşitliklerin çözümüne geçmeden önce pratikte bu tür bir sistemde ortaya çıkan durumları ele almak uygun olacaktır.

Şekil 6.5' de elektromekaniksel fren sisteminin aç-kapa anahtarlama sırasında disk yerdeğiştirmesi x , hızı v , sargı uyarı akımı değişimleri ve frenlenecek diskin açısal hızı verilmiştir. Şekilden izlendiği gibi, enerjilenen sargı devresindeki akım ilkönce devredeki endüktans elemanının etkisinden dolayı belli bir değere doğru sürekli bir artış gösterir.



Şekil 6.5 - Anahtarlama zamanı

Fiziksel olarak sürekli akım değişimi, enerji dağılımı yönünden şu şekilde açıklanabilir: Endüktans elemanının depoladığı enerji $1/2 L i^2$ dir.

Bir elemana verilen ya da ondan alınan güç hiçbir zaman sonsuz büyük olmayacağına göre o elemanda biriken yada dönüştürülen enerji sürekli olacak, yani birden bire değer değiştirmeyecek demektir. Dolayısıyla enerjinin bu sürekliliği endüktans elemanında, akımın sürekli değişmesini gerektirecektir.

Akımın enerjilenen sargı devresinde üstel olarak artışı ile birlikte kuvvet artışı oluşacaktır. Bu kuvvet, enerji verilen sargı devresindeki mıknatıssal kuvvet, yay kuvvetine eşit oluncaya kadar disk hareketsiz durumda kalacaktır. Diskin hareketini engelleyici her hangi başka bir dış kuvvet yoksa, enerjilenen sargı devresindeki mıknatıssal kuvvet yay kuvvetine eşit olduğu anda disk hareket etmeye başlar. Aç-kapa anahtarlama başlangıcında bu ana kadar geçen zaman disk bekleme zamanı olarak anılır. Disk harekete başlar başlamaz enerjilenen sargı devresi endüktansı, disk ile sargı devresi arasındaki aralığın azalmasıyla birlikte artmaya başlar. Bu durumda akım değişimi elektriksel zaman sabiti ile olduğu kadar hava aralığındaki değişimden de etkilenir. Aralığın azalmasıyla birlikte etkin zaman sabiti artar. Bu da sonuçta akımın, diskin en son konuma eriştiği anındaki, yerel minimum değerine düşmesine neden olur. Diskin hareketsiz konumdan bu ana kadar geçen zaman, disk hareket zamanı olarak anılır ve nihayet devrede dolaşan akım üstel olarak artmasına devam ederek, uygulanan gerilim, direnç ve en son hava aralığı değerine bağlı olan, en son değerine ulaşır.

Sonuçta toplam anahtarlama zamanı, disk bekleme zamanı ve disk hareket zamanından ibaret olmaktadır.

Pratikte disk valf sisteminden elde edilen deneysel sonuçlar, bekleme zamanının toplam anahtarlama zamanının büyük bir kısmını teşkil ettiğini

göstermektedir.

Anahtarlama başlangıcında sargı devresinde ortaya çıkan başlangıç akımı I_0 fiziksel olarak şu şekilde açıklanmaktadır: $t=0$ da olduğundan eşitlik (6.17)' ye göre I_0 gibi bir akım ani olarak saf dirençsel yük üzerinden akar. Bu durum genelde Çevrinti (eddy) akımları sonucu ortaya çıkmaktadır. Çevrinti akımları mıknatıssal çekirdekte enerji kaybına neden olan endüklenmiş akımlardır. Kuramsal olarak çevrinti akımının etkisini hesaplamak oldukça güçtür. Çeşitli yaklaşık hesaplamalarda başlangıç I_0 akımının deneysel olarak ölçümü gerekmektedir.

6.3.2. SİSTEM EŞİTLİKLERİNİN ÇÖZÜMÜ

Yukarıdaki açıklamaların ışığı altında sisteme ait eşitliklerin çözümünü elde etmek için pratikte ortaya çıkan darbe (pulse) tipi başlangıç akımı I_0 uyarı akımının sargı devresi içindeki kayıp bileşeni olarak ele alabiliriz. Uyarı akımının geri kalan kısmı ise mıknatıs çekirdekte, mıknatıs akısının oluşmasını sağlayacağından akımın mıknatıslayıcı kısmını oluşturacaktır. Buna göre;

$$i(t) = I_0 + i_2(t) \quad (6.24)$$

Uyarı akımını mıknatıslayıcı ve kayıp akımı gibi bileşenlere ayırma işlemi elektromıknatıs sistemin dinamik çözülmesine kolaylık sağlamak amacıyla başvurulmuş kavramsal bir durumdur. Elektromekaniksel sistemin geçici durumunu diferansiyel eşitlikleri şekil 6.3' de gösterilen sargı devresi içeren fren modeli için elektriksel ve mekaniksel eşitlikleri yeniden düzenleyerek elde edelim.

(i) Enerjilenen sargı devresi: Bu sargı devresine göre disk hareketi X yönünde alınırsa,

$$R (i_0 + i) + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dx} \frac{dx}{dt} = e \quad (6.25)$$

Disk ile sargı devresi arasındaki mıknatıssal ve dinamik kuvvetlerin etkisiyle oluşan hareket denklemleri,sargı devresinin hava aralığı kadar bir mesafeyi katetmesi ve disk ile temas halindeyken diskin hareketini engelleyen (frenlemek), olmak üzere iki durum teşkil etmektedir. Bu duruma göre ilki:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + k x = F_m - F_y \quad (6.26)$$

ikincisi ise,

$$J \frac{d\omega}{dt} + B_m \omega + F_f r = F_m \mu_s r \quad (6.27)$$

Burada J ; frenlenecek diskin ataleti, ω ; diskin açısal hızı, B_m ;diskin sönüm katsayısı, F_f ;frenlenecek kuvvet, F_m ;sağlanan manyetik kuvvet, μ_s : sargı devresi üzerindeki sürtünme malzemesi ile disk arasındaki sürtünme katsayısı, r :frenlenecek diskin ortalama yarı çapıdır.

Sargı devresinde oluşturulan ve diske uygulanan manyetik kuvvet (mıknatıssal çekim kuvveti) şöyle verilir,

$$F_m (t) = \frac{\mu A_s i^2 N^2}{4 (L_t - x)^2} \quad (6.28)$$

$$L = \frac{\mu A_s N^2}{2 (L_t - x)} \quad (6.29)$$

Burada;

L_t : Disk ile sargı devresi arasındaki toplam aralık uzunluğu

N : Sargı makarası üzerindeki sargı sayısı

e : Sargı devresi uçlarına uygulanan basamak giriş gerilimi

I_0 : Atım tipi başlangıç akımı

- i : Sargı devresinde dolaşan akımın mıknatıslayıcı bileşeni
 b : Yapışkanlık (viscous) sönüm katsayısı
 μ : Havanın mıknatıssal geçirgenlik katsayısı

Görüldüğü gibi sistemi temsil eden eşitlikler doğrusal olmayan diferansiyel eşitlikler biçiminde karşımıza çıkmaktadır. Elektromekaniksel sistemin dinamik davranışını saptamak için doğrusal olmayan eşitliklerin doğrusallaştırılarak yaklaşık analitik çözümleri veya Runge-Kutta Gaus Siedel (RKGS) gibi sayısal hesaplama yöntemleri kullanılabilir.

Bir diğer çözüm şeklide bilgisayar programı kullanmaktır. Özellikle yaklaşık sayısal çözümde,yukardaki eşitliklerin uygun bir biçimde çözümünü elde etmek için elektromekaniksel sistemin dinamik davranışını üç kademedede inceleyebiliriz.Şekil 5.5' e göre:

(i). Anahtarlama süreci başlangıcından diskin harekete başlamasına kadar olan kademe,

$$F_y \geq F_m \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2}=0, \frac{dx}{dt}=0, x=0$$

ve disk sabit açısal bir hızla dönüyor. Sargı devresi hareketsiz olup yalnızca elektriksel hareket mevcuttur. Bu durumda yalnızca (6.25) ve (6.26) eşitlikleri geçerlidir.

(ii). Sargı devresinin gövdesiyle birlikte hareketli olduğu kademe, hem elektriksel hemde mekaniksel (öteleme) hareket mevcut olup elektriksel ve mekanik öteleme hareket denklemlerinin hepsi geçerlidir.

(iii). Sargı devresi (gövdesiyle birlikte) hareketini tamamladıktan sonra yani

frenlenecek disk ile temasta olduğu kademe, bu durum ilk duruma benzemekle beraber $F_y < F_m$ dir. Aynı zamanda frenlenecek diskin açısıl hızı uygulanan sürtünme kuvvetiyle azalmaya başlayacaktır. Bu kademede elektriksel eşitlik ve mekanik (dönme) eşitlik geçerlidir.

6.3.3 MANYETİK DEVRE KISMININ BOYUTLANDIRILMASI

Tasarımın ilk adımında manyetik devrenin boyutları yaklaşık bir manyetik kuvvet değeri (6.1) nolu denklemde yerine koyulması ile belirlenir. Bu eşitlik bize çekirdek alanını dolayısıyla çekirdek yarıçapı r_1 'i (şek. 6.1) verir.

$$F_m = \frac{Z}{2} \frac{B^2 A}{\mu}$$

$$F_m = 500 \text{ N}, Z = 2, B = 1 \text{ Wb/m}^2, \mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (havanın geçirgenliği)}$$

$$\Rightarrow A = \frac{2 \mu F_m}{Z B^2} = \frac{2 \cdot 4 \pi \cdot 10^{-7} \cdot 500}{2 \cdot (1.0)^2}$$

$$\Rightarrow A = 6.283 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

dir. buradan hareketle r_1 'i;

$$A = \pi r_1^2 \Rightarrow r_1 = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

den

$$r_1 = \sqrt{\frac{6.283 \cdot 10^{-7}}{\pi}}$$

$$\Rightarrow r_1 = 0.014 \text{ m} \Rightarrow r_1 = 14 \text{ mm}$$

bulunur. $h = 50 \text{ mm}$ olarak modelimiz için seçildi. Bu belirlenen değere göre (6.4) nolu eşitlikteki denklemler kullanılarak;

$$3 \leq \frac{h}{r_2 - r_1} \leq 4$$

den,

$$\frac{h + 4r_1}{4} \leq r_2 \leq \frac{h + 3r_1}{3}$$

$$\frac{50 + 4(14)}{4} \leq r_2 \leq \frac{50 + 3(14)}{3}$$

$$26.5 \leq r_2 \leq 30 \quad \Rightarrow \quad r_2 = 28 \text{ mm}$$

olarak seçildi. (6.4) nolu eşitlikte verilen diğer formül kullanılarak r_3 ve t_d :

$$r_1^2 = r_3^2 - r_2^2 = 2 r_1 t_d$$

$$r_3 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} \quad \Rightarrow \quad r_3 = \sqrt{14^2 + 28^2}$$

$$\Rightarrow r_3 = 31.3 \text{ mm}$$

kullanılacak manyetik malzemenin (düşük karbonlu çelik 1008) 30 mm den daha büyük çaplısı temin edilemediğinden $r_3=30$ mm alındı.

$$r_1^2 = 2 r_1 t_d \quad \Rightarrow \quad t_d = \frac{r_1}{2}$$

$$t_d = \frac{14}{2} \quad \Rightarrow \quad t_d = 7 \text{ mm}$$

bulunur, şekil 6.1'de gösterilen t_1 , t_d ye eşittir. Ancak manyetik devrenin hareketli kısmını teşkil eden bu kısma geri çağırma yayı monte edileceğinden biraz büyük tutulmuştur ve $t_d=10$ mm alınmıştır.

Belirlenen bu boyutlara göre ortalama akı yolu boyutlarını şekil 6.1' deki elektromıknatıs geometrisinden;

$$\begin{aligned}
L_k &= \frac{t_1}{2} + h + Ta + x_h + \frac{t_d}{2} \\
&= \frac{10}{2} + 50 + 1 + 1 + \frac{10}{2} \\
L_k &= 62 \text{ mm}
\end{aligned}$$

olarak bulunur. Ortalama akı yolunun diğer boyutlarında,

$$\begin{aligned}
L_d = L_k &= \frac{(r_3 - r_2)}{2} + (r_2 - r_1) + \frac{r_1}{2} \\
L_d = L_k &= \frac{30 - 28}{2} + (28 - 14) + \frac{14}{2} \\
L_d = L_k &= 22 \text{ mm}
\end{aligned}$$

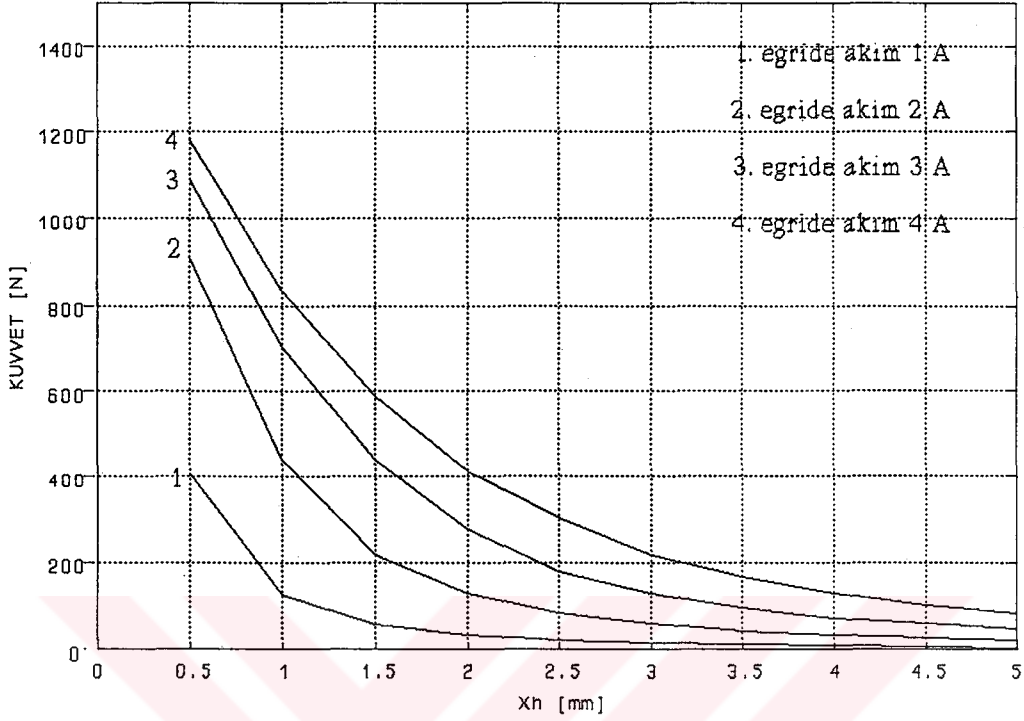
olarak belirlenir.

Belirlenen bu boyutlara göre sarım sayısı hesabı;

$$N = \frac{(h - 2 t_m)}{d} \frac{(r_2 - r_1) - l_m - l_b}{d}$$

burada t_m ; makara kenarının kalınlığı (2 mm), l_m ; makaranın çekirdeğe geçen kısmının kalınlığı (1 mm), l_b ; makara ile nüve iç çapı arasındaki boşluk (1 mm), d ; kullanılan telin izoleli çapıdır ($d=0.8$ mm) (Ek3 detay resimler).

Bu boyutlar belirlendikten sonra Ek2' de verilen AXFD programı çalıştırılır. Bu program daha önce izah ettiğimiz gibi kaplamanın yani manyetik malzemenin mıknatıslanma eğrisinden - ki kullanılmam 1008 çeliğinin mıknatıslanma eğrisi bulunmadığından genel anlamda dökme çeliğin mıknatıslanma eğrisi kullanılmıştır-



Şekil 6.6 - Kullanılan elektromıknatısın kuvvet-yerdeğiştirme karakteristikleri

alınan verilerle, manyetik akının çok küçük değerlerinden başlayarak iterasyon yöntemi ile verilen magnemotor kuvvet (NI)'ya yaklaştırmaya çalışır ki buna manyetik malzemenin doyması da denir. Doyma anındaki manyetik akıyla, geçirgenliği ve malzeme içinde kaybolan magnemotor kuvvetide hesaba katarak (6.2) nolu denklemden sağlanan manyetik kuvvet bulunur. Bu programı, farklı akımlarla herbir aralık (0.5 - 5 mm) için çalıştırsak sonuçları şekil 6.6' da görüldüğü gibidir.

BÖLÜM 7

DENEY VE BULGULAR

7.1 GİRİŞ

Deney tesisatı, tasarlanan manyetik frenin, teorik olarak hesaplanan karakteristikleri ile karşılaştırabilmek için elektromıknatis karakteristik ve statik-dinamik frenleme olmak üzere iki ayrı test düzeneği tasarlanmıştır. Bunun için, Ek3 de detay resimleri verilen parçalarla, şekil 7.1 de görülen karakteristik testi deney düzeneği kurulmuştur. Dinamik karakteristikleri karşılaştırabilmek için gergi kontrolü gerektiren kurulu bir tezgahımız olmadığı için laboratuvarımızda kurulu olan hidrolik sistemin hidrolik motorundan tahrik alan bir volan, disk olarak düşünülmüştür.

7.2 ELEKTROMİKNATIS KARAKTERİSTİĞİ DENEY DÜZENEGİ VE YAPILIŞI

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi Ek3 de detay resimleri verilen test düzeneği parçaları ile şekil 7.1a ve 7.1b' de gösterilen deney düzeneği kurulmuştur.

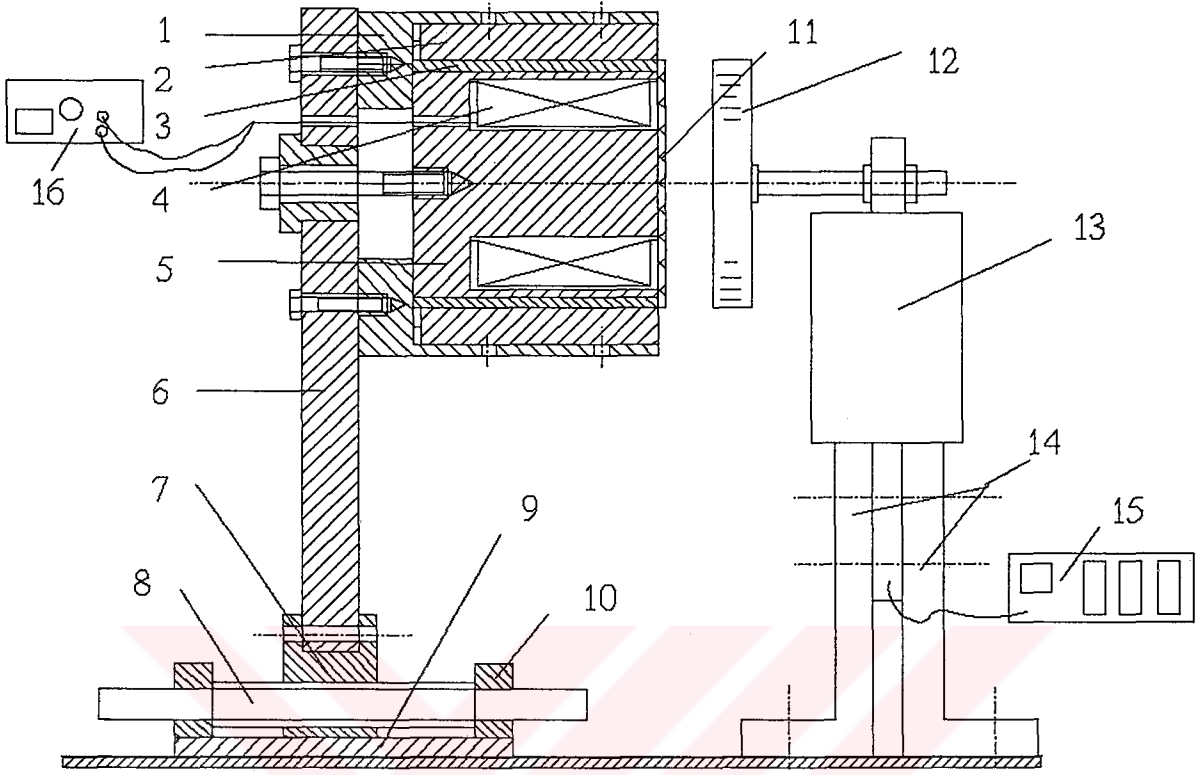
Elektromıknatis karakteristiği deney düzeneği görüldüğü gibi;

1 - Dış gövde, St 50 malzemesinden imal edilmiş olup, statik elektromıknatis aynaya sabitlemede kullanılır.

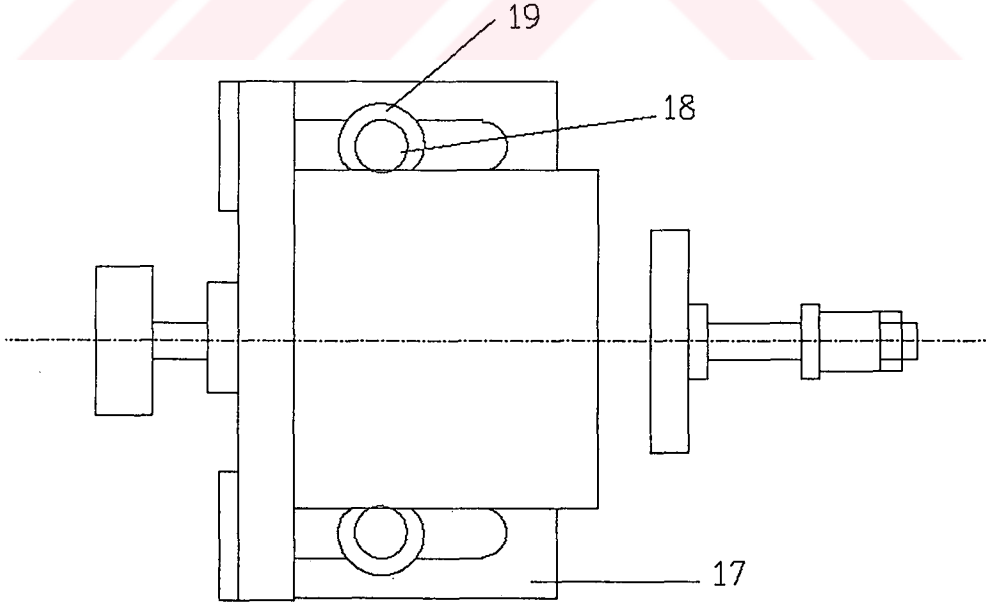
2 - Kama, elektromıknatis karakteristikleri deneyi esnasında kullanılmasada dinamik test esnasında hem elektromıknatisin hareketini kolaylaştıran bir ray görevi yapar, hemde frenleme esnasında elektromıknatisin dönen volanın (frenlenecek disk, tambur vs.) etkisiyle dönmesini engeller.

3 - Prinç gövde, manyetik malzemesine kama yuvası açmamak için kullanılmıştır.

4 - Bobin, sarım sayısı $N=840$ adet.



Şekil 7.1a - Elektromıknatis karakteristiği test düzeneği



Şekil 7.1b - Elektromıknatis karakteristiği deney tesisatının üstten görünüşü

5 - Elektromıknatis, 1008 çeliğinde imal edilmiştir.

6 - Ayna, elektromanyetik freni veya frenleri taşıyan parça olup St 30 malzemesinden imal edilmiştir.

7 - Mengene somunu, disk ile elektromıknatisin arasındaki hava aralığının boyutunu ayarlayan mungenin bir parçasıdır.

8 - Mengene vidası, bu vida döndürülerek ayna ileri geri hareket ettirilir.

9 - Mengene kızağı, mengene somunun üzerinde kaydığı parça.

10 - Mengene vidasının aksenal hareketini önleyen parça.

11 - Sürtünme malzemesi, otomobillerde kullanılan balatadan imal edilmiştir.

12 - Disk, Elektromıknatis malzemesinden imal edilmiştir.

13 - Kuvvet transistörü, 0-100 kg kuvvet ölçebilme özelliğinde.

14 - Transistörü taşıyan köşebentler.

15 - Kuvvetlendirici (Amplifier), deney tesisatında kullanılan kuvvetlendirici, Hottinger Boldwin Messtechnik firmasının KWS 903.D modelidir.

16 - Akım sürücü, Ek4' de devre şeması verilmiştir.

17 - Mesafe ayar ayağı,

18 - Sabitleme vidası

19 - Pul

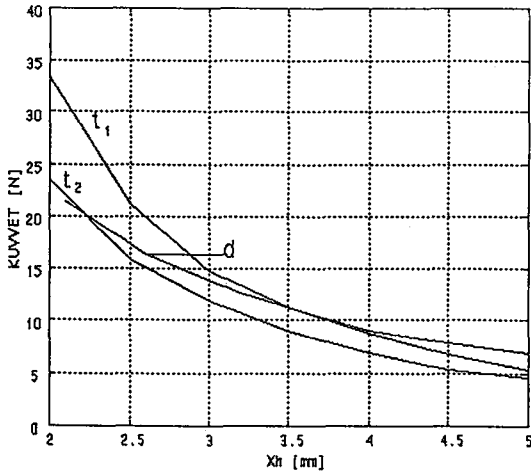
parçalarından oluşmaktadır.

Manyetik frene sabit akım verilerek, farklı aralıklarda sağladığı manyetik kuvvet tespit edilmiştir. Bu işlem, farklı akımlar için herbir aralıkta tekrarlanmış olup bulunan bu değerler tablo 7.1'de verilmiştir.

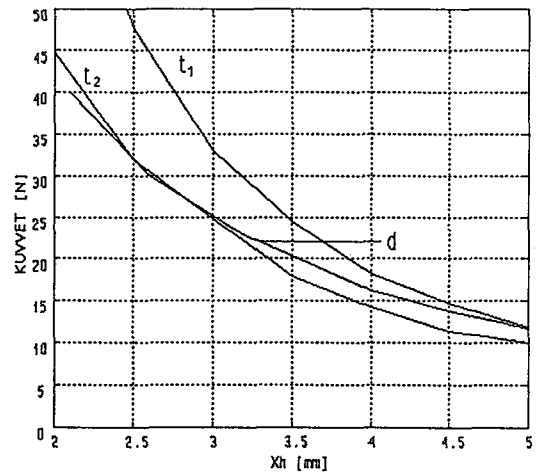
Bulunan bu değerlerin grafiği, MATLAB paket programı kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 7.2' de gösterilmiştir.

Tablo 7.1 - Elektromıknatis Karekteristikleri Deney Sonuçları

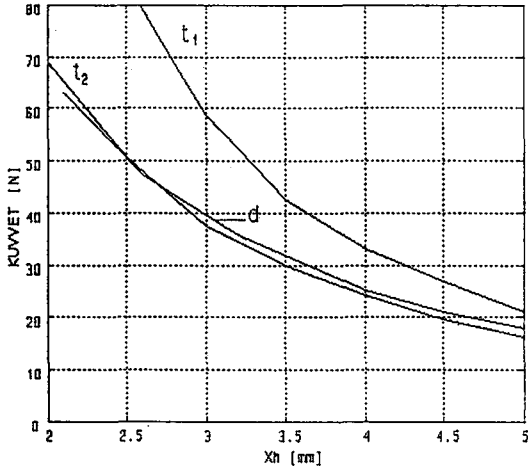
Aralık Mesafesi [mm]	Kuvvet Transistöründen Okunan Değerler *9.81/50 (N)		
	Sürülen Akım Değerleri (I [A])		
	1.0	1.5	2.0
2.1	21.40	40.03	63.00
2.6	16.30	30.01	47.29
3.2	12.56	22.76	35.70
4.0	9.03	16.30	25.12
4.5	7.85	13.75	21.00
5.0	6.87	11.58	17.86



(A)



(B)



Şekil 7.2 - Deneysel sonuçlar (A) $I=1$ A, (B) $I=1.5$ A, (C)=2 A (t_1 dökme çeliğin, t_2 dökme demirin mıknatıslanma eğrisinden alınan verilerle hesaplanan teorik sonuçları, d ise deneysel sonuçları göstermektedir).

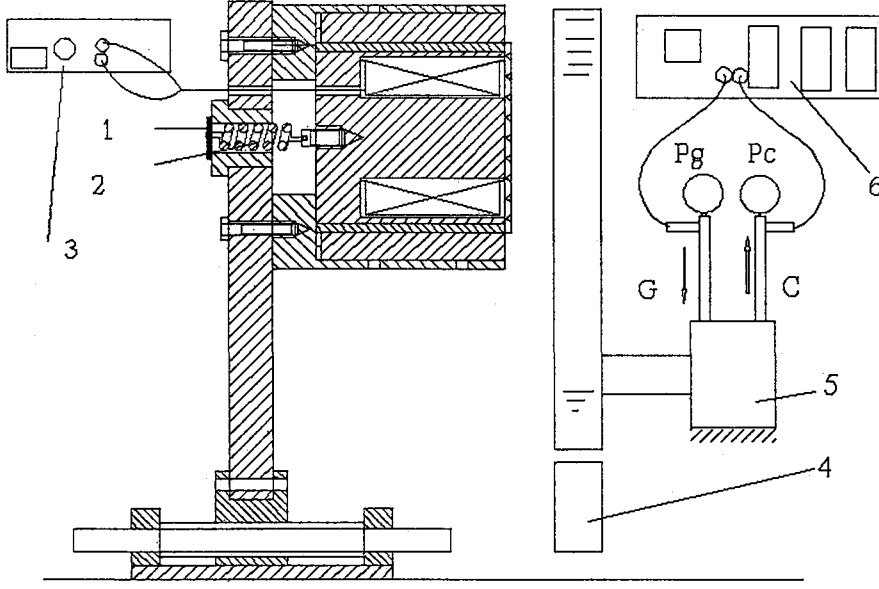
(C)

Görüldüğü gibi kullanılan manyetik malzeme, elektromıknatısın sağlayacağı manyetik kuvvet üzerine büyük bir etki yapmaktadır. Kullanılan malzemenin mıknatıslanma eğrisini temin edemediğimizi daha öncede belirtmiştik. Ancak şekil 7.2' de de görüldüğü gibi deneysel olarak elde edilen manyetik kuvvet, en az manyetik olan malzemelerden birini temsil eden dökme demir ile manyetik özellikleri iyi olan dökme çeliğin mıknatıslanma eğrilerinden alınan verilerle hesaplanan teorik elektromıknatıs karakteristikleri arasında kalmaktadır.

7.3 STATİK VE DİNAMİK DENEY TESİSATI VE DENEYLERİ

7.3.1. Statik Deney Tesisatı ve Deneyi

Hidrolik motor volanını disk olarak tasarladığımızı ve frenleyerek (gergi kontrolü için) dinamik testi gerçekleştirdiğimizi daha öncede izah etmiştik. Deney düzeneğinin (Şek. 7.3), elektromekanik kısmı karakteristik deney düzeneği ile aynı olup tek farkı, elektromıknatısın gövde içinde hareket etmesidir. Bu da elektromıknatısın arkasına bir yay mekanizması yerleştirilerek sağlanmıştır. Bu yayın görevi, manyetik fren üzerine uygulanan akımı kestiğimizde sistemde oluşan kalıcı mıknatıs kuvvetini yenip elektromıknatısı diskten uzaklaştırmaktır.



Şekil 7.3 - Dinamik deney düzeneği

Deney tesisatında kullanılan hidrolik motorun özellikleri aşağıda tanımlanmıştır.

Tip : DN 5 N C25, Geometrik debi : $50 \text{ [cm}^3/\text{dev]}$

Max. giriş basıncı : sürekli 140, kesikli 175, pik 225 [bar]

Max. Tork :sürekli 50, kesikli 82 [Nm]

Max. hız : sürekli 800, kesikli 1000 [dev/dak]

Elektromıknatıs üzerine uygulanan akım (0) değerinden başlayıp Bölüm 4’de verilen dinamik eşitliklerle artarak, (0) değerinden başlayan mıknatıssal kuvvet meydana getirir. Oluşan bu kuvvet karşıdaki diski kendine çekmeye çalışır ancak disk sabit olduğu için elektromıknatıs, diske doğru hareket etmek ister. Bu arada elektromıknatısta oluşan manyetik kuvvet kendisini tutan yay kuvvetini yenemediği için sabit kalır. Bu esnada elektromıknatısın hızı ve dolayısıyla yerdeğiştirme miktarı (0) dir. Bu zaman, sistemin harekete başlama zamanı olarak anılır. Mıknatıssal kuvvet yay kuvvetini, kütleli ataletini ve yapışkanlık sürtünmesini yendiği anda diske doğru hareket etmeye başlar. Diske ulaştığı anda, üzerinde bulunan manyetik kuvvetle diske bir frenleme kuvveti uygular ve bu anda üzerine uygulanan akımın artması ile frenleme kuvvetide artar. Bu frenleme kuvvetinin etkisiyle hidrolik motorun giriş ve çıkışı arasında bir basınç farkı doğar. Bu basınç farkı dinamik test düzeneğinde kullanılan basınç transistörleri ile gözlenir.

Tablo 7.2 - Statik deney verileri

S.Basıncı P_s	P1 Giriş P2 Çıkış basıncı [bar] n devir sayısı [d/dak]		Sürülen Akım [A]			
			1	2	3	4
50	Frenlemeden önce	P1	10	10	10	10
		P2	3	3	3	3
		n	345	345	345	345
	Frenlemeden Sonra	P1	12.5	20	25	28.5
		P2	3	3	3	4
		n	340	338	328	327
70	Frenlemeden önce	P1	10	10	10	10
		P2	3	3	3	3
		n	345	345	345	345
	frenlemeden Sonra	P1	12.5	20	25	28.5
		P2	3	3	4	4
		n	335	333	326	323
100	Frenlemeden önce	P1	10	10	10	10
		P2	3	3	3	3
		n	345	345	345	345
	Frenlemeden Sonra	P1	13.5	20	25	29
		P2	4	3	4	4
		n	343	338	328	323

Statik deney esnasında farklı sistem basınçları altında elektromekanik frene farklı akımlar verilerek pompanın giriş ve çıkış basınçları gözlenmiş, diskin devir sayısı mekanik takametre ile belirlenmiş ve tablo 7.2' de toplu olarak verilmiştir.

Hidrolik motorda moment;

$$M_m = D_m \Delta P \quad (7.1)$$

şeklinde verilir, burada D_m motorun geometrik debisi olup kullanılan motorda 50 cm^3/dev ' dir. Gözlenen basınç farkları ile frenleme öncesi ve frenleme sonrası oluşan momentler (7.1) eşitliği ile hesaplanırsa aradaki fark moment frenin sağladığı frenleme momenti olduğundan,

$$M_{fr} = \mu_s F_m r_{ort} \quad (7.2)$$

Manyetik kuvvet F_m ,

$$F_m = \frac{M_{fr}}{\mu_s r_{ort}} \quad (7.3)$$

formülü ile hesaplanır. Hesaplanan bu formüller tablo 7.3 de verilmiştir.

Tablo 7.3' de görüldüğü gibi sistem basıncının artması frenleme basıncına etki etmemiştir. Bu bize kullanılan solenoid valfin geçirebileceği maksimum akışkan debisini (Kullanılan valfin debisi $Q=20 \text{ lt/dak}$) en düşük sistem basıncı olan 50 bar' da tamamen geçirdiğini gösterir. Bu yüzden sistem basıncı artırılrsa bile motorun sağladığı moment dolayısıyla devir sayısı sabit kalmaktadır.

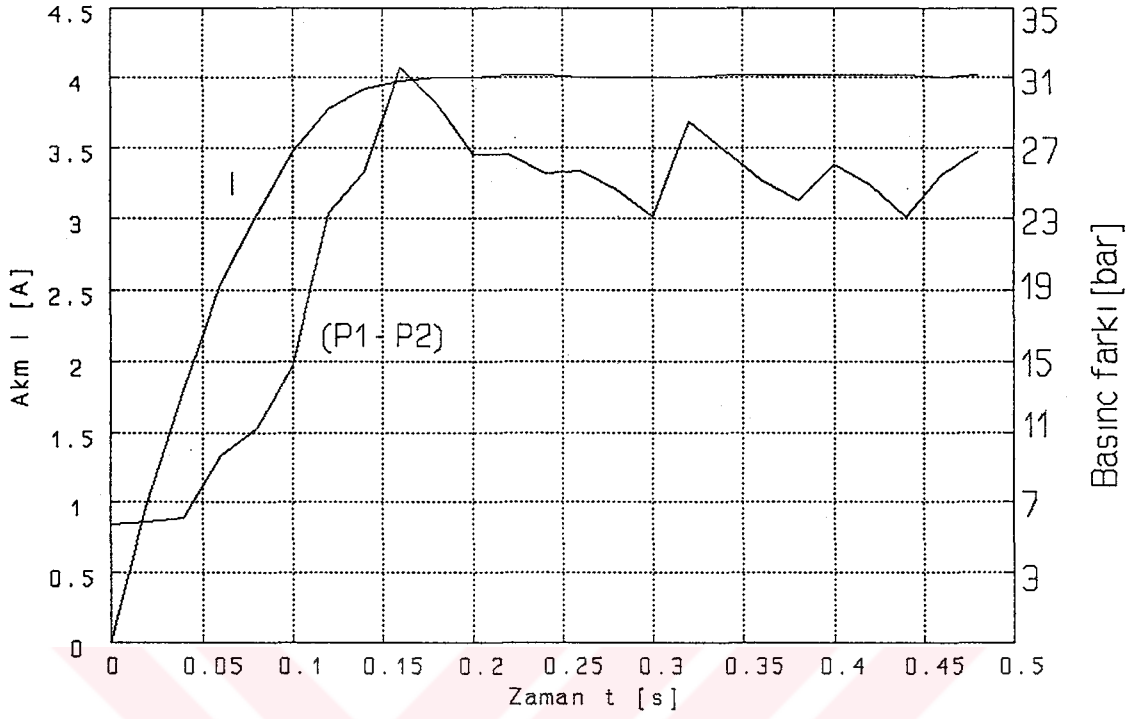
Bu nedenle sağlanan manyetik kuvvet sadece, sürülen (elektromekanik frene verilen) akıma bağlı olarak değişmektedir ve frenleme momenti akımla artıp, diskin devri üzerinde azaltıcı bir etki yapmaktadır. Bulunan bu değerler kaynak [12]' de verilen katalog değerleri ile karşılaştırılırsa çok daha küçük bir disk üzerinde sağladığı frenleme torkunu sağladığımız görülür.

Tablo 7.3 - Statik deney sonuçları

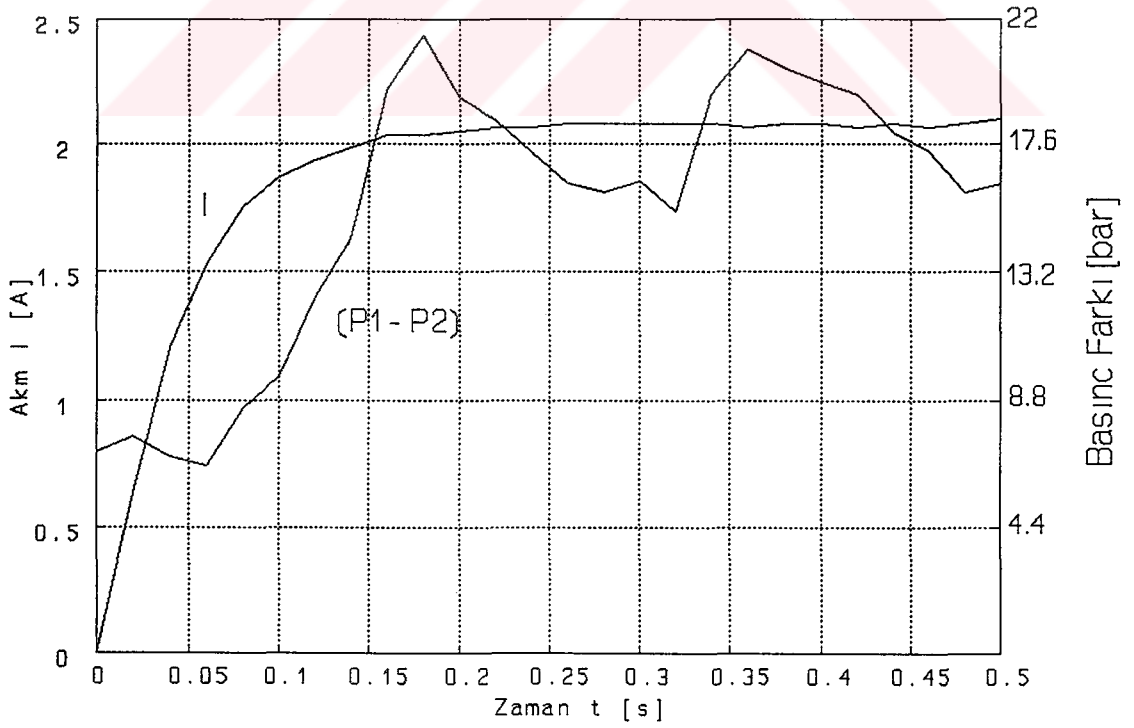
Sistem Basıncı	Akım [A]	Frenleme Momenti[Nm]	Manyetik Kuvvet[N]
50	1	7.56	41.45
	2	13.53	165.83
	3	16.71	232.1
	4	19.9	298
70	1	7.56	41.45
	2	13.53	165.83
	3	16.71	232.1
	4	19.9	298
100	1	7.56	41.45
	2	13.53	165.83
	3	16.71	232.1
	4	19.9	298

7.3.2. Dinamik Deney Tesisatı ve Deneyi

Statik deney düzeneği ile aynı olup bu deney esnasında, frene akım sürüldüğü andan başlayıp, belli bir zaman içinde basınç değişimini basınç transistörlerinden ve frene gönderilen akımı ise bir direnç üzerinden geçen voltajın okunup veri toplama kartı vasıtasıyla bilgisayara aktarılmasından ibarettir. Veri toplama kartı ile toplanan bu değerler MATLAB' da değerlendirilmiş ve sonuç grafikleri şekil 7.4a ve 7.4b' de gösterilmiştir.



Şekil 7.4a - $P_s = 70$ bar, $I = 4$ A' deki sistemin dinamik cevabı



Şekil 7.4b - $P_s = 70$ bar, $I = 2$ A' deki sistemin dinamik cevabı

BÖLÜM 8

TARTIŞMA VE SONUÇ

Şekil 7.2' de görüldüğü gibi teorik olarak hesaplanan elektromıknatis karakteristiklerine, deneysel sonuçlar yaklaşmıştır. Bu da bize kurulan matematik modelin ve matematiksel eşitliklerin kullanılabilirliğini gösterir. Ayrıca mıknatıslanma eğrisinin, sağlanacak manyetik kuvvetin hesabındaki etkiside açıkça görülmektedir. Kullanılan manyetik malzemenin manyetik özellikleri ne kadar iyi olursa o kadar mıknatıssal kuvvet elde edileceğininide bu grafikler göstermektedir.

Yapılan deneylerin sonucu ile teorik analiz sonuçları arasındaki fark, boyutların daha hassas elde edilmesi ve mıknatıslanma özelliği daha iyi olan manyetik malzemenin kullanılması, sürtünme katsayısı yüksek olan malzemelerin kullanılması yani sistemin iyileştirilmesi ile giderilir. Bunun yanında kurulan sistem hidrolik olduğu için volan üzerindeki bölgesel yağlılıklarda disk üzerine uygulanan manyetik kuvvetin, frenlemeye giden kısmını azaltıcı bir etki yapmıştır.

Şekil 6.5' de, teorik olarak hesaplanan dinamik analizin sonuç grafiği, şekil 7.4a ve 7.4b' de sistemin deneysel olarak belirlenen dinamik cevabı görülmektedir. Bu da elektromekanik sistemin cevap hızının çok yüksek olduğunu göstermektedir. Basınc farkındaki salınımlar Kuvvetlendirici kalibrasyonunun bu kısa zaman içerisinde iyileştirilememesi ve deneyin bu tür hatalar görüldükten sonra tekrar edilip iyileştirilememesindedir. Ayrıca hidrolik motordan tahrik alan volanın (diskin) çok iyi yataklanmadığından dolayı balanssızlığı da frenleme etkisinin, frenleme anında salınım (yani manyetik kuvvetin çok azda olsa yükselip alçalmasından) yapması na neden olmuştur. İleriki çalışmalarda bu tip hatalar giderilirse çok daha iyi sonuçlar alınabilir.

Günümüzde kullanılan, mekanik gergi kontrol sistemlerinde ne kadar dikkat edilirse de, mekanik sistemden dolayı bir boşluk vardır. Bu da sistemin cevap hızını ve hassasiyetini olumsuz yönde etkiler. Elektromekanik sistemde ise cevap hızı ve hassasiyet çok yüksektir. Elektronikteki hızlı gelişmelerden dolayı, ayarlanabilir ve yüksek akım süren devreler (Ek4) günümüzde çok kolay yapılabilmektedir. Ayrıca bu gelişmelere paralel olarak bu tür devreler bilgisayarla kontrol edilebilmektedirler. Bilgisayardan alınan farklı karakteristiğe sahip (kare, sinüs, ramp, trapez vs.) sinyaller bu sürücü devrelerine giriş olarak verilebilmekte ve kontrolü, hassas ve kolay olmaktadır.

Elektromekanik frenin imalatı, mekanik fren sistemlerine nazaran çok daha kolaydır. Elektromekaniksel sistemin imalatı, bir makaranın üzerine iletken bir tel sarıp, elektromıknatis içine yerleştirilmesi ve frenleme yüzeyine sürtünme malzemesinin yapıştırılmasından ibarettir. Bu tip sistemlerin en büyük zorluğu kullanılacak manyetik malzemenin bulunamamasıdır ki bu tip sistemlerin kullanılması yaygınlaştıkça bu zorluk ortadan kalkacaktır. Kullanılan bobinde, yanma sonucu doğabilecek arızalarda, makaranın çıkarılabilir ve yenilenebilir olması da mümkündür. Ayrıca bobinin yanma tehlikesi karşısında, boyutlar çok küçük olduğu için aynı diski frenleyen birkaç elektromekanik fren, aynı ayna üzerine yerleştirilebilir. Böylece düşük akımlarda bile yüksek mıknatıssal kuvvet yani yüksek frenleme kuvveti sağlanır.

Mekanik sistemde, kullanılan manivela kolu ve yay mekanizmaları çok kısa bir zaman sonra özelliklerinin az da olsa değişmesi sonucunda, sistem hassasiyetini kaybeder. Elektromekaniksel sistem de ise verilen akımla, frenleme kuvveti çok büyük bir aralıkta değiştirilebildiğinden böyle bir problem söz konusu değildir.

Gergi kontrol sistemlerinde, şerit halindeki malzemenin sarılması veya çözülmesi esnasında, yüksek gerginlik sonucu kopması ve gevşeme sonucu imalat hattında gecikme istenmediğinden bu tür sistemlerde, gergi kuvvetinin mümkün

oldukça çok küçük bir aralıkta kalması istenir. Bu da kontrol sisteminin hızlı cevap vermesine ve hassasiyetine bağlıdır.

Dinamik analiz sonucunda, günümüzde kullanılan mekanik gergi kontrol sistemlerine nazaran elektromanyetik fren sisteminin daha hızlı cevap verdiği görülmektedir. Bunun yanında elektromanyetik sistemin kontrol edilebilmesi diğer sistemlere göre en büyük avantajdır.

Gergi kontrol sistemlerinde, sistemin fazla yer tutması istenmez. Bundan dolayı mekanik sistemlerde kullanılan manivela kolu kısa tutulur, bu da sınırlı bir gergi kuvveti sağlar veya geniş bir alanı kaplaması zorunluluğu kabul edilir. Elektromekanik sistemlerde, boyutların küçük olması arızaları önlediği gibi kapladığı alanı da daraltır, hatta gerginliği kontrol edilecek malzemenin sarıldığı tambur üzerine montaj yapılabilir.

Elektromekanik sistem bilgisayarla kontrol edilebilme özelliğinden dolayı kapalı döngü şeklinde çalıştırılabilir. Bu da sistemin karar verme yeteneğine sahip olduğunu gösterir. Kontrol edilen sistemdeki herhangi bir değişiklik, sistemin cevap hızı çok yüksek olduğu için anında değerlendirilip uygulanabilir. Bu sonuç bizi Jacob BUUR'un tanımladığı **MEKATRONİK** tasarıma götürür. [11] Mekatronik, mekanik, elektronik ve bilgisayarla kontrolü içeren yeni bir mühendislik dalıdır. Bu tanıma göre, incelenmiş olan elektromekanik fren bir Mekatronik uygulamasıdır.

ÖZET

Bu çalışmada, elektromekanik sistemler incelenmiş ve bir uygulaması olan elektromanyetik fren sisteminin tasarımı ve analizi yapılmıştır.

Elektromekanik fren sisteminin, matematik modeli kurulmuş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Fren sisteminin deney test düzeneği tasarlanmış ve kurulmuştur. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve kullanılan matematik modelin gerçekleştiği görülmüştür.

Sistem ileriki araştırmalarda, deneysel ile teoriksel sonuçlar arasındaki farkın giderilebilmesi için daha hassas boyutlarda ve seri imalat şartları için tasarlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Archer E. KNOWLTON, Standart Handbook for Electrical Engineers, McGraw-Hill Book Company, Inc, 1957, p.492-504.
- [2] Dalfes, M., Elektroteknik, İnkılap ve Aka Basımevi, İstanbul, 1974, s.56-72.
- [3] Yüksel, İ., " An Investigation of Electro-hydraulic Floating Disc Switching Valves", Doktora tezi, 1981.
- [4] Akkurt, M., Makine Elemanları, Kısım II, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1982.
- [5] Akçalı, İ., Şenyurt, M., "Gergi Kontrolü İçin İki Mekanik Sistem ", Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, Aralık 1990.
- [6] Nasar, S.A., Unnewehr, L.E., Elektromecanics and machines, John Wiley and Sons, 1979.
- [7] Roter, H.C., Electric-magnetic devices, John Wiley, 1941.
- [8] Babalık, F.C., Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, Uludağ Üniversitesi Basımevi, 1983.
- [9] Akkurt, M., Savcı M., Makine Elemanları, Cilt I-II, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1984.
- [10] MATLAB, the Matlab User Guide, The MathWorks,Inc, 1991
- [11] Buur, J., A Teoretical Approach to Mechatronics Design, Institute for Engineering Design 1990.
- [12] 1987, Warner Electric, Tension Control Systems Kataloğu

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmayı yöneterek gerekleŐtrilmesinde büyük katkısı olan ve her türlü yardımı ile çalıőmayı destekleyen değerli ğretim yesi Prof.Dr. İbrahim YSEL'e deneysel çalıőmalar sırasında büyük emekleri geçen, ArŐ.Gör. Yük. Müh. Mesut ŐENGİRGİN, ArŐ.Gör. Hsn BAŐULAŐ'a, teknisyenler İbrahim KARADAĞ ve YaŐar KUMRALTEKİN'e, tezin yazılması aŐamasındaki katkılarından dolayı ArŐ.Gör. Hakan GL ve ArŐ. Gör. Beyhan ŐEN'e, maddi desteklerinden dolayı Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na en içten teŐekkürlerimi sunarım.



ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Bitlis'te doğdum. İlk okul eğitimimi Bitlis'te tamamladıktan sonra 1982 yılında ailemle Bursa'ya yerleştim. Orta ve Lise eğitimimi Bursa Erkek Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1987 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitimime başladım. 1991 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldum. Aynı yıl bu bölümde yüksek lisansa başladım. Ocak 1992 tarihinden itibaren aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.



EKLER

EK-1 MATLAB VE PROGRAMLARDA KULLANILAN ALT PROGRAMLAR

EK-1.1 MATLAB

MATLAB, bilimde ve mühendislikde sayısal hesaplamalar için geliştirilmiş, yüksek performanslı bir programdır. MATLAB, sayısal analiz, matris hesabı, sinyal işlemi ve grafik işlemlerini, içerdiği yaklaşık 160 tane alt programı kullanarak, kullanımı kolay bir şekilde yerine getirir. Burada problem ve çözümleri bilinen matematik formlarda ifade edilmiştir.

MATLAB adı matris laboratuvarının kısaltmasıdır. MATLAB ilk olarak LINPACK ve EISPACK projeleri esnasında, kullanışlı bir matris yazılım programı için geliştirilmiştir.

MATLAB, soru-cevap şeklinde çalışan bir paket program olup en temel elemanı bir matristir. Ancak bu matrisin boyutu tanımlanmaz. Bu sistem, birçok sayısal problemi Fortran, Basic ve C' de yazılması gereken bir programın alacağı zamanın bir yüzdesi zamanında çözülmesini sağlar. Dahası MATLAB'da problem çözümleri aşağı yukarı tamamamen bilinen matematik formlarla ifade edilir.

Üniversitelerde, lineer cebir ve ileri diğer alanlarda standart bir alet olmuştur. Endüstride ise MATLAB, araştırmalarda ve pratik mühendislik problem çözümlerinde kullanılır. Tipik kullanım alanları, sayısal hesaplama, prototip algoritma geliştirmede ve otomatik kontrol, istatistik ve dijital sinyal işleme (zaman-seri analizi) alanlarında karşılaşılan matris formülasyonunun genel amaçlı problem çözümleridir.

MATLAB'ın IBM ve diğer MsDOS uyumlu kişisel bilgisayarlarda kullanılan ikinci

versiyonu **Pcmatlab** diye adlandırılır. Daha büyük bilgisayarlarda mesela SUN iş istasyonu veya VAX bilgisayarlarında MATLAB'ın modern versiyonu **Promatlab**'dir.

EK-1.2 KULLANILAN ALT PROGRAMLAR

INPUT Sayısal kullanıcı girişi
INPUT ('dışarıdan girilecek değer') bu komuttan sonra kullanıcının klavyeden bir sayı girmesini bekler. Klavyeden girilen bu değer ekranda görülür.
INPUT('girilecek karakter','a') bu komuttan sonra ise alfa nümerik karakter girilmesini bekler.

FOR Özel bir sayının zamanla, belli bir adımla artması veya azalması durumlarında kullanılır.
FOR değişken = baş değer : adım : son değer,END
örnek olarak,

```
FOR I=1:N
    FOR J=1:N
        A(I,J)=1/(I+J-1);
    END
END
```

FOR S=1.0:-0.1:0,END şeklinde de kullanılır.

SPLINE Kübik spline veri enterpolasyonu
Veri matrisi x, y olsun, yeni verileri ise xi ile tanımlayalım buna göre fonksiyon yi=spline(x,y,xi) ile xi'lere karşılık verilen x ve y'lere karşılık yi'leri bulur. Örnek olarak
x=0:10; y=sin(x);

```
xi=0:0.25:10;
```

```
yi=spline (x,y,xi);
```

olarak hesaplar. Ayrıca ppval.m dosyasının kullanılması ile verilen x,y'lere göre pp=spline(x,y)'den herhangi bir y değerini, pp ile herhangi bir xx değerine karşılık bulur.

```
v=ppval(pp,xx)
```

IF Mantıksal karşılaştırma durumlarında kullanılır.

IF değişken , durum , end

mantıksal işlemler ==, <, >, ≤, ≥, ~= 'tir.

Örnek,

```
IF I==J,
    A(I,J)=2;
ELSEIF ABS(I-J)==1;
    A(I,J)=-1;
ELSE
    A(I,J)=0;
END
```

PLOT Grafik çizme komutu

PLOT (X,Y) x'e göre y'nin grafiğini çizer. Eğer x veya y bir matris ise, matrisin satır veya sütununa göre diğer vektörün grafiğini çizer. Plot(x,y(:,1)) komutu y vektörüne göre x matrisinin 1. sütununun grafiğini çizer. Farklı tipte eğri çizme kabiliyetine sahiptir.

dolu	-	nokta	.	kırmızı	r
kesikli	---	artı	+	yeşil	g
iki nokta	:	yıldız	*	mavi	b
eksen	-.	daire	o	beyaz	w
		x-harfi	x	görünmez	i

Plot(x1,y1,':',x1,y2,'*') komutu ile ilk eğri :, ikinci eğri *, olarak iki eğri çizilir.

LOGLOG logaritmik skalada grafil çizer. SEMILOGX; x eksenini logaritmik SEMILOGY; y eksenini logaritmik olarak çizer.

TITLE Grafiğe başlık yazmada kullanılır.

TITLE('başlık')

XLABEL x eksenini tanımlamada kullanılır.

xlabel('Kuvvet (N)')

YLABEL y eksenini tanımlamada kullanılır.

SUBPLOT Grafik ekranının kontrolünü sağlar.

subplot (211) ekranın üst yarısını,
subplot (212) ekranın alt yarısını,
subplot (111) ekranın üst çeyreğini,
subplot (112) ekranın alt çeyreğini tanımlar.

AXIS Eksen boyutunun tanımlanmasında kullanılır.

axis([x_{min} x_{max} y_{min} y_{max}])

HOLD Çizilen grafiği ekranda tutmak veya kaybetmek için sırasıyla şöyle kullanılır; hold on, hold off.

GRID Grafiği dikdörtgenlere ayırır.

SHG Son çizilen grafiği gösterir.

CLG Bölünmüş ekrandaki grafiği siler. Burada hold off komutu geçersizdir.

ODE23 Bir sistemi temsil eden adi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılır. 2. ve 3. derecede Runge-Kutta formüllerini kullanır.

[T,Y]=ode23 (F, T0, Ts, Y0, tol, trace) şeklinde kullanılır. Buradaki semboller şunu temsil eder.

Girişler,

F - Programın ismi olup şöyle başlar,

$$y_{\text{prime}} = f_{\text{rdyn}}(t, y)$$

Burada $F = 'f_{\text{rdyn}}'$ dir.

T_0 - Çözüm için verilen zamanın başlangıç değeridir.

T_s - Çözüm için verilen zamanın sonuç değeridir.

Y_0 - Çözülecek değişken matrisinin başlangıç değerleridir. Şöylede ifade edebiliriz çözüm matrisinin ilk satır elemanlarıdır ve $[0 \ 0 \ 50]$ şeklinde verilir (3 değişken için).

tol- Çözüm adıdır.

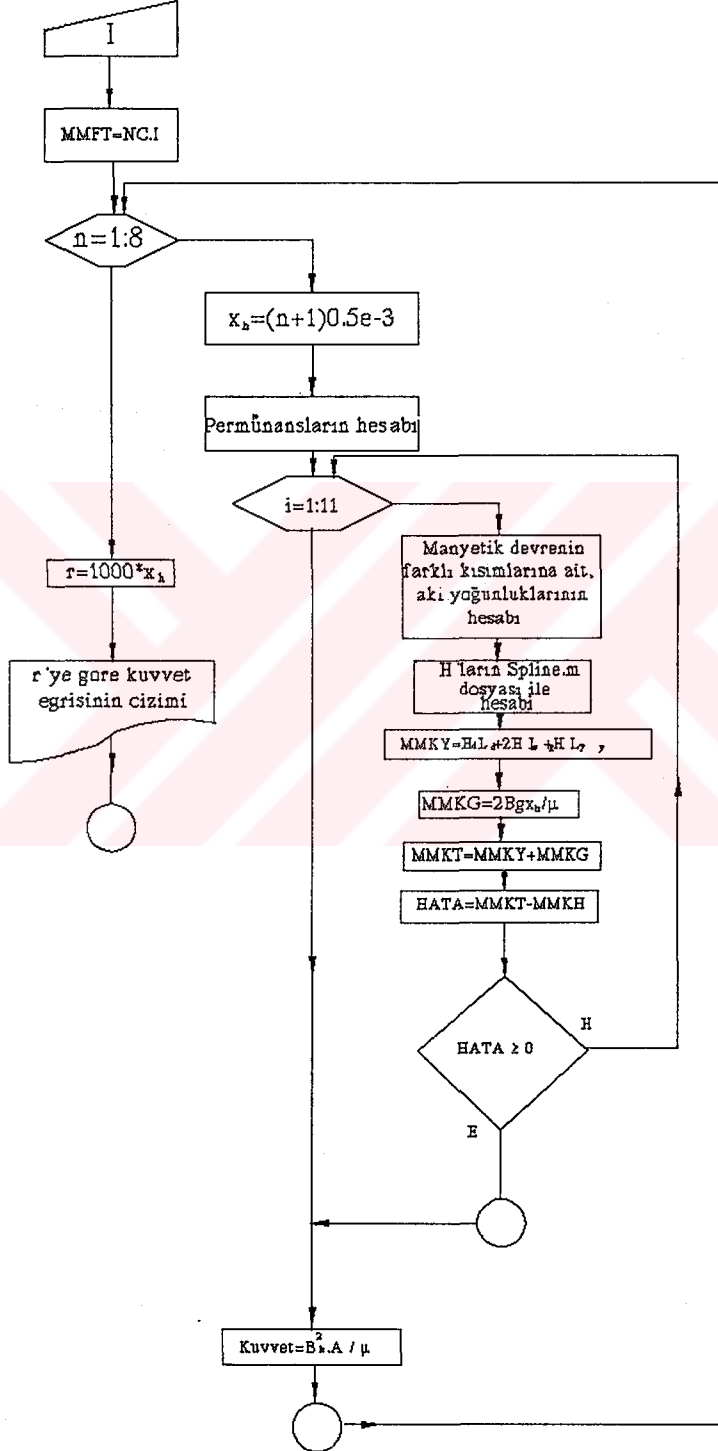
trace- çıkış olarak verilen çözüm matrisinin satır sayısını verir.

Çıkışlar,

T - Zaman adımlarını temsil eden tek sütunlu matris.

Y - Çözüm matrisini temsil eden matris. [10]

EK-2 BİLGİSAYAR PROGRAMLARI AKIŞ DİYAGRAMLARI VE LİSTELERİ



Şekil E2.1 - AXFD.M programının akış diyagramı

% **Manyetik Devrenin Farklı Hava Aralıklarında Sağladığı Kuvveti Bulan**

% **Program**

echo on

% Akım parametresine göre döngü

AKIM=input('AKIM=')

MMKH=N*AKIM;

% Artımsal disk yerdeğiştirme döngüsü

for n=1:8

xh(n)=(n+1)*.5e-3;

% Geçirgenliğin hesaplanması

echo off

Pfi(n)=4.09664e-6*R1+5.02655e-6*R1*log((R2-R1)/(pi*xh(n)));

Pfo(n)=2.04832e-6*R3+2.5133e-6*R3*log(1+R1./xh(n))+4.0964e-6*R2

+5.02655e-6*R2*log((R2-R1)/(pi*xh(n)));

Pug(n)=(3.9478e-6*(R2.^2-R1.^2))./xh(n);

Pl(n)=1.2566e-6*(1.57*H*((R2+R1)/(R2-R1))-0.5*(R2+R1)*...
(1-(pi*xh(n))/(R2-R1)));

Pa(n)=((Pfi(n)+Pug(n)).*(Pfo(n)+Pug(n)))/(Pfi(n)+Pfo(n)+2*Pug(n));

Pu(n)=.5*Pug(n);

echo on

% Malzemenin akı yoğunluğu için for döngüsü

echo off; echo on

% Manyetik devrenin farklı parçaları için akının hesabı

echo off

for i=1:111

By(n,i)=.02*(i+4);

Bh(n,i)=(By(n,i)*Pu(n))/(Pa(n)+Pl(n));

Bd(n,i)=(Bh(n,i)*Pa(n))/Pu(n);

Bk(n,i)=Bd(n,i)+(2*Bh(n,i)*Pl(n))/(3*Pu(n));

echo on

% Kübik Spline eğri uydurma temeliyle,manyetik devrenin farklı kısımlarında % malzemenin her bir metresinin manyetik yoğunluğunun (H) tayini

echo off

Hk(n,i)=ppval(pp,Bk(n,i));

Hd(n,i)=ppval(pp,Bd(n,i));

Hy(n,i)=ppval(pp,By(n,i));

echo on

% Manyetik devrenin farklı parçaları için magnemotor kuvvetinin hesabı

echo off

MMKY(n,i)=Hd(n,i)*Ld+2*Hk(n,i)*Lk+Hy(n,i)*Ly;

MMKG(n,i)=(2*Bh(n,i)*xh(n))/Mu;

MMKT(n,i)=MMKY(n,i)+MMKG(n,i);

HATA(n,i)=MMKT(n,i)-MMKH;

if HATA(n,i)>=0,break,end

echo on

% Kuvvet ve akımın hesabı

echo off

end

Kuvvet(n)=(Bh(n,i).^2*pi*R1.^2)/Mu;

end

r=1000*xh;

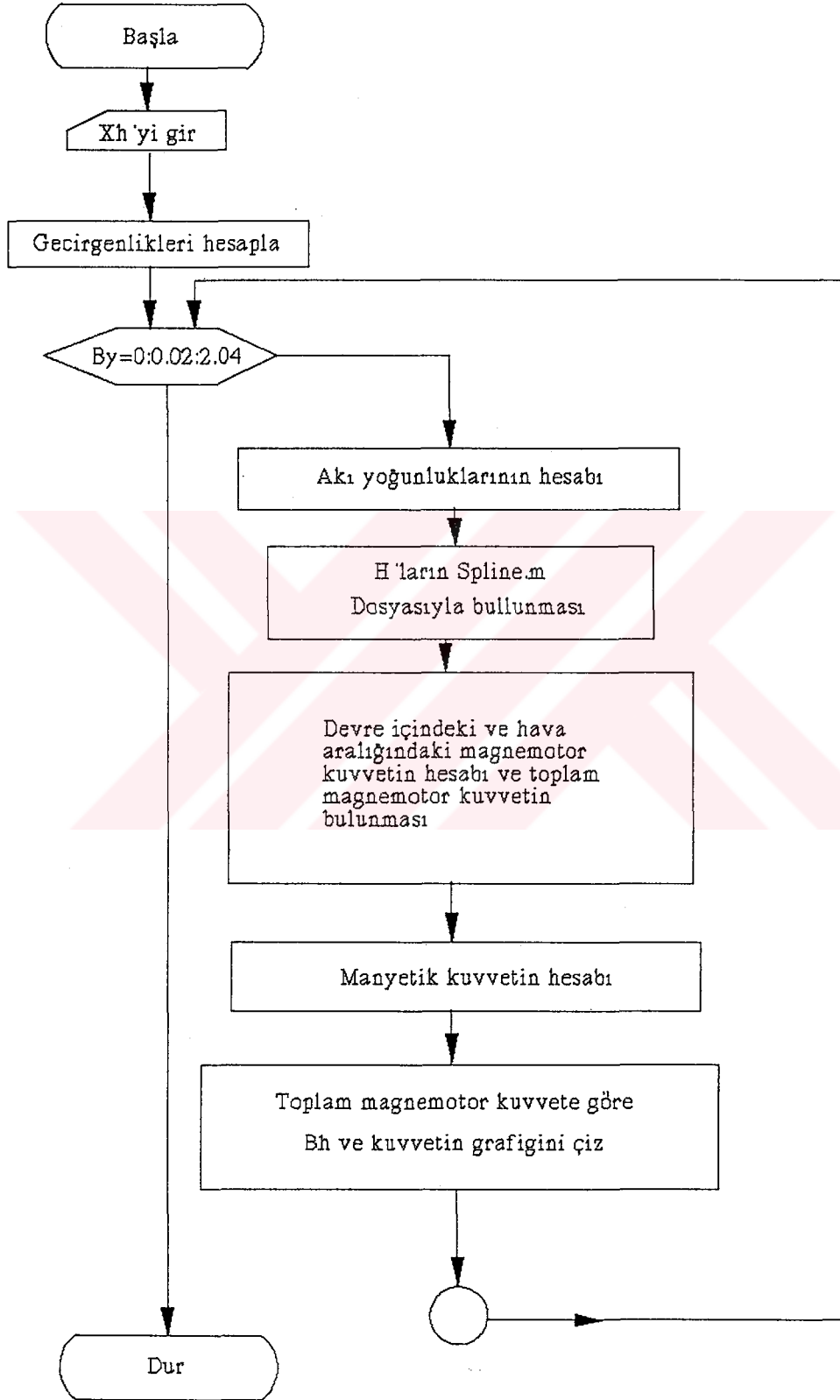
% subplot(211)

% axis([0 5 0 1500])

axis([2 5.5 0 100])

plot(r,kuvvet),xlabel('Xh [mm] '),ylabel('KUVVET [N]')

grid



Şekil E2.2 - GÜR.M programının akış diyagramı

% Verilen Magnemotor Kuvvet NI' ya Göre Malzeme İçindeki Manyetik Akıyı

% Hesaplayan Program

echo on

% Geçirgenliğin hesaplanması

echo off

Xh=input('Xh=');

Pfi=4.09664e-6*R1 + 5.02655e-6*R1*log((R2-R1)/(pi*Xh));

Pfo=2.04832e-6*R3+2.5133e-6*R3*log(1 + R1./Xh) + 4.0964e-6*R2
+ 5.02655e-6*R2*log((R2-R1)/(pi*Xh));

Pug=(3.9478e-6*(R2 ^ 2-R1 ^ 2))./Xh;

Pl=1.2566e-6*(1.57*H*((R2+R1)/(R2-R1))-5*(R2+R1)
*(1-(pi*xg)/(R2-R1)));

Pa=((Pfi+Pug).*(Pfo+Pug))./(Pfi+Pfo+2*Pug);

Pu=.5*Pug;

echo on

% Malzemenin akı yoğunluğu için for döngüsü

echo off

echo on

% Manyetik devrenin farklı parçaları için akının hesabı

echo off

By=0:.02:2.04;

Bh=By*(Pu/(Pa+Pl));

Bd=Bh*(Pa/Pu);

Bk=Bd+(2*Bh*Pl)/(3*Pu);

echo on

% Kübik Splie eğri uydurma temeliyle manyetik devrenin farklı %kısımları için malzemenin her bir metresinin manyetik %yoğunluğunun (H) tayini; echo off

Hk=ppval(pp,Bk);

Hd=ppval(pp,Bd);

```
Hy=ppval(pp,By);
```

```
echo on
```

```
% Manyetik devrenin farklı parçaları için magnemotor kuvvetinin % hesabı
```

```
echo off
```

```
MMKY=Hd*Ld+2*Hk*Lk+Hy*Ly;
```

```
MMKG=(2.*Bh.*Xh)/Mu;
```

```
MMKT=MMKY+MMKG;
```

```
echo on
```

```
% Kuvvet ve akımın hesabı
```

```
echo off
```

```
KUVVET=(Bg.^2)*(Pi*R1.^2)/Mu;
```

```
FORCL=0.224309*KUVVET;
```

```
CRNT=MMFT/NC;
```

```
subplot(211);
```

```
axis([0 3000 0 2])
```

```
plot(MMKT,Bh,'g'),ylabel('Bg [Wb/m2]')
```

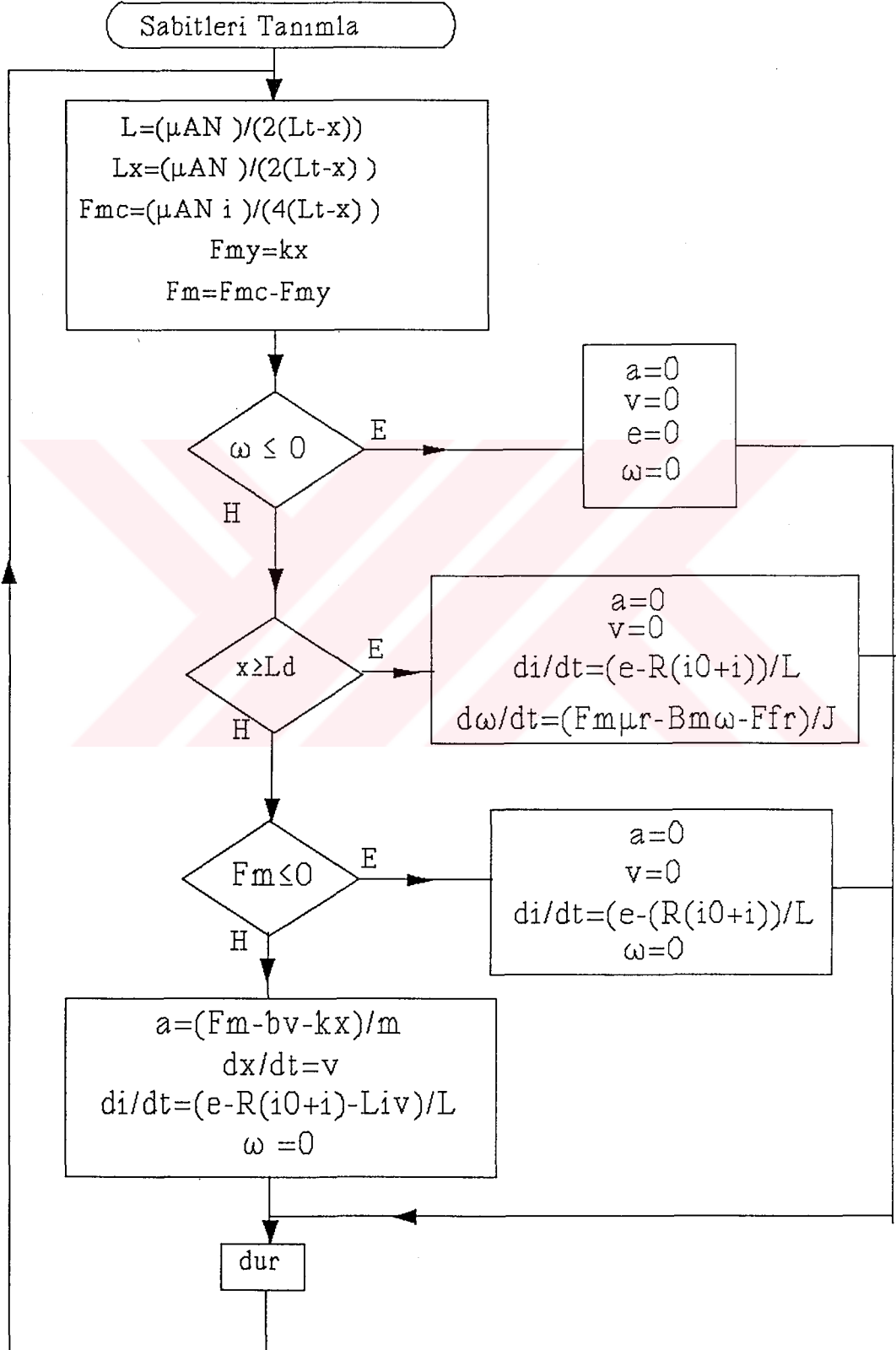
```
grid
```

```
subplot(212)
```

```
axis([0 3000 0 1000])
```

```
plot(MMKT,KUVVET,'g'),xlabel('MMKT(NI)');
```

```
ylabel('KUVVET');
```



Şekil E2.3 - FRDYN8.M programının Akış diyagramı

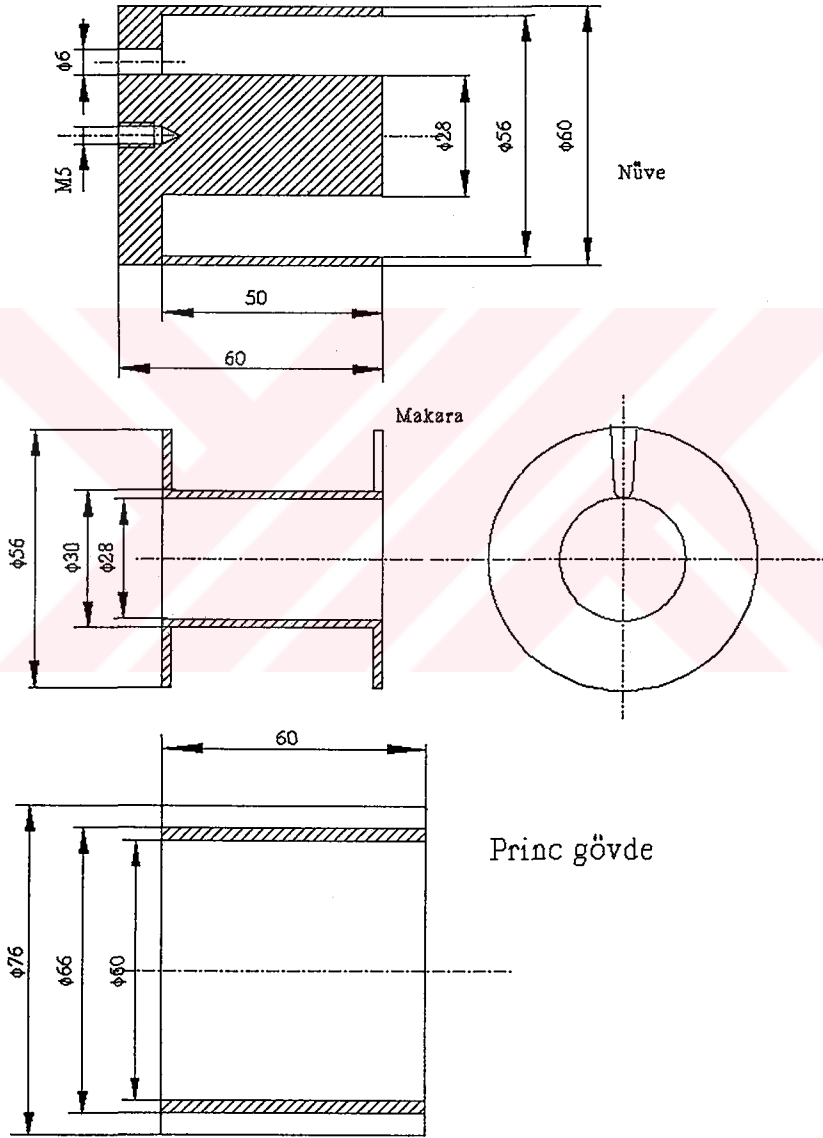
% Dinamik Analiz İçin Dinamik Denklemleri Çözen Program

```

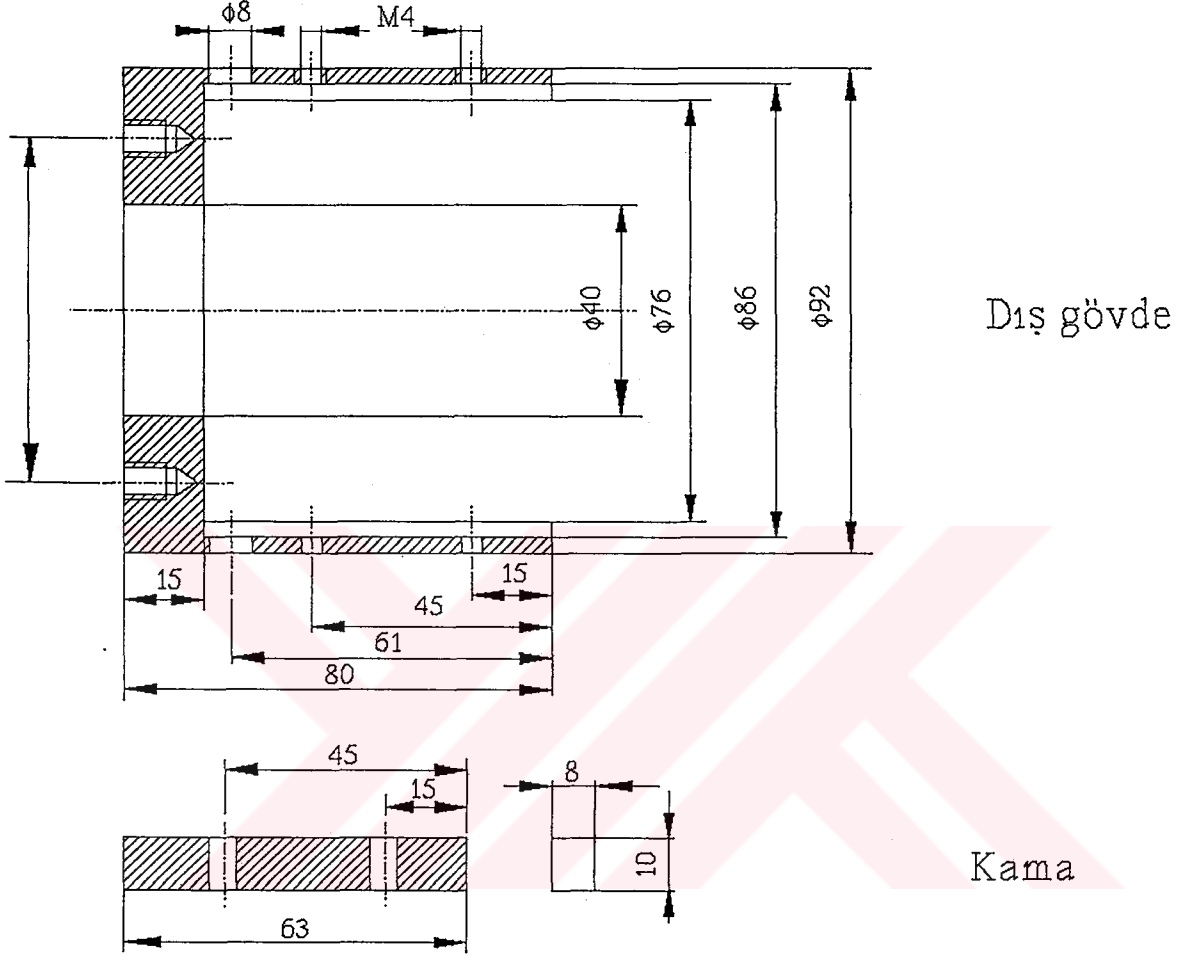
function yp=frdyn8(t,y)
%Tek taraflı bobin uyarılı fren dinamigi
%Sabitlerin tanımlanması
Ld=.5e-3;Lt=2e-3;μ=1.2566e-6;A=6.1575e-4;
N=840;e=12;R=2.3;m=2;b=1;k=100;i0=.7;
ms=.35;r=100e-3;Bm=.2;J=.14;Ff=500;
L=(μ*A*N.^2)/(2*(Lt-y(2)));
Lx=(μ*A*N.^2)/(2*(Lt-y(2)).^2);
Fmc=(Lx*y(3).^2)/2;
Fmt=k*y(2);
Fm=Fmc-Fmt;
    if y(4)<=0,
        yp(1)=0;yp(2)=0;yp(3)=0;yp(4)=0;
        elseif y(2)>=Ld,
            yp(1)=0;
            yp(2)=0;
            y(1)=0;y(2)=0;
            yp(3)=(e-R*(y(3)+i0))/L;
            yp(4)=(Fm*ms*r-Bm*y(4)-Ff*r)/J;yp(5)=Fm;
            elseif Fm<=0,
                yp(1)=0;
                yp(2)=0;
                yp(3)=(e-R*(i0+y(3)))/L;
                yp(4)=0;
            else yp(1)=(Fm-b*y(1)-k*y(2))/m;yp(2)=y(1);
            yp(3)=(e-R*(i0+y(3))-Lx*y(3)*y(1))/L;
            yp(4)=0;yp(5)=Fm;
    end

```

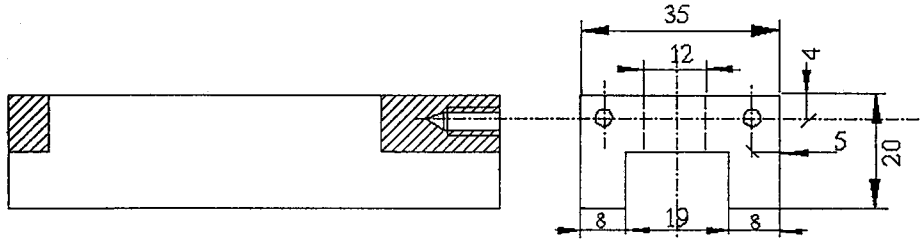
EK-3 DENEY TESİSATINDA KULLANILAN PARÇALAR



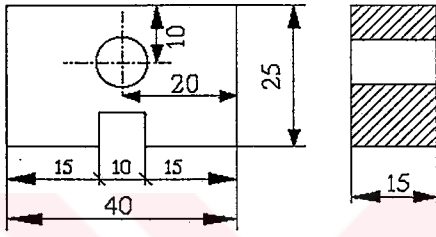
Şekil E3.1 - Nüve, makara ve prinç gövdenin imalat resimleri



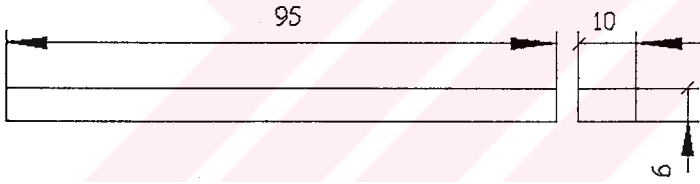
Şekil E3.2 - Dış gövde ve kamanın imalat resimleri



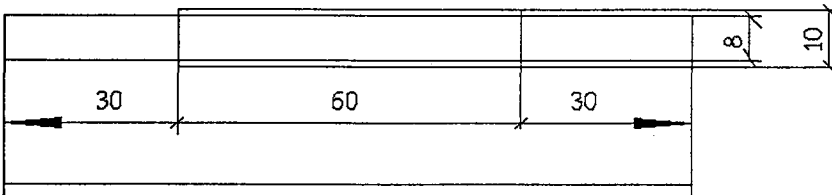
Ayar ayağı



Mengene desteği



Mengene kazağı



Mengene vidası

