

83142

ÜNİVERSAL MOTORUN BENZETİŞİM VE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Murat YILMAZ
(F0495Y301)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Ocak 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 1999

Tez Danışmanı : Prof.Dr. R. Nejat TUNÇAY 25.02.99

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Faik MERGEN 26.2.99

Prof.Dr. Emin TACER 25.02.1999

TEC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

OCAK 1999

ÖNSÖZ

Tezimin konusunun belirlenmesinde ve hazırlanmasında bana her yönden destek olan değerli hocam Prof. Dr. R. Nejat TUNÇAY 'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bana çalışma ortamı sağlayan SENUR Elektrik Motorları A.Ş. 'ye, laboratuarda deneylerin yapılmasında çok yardımı geçen değerli arkadaşlarım Elektrik Mühendisi Gürol KANCA, Elektrik Yüksek Mühendisi Cüneyt ÖNCÜLOĞLU ve Metin PİRE 'ye ayrıca teşekkür ederim.

Eğitimimin ve tezimin her aşamasında bana maddi ve manevi yönden destek sağlayan Aileme en içten sevgilerimi sunarım.

Ocak 1999

Elek. Müh. Murat YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xviii
SUMMARY	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 ÜNİVERSAL MOTORLAR	3
2.1 Giriş	3
2.2 Üiversal Motorun Teorisi	4
2.3 Üiversal Motorun Yapısı	5
2.3.1 Üiversal Motorun Rotor Sargı Şekli	6
2.4 Doğru Akım Motorundan Kaynaklanan Üiversal Motor	8
2.4.1 Doğru Akım Çalışmada Emk, Moment ve Hız İfadeleri	10
2.5 Doğru Akım ve Alternatif Akım İşletme Durumları	12
2.6 Endüvi Reaksiyonu	16
2.7 Komutasyon	21
2.8 Alternatif Akım Çalışmada Üiversal Motor	25
2.8.1 Kayıplar	27
2.8.2 Güç Akış Diyagramı	30
2.8.3 Verim	31
BÖLÜM 3 ÜNİVERSAL MOTORUN GENELLEŞTİRİLMİŞ DEVRE MODELİ	32
3.1 Eşdeğer Devre Modeli	32
BÖLÜM 4 ÜNİVERSAL MOTORUN EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİNİN BULUNMASI İÇİN YAPILAN DENEYLER	38
4.1 A Tipi Üiversal Motor İçin Endüktans Deneyleri	38
4.1.1 Deney 1	38
4.1.2 Deney 2	40
4.1.3 Deney 3	41

4.1.4 Deney 4	44
4.1.5 Deney 5	45
4.1.6 Deney 6	47
4.2 A Tipi Üniversal Motor İçin Direnç Deneyleri	49
4.3 A Tipi Üniversal Motor İçin Yavaşlama Deneyi	50
4.4 A Tipi Üniversal Motor İçin Boşta Çalışma Deneyi	51
4.5 A Tipi Üniversal Motor İçin Sürtünme Kaybı Deneyi	52
4.6 Eylemsizlik Momentinin Hesabı	53
4.7 B Tipi Üniversal Motor İçin Endüktans Deneyleri	55
4.7.1 Deney 1	55
4.7.2 Deney 2	56
4.7.3 Deney 3	56
4.7.4 Deney 4	57
4.7.5 Deney 5	57
4.7.6 Deney 6	58
4.8 B Tipi Üniversal Motor İçin Direnç Deneyleri	58
4.9 B Tipi Üniversal Motor İçin Yavaşlama Deneyi	59
4.10 B Tipi Üniversal Motor İçin Boşta Çalışma Deneyi	60
BÖLÜM 5 ÜNİVERSAL MOTORUN MATLAB-SİMULİNK ROGRAMI İLE BENZETİŞİMİ	61
5.1 Matlab-Simulink Programının Genel Yapısı	61
5.2 Ön Tasarım Modelleri	61
5.2.1 Basit Model	62
5.2.1.1 Doğru Akım Seri Motorun Matematik Modeli	62
5.2.2 Genelleştirilmiş Model	65
5.2.2.1 A Tipi Üniversal İçin Nominal Yükte Benzetişim Sonuçları	65
5.2.2.2 B Tipi Üniversal İçin Nominal Yükte Benzetişim Sonuçları	75
BÖLÜM 6 MAGTROL TEST DÜZENEGİ VE DENEY SONUÇLARI	84
6.1 Magtrol Test Düzeneği	84
6.2 Magtrol Deney Sonuçları	85
6.3 Magtrol Test Sonuçları İle Umsim Sonuçlarının Karşılaştırılması	89
6.3.1 A Tipi Üniversal Motor İçin Karşılaştırma	89
6.3.2 B Tipi Üniversal Motor İçin Karşılaştırma	91
BÖLÜM 7 ÜNİVERSAL MOTOR TASARIMI	94
7.1 Motor Ana Boyutlarının Belirlenmesi	94
7.2 Sargı Şekli	98
7.3 Oluk ve Kollektör Boyutlarının Belirlenmesi	98
7.4 Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı	101
BÖLÜM 8 ÜNİVERSAL MOTOR TASARIM PROGRAMININ AKIŞ DİYAGRAMI VE VİSUAL BASİC SONUÇLARI	105
8.1 Bilgisayar Programı Akış Diyagramı	105

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR	113
EKLER	116
ÖZGEÇMİŞ	133



SEMBOL LİSTESİ

A_s	: Özgül amper iletken sayısı
A_δ	: Hava kesiti
$2a$	: Paralel kol sayısı
B	: Manyetik akı yoğunluğu (Bölüm 2), Sürtünme katsayısı (Bölüm 4)
B_δ	: Ortalama hava aralığı endüksiyonu
C_b	: Kollektör dilim sayısı
C	: Faydalanma katsayısı
$\cos\varphi$	: Güç faktörü
D_a	: Rotor çapı
D_c	: Kollektör çapı
$E_{a\delta}$	: Rotor ölçü bobininin gerilimi
E_{σ}	: Stator ölçü bobininin gerilimi
E_g	: Hız gerilimi
E_{ta}	: Rotor transformatör gerilimi
E_{tf}	: Stator transformatör gerilimi
e	: Elektromotor kuvvet
F	: Kuvvet
F_f	: Rotor akısının form faktörü
f	: Frekans
I_m	: Akımın tepe değeri
i_a	: Rotor akımı

i_{eff}	: Efektif akım
i_r	: Stator akımı
J	: Eylemsizlik momenti
j_a	: Rotor akım yoğunluğu
j_r	: Stator akım yoğunluğu
K	: Moment sabiti
K_p	: Rotor sargı adım faktörü
K_d	: Rotor sargı faktörü
k_e	: Demir doldurma faktörü
k_r	: Girdap akımları dolayısıyla direnç artmasını kapsayan katsayı
L	: Rotor ve stator arasındaki karşıt endüktansın maksimum değeri
L_{aa}	: Rotor özendüktansı
L_{aamax}	: Rotor sargı endüktansının maksimum değeri
L_{aamin}	: Rotor sargı endüktansının minimum değeri
L_{af}	: Karşıt endüktans
L_{fe}	: Rotorun demir uzunluğu
L_{ff}	: Stator özendüktansı
L_i	: Saç paket uzunluğu
L_p	: Kutup uzunluğu
L_{topl}	: Toplam rotor uzunluğu
l	: İletken uzunluğu
l_z	: Bir iletkenin uzunluğu
l_r	: Stator bir sarımının uzunluğu
M_Q	: Coulomb sürtünmesi

M_i	: İç moment
M_{mek}	: Çıkış momenti
m	: Rotor kütlesi
N	: Ölçü bobininin sarım sayısı (Bölüm 4), Toplam oluk sayısı (Bölüm 7)
N_a	: Rotor sarım sayısı
N_a	: Rotor sarım sayısı
N_{ab}	: Bir bobine ait sarım sayısı
N_{aef}	: Rotorun efektif sarım sayısı
N_f	: Stator sarım sayısı
n	: Motor hızı
P_1	: Giriş gücü
P_b	: Fırça basıncı
P_{cu}	: Toplam bakır kaybı
P_{ek}	: Ek kayıplar
P_{fe}	: Toplam demir kaybı
P_i	: İç güç
P_k	: Toplam kayıplar
P_{mek}	: Çıkış gücü
P_{stm}	: Toplam sürtünme kayıpları
$2p$	: Kutup sayısı
q_a	: Rotor sargısının iletken kesiti
q_f	: Stator sargısının iletken kesiti
R_l	: Ortam sıcaklığındaki direnç değeri
R_s	: Ortam sıcaklığındaki direnç değeri

r	: Rotor yarıçapı
r_a	: Rotor sargı direnci
r_{ap}	: 60 C ⁰ ‘deki rotor sargı direnci
r_b	: Fırça direnci
r_c	: Kısadevre olan bobinin direnci
r_f	: Stator sargı direnci
r_{fp}	: 60 C ⁰ ‘deki stator sargı direnci
r_{fT}	: Toplam stator sargı direnci
r_g	: Fırça bağlantı direnci
r_T	: Toplam motor direnci
S	: Toplam bobin yanı sayısı
S_{ac}	: Bir bobinin kapsadığı oluk sayısı
T	: Periyot
T_f	: Fırça sürtünmesinden ileri gelen kayıplar
T_h	: Hava sürtünmesi veya vantilasyon kayıpları
T_y	: Yatak sürtünmesinden ileri gelen kayıplar
t_{br}	: Fırça kalınlığı
V_1	: Giriş gerilimi
V_a	: Rotora uygulanan gerilim
V_{dir}	: Rotor ve statordaki toplam direnç gerilim düşümü
V_f	: Statora uygulanan gerilim
V_{fir}	: Fırçalardaki gerilim düşümü
V_{re}	: Rotor ve statordaki toplam reaktif gerilim düşümü
v	: İletken dönme hızı

V_a	: Rotor çevre hızı
W_{br}	: Fırça boyu
W_m	: Radyal hız
W_o	: İlk hız
X	: Bakırın özgül iletkenliği
X_a	: Rotor reaktansı
X_f	: Stator reaktansı
y_1	: İleri adım
y_2	: Geri adım
y_k	: Kollektör adımı
Z	: Toplam iletken sayısı
α	: Fırça kaydırma açısı
α_i	: Fiktif kutup örtme faktörü
ΔU	: Fırçalardaki gerilim düşümü
ε	: Akı ve akım arasındaki faz farkı
τ_p	: Kutup taksimatı
Φ_a	: Rotor akısı
Φ_d	: Rotor dış akı yoğunluğu
Φ_{eff}	: Efektif akı
Φ_f	: Stator akısı
Φ_{FEM}	: Sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan akı
Φ_m	: Hava aralığı akısı maksimum değeri
Φ_{min}	: Minimum rotor akısı
Φ_{max}	: Maksimum rotor akısı

η	: Motor verimi
$\mathfrak{R}_{aa}$	: Rotor relüktansı
$\mathfrak{R}_{af}$	: Rotor ve stator arasındaki karşıt relüktans
$\mathfrak{R}_{ff}$	: Stator relüktansı
θ	: Manyetik alan yönü ile akım yönü arasındaki açı
θ_{kutup}	: Kutup yay açısı
δ	: Son sıcaklık değeri
δ_1	: Ortam sıcaklığı
ψ_{his}	: Histerezis açısı



ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1a	Pozitif besleme (+,-) besleme durumunda motor dönüş yönü	3
Şekil 2.1b	Negatif besleme (-,+) besleme durumunda motor dönüş yönü	3
Şekil 2.2	Üniversal motora ait hız-moment karakteristikleri	5
Şekil 2.3	Kompanzasyonsuz üniversal motor yapısı	6
Şekil 2.4	Basit bükümlü sargı	7
Şekil 2.5	Doğru akım seri motorun elektrik devresi	10
Şekil 2.6	DC ve AC işletme durumları için Hız-Moment grafiği	15
Şekil 2.7	Fırça kaydırma durumundaki alan şekilleri	16
Şekil 2.8	Endüvi reaksiyonu	17
Şekil 2.9	Stator alanına ait akı çizgileri	19
Şekil 2.10	Rotor alanına ait akı çizgileri	19
Şekil 2.11	Bileşke alana ait akı çizgileri	20
Şekil 2.12	Tam yükte manyetik akı yoğunluğu dağılımı	20
Şekil 2.13	Komutasyon sırasında kısadevre olan bobin	22
Şekil 2.14	Lineer komutasyon	23
Şekil 2.15	Geciktirilmiş ve hızlandırılmış komutasyon	24
Şekil 2.16	Komutasyon altındaki bobinin elektrik devresi	25
Şekil 2.17	Üniversal motorun AC çalışmada fazör diyagramı ve basit eşdeğer devre modeli	26
Şekil 3.1	Eşdeğer devrenin bulunması için kullanılan üniversal motor modeli	32
Şekil 3.2	Rotor relüktansının θ_r 'ye bağlı değişim eğrisi	34
Şekil 3.3	Rotor özendüktansının θ_r 'ye bağlı değişim eğrisi	34

Şekil 3.4	Karşıt endüktansın θ_r 'ye bağlı değişim eğrisi	34
Şekil 3.5	Üniversal motorun eşdeğer devresi	37
Şekil 4.1	Stator sargı özendüktansı bulunması için yapılan deney düzeneği	39
Şekil 4.2	Stator özendüktansının akıma göre değişim eğrisi	40
Şekil 4.3	Fırça kaydırmasının bulunması için kullanılan deney düzeneği	41
Şekil 4.4	Yalnızca statorun beslenmesi durumu için rotor eşdeğer devresi	42
Şekil 4.5	Karşıt endüktans maksimum değerinin akıma göre değişim grafiği	44
Şekil 4.6	Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği	45
Şekil 4.7	Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin akıma göre değişim Grafiği	47
Şekil 4.8	Rotor sargı endüktansının minimum değerinin belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği	47
Şekil 4.9	Rotor sargı endüktansının minimum değerinin akıma göre değişim Grafiği	48
Şekil 4.10	Hız zaman ve Moment hız eğrileri	51
Şekil 4.11	Boşta ve yükte çalışma deney düzeneği	51
Şekil 4.12	Eylemsizlik momentinin hesabı	53
Şekil 4.13	Stator özendüktansının akıma göre değişim eğrisi (B)	55
Şekil 4.14	Karşıt endüktans maksimum değeri-akıma göre değişim grafiği(B)	56
Şekil 4.15	Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin akıma göre değişim grafiği (B)	57
Şekil 4.16	Rotor sargı endüktansının minimum değerinin akıma göre değişim grafiği (B)	58
Şekil 5.1	Doğru akım seri motorun eşdeğer devresi	62
Şekil 5.2	Basit model için Umsim Blok Diyagramı	64
Şekil 5.3	Umsim Blok Diyagramı (A)	66
Şekil 5.4	Hız-Zaman grafiği (A)	67

Şekil 5.5	Akım-Zaman grafiği (A)	67
Şekil 5.6	Giriş Gücü-Zaman grafiği (A)	68
Şekil 5.7	Çıkış Gücü-Zaman grafiği (A)	68
Şekil 5.8	Çıkış Momenti-Zaman grafiği (A)	69
Şekil 5.9	Verim-Zaman grafiği (A)	69
Şekil 5.10	Rotor Endüktansının Maksimum Değeri-Zaman grafiği (A)	70
Şekil 5.11	Rotor Endüktansının Minimum Değeri-Zaman grafiği (A)	70
Şekil 5.12	Karşıt Endüktansın Maksimum Değeri-Zaman grafiği (A)	71
Şekil 5.13	Stator Özendüktansı-Zaman grafiği (A)	71
Şekil 5.14	Toplam Direnç-Zaman grafiği (A)	72
Şekil 5.15	Toplam Kayıp-Zaman grafiği (A)	72
Şekil 5.16	Demir Kaybı-Zaman grafiği (A)	73
Şekil 5.17	Bakır Kaybı-Zaman grafiği (A)	73
Şekil 5.18	Sürtünme Kaybı-Zaman grafiği (A)	74
Şekil 5.19	Umsim Blok Diyagramı (B)	75
Şekil 5.20	Hız-Zaman grafiği (B)	76
Şekil 5.21	Akım-Zaman grafiği (B)	76
Şekil 5.22	Giriş Gücü-Zaman grafiği (B)	77
Şekil 5.23	Çıkış Gücü-Zaman grafiği (B)	77
Şekil 5.24	Çıkış Momenti-Zaman grafiği (B)	78
Şekil 5.25	Verim-Zaman grafiği (B)	78
Şekil 5.26	Rotor Endüktansının Maksimum Değeri-Zaman grafiği (B)	79
Şekil 5.27	Rotor Endüktansının Minimum Değeri-Zaman grafiği (B)	79
Şekil 5.28	Karşıt Endüktansın Maksimum Değeri-Zaman grafiği (B)	80
Şekil 5.29	Stator Özendüktansı-Zaman grafiği (B)	80

Şekil 5.30	Toplam Direnç-Zaman grafiği (B)	81
Şekil 5.31	Toplam Kayıp-Zaman grafiği (B)	81
Şekil 5.32	Demir Kaybı-Zaman grafiği (B)	82
Şekil 5.33	Bakır Kaybı-Zaman grafiği (B)	82
Şekil 5.34	Sürtünme Kaybı-Zaman grafiği (B)	83
Şekil 6.1	Magtrol test düzeneği	86
Şekil 6.2	Histerezis fren kesit resmi	85
Şekil 6.3	A tipi motor için Magtrol test sonuçları	87
Şekil 6.4	B tipi motor için Magtrol test sonuçları	88
Şekil 6.5	Hız-Çıkış Momenti karşılaştırması (A)	89
Şekil 6.6	Hız-Akım karşılaştırması (A)	89
Şekil 6.7	Hız-Giriş Gücü karşılaştırması (A)	90
Şekil 6.8	Hız-Çıkış Gücü karşılaştırması (A)	90
Şekil 6.9	Hız-Verim karşılaştırması (A)	91
Şekil 6.10	Hız-Çıkış Momenti karşılaştırması (B)	91
Şekil 6.11	Hız-Akım karşılaştırması (B)	92
Şekil 6.12	Hız-Giriş Gücü karşılaştırması (B)	92
Şekil 6.13	Hız-Çıkış Gücü karşılaştırması (B)	93
Şekil 6.14	Hız-Verim karşılaştırması (B)	93
Şekil A	Üniversal motor fazör diyagramı	116
Şekil B.1	A tipi motora ilişkin boyutlar	117
Şekil B.2	B tipi motora ilişkin boyutlar	118
Şekil D.1	A tipi motor için B-H ve μ -H değişim eğrileri	121
Şekil D.2	B tipi motor için B-H ve μ -H değişim eğrileri	122
Şekil E.1	A tipi motor için saç levhada kilogram başına demir kaybı abağı	123

Şekil E.2	B tipi motor için saç levhada kilogram başına demir kaybı abağı	123
Şekil F.1	A tipi motor için Sürtünme kaybı-Hız eğrisi	124
Şekil F.2	B tipi motor için Sürtünme kaybı-Hız eğrisi	124



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 4.1 Stator özendüktansının akıma bağlı değişim tablosu	39
Tablo 4.2 Rotor ve stator arasında karşıt endüktansın maksimum değerinin akıma göre değişim tablosu	43
Tablo 4.3 Efektif rotor sarım sayısının akıma göre değişim tablosu	45
Tablo 4.4 Rotor sargı endüktansı maksimum değerinin akıma göre değişim Tablosu	46
Tablo 4.5 Rotor sargı endüktansı minimum değerinin akıma göre değişim Tablosu	48
Tablo 4.6 Direncin sıcaklığa bağlı değişimi	49
Tablo 4.7 Boşta çalışma deneyinin sonuç tablosu	52
Tablo 4.8 Sürtünme deneyi sonuç tablosu	53
Tablo 4.9 Stator özendüktansının akıma bağlı değişim tablosu (B)	55
Tablo 4.10 Rotor ve stator arasındaki karşıt endüktansın maksimum değerinin akıma göre değişim tablosu (B)	56
Tablo 4.11 Efektif rotor sarım sayısının akıma göre değişim tablosu (B)	57
Tablo 4.12 Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin akıma göre değişim tablosu (B)	57
Tablo 4.13 Rotor sargı endüktansının minimum değerinin akıma göre değişim tablosu (B)	58
Tablo 4.14 Direncin sıcaklığa bağlı değişimi (B)	59
Tablo 4.15 Boşta çalışma deneyinin sonuç tablosu (B)	60
Tablo G.1 Faydalanma katsayısının (C), $\frac{P_{mek}}{n}$ ye bağlı olarak alt ve üst Sınırları	125

ÖZET

Ülkemizde ve dünyada milyonlarca adet üretilen universal motorlar ev aletleri gibi değişken hızlarda çalışmaları gereken tüketici uygulamalarında tahrik makinası olarak kullanılmaktadır. Günümüzde toplum refah düzeyinin artması beyaz eşyaya olan talepte büyük bir artış doğurmuştur. Bunun sonucu olarak da diğer elektrik makinalarına göre, düşük maliyetle çok yüksek hızlara ulaşan universal motorların önemi artmıştır.

İster donanım, ister yazılım olsun bilgisayar dünyasındaki hızlı ve baş döndürücü gelişmeler, bütün mühendislik alanlarında olduğu gibi Elektrik Mühendisliğinde de inanılmaz kolaylıklar ve imkanlar sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında bu imkanlardan yararlanılarak universal motorun benzetişimi ve tasarımı bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Öncelikli olarak universal motorun yapısı, çalışma prensibi ve eşdeğer devre modeli anlatılmıştır. Örnek alınan çeşitli motorlara direnç, endüktans, yük performans, boşa çalışma ve kayıp deneyleri uygulanarak motorların bilinmeyenleri elde edilmiştir.

Deneyler ve sonlu elemanlar paket programı Magnet5.0 dan elde edilen sonuçlar kullanılarak, yüksek performanslı sayısal ve grafiksel hesaplamalar için geliştirilen Matlab-Simulink paket programında motor benzetişimi gerçekleştirilmiştir. Simulink sonuçları, bilgisayar kontrollü motor test düzeneği olan Magtrol sonuçları ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçların birbirine yakınlığı görülmüştür.

Tez çalışmasında son olarak görsel programlama dili Visual Basic paket programı yardımı ile universal motorun tasarımı geliştirilmiştir. Tasarım sırasında kullanılan tablolar ve grafikler Senur Elektrik Motorları A.Ş. tarafından üretilen motorlara uygulanan çeşitli deneyler sonucu elde edilmiştir. Literatür çalışması ve ters mühendislik yaklaşımı ile tasarımın temelini oluşturan denklemler elde edilerek, Visual Basic ortamında bu denklemlerin çözümü sağlanmıştır.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

THE SIMULATION AND DESIGN METHODS OF UNIVERSAL MOTOR

SUMMARY

The aim of this thesis is, to present the simulation, design and experiments of the universal motor for speeds up to 40000 rpm.

In order to reach to this aim, the subjects are handled in the following sequence;

1. Universal motors are introduced and the description of their characteristics are given. The armature reaction and the commutation problems are explained.
2. Development of the equivalent circuit and mathematical model for universal motor considering brush shift. Figure 2.7 shows the equivalent circuit of the universal motor.
3. Various universal motors are tested. The test motors are manufactured Senur Elektrik Motorları A.Ş. as dry and wet-dry type vacuum cleaner motors. The two dimensional geometry for wet-dry vacuum cleaner's motor is shown in Figure 1.
4. Various test motors are designed, manufactured and tested. Performance tests are conducted by using a MAGTROL test system. The input power, input current, output power, output torque and efficiency of the motors are recorded for speeds up to 40000 rpm. The information on Magtrol test system and the measured performance values are presented in Chapter 4.
5. MATLAB with SIMULINK packet program is introduced. Mathematical model of universal motor is formed and simulation results are obtained in Simulink environment. The developed computer programme is called UMSIM.
6. The experimental test results are compared with the simulated ones. It is seen that the experimental and theoretical values are in good agreement.
7. General design concepts and design procedures of universal motors are introduced. Main construction of the motor, main dimension equation, size determining factors are defined.

8. In order to develop a comprehensive design programme, a design methodology is formed and applied by using the VISUAL BASIC language.

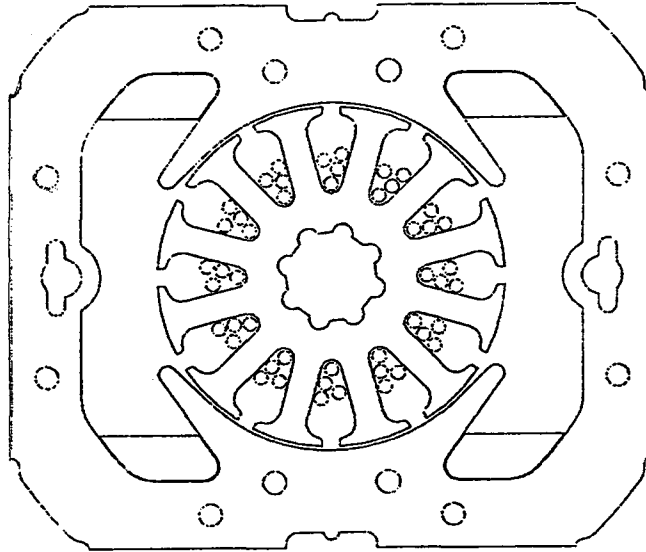


Figure 1. The cross section of the wet-dry vacuum cleaner's motor.

Operational Principles of Universal Motor:

The name universal motor comes from the ability to operate on both direct and alternating current. The universal motor will be running when is connected to an AC source of supply. The direction of the torque is determined by both the field polarity and the direction of the current through the armature. Since the same current passes through the field coils and armature winding, it follows that the AC reversals from positive to negative, and vice versa, will simultaneously affect the field polarity and the direction of the current in the armature conductors. Therefore the unidirectional torque is produced. Figure 2 represents an universal motor in which the torque produces counter-clockwise rotation for both directions of current flow. In figure 2a the top and bottom terminals are positive and negative and upper and lower poles are north and south, respectively. When the polarities of the line terminals reverse. As they would in second half of an AC cycle, the upper and lower poles become south and north, respectively. The current through the armature will now be from left to right, and the resulting crosses and dots in the conductors will therefore change.

Figure 2b represents these conditions, from which it can be seen that the armature will continue to rotate counter-clockwise.

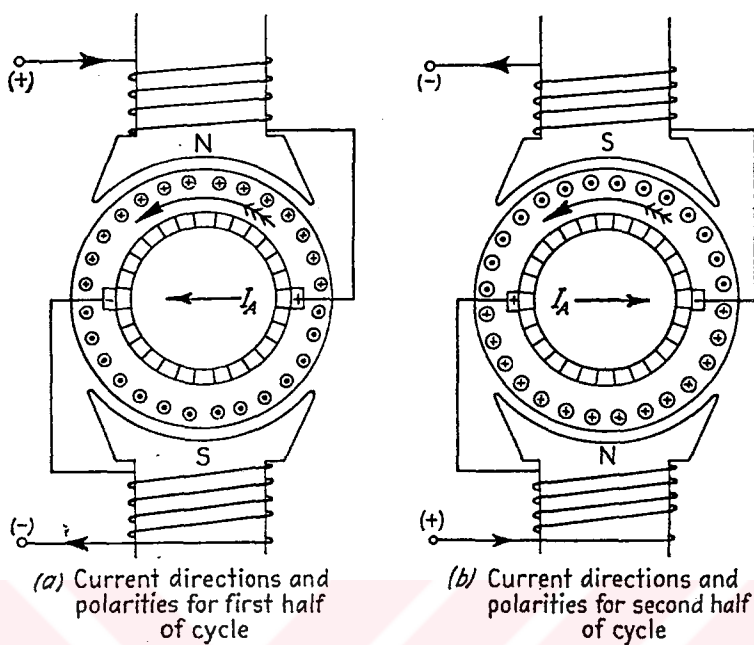


Figure 2. Elementary universal motor illustrating that the direction of rotation is unchanged when the line polarity is reversed.

Speed-Load Characteristics and Types of Universal Motors:

Universal motors are characterized by their ability to operate, with substantially the same performance, on direct as well as alternating current of frequencies up to 60 Hz. These motors are series wound and have series characteristics on both direct and alternating current. No-load speeds are high, sometimes well over 50000 rpm, but the armatures are designed so that they will not be damaged at these speeds. They are usually designed for full load operating speeds of 6000 to 20000 larger power ratings, and up to 35000 or more in smaller power ratings. At higher speeds better universal characteristics, that is nearly the same performance characteristics on both direct and alternating current, can be obtained. Universal motors are generally custom-built for specific application and are very often sold as parts rather than as complete motors.

There used to be two major types of universal motors, non-compensated and compensated, but the latter has now all but disappeared. The non-compensated

motor usually is built with concentrated or salient poles. The speed-torque characteristic of a non-compensated motor is given in figure 3. Compensated motors have a distributed laminated field structure similar to the AC induction motor. The compensated universal motor has better universal characteristics than the non-compensated universal motor. The non-compensated universal motor is less expensive and simpler in construction so it is more generally used for these reasons.



Figure 3. Typical speed-torque curve of a non-compensated universal motor.

It is to be noted that with either type, the speed drops off rapidly with an increase in load and increases with decrease in load. This characteristic is most desirable in vacuum cleaner, for if the cleaner is used under conditions which decrease the volume of air handled, the load on the motor decreases. This decrease in motor load is accompanied by increased motor speed and increased vacuum, so that the cleaner will actually handle more air than it would if a constant motor were used. Likewise, this characteristic of speeding up on light loads is very desirable in the case of portable drills, for the motor will drive small drills at high speed and larger drills at a lower speed.

Applications of Universal Motors:

These motors are used in a considerable number of applications requiring all sorts of operating characteristics. In some, the actual motor speed is the load speed, a good example being a vacuum cleaner. In others, the load speed, through a gear train, is reduced considerably; good examples of this practice are drink mixers, wood mixers and portable drills.

In order to illustrate the wide range of applications of universal motors a list of those more frequently used is given in Table 1.

Table 1. Common applications of universal motors.

Advertising devices	Hammers	Sanders
Calculating machines	Hedge trimmers	Saws
Cost cutters	Hores	Screw drivers
Clippers	Lock mortisers	Sewing machines
Compressors	Motion-picture outfits	Sirens
Die sinkers	Nibblers	Small fans
Dish washers	Nut setters	Small grinders
Drink mixers	Pipe threaders	Surgical instruments
Electric shavers	Ploners	Vacuum machines
Files	Polishers	Valve grinders
Food mixers	Portable drills	Ventilating equipment
Grease guns	Pumps	Vibrators
Hair driers	Routers	Wood shapers

Simulation of Universal Motor by SIMULINK:

SIMULINK is a program for simulating dynamic systems. It has two phases of use; model definition and model analysis. A typical session starts by either defining a model or recalling a previously defined model, and then proceeds to analysis of that

model. In practice, these two steps are often performed iteratively as the model as the model designer creates and modifies a model to achieve the desired behaviour.

To facilitate model definition, Simulink adds a new class of windows called block diagram windows. In this windows, models are created and edited principally by mouse driven commands. Part of mastering Simulink is to become familiar with the manipulation of model components within these windows.

After you define a model, you can analyse it either by choosing options from the Simulink menus or by entering commands in Matlab's command window.

The progress of a simulation can be viewed while the simulation is running, and the final results can be made available in the Matlab workspace when a simulation is complete.

In chapter 4 of this thesis a mathematical model of universal motor is formed and simulation results are obtained in Simulink environment. The developed Simulink programme is called UMSIM. The block diagram of the Simulink model is depicted in Figure 4.

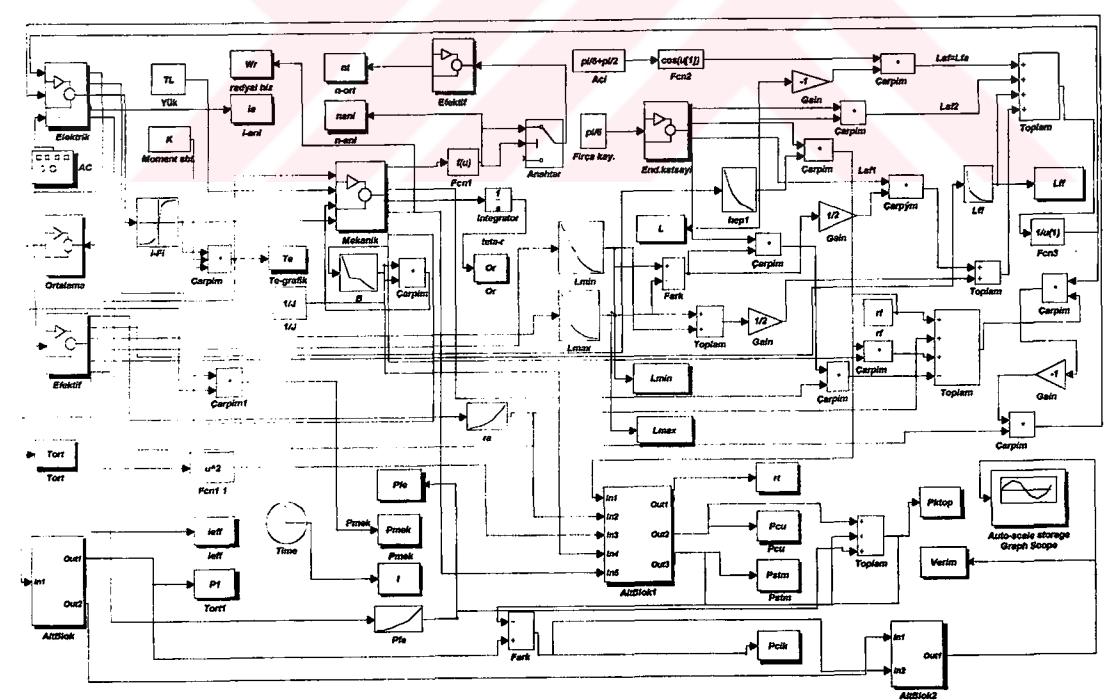


Figure 4. The block Diagram of the Simulink model.

The experimental test results are compared with with simulated ones. It is seen that the experimental and theoretical values are in good agreement. Comparing results are given in chapter 6.

Design Methodology for Universal Motor:

Universal motors are series wound and have series motor characteristics. They generally found applications in small dimension. Then no load speeds are very high. Therefore, motor design is a multi-disciplinary subject. It involves not only electromagnetic design but also selection of engineering materials, component specifications, and production techniques. Commutation and mechanical hardness the most important problems.

General design concepts of universal motor and design procedures are introduced in the seventh chapter. Main construction of the motor, main dimension equation, size determining factors are also defined.

In order to develop a comprehensive design programme, a design methodology is formed and applied by using the VISUAL BASIC language. The flow diagram and results of the Visual Basic programme are given in the final chapter.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İş makinalarının tahrikinde yaygın bir şekilde kullanılan asenkron motorlar, sabit bir anma devir sayısı için imal edilip yükü ne olursan olsun hızı yaklaşık olarak sabittir. Asenkron motorlarda hız ayarının, klasik olarak rotor devresine direnç ekleyerek yapılması verimin düşmesine neden olmaktadır. Bu durumu önlemek için asenkron motorda sincap kafesli rotor yerine, sargısı doğru akım makinasının rotor sargısı ile aynı olan, kollektörlü bir rotor konur. Böylece elde edilen kollektörlü alternatif akım makinasında hız ayarı yapılabildiği gibi, güç faktörünün tam yükte bire yakın bir değere yükseltilmesi ve çok yüksek hızlara ulaşabilmesi mümkün olur. Aynı zamanda doğru akım kaynağından da beslenebilen bu tip motorlar *universal motor* olarak bilinirler. Universal motorlarda hız ayarı rotor devresine direnç ekleme metodu yerine güç elektroniği düzenleri ile yapılmaktadır.

Universal motorlarda hız, asenkron motorlarda olduğu gibi yükten bağımsız değildir; hem doğru akımla hem de bir fazlı alternatif akımla çalışabilen universal motorlar, her iki çakışma durumunda da seri karakteristik gösterirler, bir başka deyişle dönme momenti-devir sayısı karakteristik eğrisi ters orantılı olarak değişir. Yüklemeyle hız azalmakta ve yük azaldıkça motor hızı sonsuza gitmektedir. Hızın yük ile birlikte büyük değişiklikler göstermesi universal motorların gerek benzetişimi ve gerekse tasarımı için gerekli olan parametrelerin elde edilmesinde büyük güçlükler ortaya çıkarmaktadır. Universal motorlar yükleme olmaması halinde tehlikesizce işletilebilmeleri için boştaki hızları ve dolayısıyla merkezkaç kuvvetler sınırlı kalacak şekilde elektriksel ve mekanik olarak düzenlenirler. Olanaklardan birisi motorun bir merkezkaç kuvvet freni ile donatılmasıdır. Böylece belirli bir devir sayısı aşılmamış olur.

Değişken hızlarda çalışması gereken tüketici uygulamalarında tahrik makinası olarak kullanılan universal motorlar, özellikle elektrikli süpürge, çamaşır makinası,

dikiş makinası, saç kurutma makinası, mixer, blender gibi elektrikli ev aletleri ve küçük güçlü uygulamalarda en çok kullanılan motorlardır. Evlerdeki uygulama alanları dışında endüstride de elektrikli testere, freze, elektrikli matkap gibi iş makinalarında kullanılmaktadır.

Belirtilen bütün üstünlüklerine rağmen stator ve rotor bağlantısı fırça ve kollektör düzeneği yardımıyla sağlandığından, kollektör-fırça grubuna bağlı sorunlar vardır. Bunlar doğru akım makinalarında da görülen komutasyon bozukluğu, radyo girişim işaretleri üretmesi ve harmoniklerdir. Ayrıca yüksek hızlarda dengeleme ve yatak problemleri doğar. Yüksek kalkış akımı ihtiyacı, gürültü, düşük hızlarda ve aşırı değişken yükte kötü verim istenmeyen özelliklerindendir. Bütün bu sorunlardan dolayı universal motorlar tasarım esnasında birçok zorluk çıkarır, tasarımda dikkat edilecek nokta sayısı oldukça fazladır.

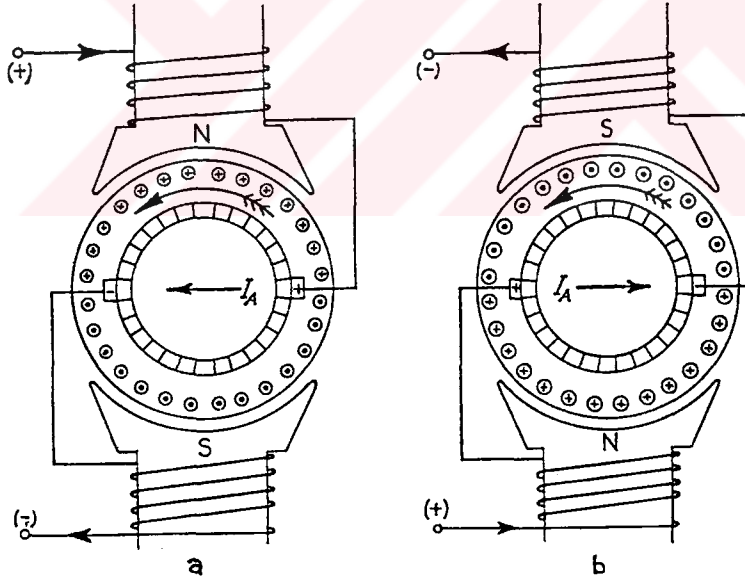


BÖLÜM 2

ÜNİVERSAL MOTORLAR

2.1 GİRİŞ

Doğru akım seri motorun uçlarına uygulanan doğru gerilim, gerek rotor gerekse stator sargılarından bir i akımının geçmesini sağlar ve rotor sola döner. Motor uçları Şekil 2.1b 'de görüldüğü gibi ters bağlanırsa; stator ve rotordan geçen akım yönleri aynı anda değiştiğinden, döndürme momentinin yönü sabit kalır. Motor yine sola döner [1].



Şekil 2.1 Pozitif ve negatif besleme durumu için motor dönüş yönü

Rotor ve statordan geçen akımın yönü devamlı değiştirilirse, örneğin motor uçlarına alternatif gerilim uygulanırsa aynı sonuç elde edilir. Şu halde; bir doğru akım seri motoru alternatif akımda da çalışabilir. Yalnız alternatif akımın yön değiştirmesi nedeni ile, motor magnetik devrelerinde meydana gelecek foucault ve histerezis

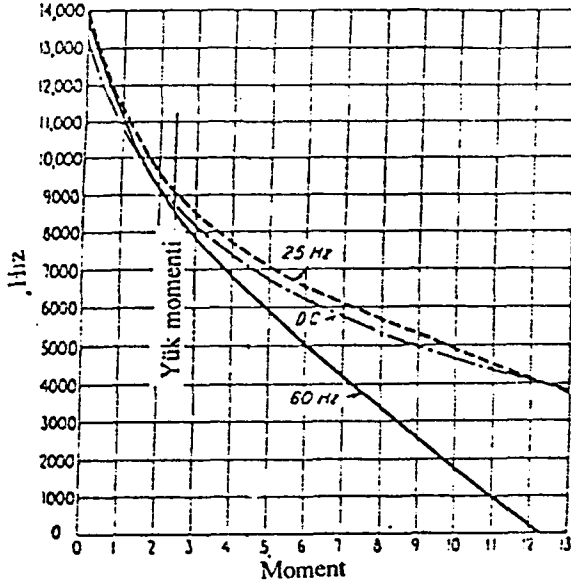
kayıpları motorun fazla ısınmasına neden olur. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için, alternatif akımla çalışacak seri motorun kutupları ve magnetik alanla ilgili bütün kısımları, yalıtılmış ince saçlardan yapılır. Bu duruma göre motor hem doğru, hem de alternatif akımla çalışabilir. Her iki gerilim türünde de çalışma sağlanabildiği için bu tip motorlara universal motor denir.

2.2 ÜNİVERSAL MOTORUN TEORİSİ

Universal motorlar; hem doğru akım hem de alternatif akım çalışmada ve aynı efektif gerilim değerinde; aynı hızda dönüp, aynı gücü veren seri karakteristikli ve kollektörlü motorlardır [2]. Moment hızla ters orantılı olarak değiştiğinden boşa çok yüksek devir hızlarına çıkarlar. Motor hızı yük momentine göre hassas olarak değiştiğinden elektrikli ev aletleri uygulamalarına çok elverişlidirler. Örnek olarak bir elektrikli süpürge'nin yükü emdiği hava miktarıdır. Emilen hava miktarı azaldıkça motor boşa çalışmaya gider devir sayısı artar. Bu yüzden herhangi bir yüzey üzerinde emilen hava daha az olacağından motor daha hızlı dönerek daha fazla emme basıncı yaratır.

Yüksek hızlara erişebildiğinden alternatif akım motorlarına göre daha ekonomik yapıya sahiptirler. Rotor ve stator sargıları seri bağlı olan universal motorlarda devir sayısı kontrolü için yardımcı araçlar kullanılırsa alternatif akım ve doğru akımda aynı seri karakteristik elde edilemez. Boşa çalışma hızları yüksektir; 50.000 devir/dakika gibi yüksek hızlara çıkıldığından rotor sargıları zarar görmeyecek şekilde tasarlanırlar. Güç sınıfları sürekli çalışan motorlar için genellikle 1 hp'ye kadar olmasına rağmen kesintili çalışan motorlarda daha yüksektir. Yüksek hızlarda daha iyi bir universal karakteristik, başka bir deyişle doğru akım ve alternatif akım beslemede aynı karakteristiği gösterirler.

Kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz olmak üzere iki tipte imal edilirler. Kompanzasyonlu motorlar kompanzasyon sargısı içerirler ve kompanzasyonsuz motorlara kıyasla daha iyi universal karakteristik gösterirler. Buna rağmen kompanzasyonlu tip ekonomik olmadığından büyük güçlü motorlar dışında kullanılmazlar [3].

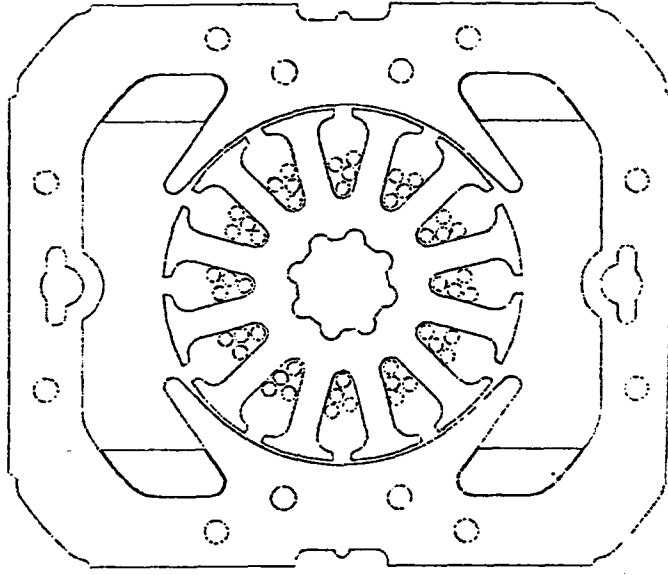


Şekil 2.2 Üniversal Motora ait hız-moment karakteristikleri

2.3 ÜNİVERSAL MOTORUN YAPISI

Bütün döner elektrik makinalarında olduğu gibi üniversal motorlar sabit kısım olan stator ve hareketli kısım olan rotordan oluşur. Stator esas olarak saç paketi ve uyarma sargısından meydana gelir. Stator saç paketi kutuplara sahiptir ve bu kutupların üzerine uyarma sargısı sarılmıştır. Rotor ise rotor saç paketi, rotor sargısı, kollektör ve milden oluşur [4].

Üniversal motorun saç paketleri foucault ve histerezis kayıplarını azaltmak için 1 mm.'den daha küçük kalınlıkta yalıtılmış laminasyonlardan meydana gelir. Statordaki uyarma sargısı toplu sargıdır ve her iki kutup üzerinde eşit sayıda sarım vardır. Rotor sargısı, oluklara simetrik olarak dağıtılmış bobinlerden meydana gelir ve basit bükümlü sargı modeli kullanılır. Genellikle kullanılan sargı modeline uygun olarak belirli bir oluk adımıyla oluklara yerleştirilen bobinlerdeki sarımlar eşittir. Bazı durumlarda endüvi reaksiyonunu azaltmak ve daha yüksek hızlara çıkmak için bu sarımlar farklı sayılarda olabilir. Rotor bobinleri kollektör lamellerine bağlanır ve gövdeye bağlı olarak fırça yuvasında bulunan karşılıklı yerleştirilmiş iki fırça lamelleri ikişer ikişer kısadevre ederek rotor sargısının enerjileşmesini sağlarlar.



Şekil 2.3 Kompanzasyonsuz üniversal motor yapısı.

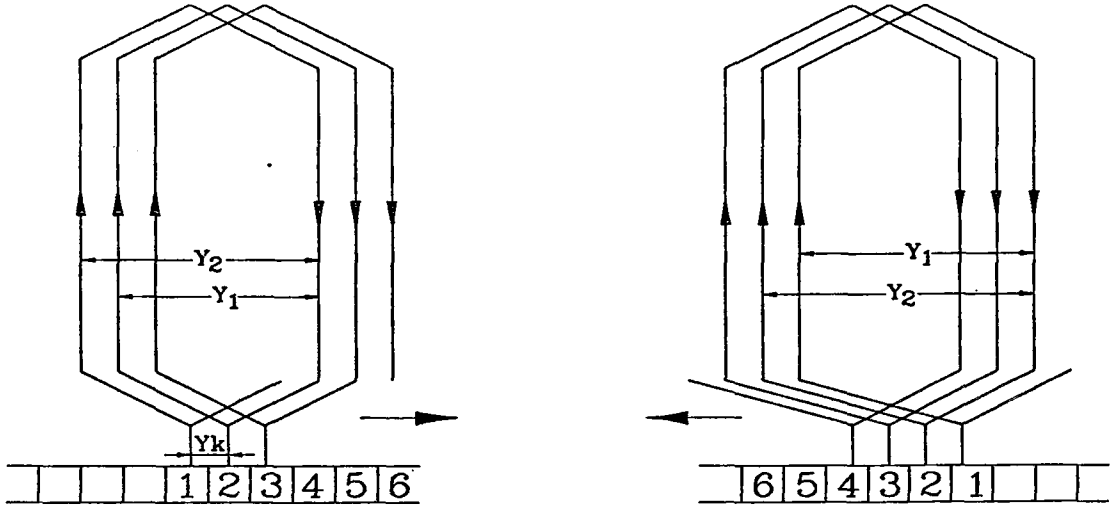
2.3.1 Üniversal Motorun Rotor Sargı Şekli

Üniversal motor rotor sargıları bobinlerden ve bobinler de sarımlardan meydana gelir. Bobinlerin uçlarını kollektör levhacıklarına daha düzgün ulaştırmak için iki tabakalı sargı kullanılır. İki tabakalı sargılarda bir oluk içinde bir veya daha fazla bobinin alt yanları ile yine aynı miktarda, fakat belirli bir kurala göre bobinlerden uzak bulunan bobinlerin üst yanları bulunur [5].

Üniversal motor rotor sargıları bükümlü sargılar olarak imal edilir. Dalgalı sargılar kutup adedi ($2p$) en az 4 olduğu zaman uygulanabilir. Yani p birden büyük olmalıdır. İki kutuplu makinalar daima bükümlü sargı olarak imal edilirler. Üniversal motorlarda da kutup sayısı daima iki olduğundan bükümlü sargı kullanılır.

Şayet rotor çevresinde bir defa dolaşıldıktan sonra bükümlü sargı kapanıyorsa, bu tip sargıya basit bükümlü sargı denir ve üniversal motorlarda bu sargı tipi tercih edilir. Bu tip sargılarda kutup sayısı kadar fırça kullanılır. Üniversal motorlarda kutup sayısı 2 olduğundan 2 fırça grubu kullanılır. Fırçalar kollektör üzerinde, kutuplar arasındaki geometrik nötr bölge hizasına yerleştirilir.

Bir rotorda oluk sayısı N , kutup sayısı $2p$, toplam bobin yanı sayısı S , rotordaki paralel kol sayısı $2a$, toplam kollektör sayısı k , bir olukta yan yana bobin yanı sayısı i ile gösterilirse basit bükümlü sargıda $2a=2p$ dir.



Şekil 2.4 Basit bükümlü sargı

y_1 : ileri adım,

y_2 : geri adım,

y_k : kollektör adımı.

Basit bükümlü sargıda;

$$y = y_1 - y_2 = \pm 2$$

Burada + sağa ilerleyen basit bükümlü sargıyı, - sola ilerleyen basit bükümlü sargıyı gösterir. Buradan görüldüğü gibi y_1 ve y_2 daima tek bir sayıdır. Sola doğru olan (gerileyen) dolaşımlarda makinanın kollektör adımı negatiftir ve bu tip sargılarda kollektör lamellerine giden bağlantı uçları birbirleri ile karşılaşacaklarından birini diğerinin üstünden atlatmak gerekir. Bu bakımdan sağa doğru (ilerleyen) olan dolaşımlar daima tercih edilir.

$$y_1 = \frac{S \pm b}{2p}$$

b : y_1 'i tek sayı yapan tam bir sayıdır. İlave edilip veya çıkartılması ile y_1 tek olarak bulunur.

Oluk sayısı toplam bobin yanı sayısının bir oluk içerisine yerleştirilen bobin yanı sayısına bölünmesinden bulunur, yani

$$N = \frac{S}{i \cdot u}$$

$$k = \frac{S}{2}$$

$$y_k = \pm 1$$

Bir bobinin sonu bunu takip eden bobinin başlangıcına bağlanır. Yani kollektör adımı bire eşittir.

2.4 DOĞRU AKIM MOTORUNDAN KAYNAKLANAN ÜNİVERSAL MOTOR

Yapı ve teori olarak doğru akım seri motorlarına benzeyen universal motorları incelemeden önce bu motorların doğru akım motoru ile benzerliklerinin incelenmesi yararlı olacaktır [6].

Doğru akım seri uyarma sargılı motorda rotor ve uyarma sargıları ardarda bağlıdır. Böylece uyarma sargısından yüklenmeye bağlı rotor akımı akar. Motor yüklenmemişse sargılardan ufak değerli bir boşta çalışma akımı geçer. Böylece rotorda indüklenen gerilim devir sayısının artmasına yol açar. Bu nedenle boşta çalışan seri motor çok yüksek hızlara ulaşır. Motorun yüklenmesi durumunda rotor ve uyarma sargılarının çektiği akım artar ve buna bağlı olarak devir sayısı azalır. Rotor akımının arttırılması ve uyarma alanının aynı anda takviye edilmesi büyük bir dönme momenti artışına yol açar. Seri motorların kalkış momenti büyük olduğundan hızlanmaya elverişlidir. Bu motorun davranışına “seri motor davranışı” denir.

Rotor devresinde meydana gelen iki fiziksel olay makinanın motor veya generatör olarak çalışmasında önemli rol oynar. Birincisi magnetik alan içerisinde V hızı ile dönen rotor iletkenlerinde oluşan ani elektromotor kuvvet, ikincisi ise aynı manyetik alan içerisinde

akım taşıyan rotor iletkenlerine etki eden kuvvettir.

l uzunluğunda, üzerinden i akımı geçen bir iletkene, B magnetik akı yoğunluğunda bir alan içerisinde etki eden ani kuvvet;

$$F = B \cdot i \cdot l \cdot \sin(\theta) \quad (\text{Newton}) \quad (2.1)$$

olur. B magnetik akı yoğunluğu Tesla(T) veya Wb/m^2 , i akımı (A), l uzunluğu metre (m) biriminde olmak üzere kuvvetin birimi Newtondur(N). Vektörsel olarak (2.1) denklemi;

$$F = l \cdot (i \times B) \quad (2.2)$$

olarak gösterilir. θ magnetik alan yönü ile akımın yönü arasındaki açıyı gösterir. Magnetik alan yönü rotorda akan akımın yönüne dik olduğundan $\theta = 90^\circ$; $\sin(\theta) = 1$ olur. Böylece;

$$F = B \cdot i \cdot l \quad (2.3)$$

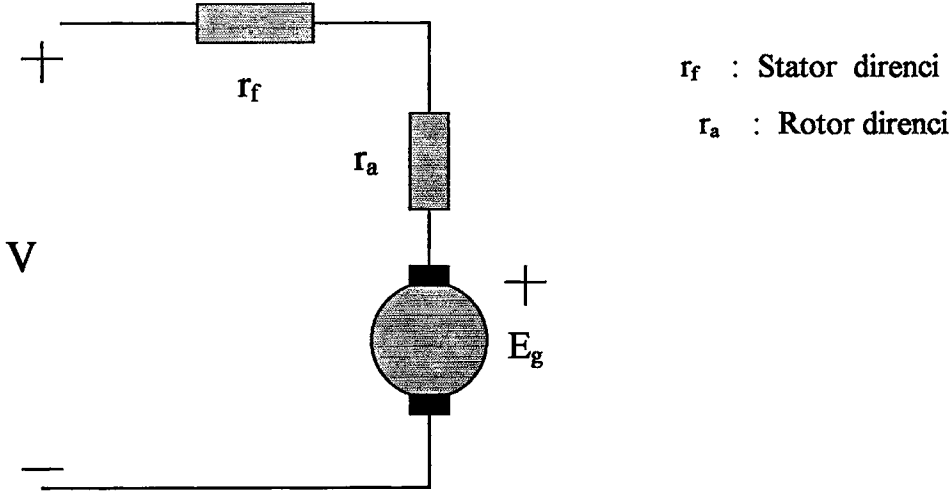
olur. Bu kuvvet rotor iletkenlerine etkiyerek iletkenlerin magnetik alan yönüne ve akımın yönüne dik olacak şekilde hareket etmesine sebep olur. N tane iletken rotor oluklarına sarılı olduğundan rotora bu kuvvetin N katı etkiyerek rotorun dönmesini sağlar.

Magnetik alan içerisinde V hızı ile hareket eden rotor iletkenlerinde bir hareket gerilimi indüklenir. Bu gerilim uygulanan akıma karşı yönde etki edeceğinden bu gerilime zıt veya ters elektromotor kuvvet denir. Seri motorun hız performansı elektromotor kuvvetine doğru orantılı olarak bağlıdır.

$$e = B \cdot l \cdot V \quad (2.4)$$

Bu iki fiziksel olayın yarattığı iki büyüklük motor performansını doğrudan etkiler. Kuvvet ve elektromotor kuvvet motor tasarımı için en önemli büyüklüklerdir.

2.4.1 Doğru Akım Çalışmada Emk, Moment ve Hız İfadeleri



Şekil 2.5 Doğru akım seri motorun elektrik devresi

$$V = i_a (r_f + r_a) + E_g \quad (2.5)$$

Elektromotor Kuvvet: Faraday kanunundan,

$$E_g = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{Volt}) \quad (2.6)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (\text{rad/s}) \quad (2.7)$$

Z rotorun toplam iletken sayısı, 2a paralel kol sayısı, 2p kutup sayısı ve ω motor hızı (rad/s) olmak üzere;

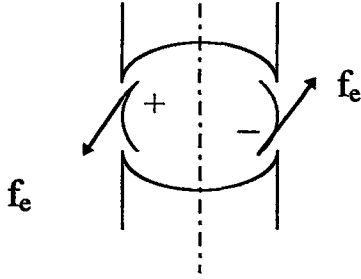
$$E_g = \frac{Z \cdot \Phi \cdot \omega \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a} = K \cdot \Phi \cdot \omega \quad (\text{Volt}) \quad (2.8)$$

$$K = \frac{Z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad (2.9)$$

$$V = i_a \cdot (r_f + r_a) + K \cdot \Phi \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{V - i_a \cdot (r_f + r_a)}{K \cdot \Phi} \quad (2.10)$$

Moment:



i_a : Bir iletkenin akımı

I_a : Giriş akımı

$2a$: Paralel kol sayısı

$$f_e = B(\theta) \cdot l \cdot i_a = B(\theta) \cdot l \cdot \frac{I_a}{2a} \quad (2.11)$$

$$\overline{M_e} = 2 \cdot f_e \cdot r \quad : \text{Bir bobine ait ortalama moment} \quad (2.12)$$

$$\overline{M_e} = 2 \cdot B(\theta) \cdot l \cdot \frac{I_a}{2a} \cdot r \quad (2.13)$$

$$B(\theta) = \Phi \cdot A = \Phi \cdot \frac{2p}{2\pi \cdot r \cdot l} \quad (2.14)$$

$$\overline{M_e} = 2 \cdot \frac{\Phi \cdot 2p}{2\pi \cdot r \cdot l} \cdot l \cdot \frac{I_a}{2a} \cdot r = \Phi \cdot \frac{2p}{2a} \cdot \frac{I_a}{2} \cdot \frac{2}{\pi} \quad (2.15)$$

Motorda N tane sarım bulunduğuna göre:

$$\overline{M_e} = N \cdot \frac{2p}{2a} \cdot \frac{I_a}{2} \cdot \frac{2}{\pi} = K \cdot \Phi \cdot I_a \quad (2.16)$$

$$K = \frac{Z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad : \text{Moment sabiti} \quad (2.17)$$

Motorun gücü:

$$P = E_g \cdot i_a = K \cdot \Phi \cdot \omega \cdot i_a \quad (\text{Watt}) \quad (2.18)$$

2.5 DOĞRU AKIM VE ALTERNATİF AKIM İŞLETME DURUMLARI

Üniversal motorlar doğru akım çalışmada doğru akım seri motoru, alternatif akım çalışmada ise tek fazlı kollektörlü alternatif akım motoru gibi davranırlar. İki işletme durumu arasındaki fark pek fazla olmamakla birlikte fark daha çok düşük hızlarda görülür [6].

Alternatif akımda rotor akımı, stator akımı ve stator akısı ile aynı fazda ve aynı yönde değişir. Momentin ani değeri değişken olup yönü ise tek yönde olmak üzere sabittir. Alternatif akım işletme durumundaki bazı özellikler doğru akımda kendisini göstermez.

1. Doğru akım işletmede moment M_e olmak üzere:

$$M_e = \frac{Z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \Phi \cdot i_a = K \cdot \Phi \cdot i_a \quad (2.19)$$

Alternatif akım işletmede moment $M_e(t)$ olmak üzere:

$$V_a(t) = V_m \cdot \sin wt \quad (2.20)$$

$$i_a(t) = I_m \cdot \sin wt \quad (2.21)$$

$$\Phi(t) = \Phi_m \cdot \sin wt \quad (2.22)$$

$$M_e(t) = K \cdot \Phi(t) \cdot i(t) = \frac{Z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \Phi(t) \cdot i(t) \quad (2.23)$$

$$M_e(t) = \frac{Z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \Phi_m \cdot I_m \cdot \sin^2 wt \quad (2.24)$$

Ortalama moment ise:

$$\overline{M_e}(t) = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^\pi K \cdot \Phi_m \cdot I_m \cdot \sin^2 wt \cdot dwt = \frac{1}{\pi/w} \cdot \int_0^{\pi/w} K \cdot \Phi_m \cdot I_m \cdot \sin^2 t \cdot dt \quad (2.25)$$

$$\overline{M_e}(t) = \frac{K}{2} \cdot \Phi_m \cdot I_m = K \cdot \Phi_{eff} \cdot i_{eff} \quad (2.26)$$

Doğru akım işletme durumundaki bağıntılar akım ve akının etkin değerleri için alternatif akım işletmesinde aynen uygulanabilir.

Doğru akım işletme durumunda indüklenen gerilimle alternatif akımdaki gerilim arasında aynı ilişki vardır.

$$E_a = \frac{Z \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \Phi \cdot \omega_m = K \cdot \Phi \cdot \omega_m \quad (\text{DC işletme}) \quad (2.27)$$

$$E_a(t) = K \cdot \Phi_m \cdot \omega_m \cdot \sin \omega t \quad (2.28)$$

$$E_{a\text{eff}} = \frac{K}{\sqrt{2}} \cdot \Phi_m \cdot \omega_m = K \cdot \Phi_{\text{eff}} \cdot \omega_m \quad (\text{AC işletme}) \quad (2.29)$$

Akı ve akım arasında demir kayıpları ve fırçaların kısadevre ettiği bobinlerin etkisi nedeniyle bir faz farkı oluşur. Bu faz farkı φ ise:

$$\Phi(t) = \Phi_m \cdot \sin \omega t \quad (2.30)$$

$$i_a(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.31)$$

$$\overline{M_e}(t) = K \cdot \Phi_{\text{eff}} \cdot i_{a\text{eff}} \cdot \cos \varphi \quad (2.32)$$

bağıntısı geçerlidir.

2. Alternatif akım işletmede stator akısı alternatif olduğundan histerezis kayıpları ve eddy akımları oluşumu mevcuttur. Bu yüzden alternatif akımda kayıplar daha fazla olacağından laminasyonlu saç paketleri motorun tüm yapısını oluşturur.

3. Basit bir doğru akım devresinde akım dirençle sınırlıdır. Fakat bir alternatif akım devresinde ise akım empedansla sınırlanır, sadece omik dirençle sınırlanmaz. Empedans, reaktans ve direnç olmak üzere iki bileşenden oluşur. Reaktans alternatif akımda çalışan bir universal motorda belli bir değere kadar mevcuttur. Bu reaktansın meydana getirdiği gerilim düşümü rotora uygulanan gerilimi azaltır; hız düşer ve böylece belli bir akım değerinde motor hızı alternatif akımda doğru akıma oranla daha az olur. Başka bir deyişle belirli bir akımda, rotordaki efektif gerilim değeri alternatif akımda doğru akıma göre daha azdır. Alternatif akımdaki doyma ihmal edilirse $\Phi(dc) = \Phi_{\text{eff}}(ac)$ dir.

$$E_a(dc) = K \cdot \Phi(dc) \cdot w_m(dc) \quad (2.33)$$

$$E_a(ac) = K \cdot \Phi_{eff}(ac) \cdot w_m(ac) \quad (2.34)$$

(2.33) ve (2.34) denklemlerinin oranından

$$\frac{E_a(dc)}{E_a(ac)} \cong \frac{w_m(dc)}{w_m(ac)} \quad (2.35)$$

eşitliği elde edilir.

$$E_a(dc) = V_a - i_a \cdot (r_a + r_f) \quad (2.36)$$

$$E_a(ac) = V_a \cdot \cos \varphi_1 - i_a (r_a + r_f)$$

(2.36) ve (2.37) denklemlerinin oranından

$$\frac{E_a(dc)}{E_a(ac)} = \frac{1 - \left[\frac{i_a \cdot (r_a + r_f)}{V_a} \right]}{\cos \varphi_1 - \left[\frac{i_a \cdot (r_a + r_f)}{V_a} \right]} ; \quad \frac{i_a \cdot (r_a + r_f)}{V_a} \ll 1 \quad (2.37)$$

olduğundan

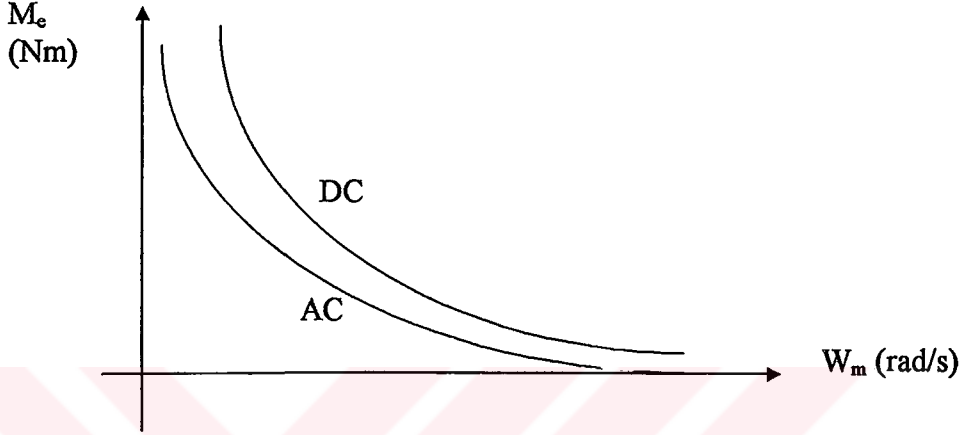
$$\frac{E_a(dc)}{E_a(ac)} = \frac{1}{\cos \varphi_1} > 1 \quad (2.38)$$

eşitliği elde edilir.

(2.35) ve (2.38) denklemlerinden

$$\frac{E_a(dc)}{E_a(ac)} = \frac{w_m(dc)}{w_m(ac)} > 1 \quad (2.39)$$

Aynı uç gerilimi ve rotor akımı, bir başka deyişle aynı moment için, alternatif akım işletme durumunda hız doğru akım işletmeye göre daha küçüktür.



Şekil 2.6 DC ve AC işletme durumları için Hız-Moment grafiği

4. Alternatif akımın belli bir efektif değerinde meydana getirdiği alternatif akı, aynı değerde olan doğru akımın yarattığı akıdan doyma nedeniyle daha azdır. Alternatif akımın ani değeri efektif değerine eşit olduğu anda, magnetik akı aynı değerdeki doğru akımın yaratacağı akıya eşittir, 45° sonra akımın ani değeri efektif değerinin $\sqrt{2}$ katı olan tepe noktasına çıkar. Doymanın etkisi ile akı aynı değerde artmaz, böylece akımın efektif değeri alternatif akımda doğru akıma nazaran daha küçük olur. Düşük akımlarda ve yüksek hızlarda reaktans gerilimi önemsizleşir. Bu durumda doyma etkisi, motorun alternatif akımda doğru akıma göre boşa daha hızlı dönmesine neden olur. 25 Hz' in altında doyma etkisi 60 Hz' deki kadar kuvvetlidir. Fakat reaktans gerilimi 25/60 oranında daha azalır. Sonuç olarak motor bazen 25 Hz' de doğru akıma kıyasla daha hızlı çalışabilir.

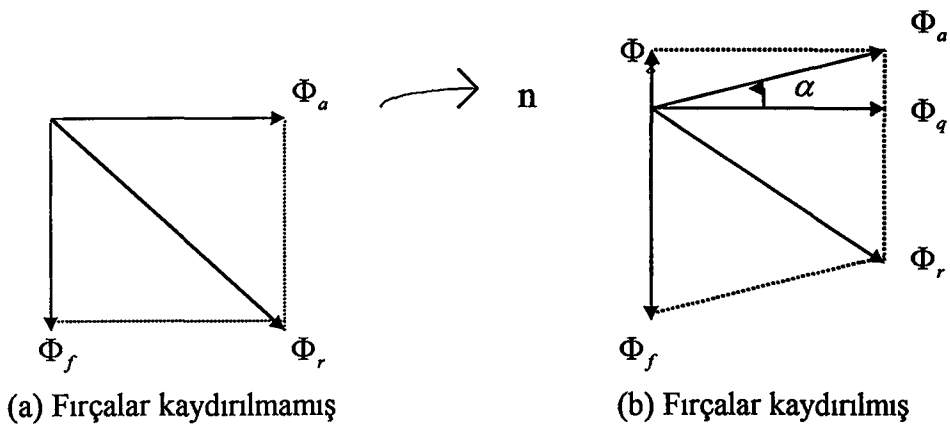
5. Alternatif akımda komutasyon doğru akıma göre daha kötüdür. Bunun en büyük nedeni ise komutasyona giren kısadevre olmuş rotor sargılarında, stator alanının alternatif olarak değişmesi sebebiyle indüklenen transformatör gerilimi söz konusu değildir.

Üniversal motorun sargı empedansı alternatif akımda doğru akıma göre reaktans kadar fazladır. Alternatif beslemede devir sayısı ve akım doğru akımda çalışmaya göre, aynı güçte daha küçüktür. Aynı gerilimde ve yüklemde ise alternatif akımda verim, doğru akım çalışmaya göre daha küçüktür.

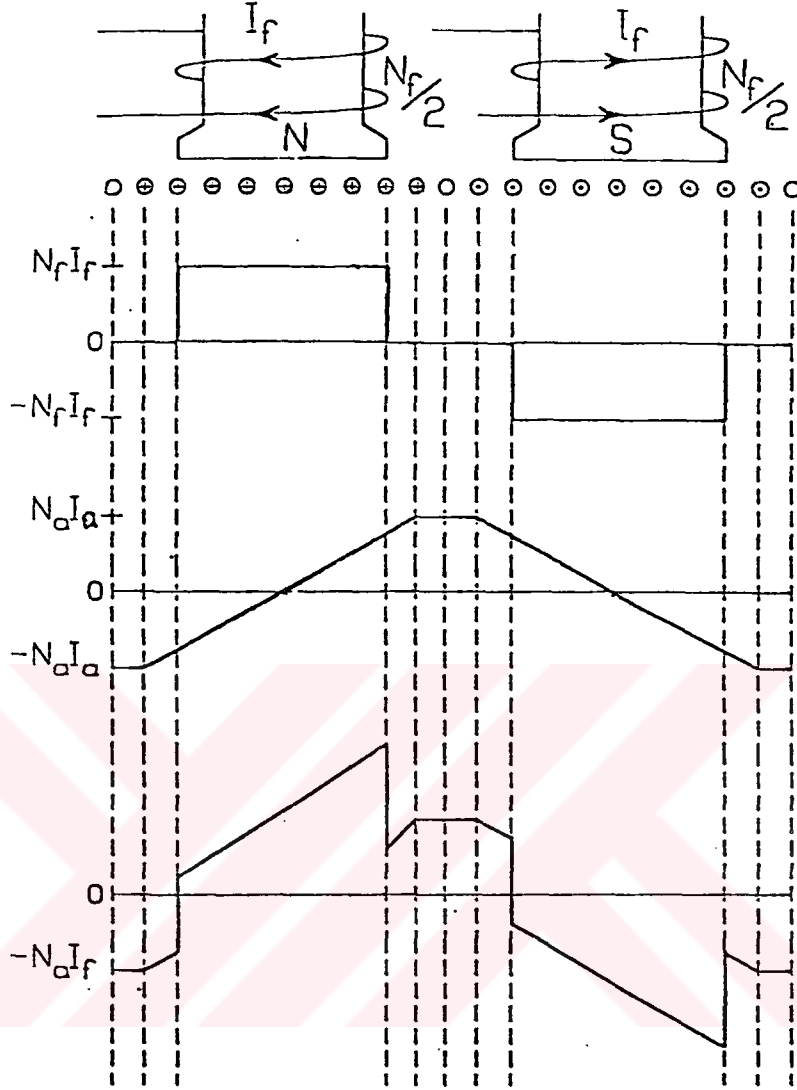
2.6 ENDÜVİ REAKSİYONU

Stator akımı, rotorda paralel kol sayısına bölünerek fırçalar üzerinden rotor iletkenlerine geçer. Rotor iletkenlerinden geçen bu akımın yarattığı rotor alanının, stator akımının yarattığı stator alanına (esas alan) etkisine endüvi reaksiyonu denir.

Üniversal motorlarda genelde kutup sayısı ikidir. ($2p=2$) Bu yüzden geometrik nötr bölge motoru yatayda tam ortadan kesen eksendir. Magnetik nötr bölge ise şekil 2.8' den görüldüğü gibi bileşke alanın sıfır olduğu yerdir. Bu şekilde fırçalar geometrik nötr eksene yerleştirilmiştir. Rotorda sargılar fırçalardan dolayı tek sargı gibi düşünülebilir [7]. Bu sargıdan geçen akımda tek bir akım gibi düşünülebileceğinden bu akımın yarattığı rotor alanının yönü sabit ve fırça ekseninde olacaktır. Dolayısıyla şekil 2.7a'daki gibi rotor alanı stator alanına dik olacaktır. Bileşke alan stator alanı ve rotor alanının toplamı olacağından, bu alan şekil 2.7b' den görüldüğü gibi geometrik nötr bölgeden belli bir açı gerisinde artarken, kutup ayağı çıkışında azalır. Ayrıca bileşke alanın sinüs formundan uzak oluşu bu alanın birçok harmonik içermesi anlamına gelir. Simetriden dolayı hava aralığı akısında tek harmonikler bulunur. Kutup ayağı şeklini değiştirmek, stator ve rotor amper sarımlarını ayarlamak harmonikleri azaltır [6].



Şekil 2.7 Fırça kaydırma durumundaki alan şekilleri



Şekil 2.8 Endüvi Reaksiyonu

Rotordaki olukların sayısı arttırılırsa alan şekli trapezden üçgene yaklaşır. Ancak kutuplar arasında relüktans büyük olduğundan akı (Φ) dolayısıyla rotor alanı küçülür. Yani alan iki kutup arasında azalma gösterir.

Fırçalar geometrik nötr eksen üzerinde bulunduğu zaman komutasyonda bulunan bobinlerde bozulmuş hava aralığı akısı sebebiyle bir gerilim indüklenir. Bu gerilim ve bazı diğer etkenlerden dolayı fırçalarda kıvılcım meydana gelir. Bu kıvılcımlar ise fırça ömrünü azaltır ve kollektörlerin vakitsiz harap olmasına neden olur. Bu duruma mani olmak için fırçalar motor dönüş yönünün ters istikametinde α açısı kadar kaydırılarak magnetik nötr bölgeye yerleştirilir. Ancak bu durumda

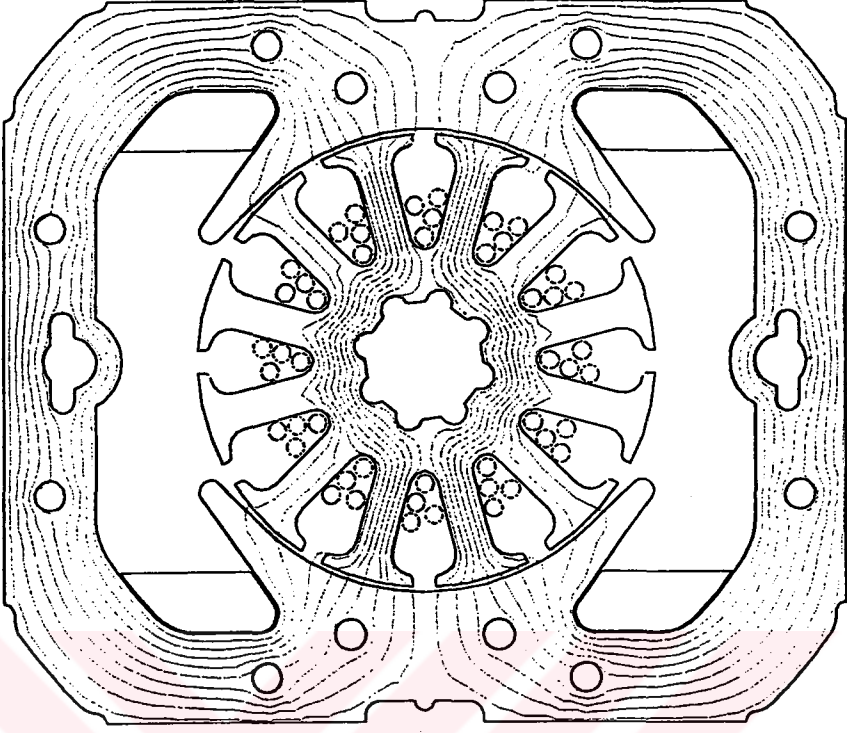
rotor alanının Φ_g boyuna bileşeni stator alanını zayıflatır, dolayısıyla bileşke alan azalır. Bu durumda bileşke akının küçülmesi $V_1 = E + \sum \Delta U$ eşitliğinde V_1 gerilimi sabit, $E = k_e \cdot n \cdot \Phi$ ($k_e = \text{sabit}$) olduğundan n devir sayısı artar. Böylece fırçalar geometrik nötr bölgeden magnetik nötr bölgeye kaydırılarak fırçaların kıvılcım yapması önlenirse bile motor devir sayısı artar. Ayrıca nötr bölge yüke bağlıdır. bu yüzden her yük için fırça kaydırmasının ayarlanması gerekir. Buda fırçaların yerlerinin devamlı olarak değiştirilmesine neden olacaktır.

Endüvi reaksiyonunu önlemek için fırça kaydırmasından başka yöntemlerde bulunmaktadır:

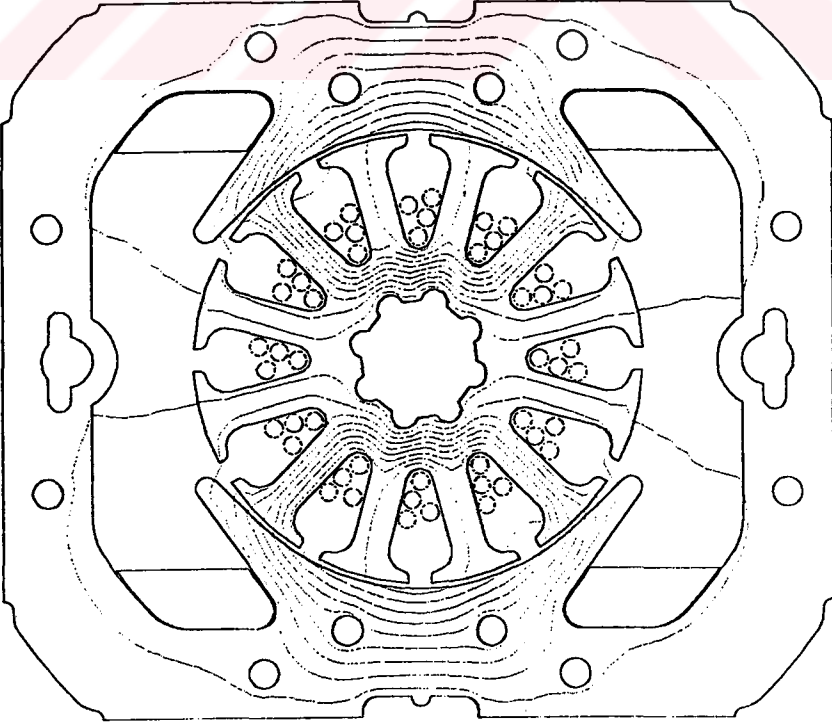
- a. Kompanzasyon sargısı (kutup ayaklarına açılan oluklara yerleştirilir.)
- b. Yardımcı kutuplar.

Gerek kompanzasyon sargısı ve gerekse yardımcı kutuplar motor maliyetini arttırdığından, özellikle universal motorlarda endüvi reaksiyonunu önlemek için kullanılmazlar. Ayrıca universal motorun boyutlarının küçük olması nedeniyle uygulama zorlukları vardır.

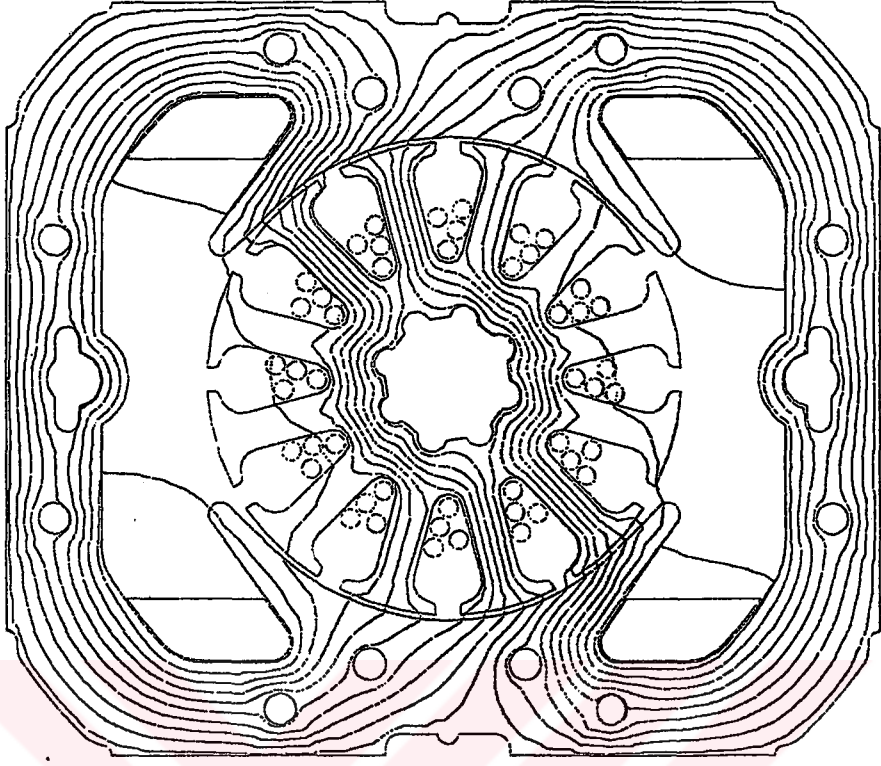
Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla elde edilen stator alanı, rotor alanı ve bileşke alana ait akı çizgilerinin şekilleri [1] aşağıda gösterilmiştir. Bu şekiller SENUR Elektrik motorları A.Ş. tarafından üretilen Islak-Kuru isimli motorun, Magnet 5.0 isimli sonlu elemanlar paket programı ile benzetişimi sonucu elde edilmiştir. Motorun simülasyonu nominal yükte ve 50 Hz. uyarma frekansı ile gerçekleştirilmiştir. Üniversal motorun sonlu elemanlar yöntemi ile magnetik alan incelemesi aynı çalışma grubu içerisinde bulunduğumuz Elek. Müh. Cüneyt Öncüoğlu tarafından yapılmıştır [8].



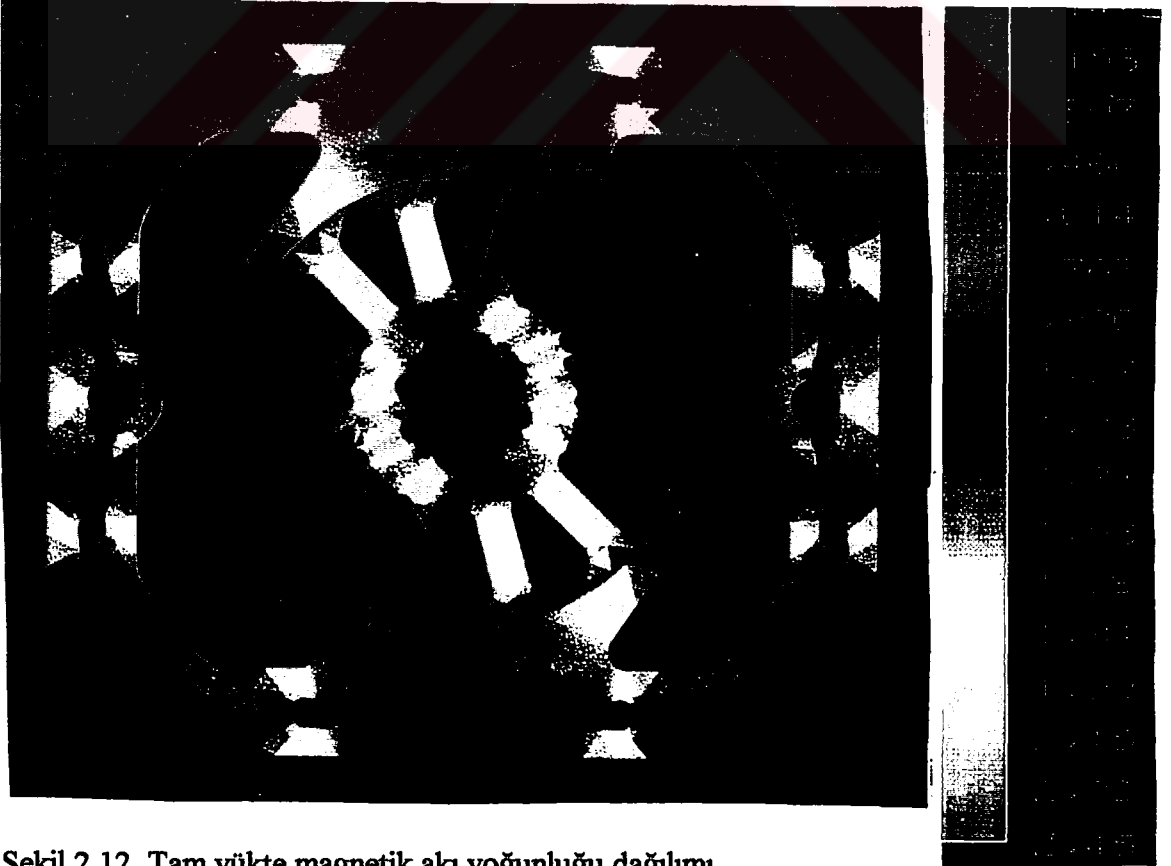
Şekil 2.9 Stator alanına ait akı çizgileri



Şekil 2.10 Rotor alanına ait akı çizgileri



Şekil 2.11 Bileşke alana ait akı çizgileri



Şekil 2.12 Tam yükte magnetik akı yoğunluğu dağılımı

2.7 KOMUTASYON

Kollektör lamelleri fırçaların altından geçerken bunlara bağlı bobinlerde akımın yön değiştirmesi olayına komutasyon denir. Fırça altında kısadevre olmuş bobinlerde, komutasyon sırasında akım yön değiştirir. Kısadevre olmuş bobinin özendüktansı, bobinde akıma karşı gelecek yönde bir elektromotor kuvvet (emk) oluşturur ($e = L \cdot \frac{di}{dt}$). Bu gerilim akımın yön değiştirmesini yavaşlatır ve kollektör lameli fırçayı terk ederken kıvılcım oluşmasına neden olur. Böylece bu reaktans gerilimi iyi bir komutasyonu bozar. Bu gerilimin genliği sargı sarım sayısının karesi, akım ve rotorun hızı ile orantılı, magnetik yolun relüktansı ile ters orantılıdır. Eğer aynı olukta bulunan iki bobin yanı aynı zamanda komutasyonda bulunuyorsa, özendüktans terimine bir de karşıt endüktansın oluşturduğu gerilim eklenir.

$$\text{Reaktans gerilimi} = L_{11} \cdot \frac{di_1}{dt} + M_{12} \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.40)$$

Komutasyon altındaki bobinde oluşan reaktans gerilimi, $e = L \cdot \frac{di}{dt}$ eşitliğinden anlaşılacağı üzere bobindeki akımın yön değiştirmesi ile oluşur. Hava aralığı akısının indüklediği gerilimle ilgisi yoktur. Fırçaların nötr eksene kaydırılmasının reaktans gerilimine etkisi olmaz. Reaktans gerilimini azaltacak şekilde ters bir gerilim indüklenmesi için fırçalar magnetik nötr bölgenin, akının sıfır olmadığı, biraz daha gerisine kaydırılabilir. Bu noktada hava aralığı akısı reaktans gerilimine ters yönde bir emk indükler. Böylece reaktans geriliminin etkisi azaltılarak kıvılcım azaltılabilir.

İdeal bir komutasyon için gerekli olan koşullar:

1. Fırça genişliğinin kollektör lamel genişliğine eşit olması
2. Fırça altında sabit bir akım yoğunluğu
3. Reaktans geriliminin sıfır olması
4. kollektör lamel izolasyonlarının dışarı taşmaması.

Komutasyon sırasında kısadevre olan bobindeki akıma etki eden faktörler:

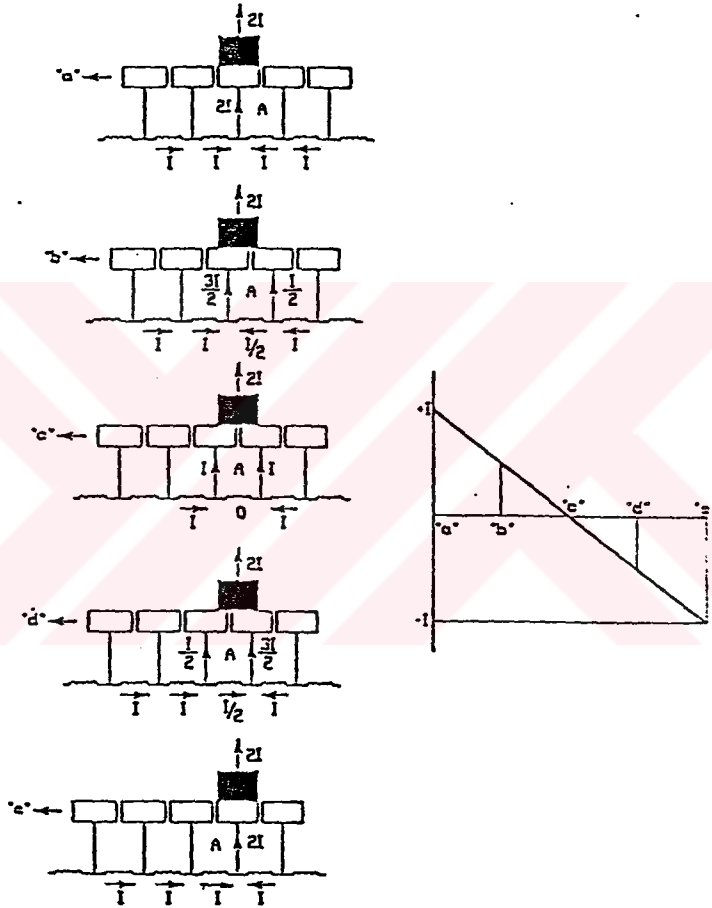
$$L_1 \cdot \frac{di_a}{dt} = M_{12} \cdot \frac{di_b}{dt} + i_a \cdot (r_c + r_b + 2r_g) + e = 0 \quad (2.41)$$

r_g : Fırça bağlantı direnci

r_c : Kısa devre olan bobinin direnci

r_b : Fırça direnci

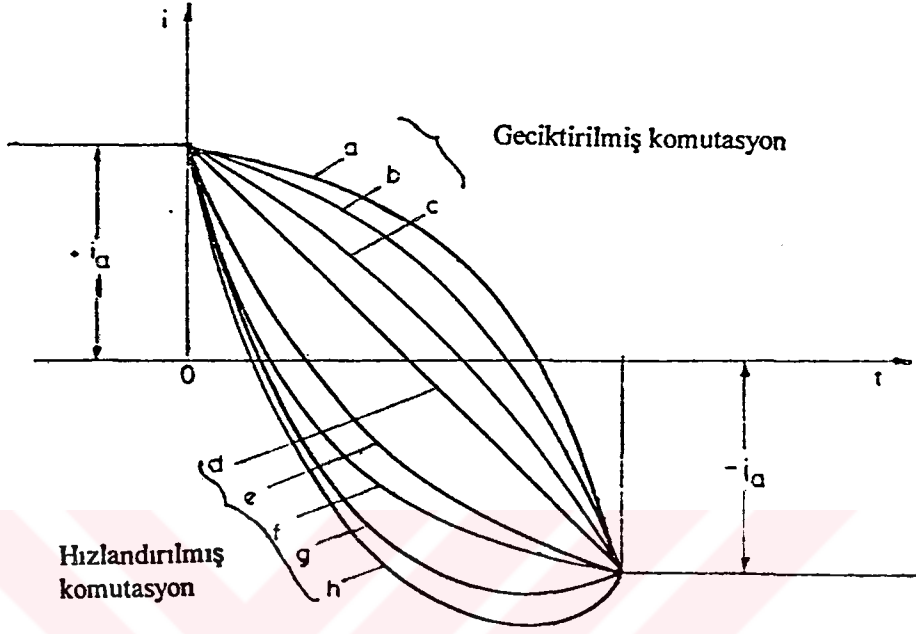
e : Rotor ve stator alanlarının indüklediği hareket emk.



Şekil 2.14 Lineer komutasyon

Şekil 2.15 görüldüğü üzere geciktirilmiş ve hızlandırılmış komutasyon e' nin pozitif veya negatif olmasına göre çizilmiştir. e pozitif ise özendüktans elektromotor kuvveti komutasyonu destekler, yani komutasyon gecikerek kıvılcım oluşur. e negatif

ise özendüktans elektromotor kuvveti komutasyona ters etki ederek komutasyonu hızlandırır ve iyi bir komutasyon oluşması sağlanır [10]



Şekil 2.15 Geciktirilmiş ve hızlandırılmış komutasyon

Komutasyona giren bobinde indüklenen elektromotor kuvvetlerin komutasyon üzerine etkileri:

1. Özendüklenen emk yani $L \frac{di}{dt}$ komutasyonu geciktirici olarak tesir eder.

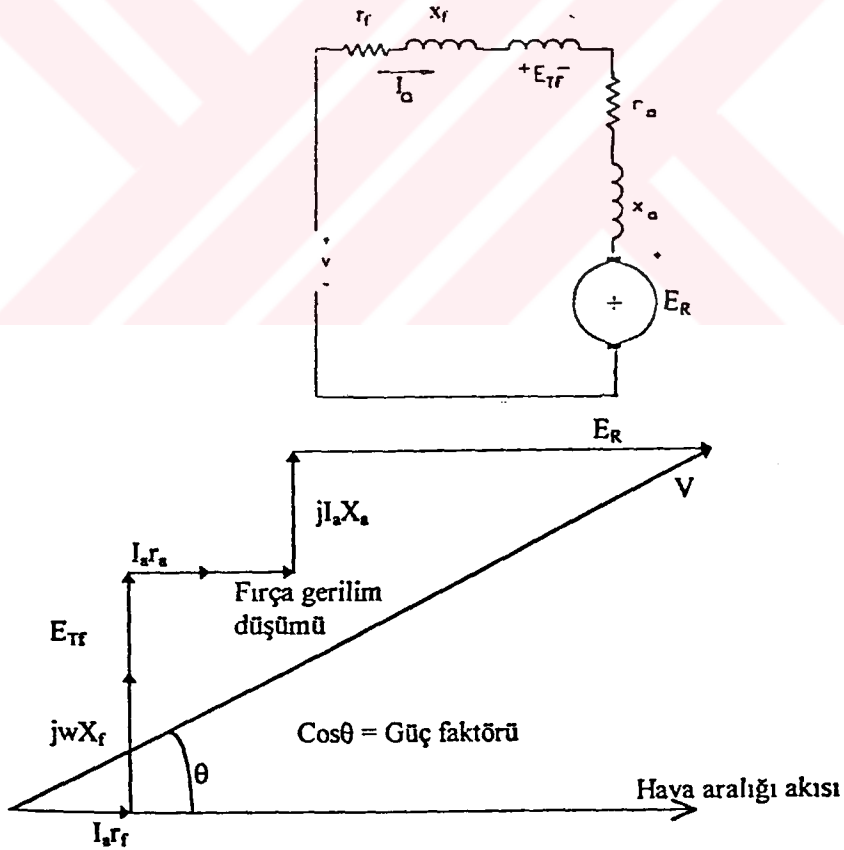
Komutasyon süresinde akım $+i$ den $-i$ ye geçerken bobinin dağılma akısının değişmesine sebep olmaktadır. Bu da bobinde bir özendükleme emk oluşturmaktadır. Lenz kanununa göre bu, akımın değişmesine mani olmaya çalışır ve bu suretle komutasyon yavaşlar.

2. Uyarma (esas) alan komutasyonu hızlandırır. Özellikle fırçaları kaydırılmış makinalarda bu durum mevcuttur. Motorlarda fırçaları devir yönünün aksinde kaydırmak suretiyle özendüklem elektromotor kuvvetinin komutasyonu geciktirme tesirini önleyebiliriz.

3. Rotor alanı komutasyonu geciktiricidir. Rotor alanının komutasyon ve esas alan eğrisinin bozulmaması için kuvvetlendirilmemesi gereklidir.

Seri alternatif akım motorunun basit fazör diyagramı şekil 2.17'de verilmiştir. Stator ve rotorda oluşan gerilim düşümleri şunlardır:

1. Rotor ve stator sargı dirençleri üzerinde oluşan gerilimler,
2. Rotor ve stator akımlarının kaçak akıların oluşturduğu gerilimler,
3. Rotor transformatör gerilimi (Hız gerilimi E_g 'nin yanında küçük olduğu için fazör diyagramında gösterilmemiştir,
4. Stator transformatör gerilimi (E_f)
5. Kollektör ve fırça düzeninin gerilim düşümü,
6. Hız gerilimi (E_g). Magnetik akı sinüzoidal değiştiği için E_g sinüsoidal olarak değişir.



Şekil 2.17 Üniversal motorun alternatif akım çalışmada fazör diyagramı ve basit eşdeğer devre modeli.

Faraday kanunundan:

$$e_{Tf} = N_f \cdot \frac{d\Phi_m}{dt} \quad \Rightarrow \quad \Phi_m = \frac{1}{N_f} \cdot \int e_{Tf} \cdot dt \quad (2.42)$$

$$N_f : \text{Stator sarım sayısı} \quad (2.43)$$

$$e_{Tf} = \sqrt{2} \cdot E_{Tf} \cdot \sin(\omega t + \alpha) \quad (2.44)$$

$$\Phi_m = \frac{\sqrt{2} \cdot E_{Tf}}{N_f \cdot \omega} \cdot \cos(\omega t + \alpha) + \Phi_c \quad (2.45)$$

İntegral sabiti olan Φ_c geçici hal durumunda vardır. Sürekli halde bu katsayı değeri sıfırdır. Buradan sürekli halde;

$$\Phi_m = \frac{\sqrt{2} \cdot E_{Tf}}{N_f \cdot \omega} \cdot \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.46)$$

$$\Phi_m = \Phi_{m \max} \cdot \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.47)$$

$$\Phi_{m \max} = \frac{\sqrt{2} \cdot E_{Tf}}{N_f \cdot \omega} \quad (2.48)$$

$$E_{Tf} = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot \pi \cdot f \cdot N_f \cdot \Phi_{m \max} = 4,44 \cdot f \cdot N_f \cdot \Phi_{m \max} \quad (\text{efektif değer}) \quad (2.49)$$

Bu denklem genel transformatör gerilimi denklemidir.

2.8.1 Kayıplar

Bütün elektrik makinalarında olduğu gibi üniversal motorlarda da gönderilen enerjinin bir kısmı ısıya çevrilerek, esas kullanıma amacından alıkonulur. Yani enerjinin bir kısmı kaybolur. Kayıpların meydana geliş şekline göre aşağıdaki ayrım yapılabilir.

- Rotor ve stator sargılarının omik dirençleri ile fırça geçiş direncinden ötürü meydana gelen bakır kayıpları,
- Histerezis ve foucault (girdap) akımları dolayısıyla meydana gelen demir kayıpları,

- c. Sürtünme ve vantilasyon dolayısıyla meydana gelen kayıplar,
- d. Ek kayıplar

a. Bakır Kayıpları: Rotor akımının geçtiği sargılarda meydana gelen bakır kayıplarını en genel bir şekilde aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$P_{cu} = i_a^2 \cdot (r_a + r_f + 2r_g) \quad (\text{Watt})$$

(2.50)

i_a : Rotor akımı (Amper)

r_a : Toplam rotor sargı direnci (Ohm.)

r_f : Toplam stator sargı direnci (Ohm.)

r_g : Fırçanın geçiş direnci (Ohm.)

b. Demir Kayıpları: Universal motorlarda hava aralığından geçip rotora giren magnetik akının birbirini izleyen kutuplarda periyodik olarak yön değiştirmesi dolayısıyla, rotor saç paketinde demir parçacıklarının periyodik olarak iki değişik yönde mıknatıslanmasına sebep olur ve bundan ötürü de buralarda histerezis ve foucault akım kayıpları meydana gelir. Rotorda sargı elemanlarının oluklara yerleştirilmiş olması dolayısıyla, oluk ve dişlerden ötürü kutup tabanlarında alan pulzasyonları meydana gelir ve bu da buralarda foucault akımlarının meydana gelmesine ve bunun sonucu olarak da kutup tabanının ısınmasına sebep olur.

Histerezis kayıpları yüzey büyüklüğü ile ve saniyedeki mıknatıslanma yön değişimi ile orantılıdır. Histerisiz kayıpları saç kalınlığına bağlı değildir. Periyodik olarak mıknatıslanmanın yön değiştirmesi ile demirde elektromotor kuvvetler indüklenir. Bu emk'ler dolayısıyla demirde akımlar akarak foucault akım kayıplarının meydana gelmesine sebep olurlar. Bu akımları ve dolayısıyla bunların meydana getirdiği kayıpları mümkün olduğu kadar küçültmek amacı ile demir kısımlar birbirinden yalıtılmış ve düzlemleri endüksiyon çizgilerine paralel olarak yerleştirilmiş ince saç levhalardan oluşturulur.

Kutup tabanlarındaki alan pulzasyonundan ötürü meydana gelen yüzey ve pulzasyon kayıpları ilave demir kayıpları oluşturur.

c. Sürtünme Kayıpları: Sürtünme kayıpları dendiğinde yatak sürtünmesi, hava sürtünmesi (ventilasyon) ve fırça sürtünmesinden ileri gelen kayıplar anlaşılır.

1. Yatak sürtünmesinden ileri gelen kayıplar : Yatak kayıpları yatak sıcaklık derecesi ile ters orantılıdır. Makinanın ilk harekete geçmesinde bu kayıplar büyük olur ve yatak ısındıkça kayıplar azalır. Bu kayıplar yatakların bilezikli, bilyalı veya rulmanlı olmasına göre değişiklik göstermesine karşılık, yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntıdan hesap edilir.

$$T_y = 0,173 \cdot 10^{-5} \cdot D_a^2 \cdot L_i \cdot n^{0,4} \quad (\text{Nm.}) \quad (2.51)$$

D_a : Rotor çapı (cm.)

L_i : Saç paket uzunluğu (cm.)

n : Motor hızı (d/d)

2. Hava sürtünmesi veya ventilasyon kayıpları : Rotor ve sargı başlarının hava içindeki hareketleri sonucunda meydana gelen kayıplara hava sürtünmesi veya ventilasyon kayıpları denir. Ventilasyon kayıplarının hassas bir şekilde hesap edilmesi çok güçtür. Yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntıdan hesap edilir.

$$T_h = 0,21435 \cdot 10^{-10} \cdot D_a^{3,5} \cdot L_i \cdot n^{1,5} \quad (\text{Nm.}) \quad (2.52)$$

3. Fırça sürtünmesinden ileri gelen kayıplar : Fırçaların kollektör yüzeyi ile temasından dolayı oluşan kayıplardır ve yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntıdan hesap edilir.

$$T_f = 2,0433 \cdot 10^{-2} \cdot \left[0,23 - (1,0315 \cdot 10^{-6} \cdot D_c \cdot n) \right] \cdot P_b \cdot t_{br} \cdot w_{br} \cdot D_c \quad (\text{Nm.}) \quad (2.53)$$

D_c : Kollektör çapı (cm.)

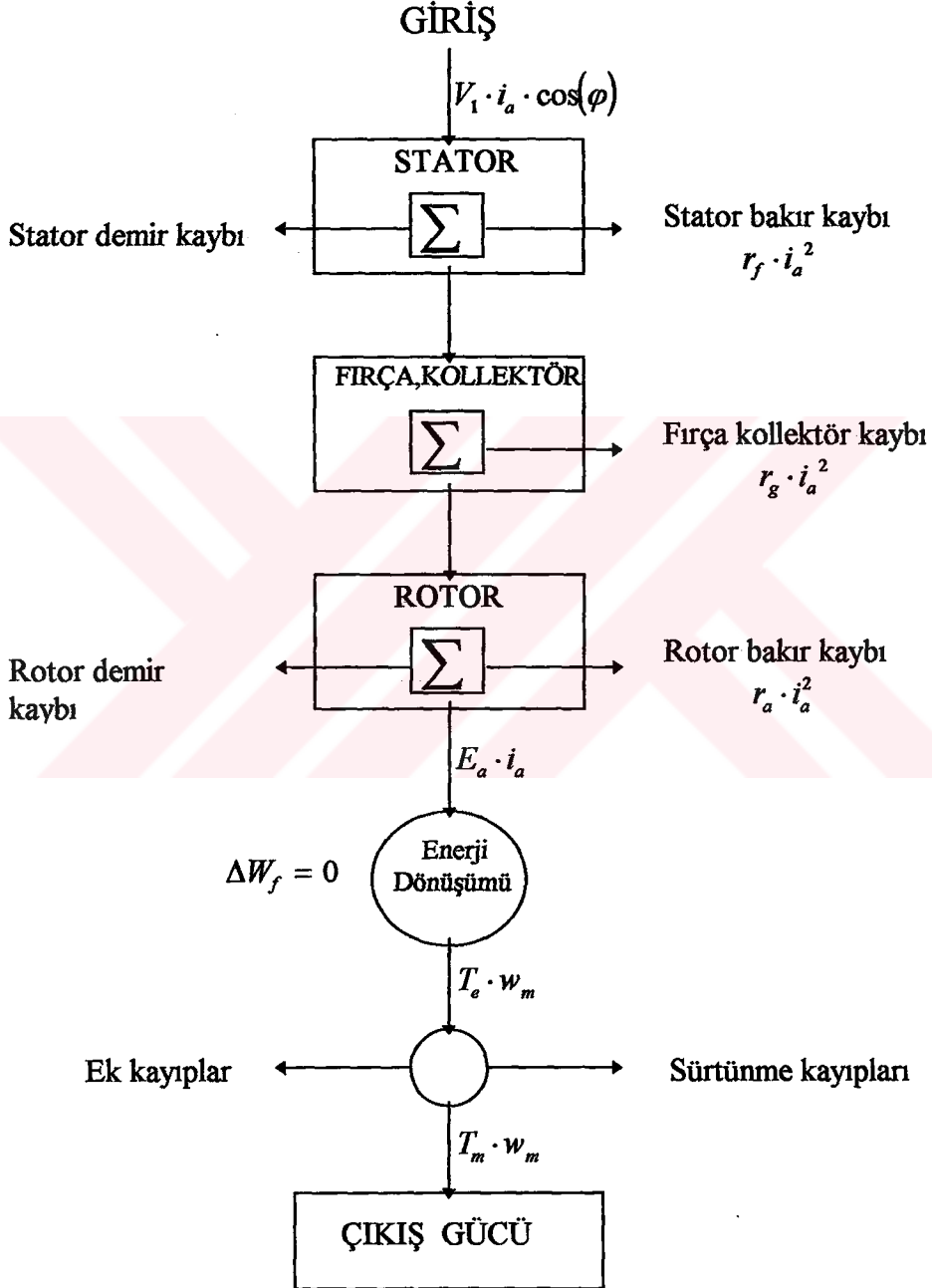
P_b : Fırça basıncı (kg/cm^2)

t_{br} : Fırça kalınlığı (cm.)

w_{br} : Fırça boyu (cm.)

d. Ek Kayıplar : Bu kayıplar endüvi reaksiyonu ve komutasyon sırasında akımın yön değiştirmesi sonucu oluşan kayıplardır ve tam olarak ölçülemezler.

2.8.2 Güç Akış Diyagramı



2.8.3 Verim

Toplam kayıplar,

$$\sum P_k = \sum P_{cu} + \sum P_{fe} + \sum P_{stm} + \sum P_{ek} \quad (2.54)$$

$\sum P_{cu}$: Toplam bakır kayıpları (Watt)

$\sum P_{fe}$: Toplam demir kayıpları (Watt)

$\sum P_{stm}$: Toplam sürtünme kayıpları (Watt)

$\sum P_{ek}$: Toplam ek kayıplar (Watt)

η : Motor verimi olmak üzere

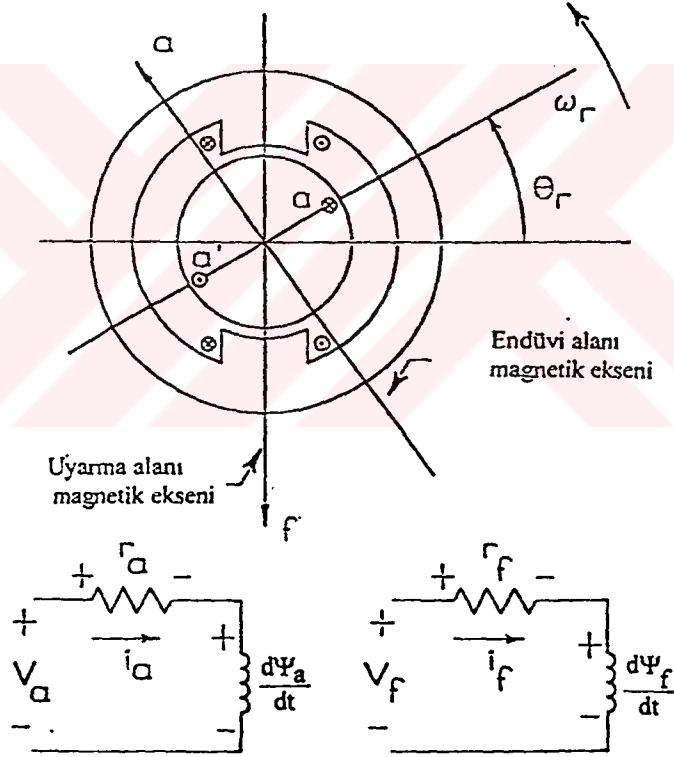
$$\eta = \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} = \frac{P_{\text{giriş}} - \sum P_k}{P_{\text{giriş}}} = \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{çıkış}} + \sum P_k} = \frac{P_{mek}}{P_{mek} + \sum P_k} \quad (2.55)$$

BÖLÜM 3

ÜNİVERSAL MOTORUN GENELLEŞTİRİLMİŞ DEVRE MODELİ

3.1 EŞDEĞER DEVRE MODELİ

a indisi rotor(endüvi) denklemlerini, f indisi stator(uyarma) denklemlerini göstermek üzere şekil 3.1 için denklemler geliştirilmiştir.



Şekil 3.1 Eşdeğer devrenin bulunması için kullanılan universal motor modeli

V_a : Rotora uygulanan gerilim,

V_f : Statora uygulanan gerilim,

r_a, r_f : Rotor ve stator dirençleri,

i_a, i_f : Rotor ve stator akımları,

$p = d / dt$: Diferansiyel operatörü.

$$\lambda = L \cdot i$$

$$V = r \cdot i + \frac{\partial \lambda}{\partial t} + \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} \Rightarrow V = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{\partial L}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot i \quad (3.1)$$

genel denklemlerinden yararlanılarak;

Fırça kaydırmasının bulunmadığı durumda,

$$V_a = r_a \cdot i_a + p\lambda_a \quad (3.2)$$

$$V_f = r_f \cdot i_f + p\lambda_f \quad (3.3)$$

$$\lambda_a = L_{aa} \cdot i_a + L_{af} \cdot i_f \quad (3.4)$$

$$\lambda_f = L_{fa} \cdot i_a + L_{ff} \cdot i_f \quad (3.5)$$

$$\lambda_{aa} = N_a \cdot \Phi_a = N_a \cdot \frac{N_a \cdot i_a}{\Re_{aa}} = \frac{N_a^2 \cdot i_a}{\Re_{aa}} = L_{aa} \cdot i_a \quad (3.6)$$

$$L_{aa} = \frac{N_a^2}{\Re_{aa}} \quad (3.7)$$

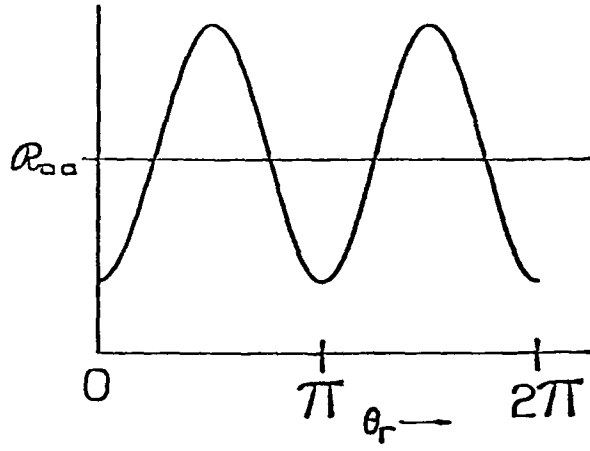
$$\lambda_{af} = N_a \cdot \Phi_f = N_a \cdot \frac{N_f \cdot i_f}{\Re_{af}} = L_{af} \cdot i_f \quad (3.8)$$

$$L_{af} = L_{fa} = \frac{N_a \cdot N_f}{\Re_{af}} \quad (3.9)$$

$$V_a = r_a \cdot i_a + i_a \cdot pL_{aa} + L_{aa} \cdot pi_a + i_f \cdot pL_{af} + L_{af} \cdot pi_f \quad (3.10)$$

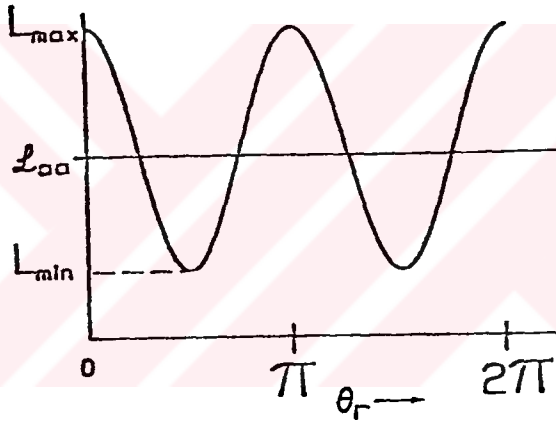
$$V_f = r_f \cdot i_f + i_a \cdot pL_{fa} + L_{fa} \cdot pi_a + i_f \cdot pL_{ff} + L_{ff} \cdot pi_f \quad (3.11)$$

Burada N_a rotor sarım sayısı, N_f stator sarım sayısı L_{aa} rotor özendüktansı, $L_{af} = L_{fa}$ karşıt endüktansları, L_{ff} stator özendüktansını gösterir. Endüktansların θ , konumuna göre değişimleri;

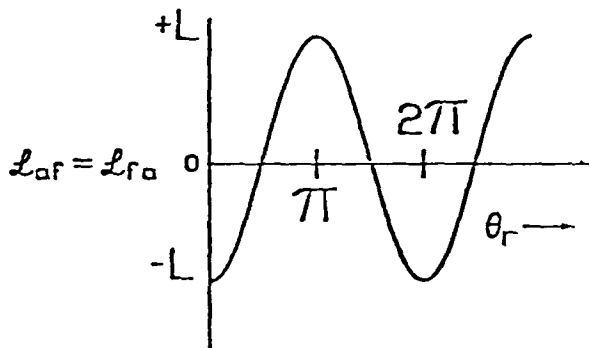


Şekil 3.2 Rotor relüktansının θ_r 'ye bağlı değişim eğrisi

$$L_{aa} = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(2\theta_r) \quad (3.12)$$



Şekil 3.3 Rotor özendüktansının θ_r 'ye bağlı değişim eğrisi



Şekil 3.4 Karşit endüktansın θ_r 'ye bağlı değişim eğrisi

$$L_{af} = L_{fa} = -L \cdot \cos(\theta_r) \quad (3.13)$$

$$L = \frac{N_a \cdot N_f}{\mathfrak{R}_{af}} \quad (3.14)$$

Stator alanının özendüktansı konumdan bağımsızdır,

$$L_{ff} = \frac{N_f^2}{\mathfrak{R}_f} = \text{sabit} \quad (3.15)$$

$L_{aa}, L_{af}, L_{fa}, L_{ff}$ ifadeleri V_a ve V_f denklemlerinde yerine koyulursa;

$$V_a = r_a \cdot i_a + i_a \cdot \frac{d}{dt} \left[\frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(2\theta_r) \right] + \left[\frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(2\theta_r) \right] \frac{di_a}{dt} + i_f \cdot \frac{d}{dt} [-L \cdot \cos(\theta_r)] - L \cdot \cos(\theta_r) \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (3.16)$$

$$V_f = r_f \cdot i_f + i_a \cdot \frac{d}{dt} [-L \cdot \cos(\theta_r)] - L \cdot \cos(\theta_r) \cdot \frac{di_a}{dt} + i_f \cdot \frac{dL_{ff}}{dt} + L_{ff} \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (3.17)$$

$L_{ff} = \text{sabit}$ olduğundan $\frac{dL_{ff}}{dt} = 0$ olacaktır. Dolayısıyla

$$V_f = r_f \cdot i_f + i_a \cdot w_r \cdot L \cdot \sin(\theta_r) - L \cdot \cos(\theta_r) \cdot \frac{di_a}{dt} + i_f \cdot \frac{dL_{ff}}{dt} + L_{ff} \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (3.18)$$

Fırça kaydırmasının bulunduğu durumda,

α fırça kaydırma açısı olmak üzere:

$$L_{af} = L_{fa} = -L \cdot \cos(\theta_r) = \text{sabit} \quad (3.19)$$

$$\theta_r = 90^\circ + \alpha = \text{sabit} \quad (3.20)$$

olup (3.16), (3.18) denklemlerinde yerine koyulursa;

$$V_a = r_a \cdot i_a - w_r \cdot (L_{\min} - L_{\max}) \cdot \sin(2\alpha) \cdot i_a + \left[\frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} - \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(2\alpha) \right] \cdot \frac{di_a}{dt} + w_r \cdot L \cdot \cos(\alpha) \cdot i_f + L \cdot \sin(\alpha) \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (3.21)$$

$$V_f = r_f \cdot i_f + L_{fa} \cdot \frac{di_a}{dt} + L_{ff} \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (3.22)$$

$$L_{af1} = L \cdot \cos(\alpha) \quad (3.23)$$

$$L_{af2} = L \cdot \sin(\alpha) \quad (3.24)$$

$$L_{aa2} = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} - \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(2\alpha) \quad (3.25)$$

$$L_{aa1} = (L_{\min} - L_{\max}) \cdot \sin(2\alpha) \quad (3.26)$$

$$L = \frac{N_a \cdot N_f}{\mathfrak{R}_{af}} \quad (3.27)$$

$$\sin(180^\circ + 2\alpha) = -\sin(2\alpha)$$

$$\cos(180^\circ + 2\alpha) = -\cos(2\alpha)$$

$$\sin(90^\circ + \alpha) = \cos(\alpha)$$

$$\cos(90^\circ + \alpha) = -\sin(\alpha)$$

$$V_a = r_a \cdot i_a - w_r \cdot L_{aa1} \cdot i_a + L_{aa2} \cdot \frac{di_a}{dt} + w_r \cdot L_{af1} \cdot i_f + L_{af2} \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (3.28)$$

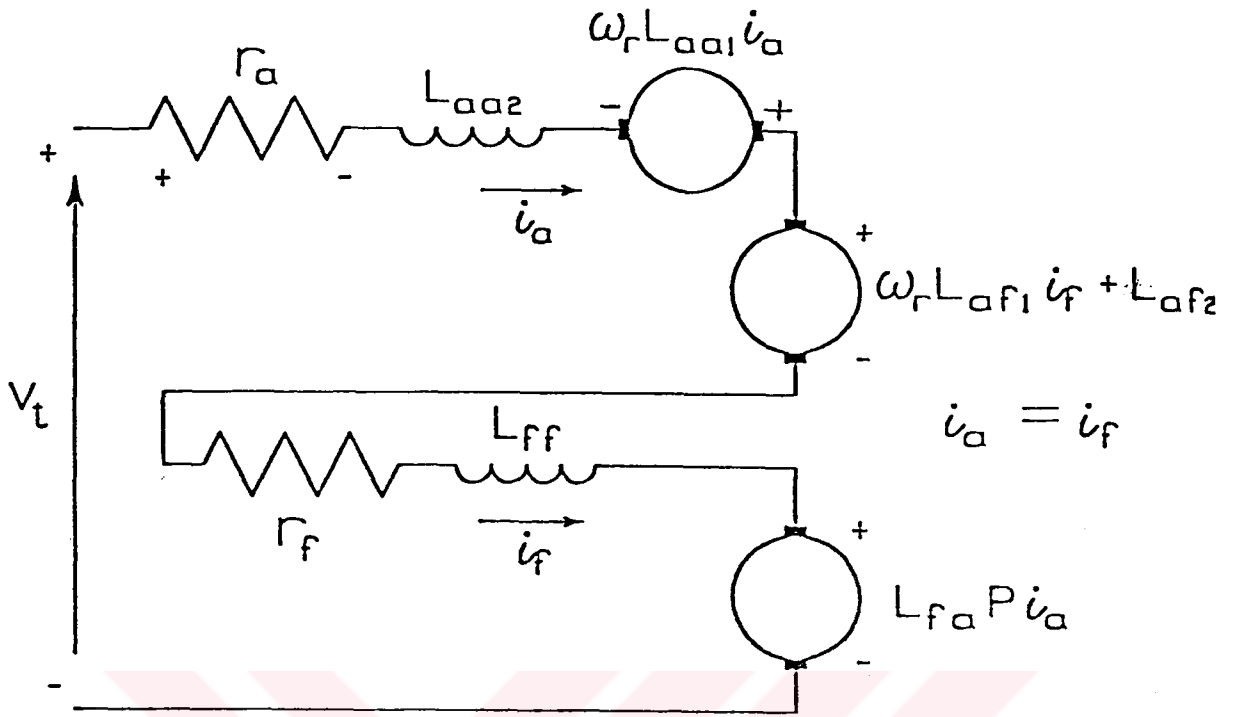
$$V_f = r_f \cdot i_f + L_{fa} \cdot \frac{di_a}{dt} + L_{ff} \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (3.29)$$

$$V_t = V_a + V_f \quad (3.30)$$

$$V_t = r_a i_a - w_r L_{aa1} i_a + L_{aa2} \frac{di_a}{dt} + w_r L_{af1} i_f + L_{af2} \frac{di_f}{dt} + r_f i_f + L_{fa} \frac{di_a}{dt} + L_{ff} \frac{di_f}{dt} \quad (3.31)$$

$$i_f = i_a \quad (3.32)$$

$$\frac{di_f}{dt} = \frac{di_a}{dt} \quad (3.33)$$



Şekil 3.5 Üniversal motorun eşdeğer devresi

BÖLÜM 4

ÜNİVERSAL MOTORUN EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİNİN BULUNMASI İÇİN YAPILAN DENEYLER

4.1 A TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN ENDÜKTANS DENEYLERİ

4.1.1 DENEY 1:

Deneyin Amacı : Stator sargı özendüktansı ve stator akısının çeşitli akımlardaki değerlerinin deneysel olarak bulunması.

Deneyin Yapılışı: Bir fazlı universal motorun stator sargıları, rotor sargıları ayrı konumda iken 50Hz. alternatif gerilimle besleniyor. Stator ve rotor akı değerlerinin bulunabilmesi için stator kutbuna ve rotor çekirdeğine sarım sayıları 10 olan ölçü bobinleri yerleştiriliyor. Statora uygulanan gerilim değiştirilerek, her gerilim için stator akımı, stator ve rotor ölçü bobinlerinde indüklenen gerilimler ölçülüyor.

Hesaplamalarda kullanılan denklemler:

$$E_{f\phi} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_f \quad (4.1)$$

$$E_{a\phi} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_m \quad (4.2)$$

$$L_{ff} = \frac{\psi}{i_f} = \frac{N_f \cdot \Phi_m}{\sqrt{2} \cdot i_f} \quad (4.3)$$

$E_{f\phi}$: Stator ölçü bobininde indüklenen gerilim

$E_{a\phi}$: Rotor ölçü bobininde indüklenen gerilim

N : Ölçü bobinin sarım sayısı

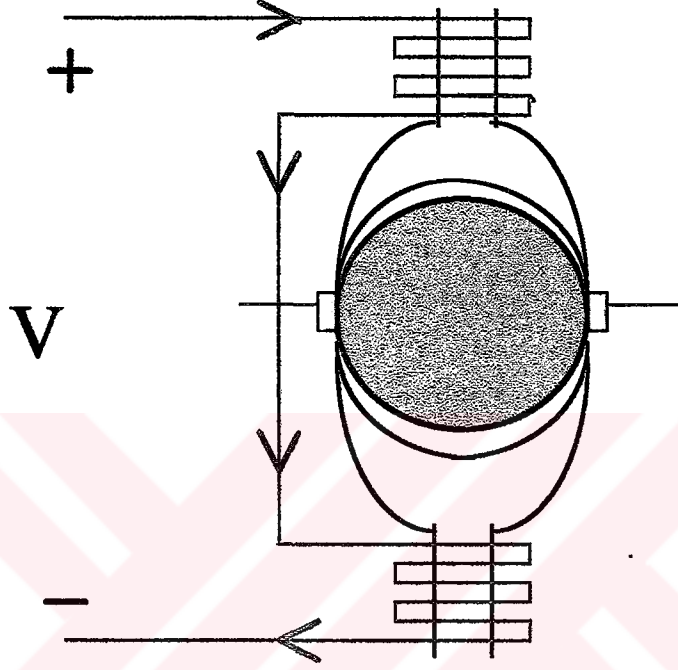
Φ_f : Stator sargısının akı değeri

Φ_m : Rotor sargısının akı değeri

L_{ff} : Stator sargısının özendüktansı

N_f : Stator sarım sayısı

i_f : Stator akımı

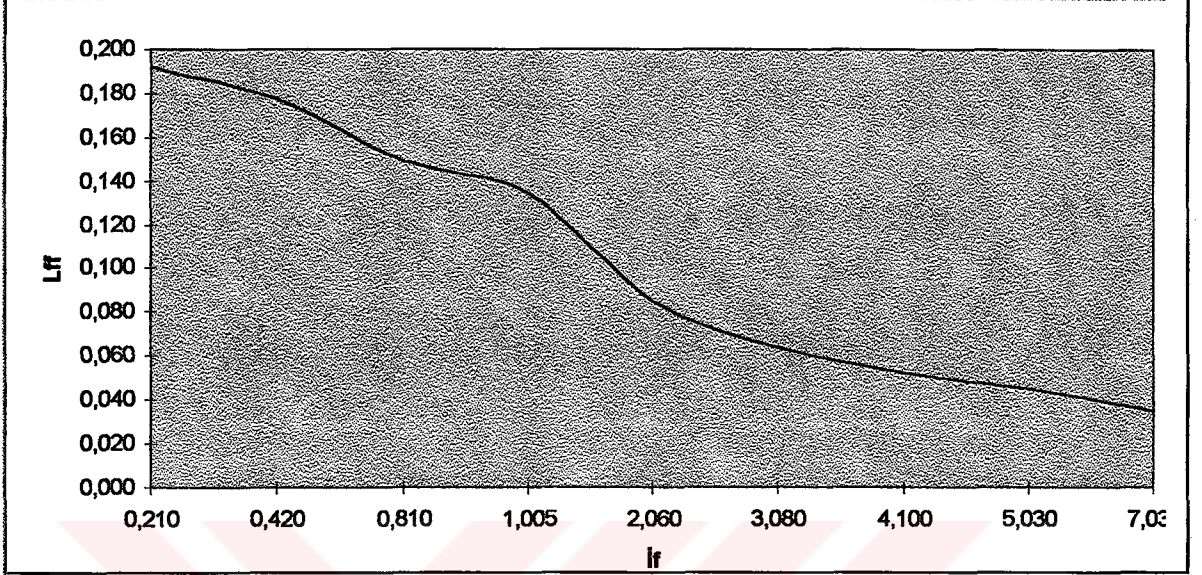


Şekil 4.1 Stator sargı özendüktansının bulunması için yapılan deney düzeneği

Tablo 4.1 Stator özendüktansının akıma göre değişim tablosu

V	I_f	E_{a0}	Φ_{fa}	L_{ff}
13.2	0.21	0.373	0.168	0.192
24.4	0.42	0.685	0.309	0.177
40.3	0.81	1.116	0.503	0.149
45.3	1.005	1.240	0.559	0.134
61.6	2.06	1.609	0.725	0.085
71.8	3.08	1.824	0.822	0.064
79.8	4.10	1.975	0.89	0.052
86.3	5.03	2.09	0.94	0.045
99.3	7.03	2.302	1.03	0.035
Volt	Amper	Volt	mweb.	Henry

Deney Sonuçları: Gerekli hesaplamalar yapılarak deney sonuçları tablo halinde verilmiştir. Bu sonuçlardan yararlanılarak stator özendüktansının akıma göre değişim grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.2 Stator özendüktansının akıma göre değişim grafiği

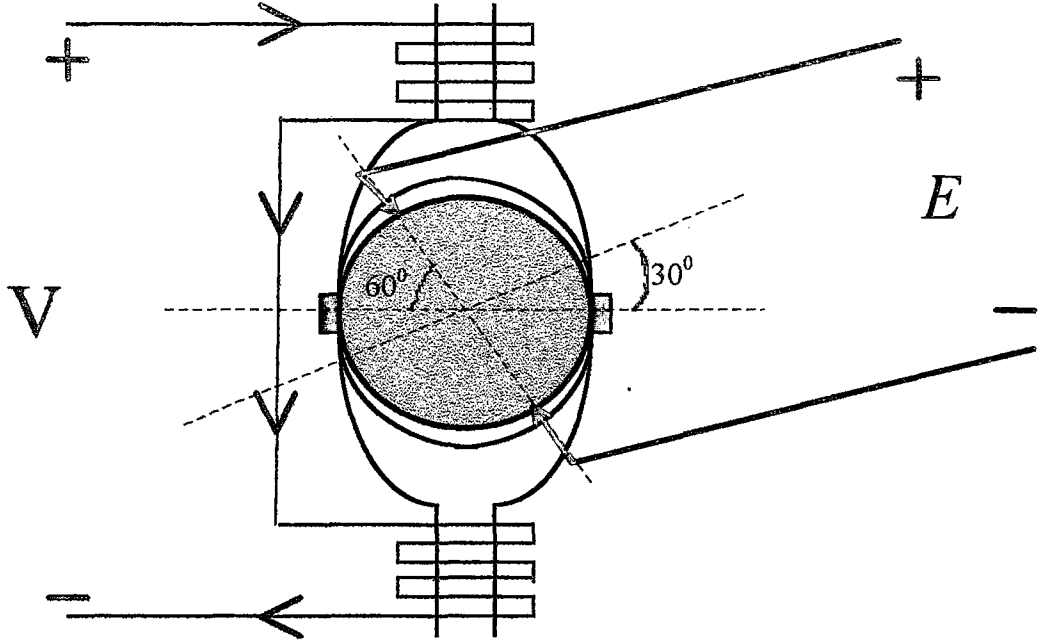
4.1.2 DENEY 2:

Deneyin Amacı: Fırça kaydırmasının deneysel olarak belirlenmesi.

Deneyin Yapılışı: Uçları bir voltmetreye bağlı olan iletkenler şekil4.3 deki gibi kollektör dilimlerine karşılıklı ve simetrik olarak lehimleniyor. Üniversal motor 50Hz. alternatif gerilimle beslenirken rotor, milden manual olarak döndürülüyor. Her konumda rotorda indüklenen E gerilimi ölçülüyor. Motor dönüş yönünün tersinde, kutup ekseninden iki tam kollektör dilimi sonra E geriliminin maksimum değere ulaştığı görülüyor. Bu durum fırça kaydırmasının (α) 30° olduğunu göstermektedir.

Deney Sonuçları: Fırça kaydırması :

$$\alpha = 30^\circ \quad \text{olarak belirlenmiştir.}$$



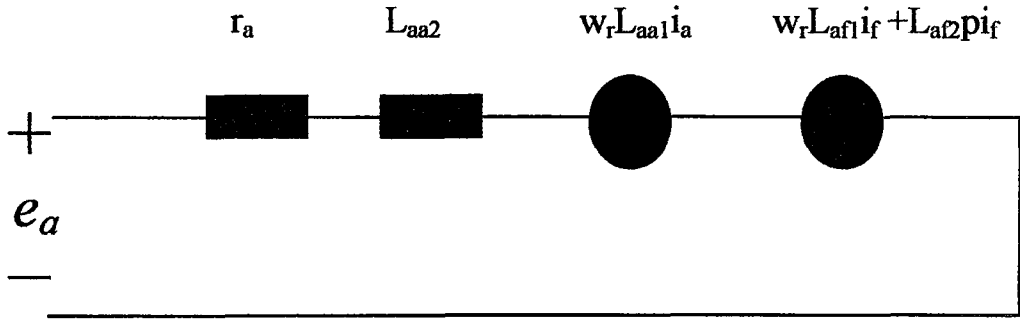
Şekil 4.3 Fırça kaydırmasının bulunması için kullanılan deney düzeneği

4.1.3 DENEY 3:

Deneyin Amacı: Rotor-stator arasındaki karşıt endüktansın maksimum değerinin deneysel olarak belirlenmesi.

Deneyin Yapılışı: Bir fazlı universal motorun stator sargıları, rotor uçları ayrı konumda iken 50Hz. alternatif gerilimle besleniyor. Deney sırasında rotor en uygun konumda, yani dönüş yönünün tersinde kutup ekseninden 30° kadar kaydırılmış durumdadır. Bu noktalara uçlarına voltmetre bağlı olan iletkenler şekil 4.3 deki gibi lehimleniyor. Ölçü bobini olarak rotorun kendi sargısı kullanılıyor. Daha sonra statora uygulanan gerilim değiştirilerek, her gerilim için stator akımı ve rotor sargılarında indüklenen gerilim ölçülüyor.

Teorik Yaklaşım: Deneyde, universal motorun stator sargıları, rotor uçları ayrı konumda iken 50Hz. alternatif gerilimle beslendiğinden rotor hızı sıfırdır. Bu durum universal motorun eşdeğer devresine uygulandığı zaman rotor kısmı için aşağıdaki rotor denklemleri elde edilir.



Şekil 4.4 Yalnızca stator sargılarının beslenmesi durumu için rotor eşdeğer devresi

e_a gerilimi :

$$e_a = r_a \cdot i_a + w_r \cdot L_{aa1} \cdot i_a + w_r \cdot L_{af1} \cdot i_f + L_{af2} \cdot \frac{di_f}{dt} + L_{aa2} \cdot \frac{di_a}{dt} \quad (4.4)$$

$$w_r = 0 \text{ ve } i_a = 0$$

olduğundan,

$$e_a = L_{af2} \cdot \frac{di_f}{dt} = L \cdot \sin(\alpha) \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (4.5)$$

olur.

Bu deneyde $\alpha = \pi/2$ dir. Bu nedenle

$$e_a = L \cdot \frac{di_f}{dt} \quad (4.6)$$

$$i_f = I_m \cdot \sin(\omega t) \Rightarrow \frac{di_f}{dt} = \omega \cdot I_m \cdot \cos(\omega t) \quad (4.7)$$

$$e_a = \sqrt{2} \cdot E_a \cdot \cos(\omega t) \quad (4.8)$$

(4.6), (4.7) ve (4.8) denklemlerinden,

$$L = \frac{e_a}{di_f/dt} = \frac{\sqrt{2} \cdot E_a \cdot \cos(wt)}{w \cdot \sqrt{2} \cdot i_f \cdot \cos(wt)} = \frac{E_a}{w \cdot i_f} \quad (\text{Efektif değerler iin}) \quad (4.9)$$

Hesaplamalarda kullanılan denklemler:

$$E_{a\phi} = 4,44 \cdot f \cdot N_a \cdot \Phi_m \Rightarrow \Phi_m = \frac{E_{a\phi}}{4,44 \cdot f \cdot N_a} \quad (4.10)$$

$$L = \frac{N_a \cdot \Phi_m}{\sqrt{2} \cdot i_{f\text{eff}}} = \frac{E_{a\phi}}{4,44 \cdot f \cdot \sqrt{2} \cdot i_{f\text{eff}}} = \frac{E_{a\phi}}{313,95 \cdot i_{f\text{eff}}} \quad (4.11)$$

L : Karşıt endüktansın maksimum değeri

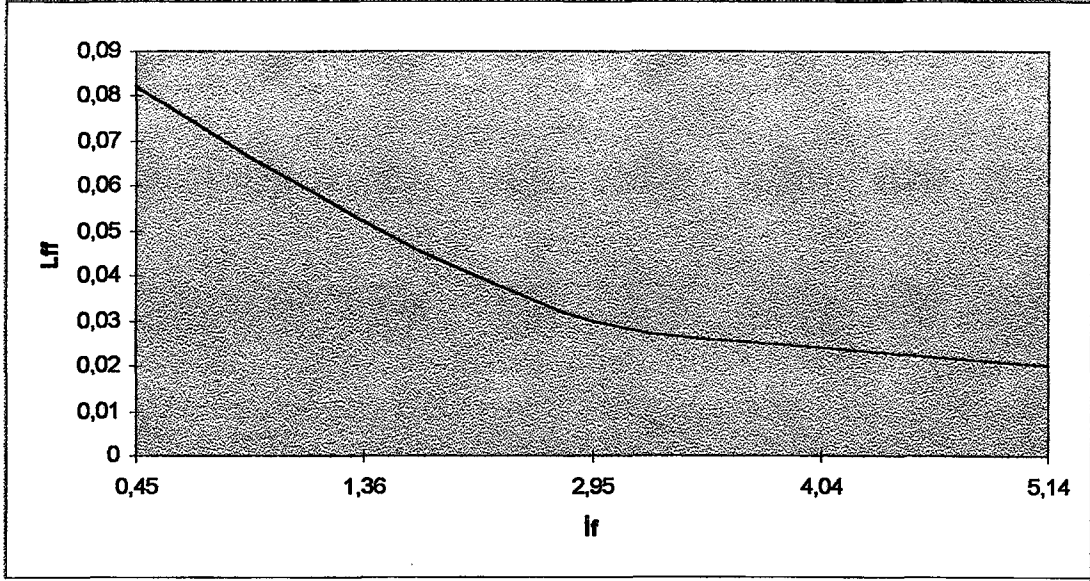
N_a : Efektif rotor sarım sayısı

$i_{f\text{eff}}$: Stator akımının efektif değeri

Deney Sonuçları: Gerekli hesaplamalar yapılarak deney sonuçları tablo halinde verilmiştir. Bu sonuçlardan yararlanılarak stator rotor arasındaki karşıt endüktansın akıma göre değışim grafiği çizilmiştir.

Tablo 4.2 Rotor ve stator arasındaki karşıt endüktansın maksimum değeri akıma göre değışim tablosu.

V	I_f	$E_{a\phi}$	ϕ_{fa}	L
25.8	0.45	11.66	0.328	0.082
52.2	1.36	22.5	0.632	0.052
70.4	2.95	28.5	0.80	0.03
79.4	4.04	31.05	0.885	0.024
87	5.14	33.10	0.930	0.02
Volt	Amper	Volt	mweb.	Henry



Şekil 4.5 Karşıt endüktansın maksimum değerinin akıma göre değişim grafiği

4.1.4 DENEY 4:

Deneyin Amacı: Rotor sarım sayısının efektif değerinin deneysel olarak belirlenmesi.

Deney Yapılışı: Bir fazlı üniversal motorun stator sargıları, rotor uçları ayırık ve rotor kilitlenmiş konumda iken 50Hz. alternatif gerilimle besleniyor. Deney sırasında rotor en uygun konumda, yani dönüş yönünün tersinde kutup ekseninden 30° kadar kaydırılmış durumdadır. Bu noktalara uçlarına voltmetre bağlı olan iletkenler şekil 4.3 deki gibi lehimleniyor. Her gerilim değeri için rotorda indüklenen $E_{d\max}$ gerilimi ölçülüyor. Ayrıca bir ölçü bobini yardımıyla Φ_m akı değeri ölçülüyor.

$$E_{d\max} = 4,44 \cdot f \cdot N_{a\text{eff}} \cdot \Phi_m \Rightarrow N_{a\text{eff}} = \frac{E_{d\max}}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_m} \quad (4.12)$$

Teorik Yaklaşım:

$$\xi : \text{Sargı faktörü} = 2/\pi \quad (4.13)$$

2a=2 : Paralel kol sayısı olmak üzere,

$$N_{a_{eff}} = \frac{\xi \cdot N_a}{2a} = \frac{1}{\pi} \cdot N_a = \frac{504}{\pi} = 160,4 \quad (4.14)$$

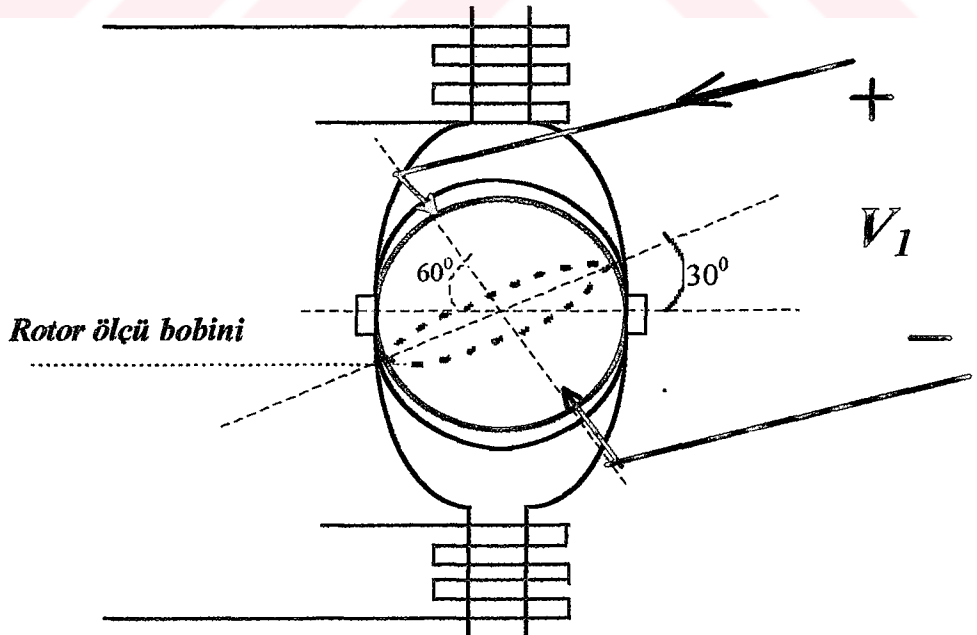
Tablo 4.3 Efektif rotor sarım sayısının akıma göre değişim tablosu.

V	I_r	E_{sc}	E_{dmax}	ϕ_m	$N_{a_{eff}}$
45	1	1.24	19.8	0.559	159.3
61.8	2	1.62	25.8	0.730	159.2
71.2	3	1.81	28.7	0.815	158.7
Volt	Amper	Volt	Volt	mweb.	Henry

4.1.5 DENEY 5:

Deneyin Amacı: Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin deneysel olarak belirlenmesi.

Deneyin Yapılışı: Rotor en uygun konumda yani, kutup ekseninden 30° kadar kaydırılmış durumda (şekil 4.6) iletkenler karşılıklı ve simetrik olarak kollektör dilimlerine bastırılıyor.



Şekil 4.6 Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği.

Daha öncede belirttiğimiz gibi bu konumda rotorda indüklenen gerilim maksimumdur. Rotora şekildeki gibi sarım sayısı 10 olan ölçü bobini yerleştiriliyor. Rotor bu iletken uçlarından 50Hz. alternatif gerilimle besleniyor. Rotora uygulanan gerilim değiştirilerek, her gerilim için rotor akımı ve rotor ölçü bobininde indüklenen gerilimler ölçülüyor.

Deneyde kullanılan denklemler:

$$E_{a0} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_m \Rightarrow \Phi_{a_{eff}} = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_{a0}}{\sqrt{2} \cdot 4,44 \cdot f \cdot N} \quad (4.15)$$

N : Rotor ölçü bobinin sarım sayısı

E_{a0} : Rotorda indüklenen gerilim

$L_{aa \max}$: Rotor sargı endüktansının maksimum değeri

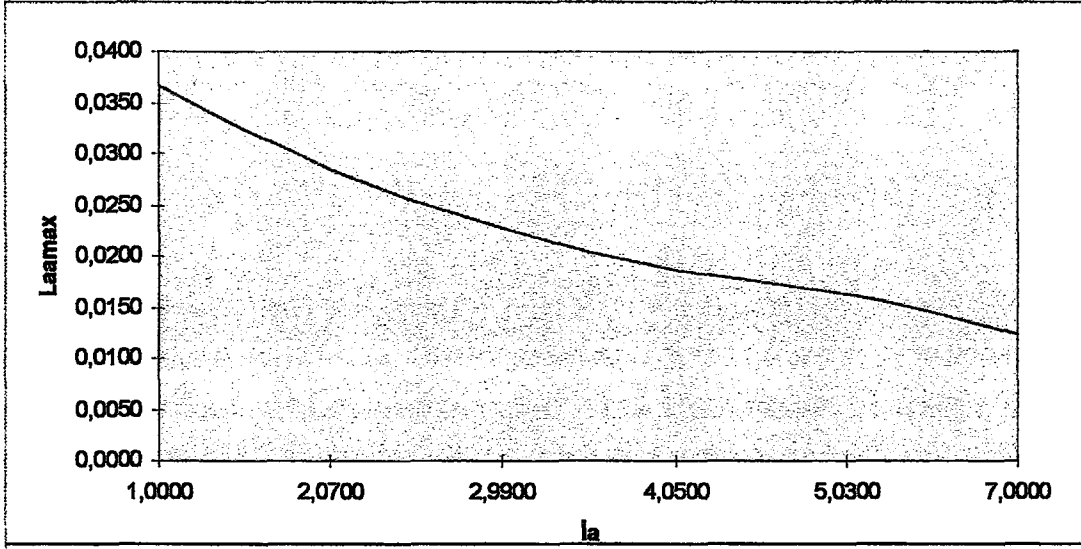
i_a : Rotor akımı

$$L_{aa \max} = \frac{\psi_a}{i_a} = \frac{N_{a_{eff}} \cdot \Phi_{a_{eff}}}{i_{a_{eff}}} = \frac{160,4 \cdot \Phi_{a_{eff}}}{i_{a_{eff}}} \text{ (Henry)} \quad (4.16)$$

Deney Sonuçları: Gerekli hesaplamalar yapılarak deney sonuçları tablo halinde verilmiştir. Bu sonuçlardan yararlanılarak rotor endüktansının maksimum değerinin akıma göre değişim grafiği çizilmiştir.

Tablo 4.4 Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin akıma göre değişim tablosu.

V_t	i_a	E_{a0}	$\phi_{a_{eff}}$	$L_{aa \max}$
13.6	1	0.72	0.229	0.0367
22.4	2.07	1.15	0.366	0.0284
26.7	2.99	1.33	0.424	0.0228
30.8	4.05	1.45	0.471	0.0187
34.7	5.03	1.59	0.506	0.0162
43.5	7.00	1.78	0.567	0.0123
Volt	Amper	Volt	mweb.	Henry

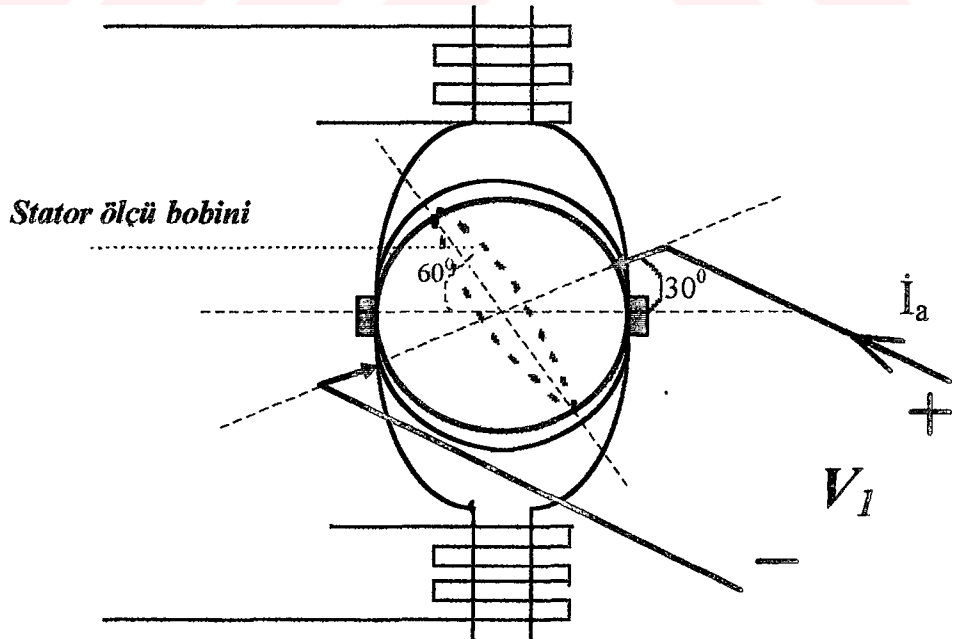


Şekil 4.7 Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin akıma göre değişim grafiği.

4.1.6 DENEY 6:

Deneyin Amacı: Rotor sargı endüktansının minimum değerinin deneysel olarak belirlenmesi.

Deneyin Yapılışı: $L_{a_{min}}$ deneyi rotorda indüklenen E_{a0} geriliminin minimum olduğu konum için aynen tekrarlanıyor. Bu durumda iletkenler, motor dönüş yönünde kutup ekseninden 60°



Şekil 4.8 Rotor sargı endüktansının minimum değerinin belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği.

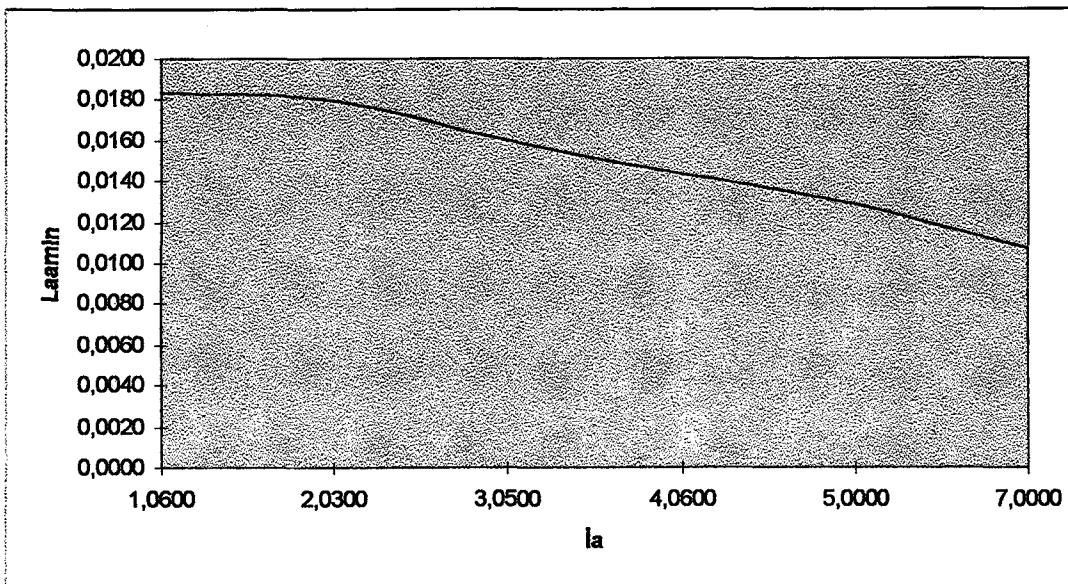
ters konumdaki kollektör dilimlerine bastırılıyor. Rotor bu noktalardan 50Hz. alternatif gerilimle besleniyor. Rotora şekildeki gibi sarım sayısı 10 olan ölçü bobini yerleştiriliyor. Rotora uygulanan gerilim değiştirilerek, her gerilim için rotor akımı ve rotor ölçü bobininde indüklenen gerilimler ölçülüyor.

Deneyde Kullanılan Denklemler: Deney 5 de kullanılan denklemler bu deneyde aynen geçerlidir.

Deney Sonuçları: Gerekli hesaplamalar yapılarak deney sonuçları tablo halinde verilmiştir. Bu sonuçlardan yararlanılarak rotor sargı endüktansının minimum değerinin akıma göre değişim grafiği çizilmiştir.

Tablo 4.5 Rotor sargı endüktansının minimum değerinin akıma göre değişim tablosu.

V_1	i_a	E_{a0}	Φ_{aef}	L_{aa}
7.3	1.06	0.38	0.121	0.0183
13.9	2.03	0.71	0.226	0.0179
19.3	3.05	0.95	0.303	0.0160
24.1	4.06	1.13	0.360	0.0143
28.5	5	1.25	0.398	0.0128
37.7	7	1.46	0.465	0.0107
Volt	Amper	Volt	mweb.	Henry



Şekil 4.9 Rotor sargı endüktansının minimum değerinin akıma göre değişim grafiği.

4.2 A TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN DİRENÇ DENEYLERİ

Islak-kuru isimli motorun stator, rotor ve fırça geçiş dirençleri ohmmetre yardımıyla ayrı ayrı ölçülüp, sıcaklığa bağlı direnç değişimi elde edilmiştir.

$$r_f = 1,73 \text{ ohm. (stator sargı direnci)}$$

$$r_{ft} = 2 \cdot r_f = 3,46 \text{ ohm (toplam stator sargı direnci)}$$

$$r_a = 4 \text{ ohm. (rotor sargı direnci)}$$

$$r_{fir} = 0,44 \text{ ohm (fırça geçiş direnci)}$$

$$r_T = r_{ft} + r_a + r_{fir} = 7,9 \text{ ohm. (toplam motor direnci)} \quad (4.17)$$

Direncin sıcaklığa bağlı değişimi:

$$R_s = R_1 \cdot \left(\frac{1 + \alpha \cdot \delta}{1 + \alpha \cdot \delta_1} \right) \quad (4.18)$$

R_1 : Ortam sıcaklığındaki direnç değeri (ohm.)

R_s : Son sıcaklıktaki direnç değeri (ohm.)

δ : Son sıcaklık değeri (C°)

δ_1 : Ortam sıcaklığı (C°)

$$\alpha = 1/273$$

Denklem (4.18) yardımıyla sıcaklığa göre direnç değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4.6 Direncin sıcaklığa bağlı değişimi.

Sıcaklık (C°)	20	40	60	80	100	120	140	160
Akım (Amper)	0	2	4	6	8	10	12	14
Direnç (ohm.)	7,9	8,1	8,3	8,7	9,24	9,92	10,72	11,65

4.3 A TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN YAVAŞLAMA DENEYİ

- $n = 29.000 \text{ d./d.}$; $7\tau = 6,29 \text{ s.}$; $\tau = 0,899 \text{ s.}$
- $n = 22.163 \text{ d./d.}$; $7\tau = 6,43 \text{ s.}$; $\tau = 0,919 \text{ s.}$
- $n = 22.288 \text{ d./d.}$; $7\tau = 6,48 \text{ s.}$; $\tau = 0,928 \text{ s.}$
- $n = 22.149 \text{ d./d.}$; $7\tau = 6,00 \text{ s.}$

Coulomb Sürtünmesi :

$$M_q = m \cdot r \quad (4.19)$$

$$M_q = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 86 \cdot 10^{-3}$$

$$M_q = 1,376 \cdot 10^{-3} \text{ kgm.}$$

$$M_q = 0.0135 \text{ Nm.}$$

w_0 : İlk hız (d/d)

J : Eylemsizlik katsayısı (kgm^2)

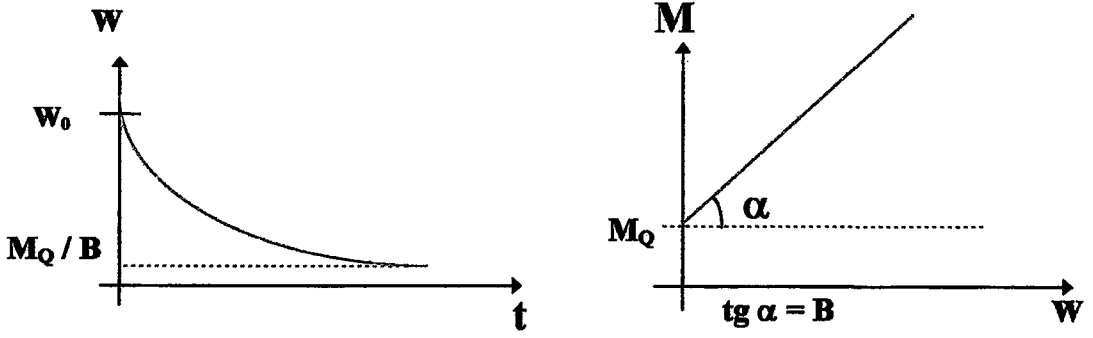
B : Sürtünme katsayısı (Nms.)

M_q : Coulomb sürtünmesi (Nm.)

$$J \cdot \frac{dw}{dt} + B \cdot w + M_q = 0 \quad (4.20)$$

$$w = -\frac{M_q}{B} + K \cdot e^{-t/\tau} \quad (4.21)$$

$$\tau = \frac{J}{B} \quad (4.22)$$



Şekil 4.10 Hız-zaman ve Moment-hız eğrileri

İlk koşul $t = 0$, $w = w_0$ olmak üzere:

$$w_0 = -\frac{M_q}{B} + K \Rightarrow K = w_0 + \frac{M_q}{B} \quad (4.23)$$

$$w = -\frac{M_q}{B} + \left(w_0 + \frac{M_q}{B}\right) \cdot e^{-t/\tau} \quad (4.24)$$

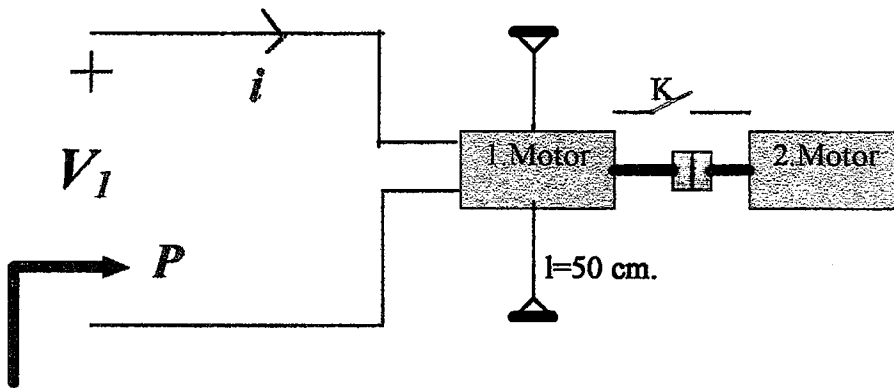
DeneySEL olarak bulunan değerler:

$$B = 1,686 \cdot 10^{-5} \text{ (Nms.)}$$

$$M_Q = 0,0134 \text{ (Nm.)}$$

$$\tau = 6.43 \text{ s.}$$

4.4 A TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN BOŞTA ÇALIŞMA DENEYİ



Şekil 4.11 Boşta ve yükte çalışma deney düzeneği

K anahtarı açık konumda iken sistem 50Hz. alternatif gerilimle beslenmektedir.

$$P_1 = P_{fe} + P_{cu} + P_{stm} \quad (\text{Giriş gücü}) \quad (4.25)$$

$$P_{cu} = r_T \cdot i_1^2 = 7,9 \cdot i_1^2 \quad (4.26)$$

Tablo 4.7 Boşta çalışma deneyinin sonuç tablosu

V_1	I_1	P_1	n	w	P_{cu}
60.4	0.87	48	9671	1012	6.036
90.1	1.06	92.6	13300	1392	8.96
120.3	1.27	149.5	17080	1788	12.86
150.1	1.51	224	19595	2052	18.18
160.4	1.66	266	20496	2146	21.97
200	1.525	308	29740	3114	18.49
220	1.60	360	31530	3301	20.35
Volt	Amper	Watt	d/d	rad/s	Watt

4.5 A TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN SÜRTÜNME KAYBI DENEYİ

Şekil 4.9'da K anahtarı kapalı konumda iken sistem 50Hz. alternatif gerilimle beslenmektedir. Ölçülen her hız durumu için, 1 numaralı motorun kuvvet koluna yerleştirilen ağırlıklar yardımıyla sistem dengeye getirilmektedir. Her hız için kuvvet koluna yerleştirilen ağırlıklar tartılarak kaydedilmektedir. Bu ağırlıklardan yararlanılarak Islak-kuru motorun çeşitli hızlardaki sürtünme kayıpları hesaplanabilmektedir. Deney sırasında voltmetre ve ampermetre yardımıyla giriş gerilimi ve akımı da ölçülmektedir. ($l = 50cm.$)

$$M_{stm} = m \cdot l \quad (4.27)$$

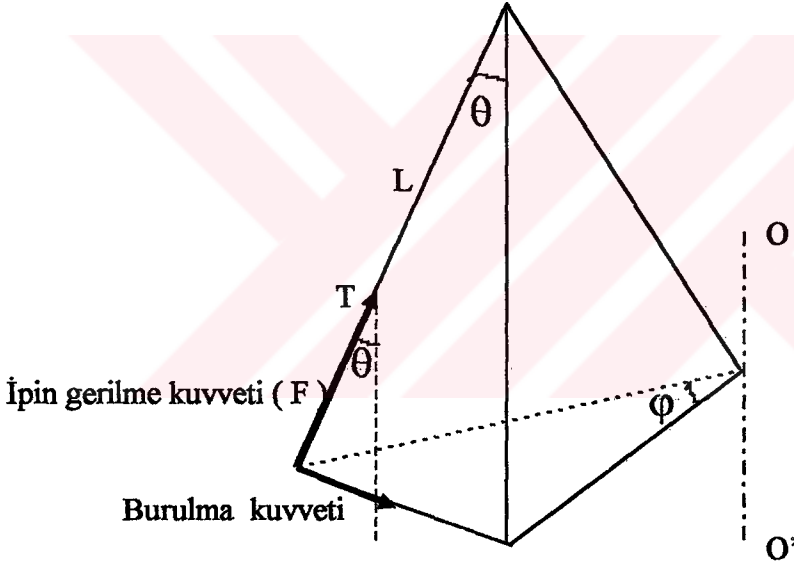
$$M_{stm} = B \cdot w \quad (4.28)$$

$$P_{stm} = M_{stm} \cdot w \quad (4.29)$$

Tablo 4.8 Sürtünme deneyi sonuç tablosu

V_1	i_1	n	w	m	M_{stm}	B	P_{stm}
50	1,12	5563	583	7	0,35	$6 \cdot 10^{-5}$	20
75	1,21	10254	1074	8	0,40	$3,73 \cdot 10^{-5}$	43
100	1,46	13471	1410	11	0,55	$3,9 \cdot 10^{-5}$	77,6
125	1,62	16406	1718	13	0,65	$3,810^{-5}$	111,7
150	1,77	18531	1940	13,5	0,675	$3,510^{-5}$	131
Volt	Amper	d/d	rad/s	gr.	kgcm.	Nms.	Watt

4.6 EYLEMSİZLİK MOMENTİNİN HESABI



Şekil 4.12 Eylemsizlik momentinin hesabı

$$L \cdot \theta = \varphi \cdot r \Rightarrow \theta = \frac{\varphi \cdot r}{l} \quad (4.30)$$

Kuvvet üçe bölündüğünden;

$$T = \frac{m \cdot g}{3} \quad (4.31)$$

$$F = T \cdot \sin(\theta) \approx T \cdot \theta \Rightarrow 3 \cdot F = 3 \cdot T \cdot \theta \quad (4.32)$$

$$M_0 = F \cdot r = 3 \cdot T \cdot \theta \cdot r \quad (4.33)$$

$$\sum M_0 = m \cdot k^2 \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -3 \cdot T \cdot \theta \cdot r = -3 \cdot \frac{m \cdot g}{3} \cdot \frac{\varphi \cdot r}{L} \cdot r \quad (4.34)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{g}{L} \cdot \frac{r^2}{k^2} \cdot \varphi = 0 \Rightarrow \omega_n^2 = \frac{g}{L} \cdot \frac{r^2}{k^2} \quad (4.35)$$

$$\omega_n = 2 \cdot \pi \cdot f_n \quad (4.36)$$

(4.35) ve (4.36) denklemlerinden,

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{L} \cdot \frac{r^2}{k^2}} \quad (4.37)$$

$$k^2 = \frac{g \cdot r^2}{L \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_n)^2} \Rightarrow k = \frac{r}{2 \cdot \pi \cdot f_n} \cdot \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (4.38)$$

A ve B tipi motorlar için eylemsizlik momenti

Yukarıda açıklandığı gibi deneyler gerçekleştirilmiş olup, A ve B tipi universal motorlara ilişkin eylemsizlik momentleri hesaplanmıştır.

$$J_A = m_A \cdot k_A^2$$

$$J_B = m_B \cdot k_B^2$$

$$J_A = 8,59 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

$$J_B = 3,348 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

4.7 B TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN ENDÜKTANS DENEYLERİ:

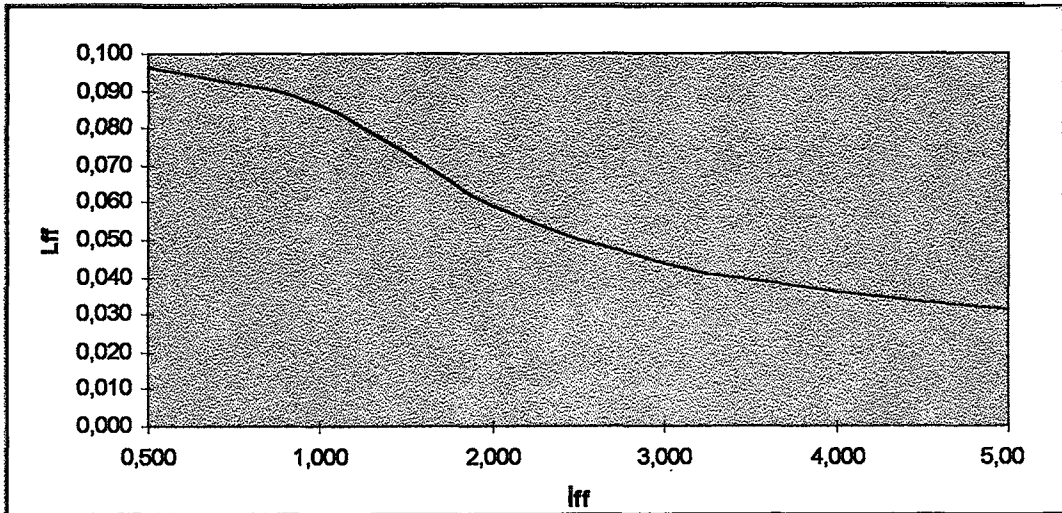
A ve B tipi universal motorlara ilişkin anma değerleri Ek-3 de verilmiştir.

B tipi universal motor için yapılan deneyler, A tipi motor için yapılanlarla aynı olduğundan, bu motora ait deneyler ayrıntılı olarak anlatılmayıp, sadece sonuçlara ilişkin tablo ve şekiller verilmiştir.

4.7.1 DENEY 1:

Tablo 4.9 Stator özendüktansının akıma göre değişim tablosu (B)

V	I_f	E_{ad}	ϕ_{ta}	L_{ff}
14.9	0.5	0.177	0.199	0.096
27.1	1	0.313	0.353	0.086
38	2	0.417	0.470	0.059
44	3	0.437	0.492	0.0438
48.2	4	0.454	0.511	0.036
53.4	5	0.511	0.563	0.031
Volt	Amper	Volt	mweb.	Henry



Şekil 4.13 Stator özendüktansının akıma göre değişim grafiği (B)

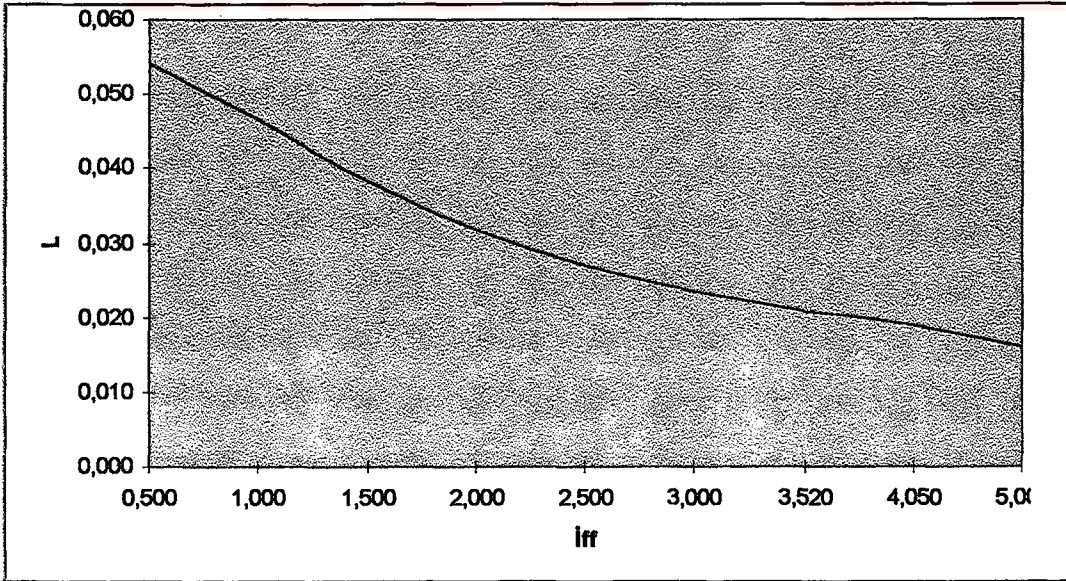
4.7.2 DENEY 2:

Fırça kaydırması deneysel olarak 45^0 bulunmuştur.

4.7.3 DENEY 3:

Tablo 4.10 Rotor ve stator arasındaki karşıt endüktansın maksimum değerinin akıma göre değişim tablosu. (B)

V	I_f	E_{a0}	L
15	0.5	8.46	0.054
26.8	1	14.6	0.0465
33.6	1.5	18	0.0382
38	2	19.9	0.0317
40.8	2.5	21.2	0.027
43.5	3	22.14	0.0235
45.8	3.52	23	0.0208
48.2	4.05	23.7	0.0189
52.5	5	24.9	0.0159
Volt	Amper	Volt	Henry



Şekil 4.14 Karşıt endüktansın maksimum değerinin akıma göre değişim grafiği (B)

4.7.4 DENEY 4:

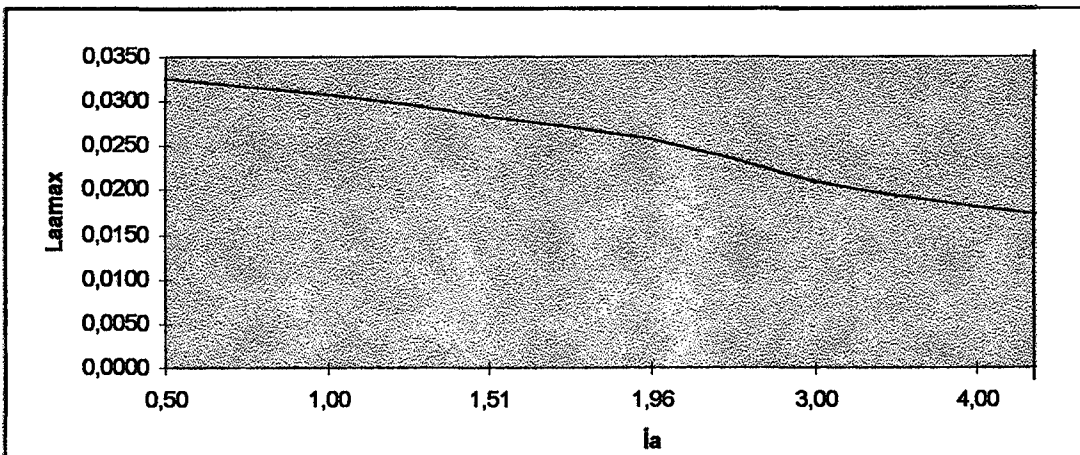
Tablo 4.11 Efektif rotor sarım sayısının akıma göre değişim tablosu. (B)

V	I_r	E_{sc}	E_{dmax}	ϕ_m	N_{aef}
15.6	0.52	0.49	8.67	0.215	185
26.8	1	0.82	14.56	0.377	175
37.7	2	1.14	19.8	0.518	173
43.5	3	1.296	22.13	0.58	175
48	4	1.4	23.6	0.627	171
Volt	Amper	Volt	Volt	mweb.	Henry

4.7.5 DENEY 5:

Tablo 4.12 Rotor sargı endüktansının maksimum değerinin akıma göre değişim tablosu. (B)

V_a	I_a	E_{a0}	ϕ_{aef}	L_{aamax}
5.7	0.5	0.112	0.089	0.0326
11.1	1	0.21	0.167	0.0306
15.8	1.51	0.293	0.2333	0.0283
19.2	1.96	0.345	0.275	0.0257
25.6	3	0.432	0.344	0.02103
33.1	4	0.492	0.392	0.01797
41.2	5	0.54	0.43	0.0158
Volt	Amper	Volt	mweb.	Henry



Şekil4.15 Rotor sargı endüktansı maksimum değerinin akıma göre değişim grafiği. (B)

$$r_{st} = 2 \cdot r_f = 3,16 \text{ ohm (toplam stator sargı direnci)}$$

$$r_a = 4,16 \text{ ohm. (rotor sargı direnci)}$$

$$r_{fir} = 0,239 \text{ ohm (firça geçiş direnci)}$$

$$r_T = r_{st} + r_a + r_{fir} = 9,5 \text{ ohm. (toplam motor direnci)}$$

Tablo 4.14 Direncin sıcaklığa bağlı değişimi. (B)

Akım (amper)	Sıcaklık (C ⁰)	Direnç (ohm.)
1.5	20	9.5
2	50	10.6
2.5	65	11.1
3.1	80	11.6
4	95	12.2
5.1	110	12.6
6.5	125	13.2
8.1	140	13.7
9.5	155	14.2

4.9 B TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN YAVAşLAMA DENEYİ

- $n = 42.000 \text{ d./d.}$; $7\tau = 4,31 \text{ s.}$; $\tau = 0,61 \text{ s.}$
- $n = 42.500 \text{ d./d.}$; $7\tau = 4,40 \text{ s.}$; $\tau = 0,629 \text{ s.}$

Coulomb sürtünmesi;

$$M_g = 0,00561 \text{ Nm.}$$

Eylemsizlik momenti;

$$J = 3,348 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

olarak bulunmuştur.

4.10 B TİPİ ÜNİVERSAL MOTOR İÇİN BOŞTA ÇALIŞMA DENEYİ

Tablo 4.15 Boşta çalışma deneyinin sonuç tablosu (B)

V_1	I_1	P_1	n	w	P_{cu}	P_{stm}	B
13	0.487	4.8	4180	438	2.25	2.5	0.000013
15.3	0.49	6.4	8000	838	2.28	4.1	0.000006
30.6	0.542	16.2	11770	1225	3	13.2	0.000009
40.5	0.571	23.1	16150	1691	3.1	19	0.000007
50.2	0.597	30	20200	2115	3.4	26	0.000006
60.3	0.631	38	24075	2521	3.8	34	0.0000054
70.7	0.657	46	28000	2932	4.1	41	0.0000048
80.6	0.667	54	31700	3319	4.23	49	0.0000045
90.6	0.687	63	35500	3717	4.5	58	0.0000042
100.5	0.7	70.5	38800	4063	4.66	65	0.00000394
110	0.72	80	41750	4372	4.93	74	0.00000387
120.5	0.76	91.8	44050	4613	5.5	86	0.000004
Volt	Amper	Watt	d/d	rad/s	Watt	Watt	Nm.s

BÖLÜM 5

ÜNİVERSAL MOTORUN MATLAB-SİMULİNK PROGRAMI İLE BENZETİŞİMİ

5.1 MATLAB-SİMULİNK PROGRAMININ GENEL YAPISI

Sayısal hesaplamalar ve grafiksel programlar için geliştirilen Matlab; sayısal analiz, matris işlemleri, sinyal işleme ve grafik çizimlerini kullanımı kolay bir ortamda bir bütün olarak sunar. Pek çok sayısal problemi çok kısa bir sürede çözmek mümkündür. Ayrıca Basic, Fortran ve C programlama dillerindeki gibi algoritmalar yazmak da mümkündür. Ancak bu dillerin matematiksel hesaplamalar ve grafikler konusundaki özellikleri Matlab'e göre zayıftır. Bu tür işlemler hem çok uzun hem de çok yavaştır. Yani Matlab bu konularda ideal bir seçimdir [11].

Matlab-Simulink programında kullanılan blokların ve algoritmaların temeli; bilgisayar yardımı ile sayısal integral ve türev hesaplarında kullanılan "en küçük kareler yöntemine" dayanır [12].

Simulink işlevselliği ve çok yönlülüğü, uygulamalara özgü çeşitli araç kutuları eklemekle geliştirilebilir. Araç kutuları, çeşitli bilimsel alan ve konularda yazılan Matlab fonksiyon dosyalarından oluşur. Kısaca dinamik sistemlerin benzetişimi için geliştirilmiş bir program olan Simulink, Matlab ortamında tasarlanmış bloklardan oluşmaktadır. benzetişimi yapılmak istenilen sistemin matematik modelinden yararlanılarak, Simulink algoritmaları ile dinamik analiz gerçekleştirilebilir.

5.2 ÖN TASARIM MODELLERİ

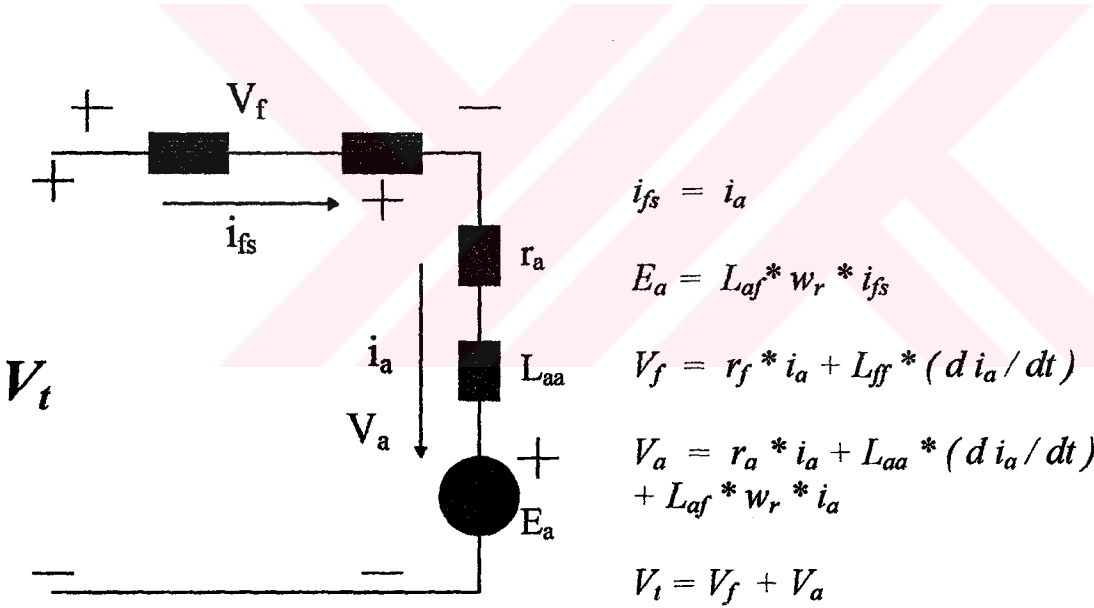
Üniversal motorun Simulink yardımıyla benzetişiminde başlıca iki model esas alınmıştır:

1. Basit model
2. Genelleştirilmiş model

5.2.1 Basit Model

Basit model geliştirilirken üniversal motor klasik doğru akım seri motoru gibi düşünülmüştür. Doğru akım seri motorun matematik modeli geliştirilerek, bu modelin Simulink algoritmaları yardımıyla blok diyagramı oluşturulmuştur. Blok diyagramı yardımıyla Benzetişim gerçekleştirilerek hız, akım, moment, giriş gücü, çıkış gücü ve bakır kayıpları gibi temel motor parametrelerinin grafikleri elde edilmiştir [13].

5.2.1.1 Doğru Akım Seri Motorun Matematik Modeli



Şekil 5.1 Doğru akım seri motorun eşdeğer devresi

$$V_t = V_f + V_a = r_f \cdot i_a + L_{ff} \cdot \frac{di_a}{dt} + r_a \cdot i_a + L_{aa} \cdot \frac{di_a}{dt} + L_{af} \cdot \omega_r \cdot i_a \quad (5.1)$$

$$= (r_f + r_a + L_{af} \cdot \omega_r) \cdot i_a + (L_{ff} + L_{aa}) \cdot \frac{di_a}{dt} \quad (5.2)$$

$$\Rightarrow i_a = \frac{1}{\tau_{fa} \cdot p + 1} \cdot (V - L_{af} \cdot w_r i_a) \quad (5.3)$$

$$\tau_{fa} = \frac{L_{ff} + L_{aa}}{r_f + r_a} \quad (5.4)$$

$$M_e = L_{af} \cdot i_a^2 = L_{af} \cdot i_a \cdot i_f \quad (\text{Elektromagnetik moment}) \quad (5.6)$$

Sürekli hal çözümü:

$$V_t = (r_f + r_a + L_{af} \cdot w_r) \cdot i_a \quad (5.7)$$

$$M_e = L_{af} \cdot i_a^2 = \frac{L_{af}}{r_f + r_a + w_r \cdot L_{af}} \cdot V_t^2 \quad (5.8)$$

$$L_{af} = \frac{N_a \cdot N_f}{\mathfrak{R}_{af}} \quad (\text{Karşıt endüktans}) \quad (5.9)$$

$$\Phi_f = \frac{N_f \cdot i_f}{\mathfrak{R}_{af}} = \frac{L_{af} \cdot i_a}{N_a} \quad (5.10)$$

Mekanik sistem için dinamik eşitlik:

$$M_e = J \cdot \frac{dw_r}{dt} + B \cdot w_r + M_L \quad (5.11)$$

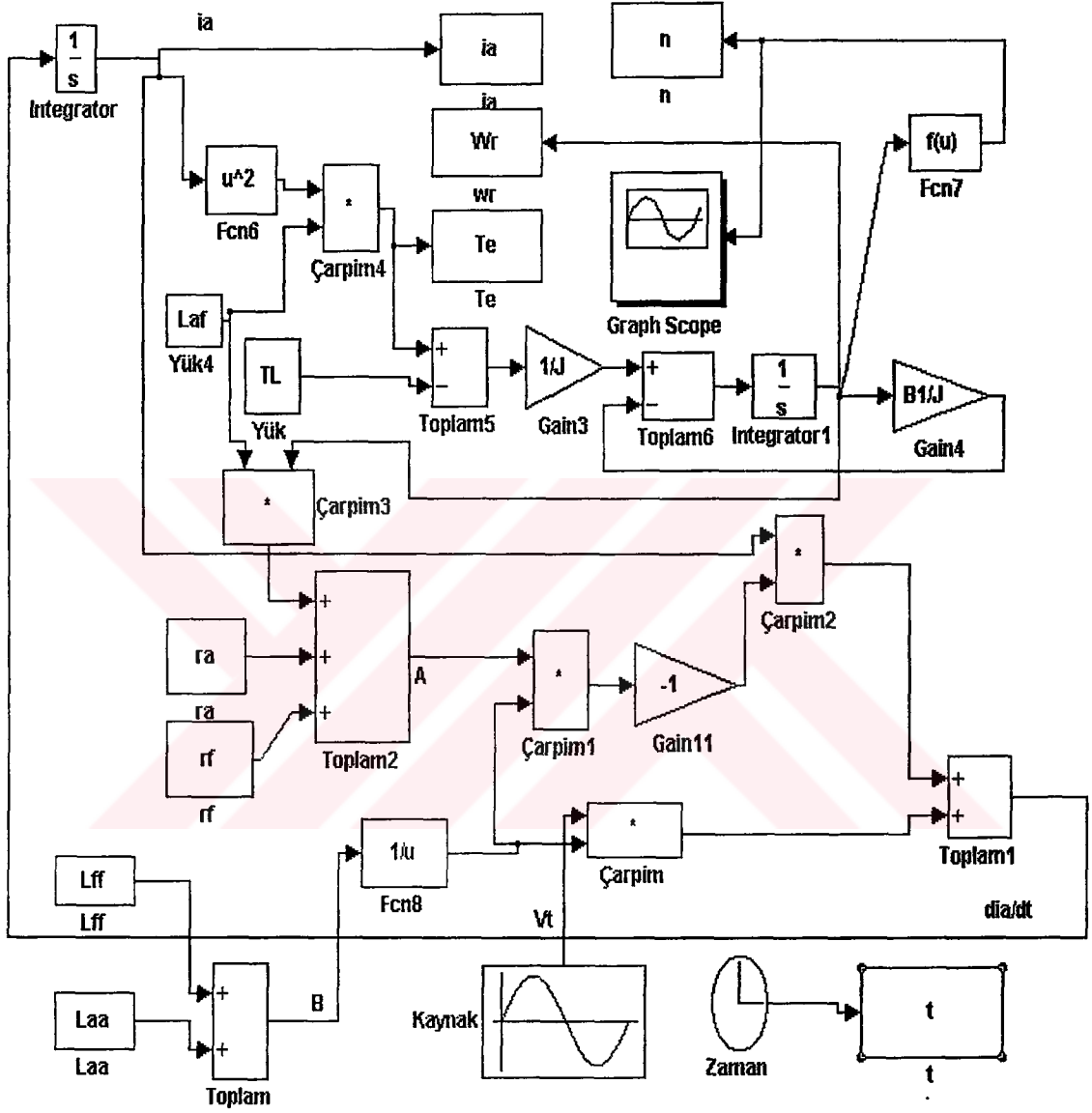
$$\frac{dw_r}{dt} = -\frac{B}{J} w_r + \frac{M_e - M_L}{J} \quad (5.12)$$

$$w_r = \frac{1}{J \cdot p + B} \cdot (M_e - M_L) \quad (5.13)$$

Rotorda indüklenen gerilim:

$$E_a = L_{af} \cdot w_r \cdot i_f \quad (5.14)$$

Bu denklemler Simulink ortamında bloklar halinde yazılarak motor benzetişimi gerçekleştirilmiştir.



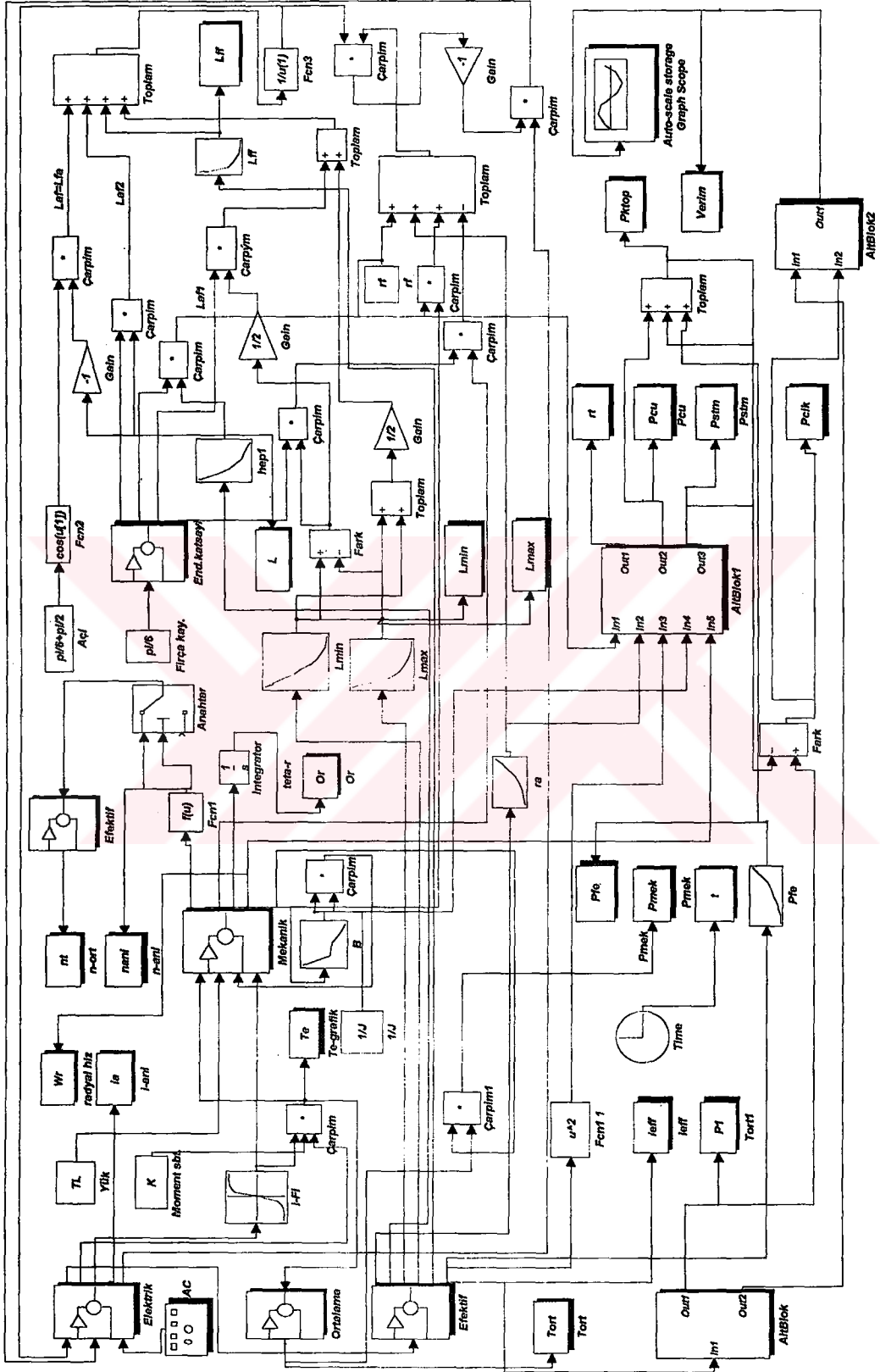
Şekil 5.2 Basit Model İçin Umsim Blok Diyagramı

5.2.2 Genelleştirilmiş Model

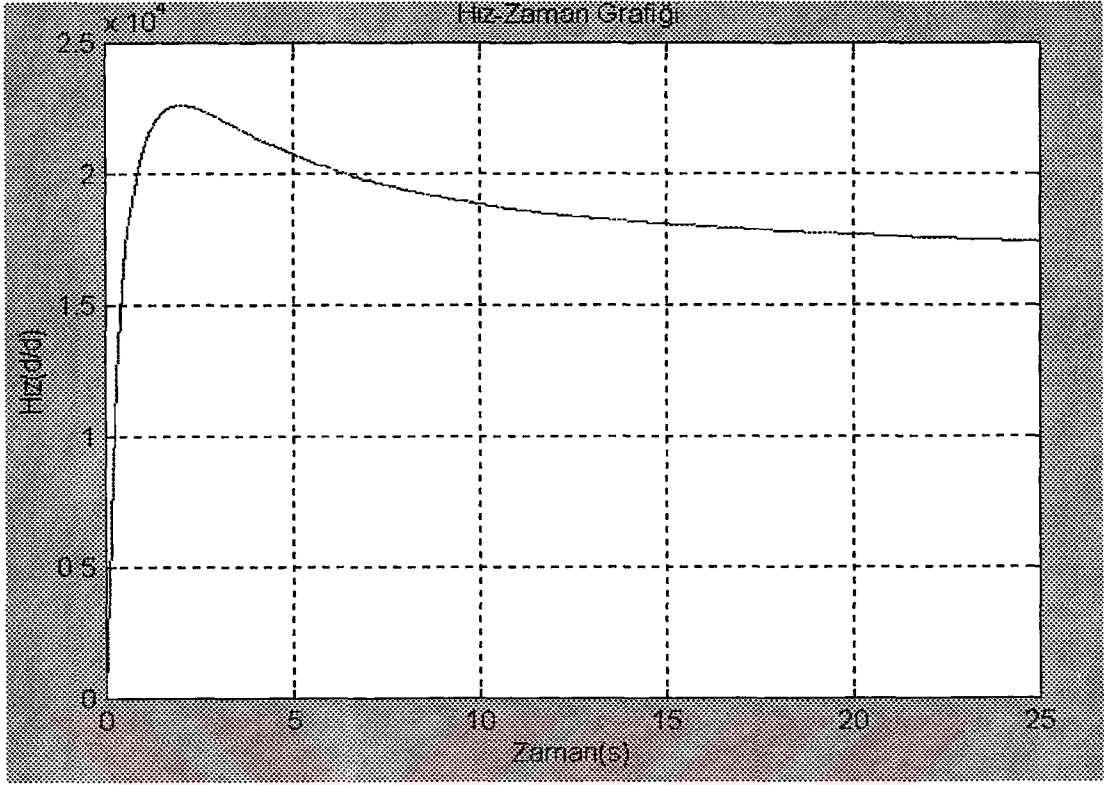
Genelleştirilmiş model geliştirilirken universal motorun bütün eşdeğer devre parametreleri göz önüne alınmıştır. Elektriksel ve mekaniksel sistem parametreleri bir bütün içinde ele alınarak matematik model oluşturulmuştur. Basit modelde olduğu gibi Simulink blokları yardımı ile motorun matematik modelinin blok diyagramı oluşturularak grafiksel sonuçlar elde edilmiştir.

5.2.2.1 A Tipi Üiversal Motor İçin Nominal Yükte Benzetişim Sonuçları:

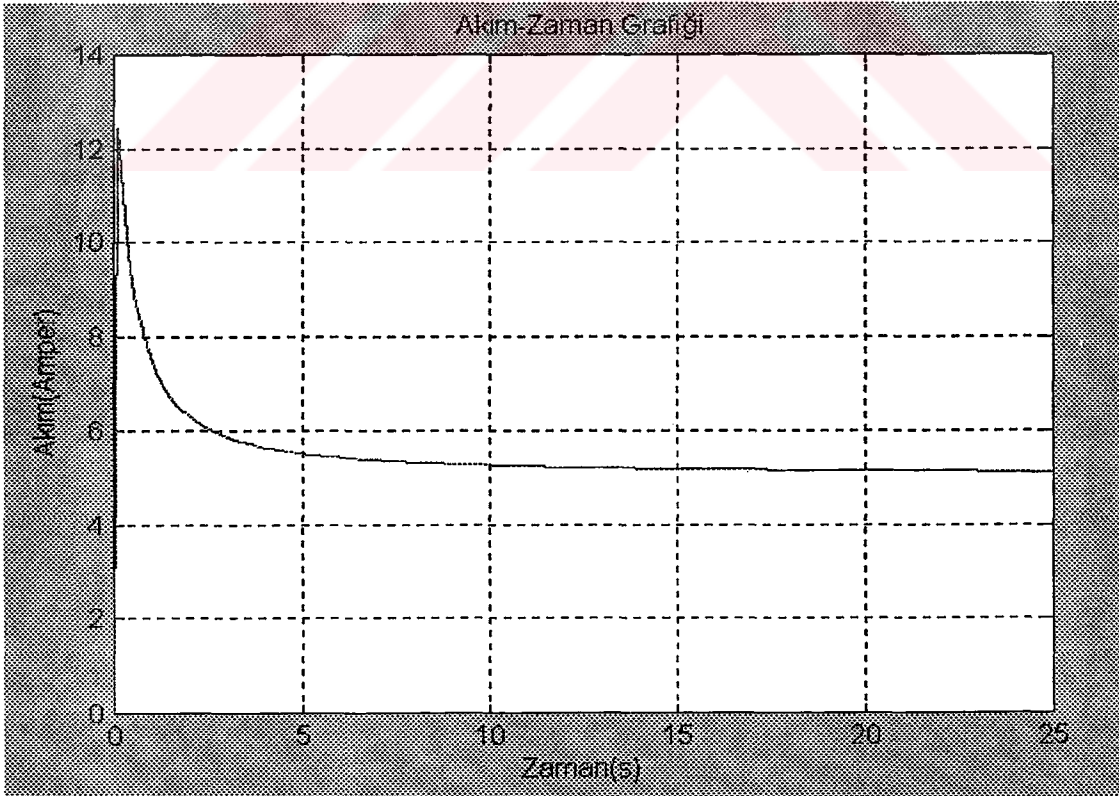




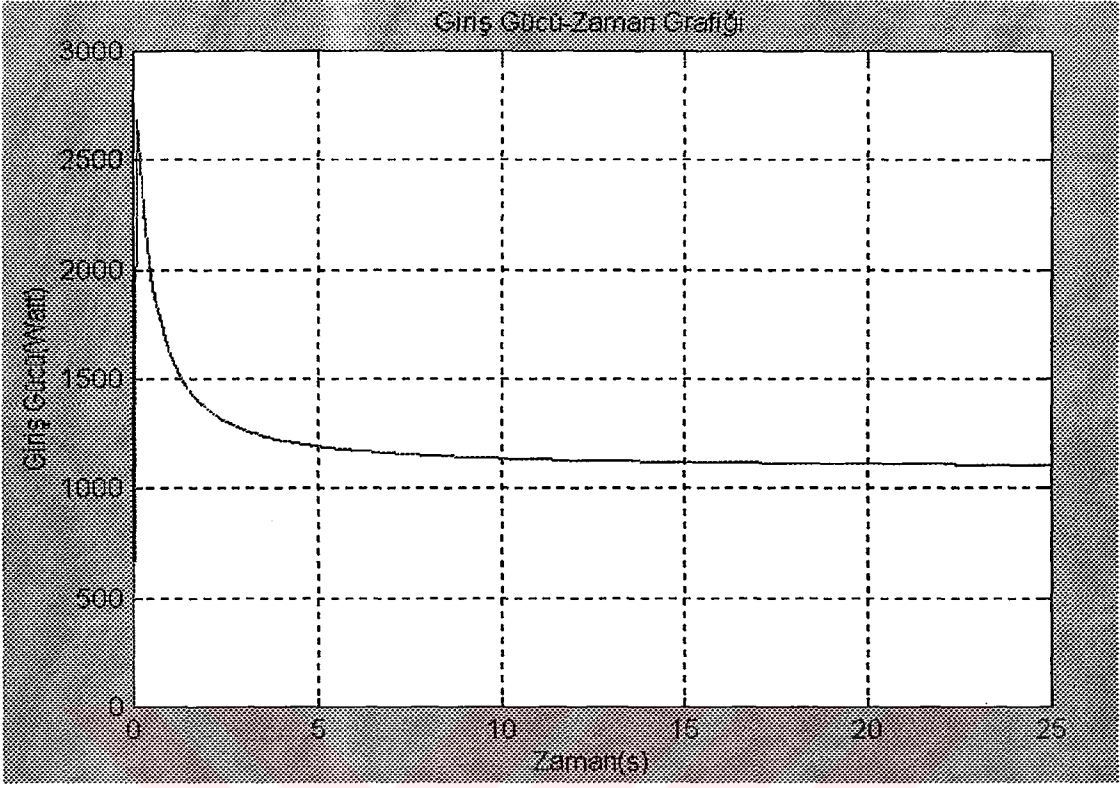
Şekil 5.3 Umsim Blok Diyagramı (A)



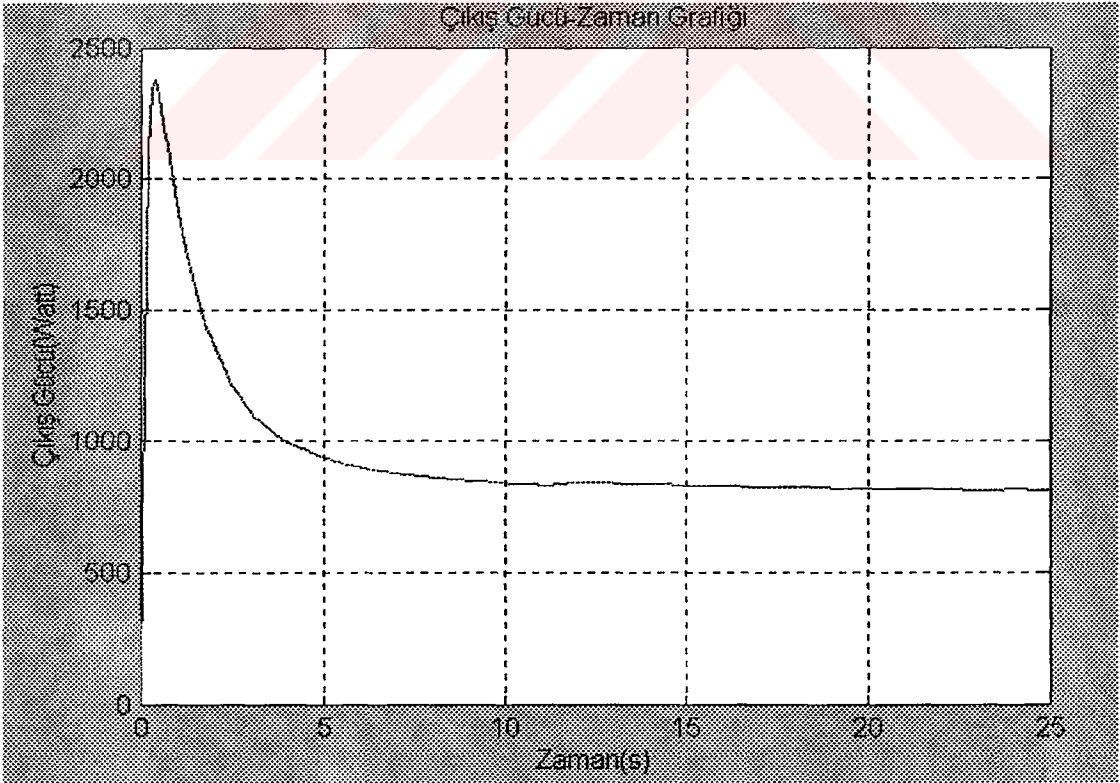
Şekil 5.4 Hız-Zaman grafiği (A)



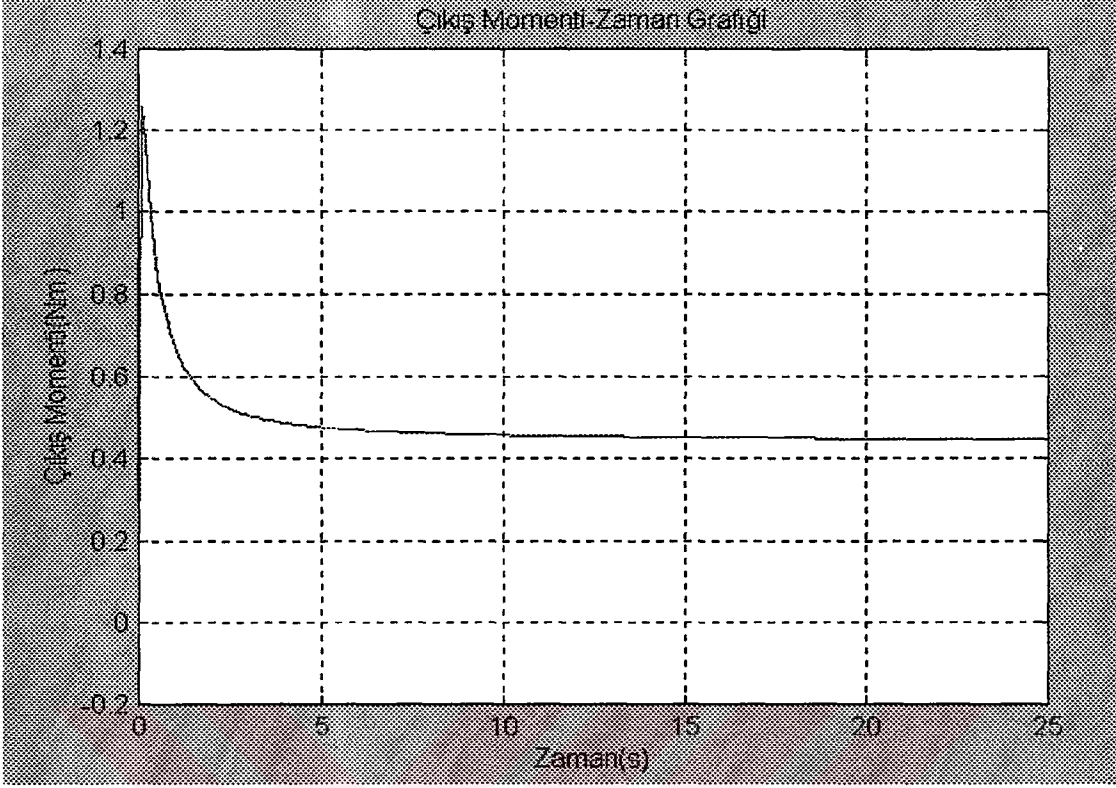
Şekil 5.5 Akım-Zaman grafiği (A)



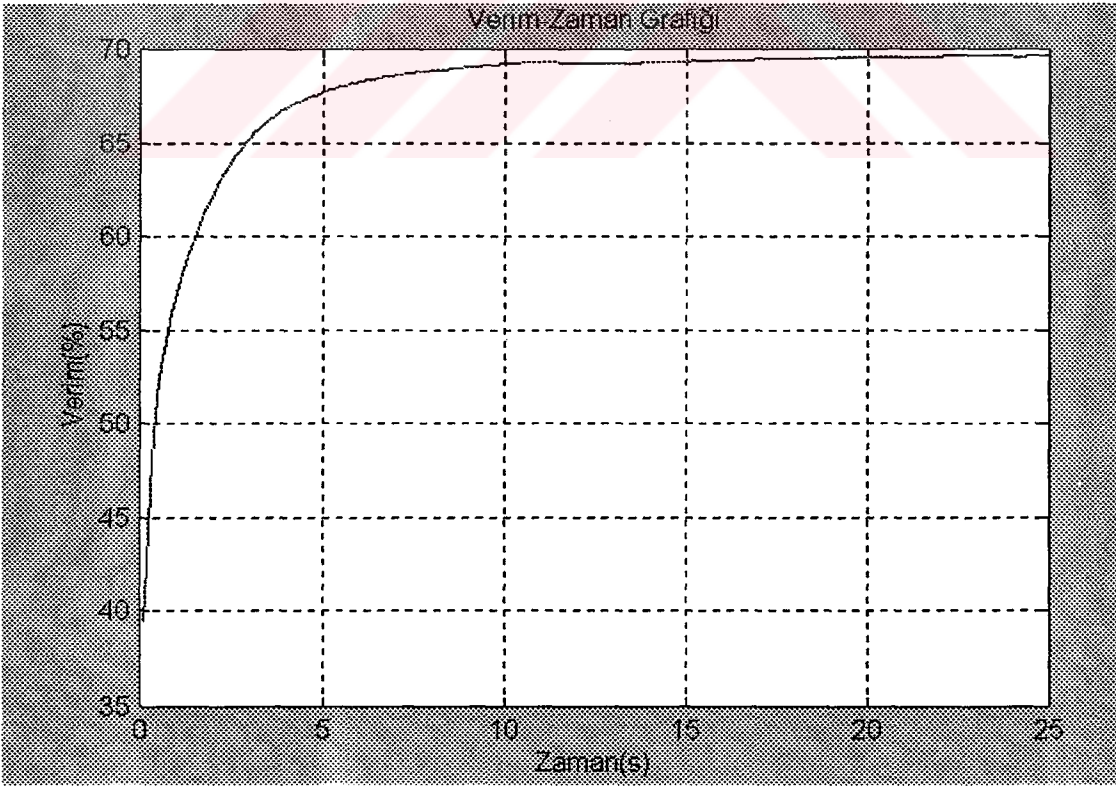
Şekil 5.6 Giriş Gücü-Zaman grafiği (A)



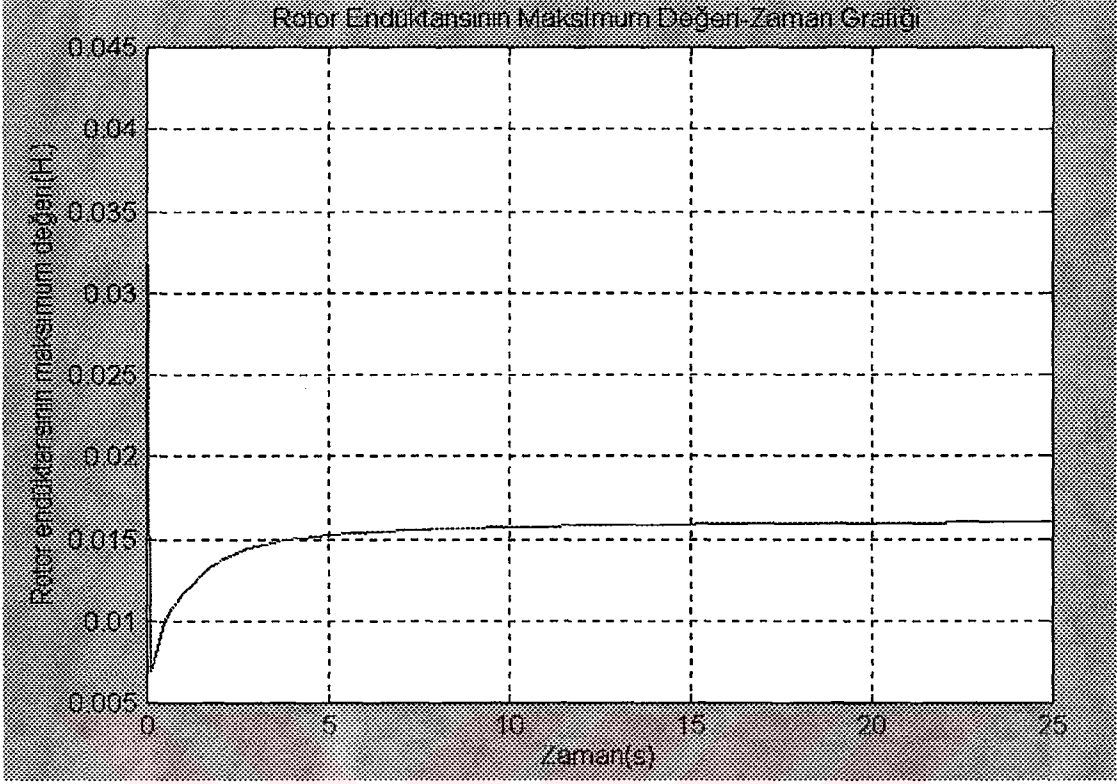
Şekil 5.7 Çıkış Gücü-Zaman grafiği (A)



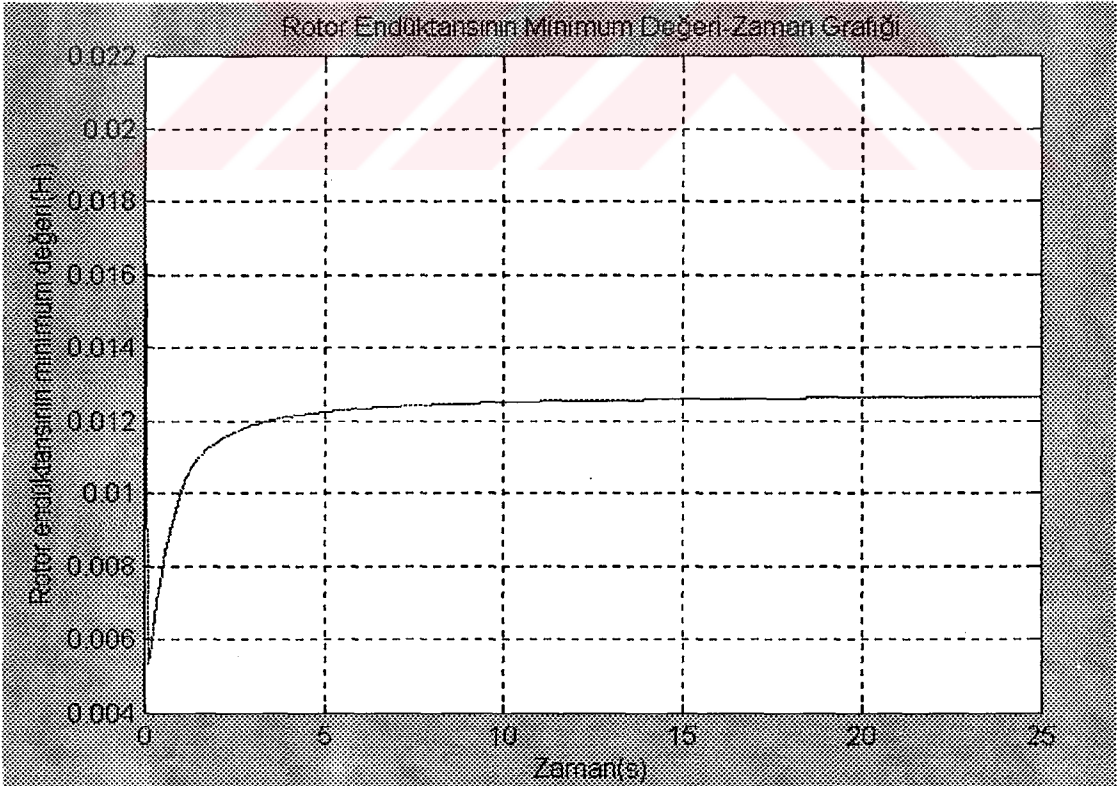
Şekil 5.8 Çıkış Momenti-Zaman grafiği (A)



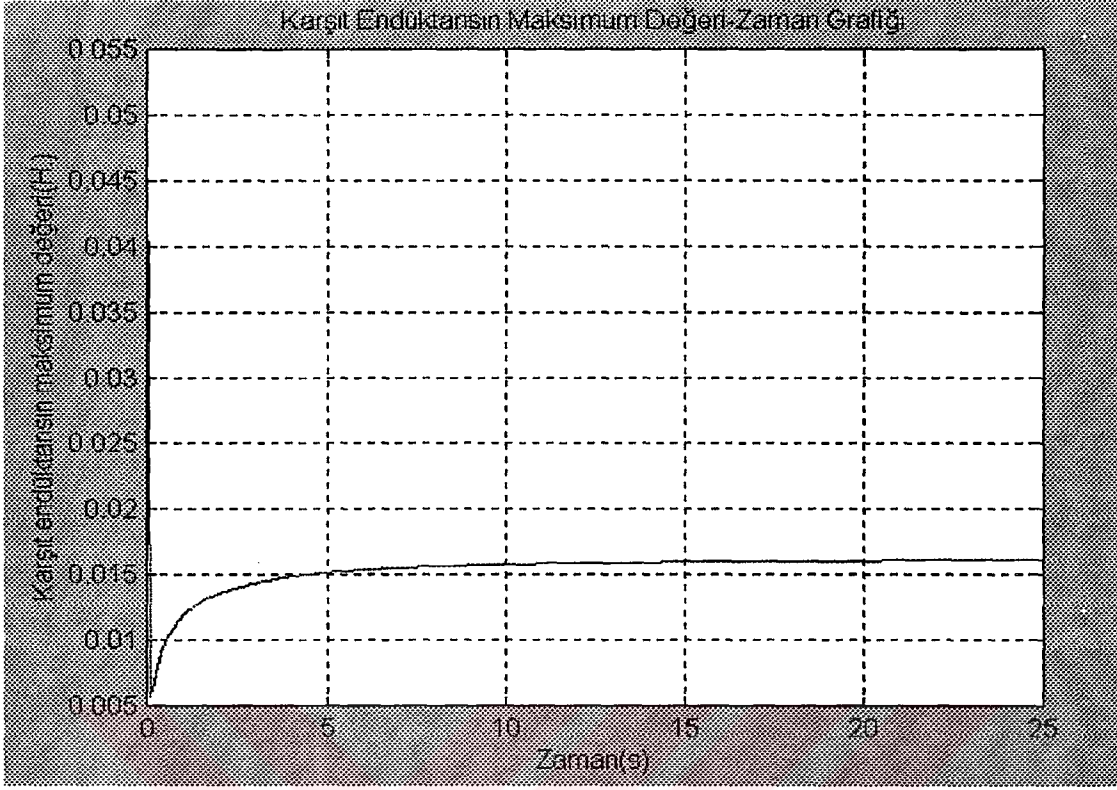
Şekil 5.9 Verim-Zaman grafiği (A)



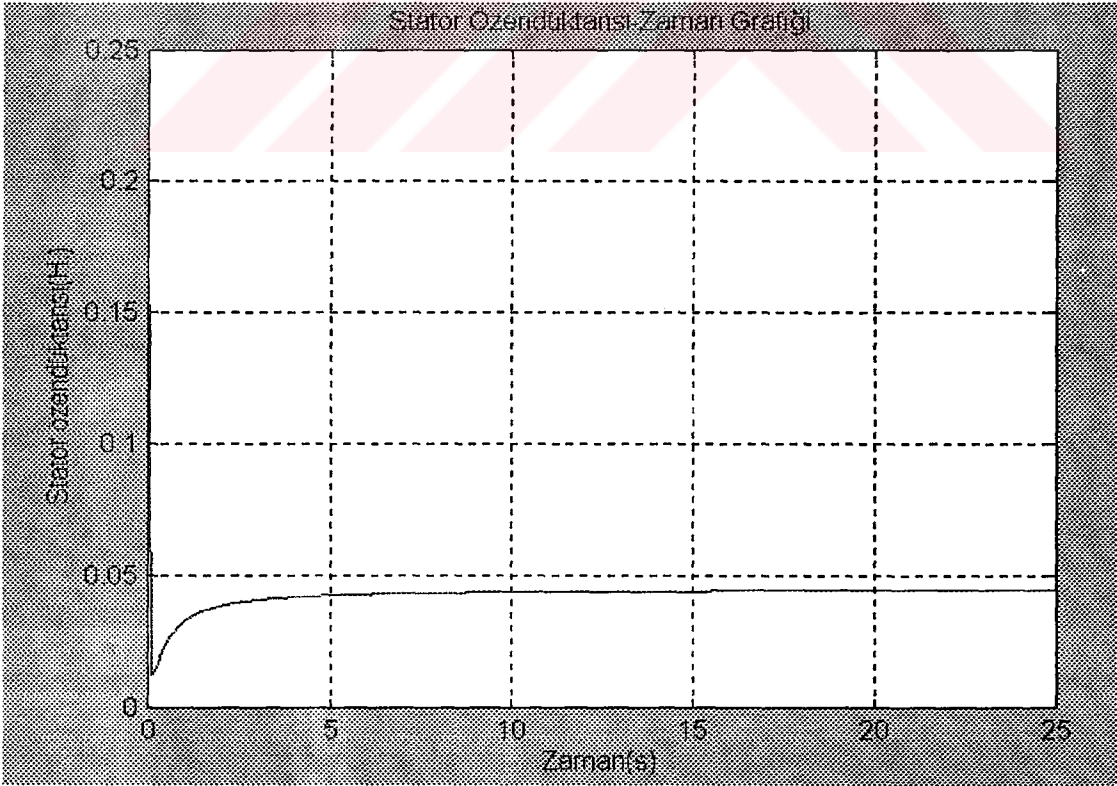
Şekil 5.10 Rotor endüktansının maksimum değeri-Zaman grafiği (A)



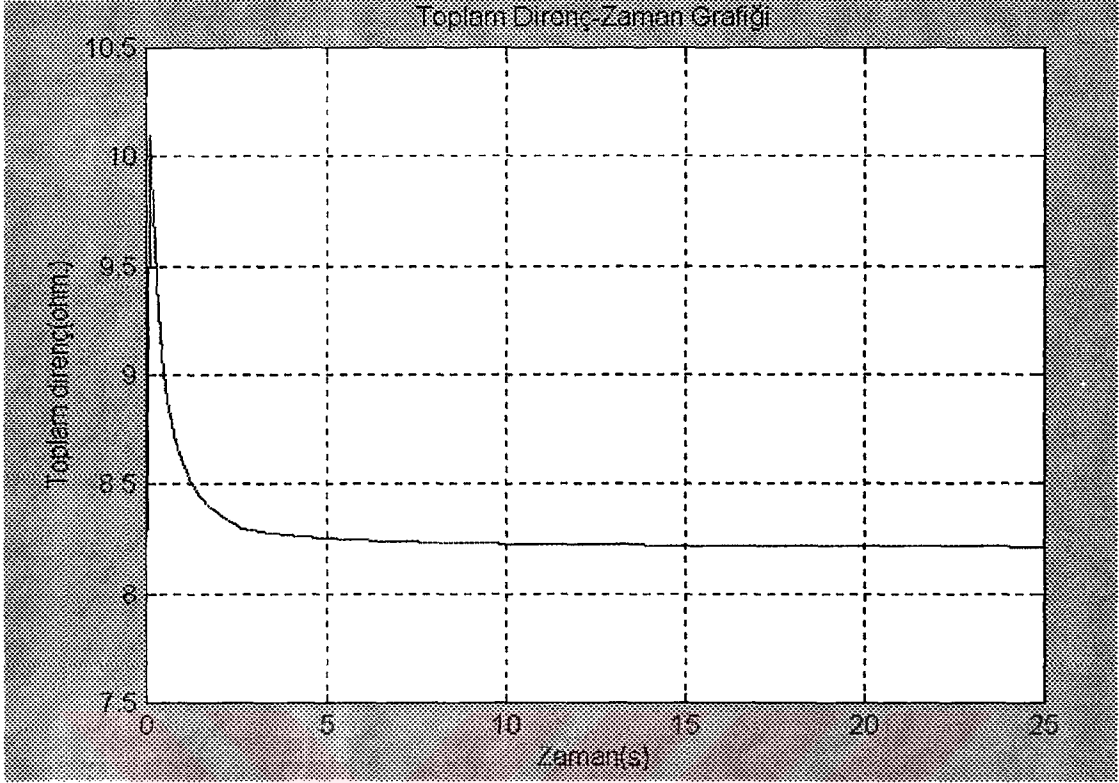
Şekil 5.11 Rotor endüktansının minimum değeri-Zaman grafiği (A)



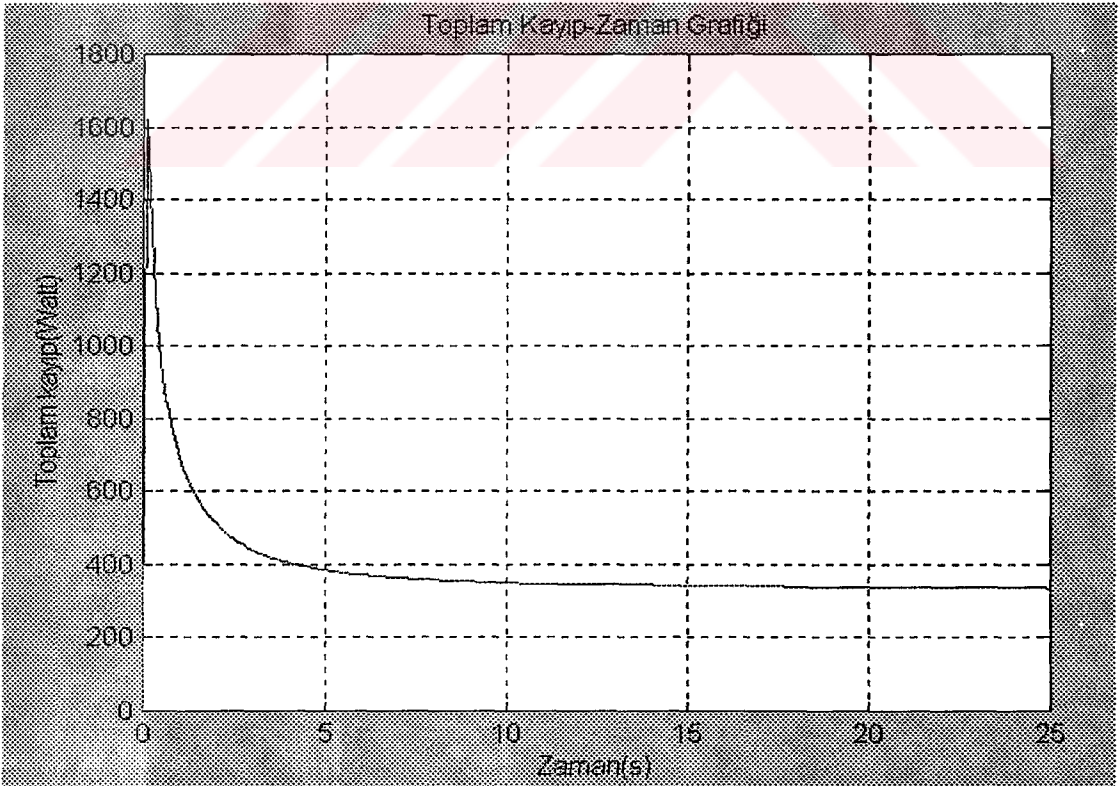
Şekil 5.12 Karşıt endüktansın maksimum değeri-Zaman grafiği (A)



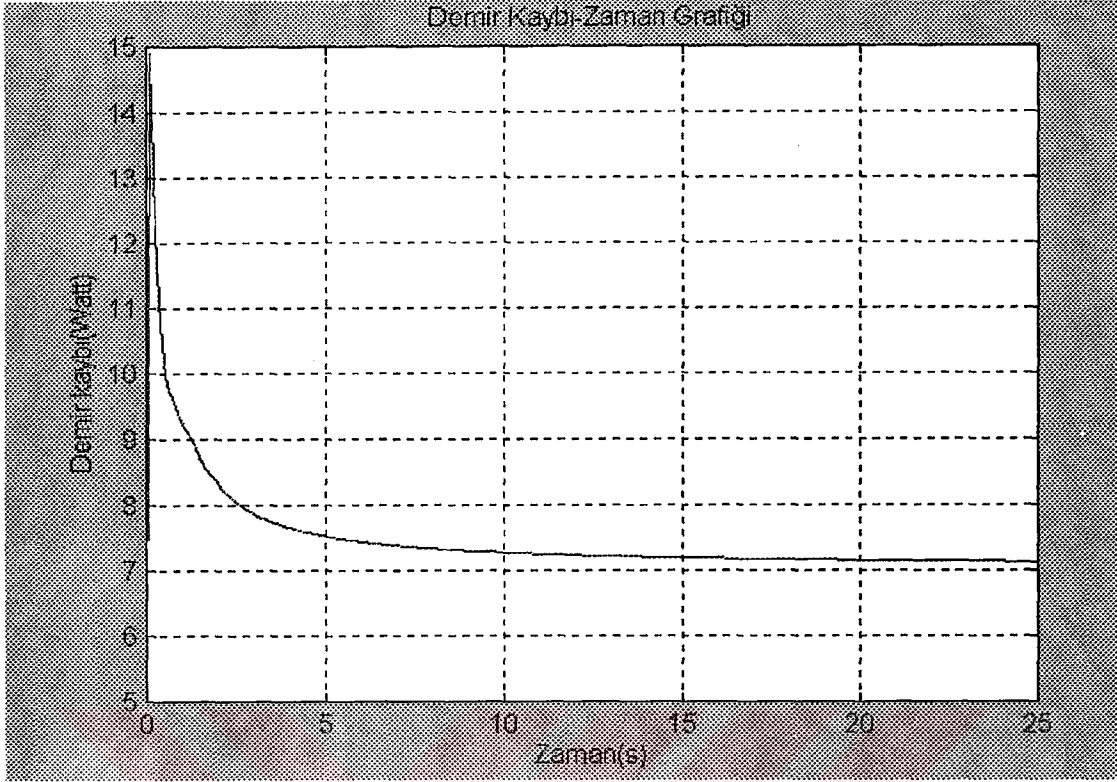
Şekil 5.13 Stator özendüktansı-Zaman grafiği (A)



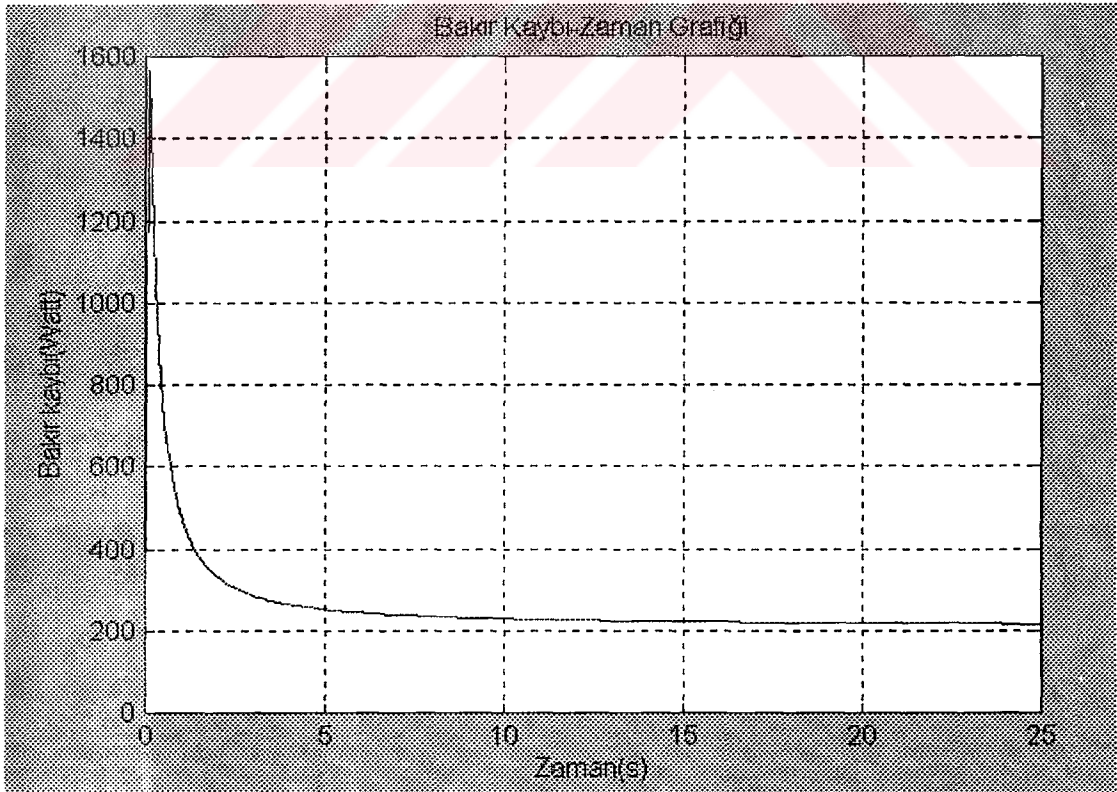
Şekil 5.14 Toplam direnç-Zaman grafiği (A)



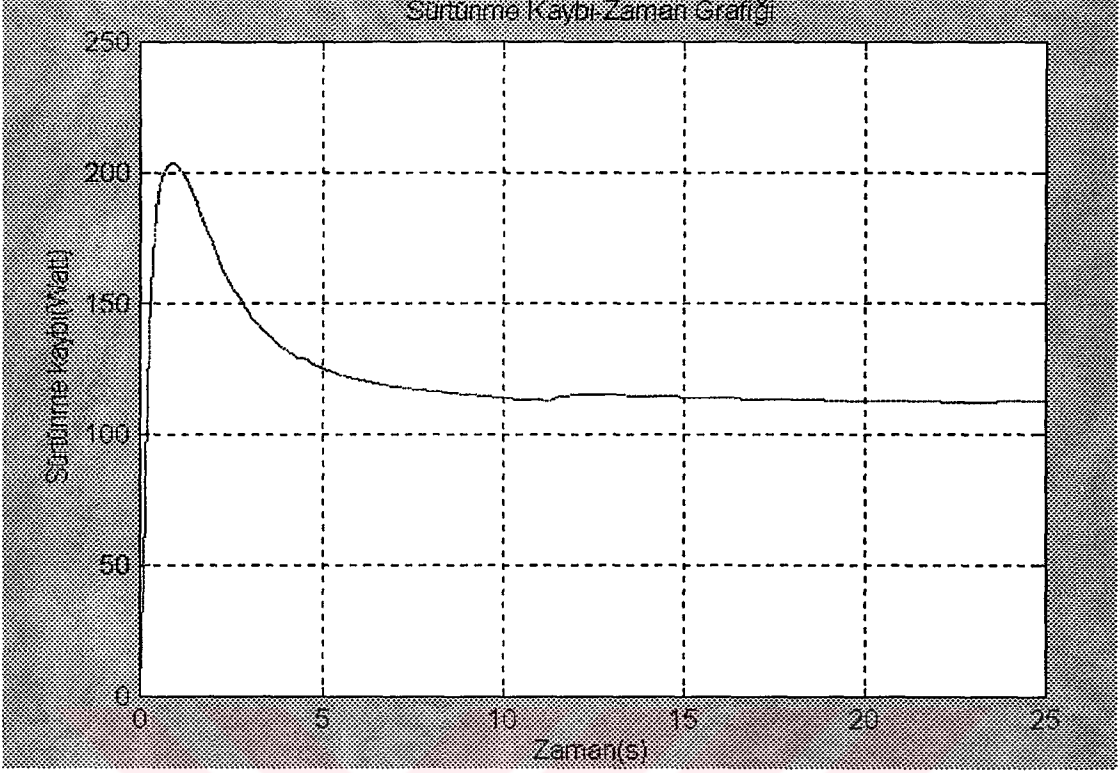
Şekil 5.15 Toplam kayıp-Zaman grafiği (A)



Şekil 5.16 Demir kaybı-Zaman grafiği (A)

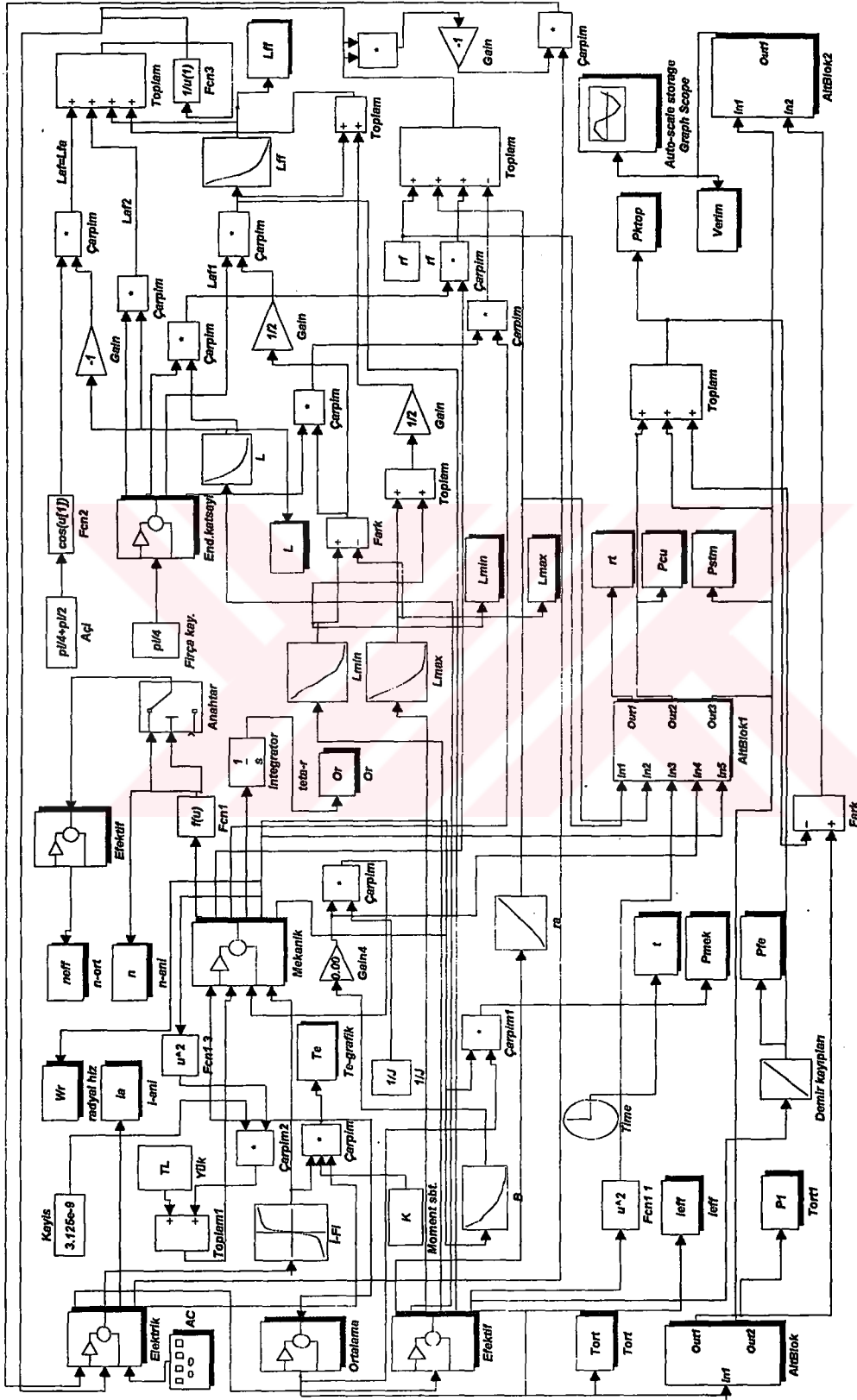


Şekil 5.17 Bakır kaybı-Zaman grafiği (A)



Şekil 5.18 Sürtünme kaybı-Zaman grafiği (A)

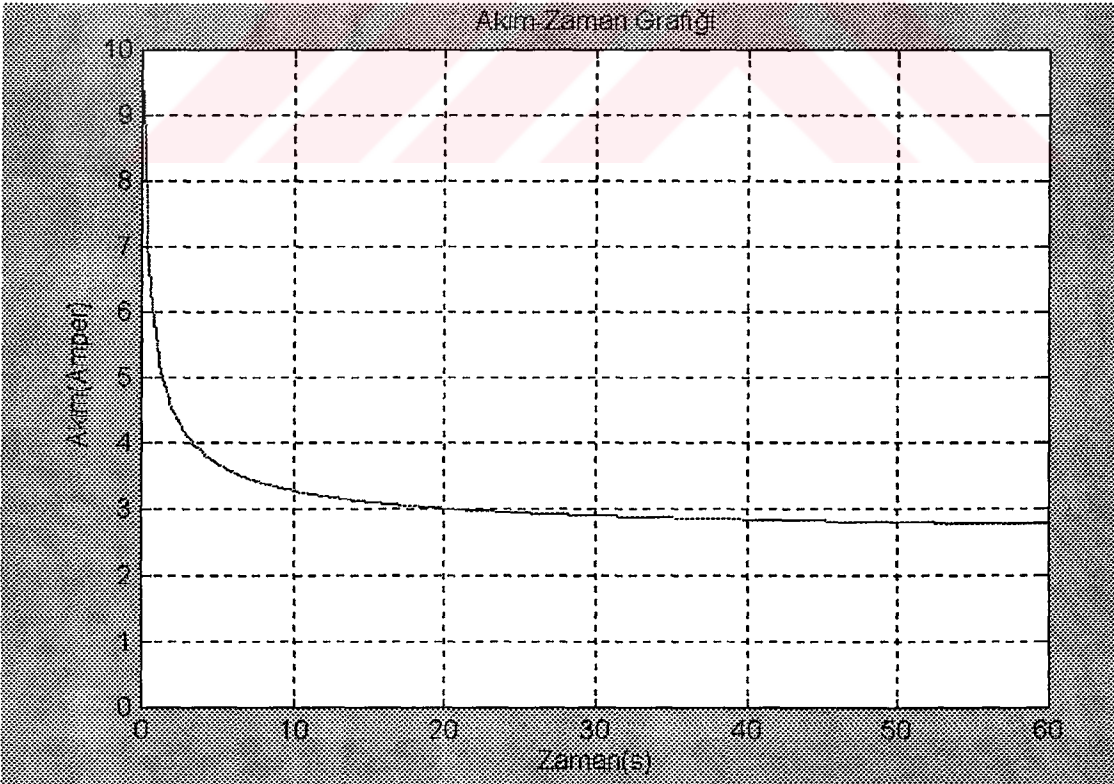
5.2.2 B Tipi Ünlversal Motor İçin Nominal Yükte Benzetim Sonuçları:



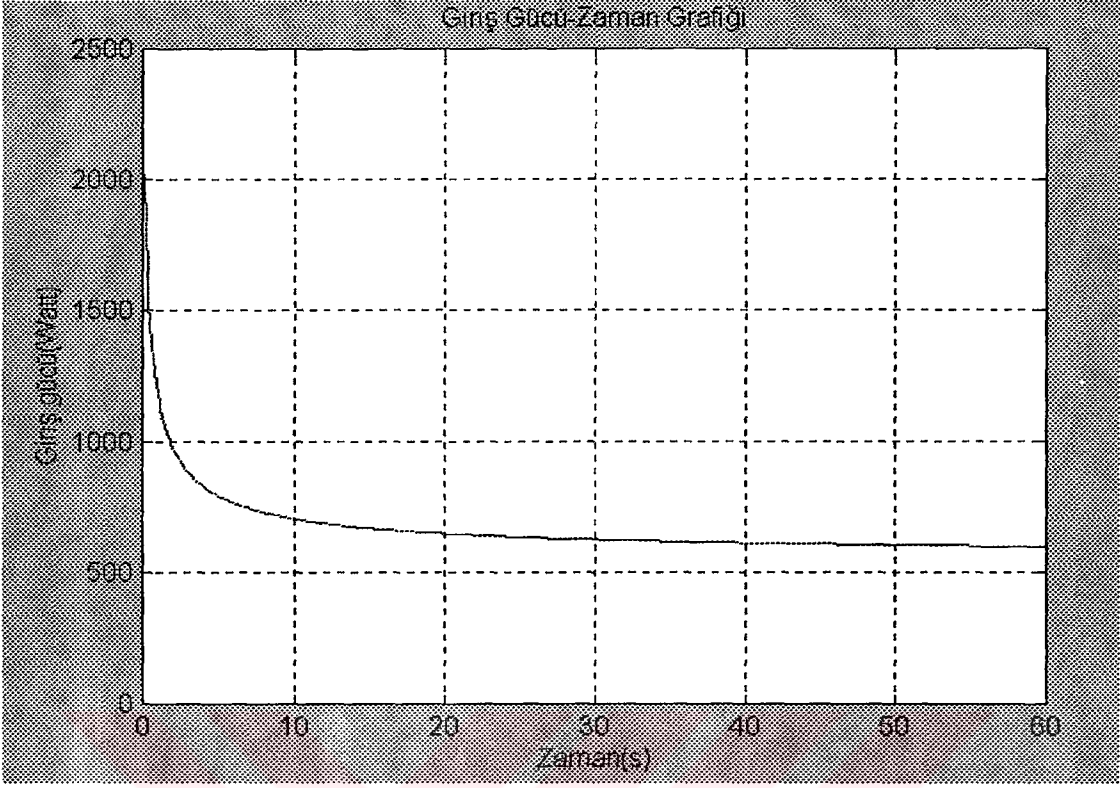
Şekil 5.19 Umsim Blok Diyagramı(B)



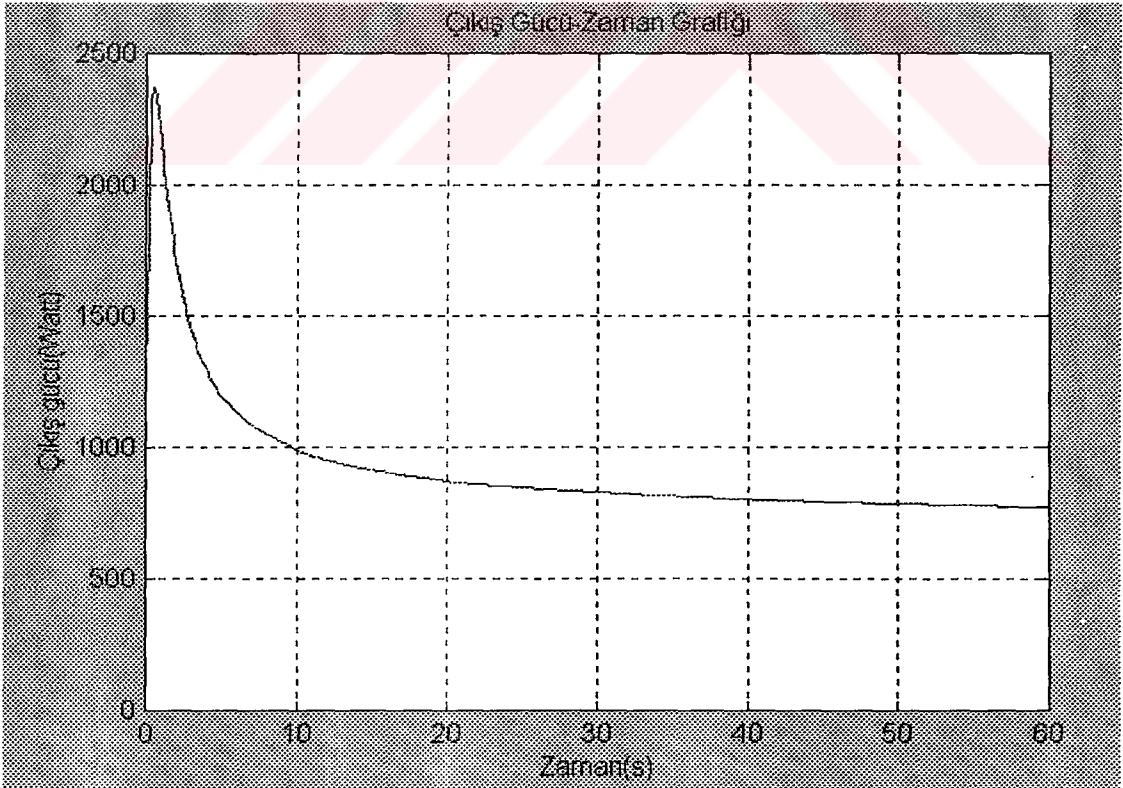
Şekil 5.20 Hız-Zaman grafiği (B)



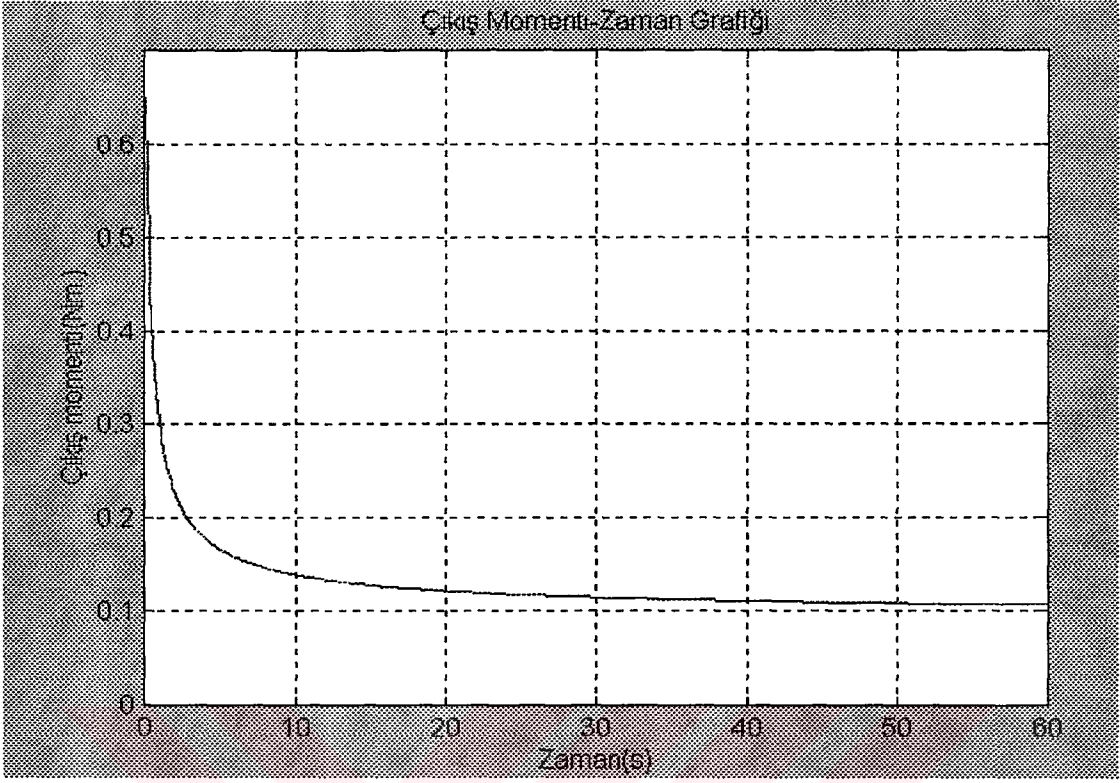
Şekil 5.21 Akım-Zaman grafiği (B)



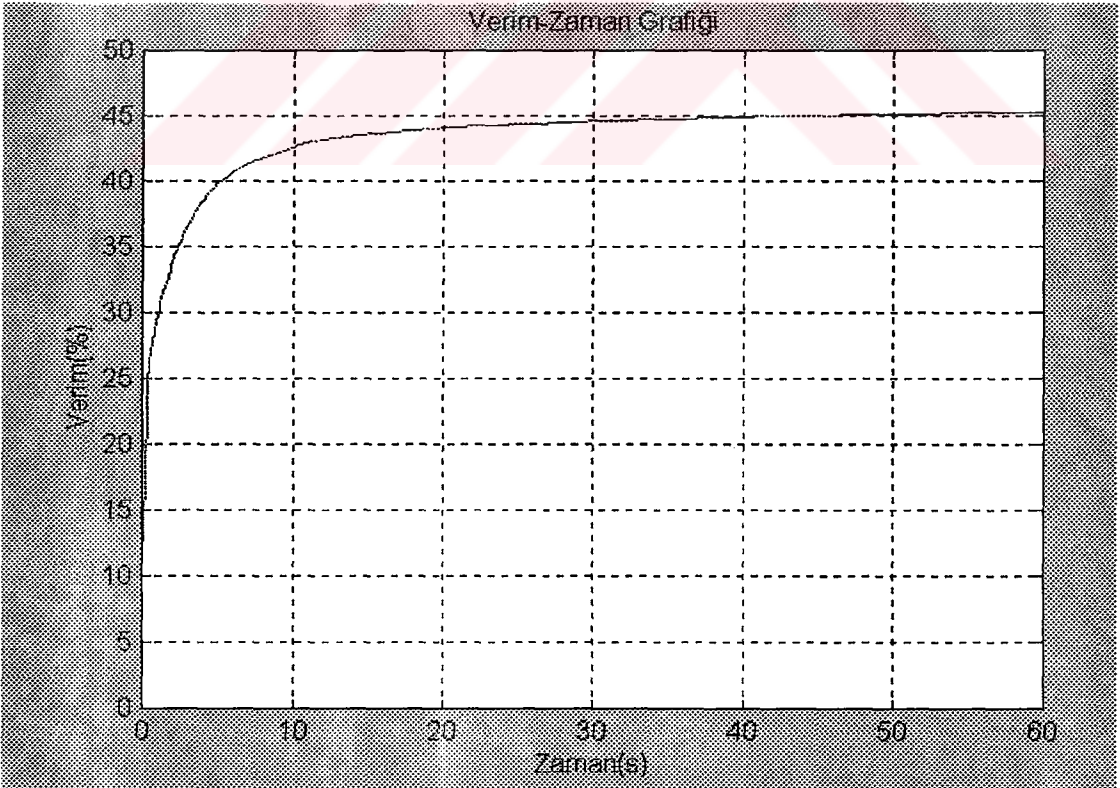
Şekil 5.22 Giriş Gücü-Zaman grafiği (B)



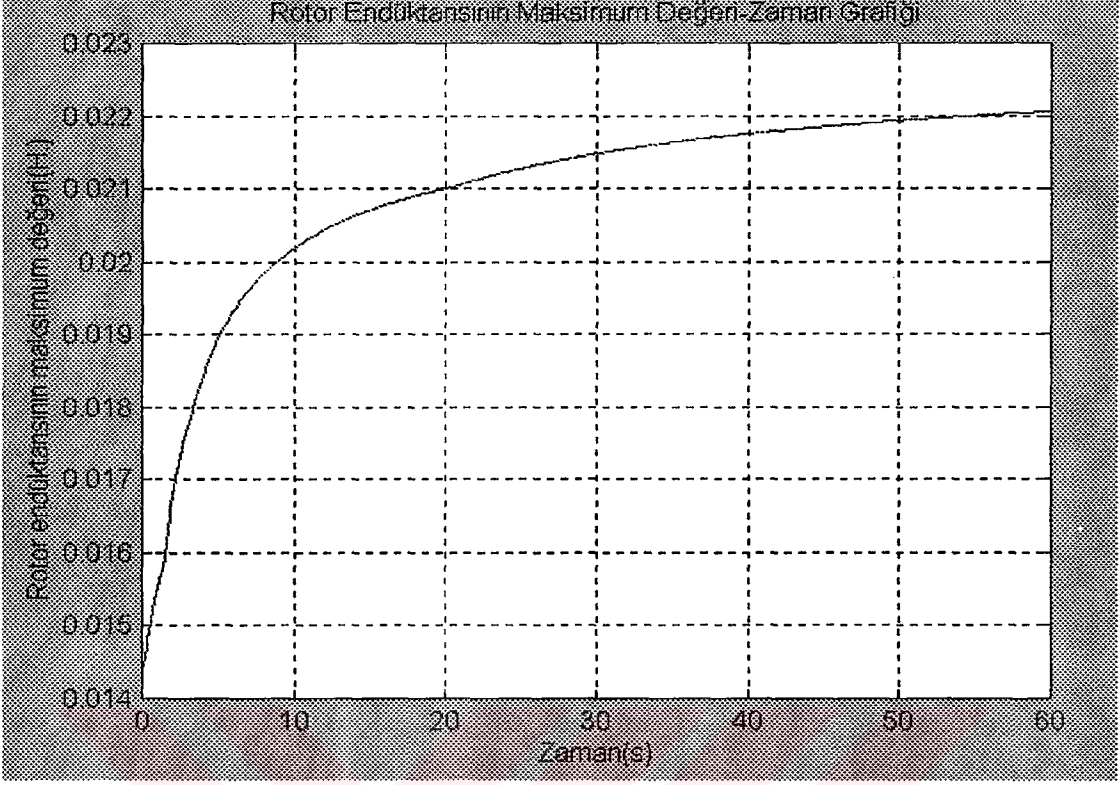
Şekil 5.23 Çıkış Gücü-Zaman grafiği (B)



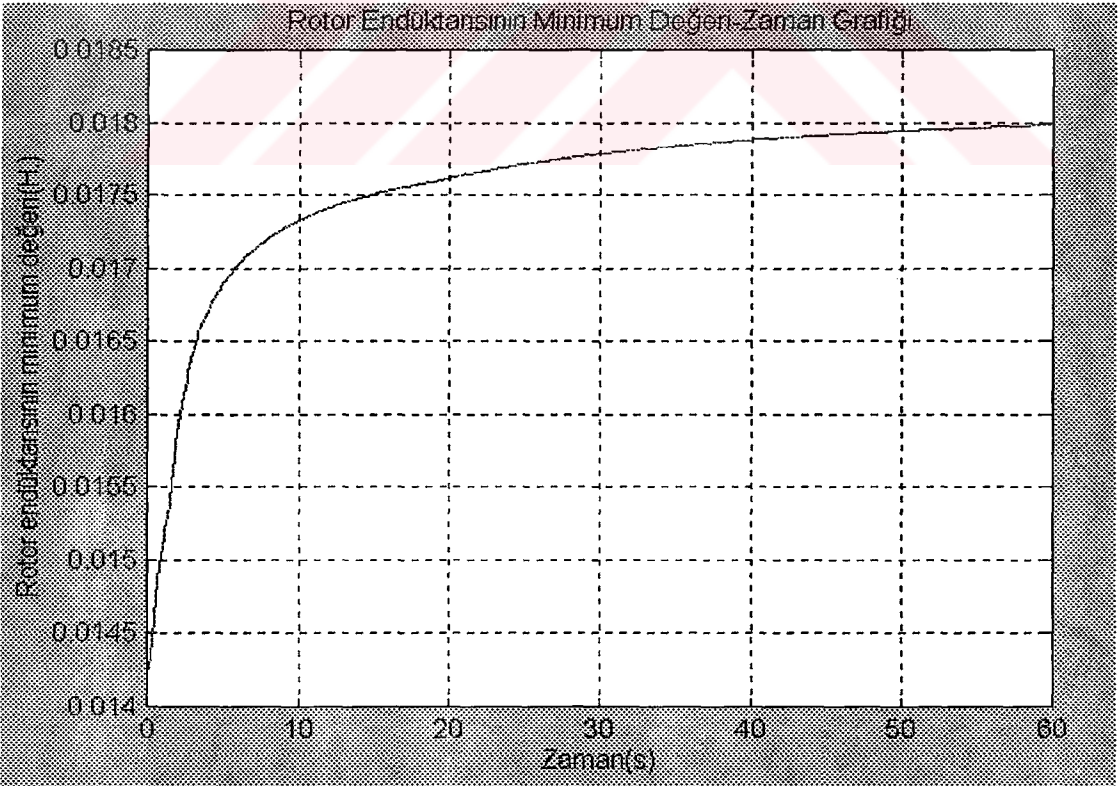
Şekil 5.24 Çıkış Momenti-Zaman grafiği (B)



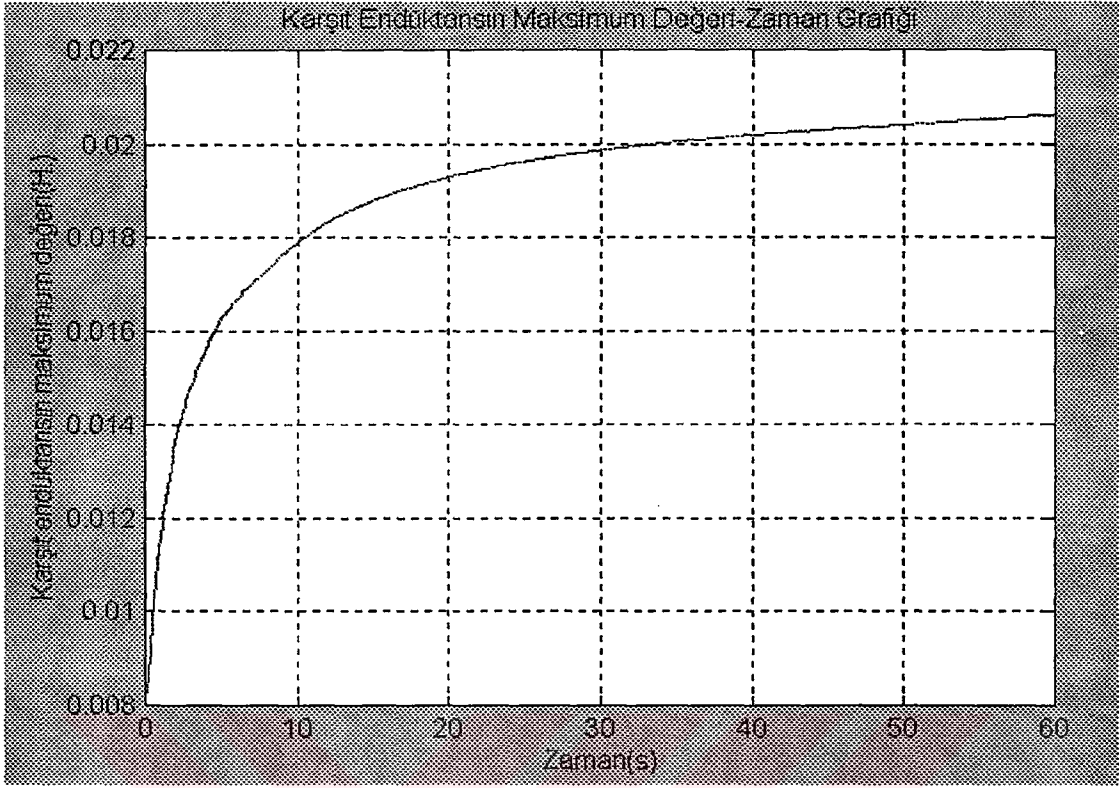
Şekil 5.25 Verim-Zaman grafiği (B)



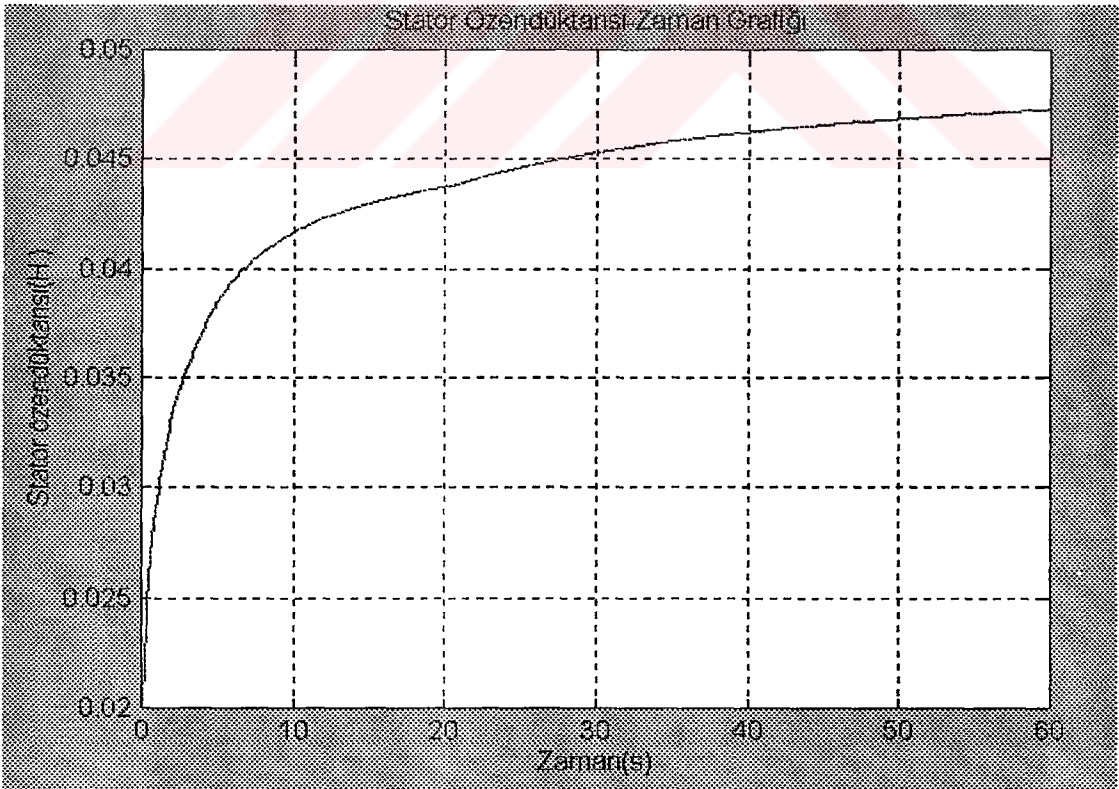
Şekil 5.26 Rotor endüktansının maksimumdeğeri-Zaman grafiği (B)



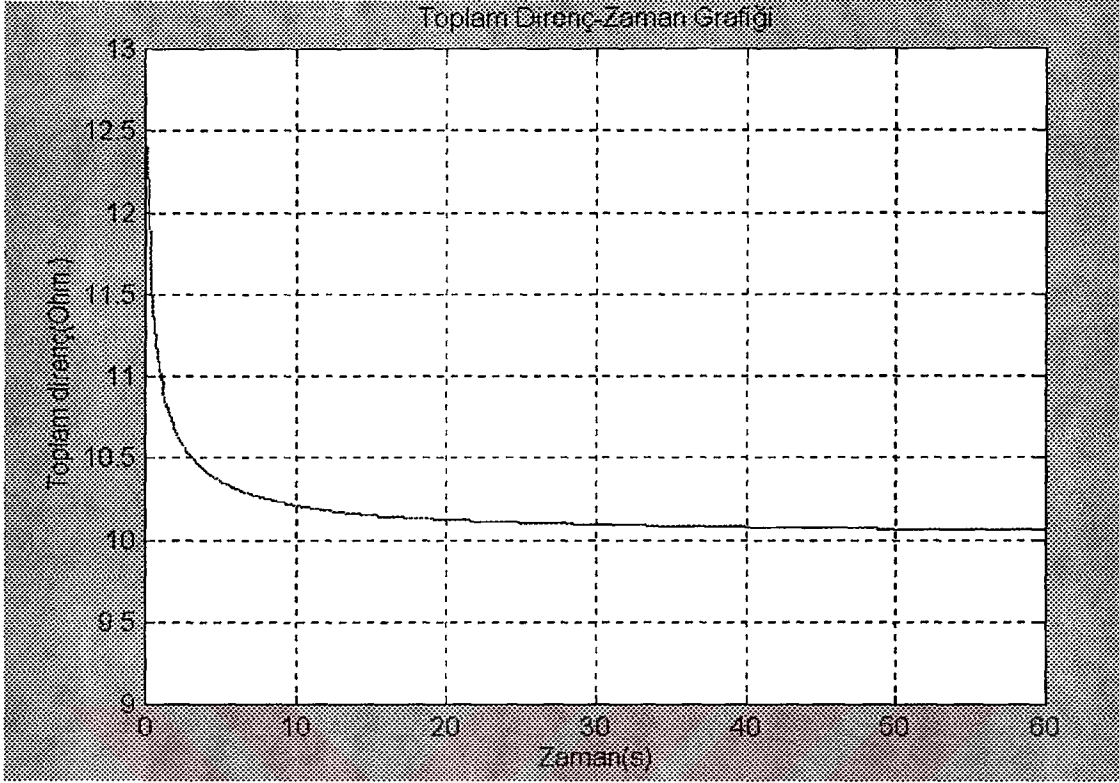
Şekil 5.27 Rotor endüktansının minimumdeğeri-Zaman grafiği (B)



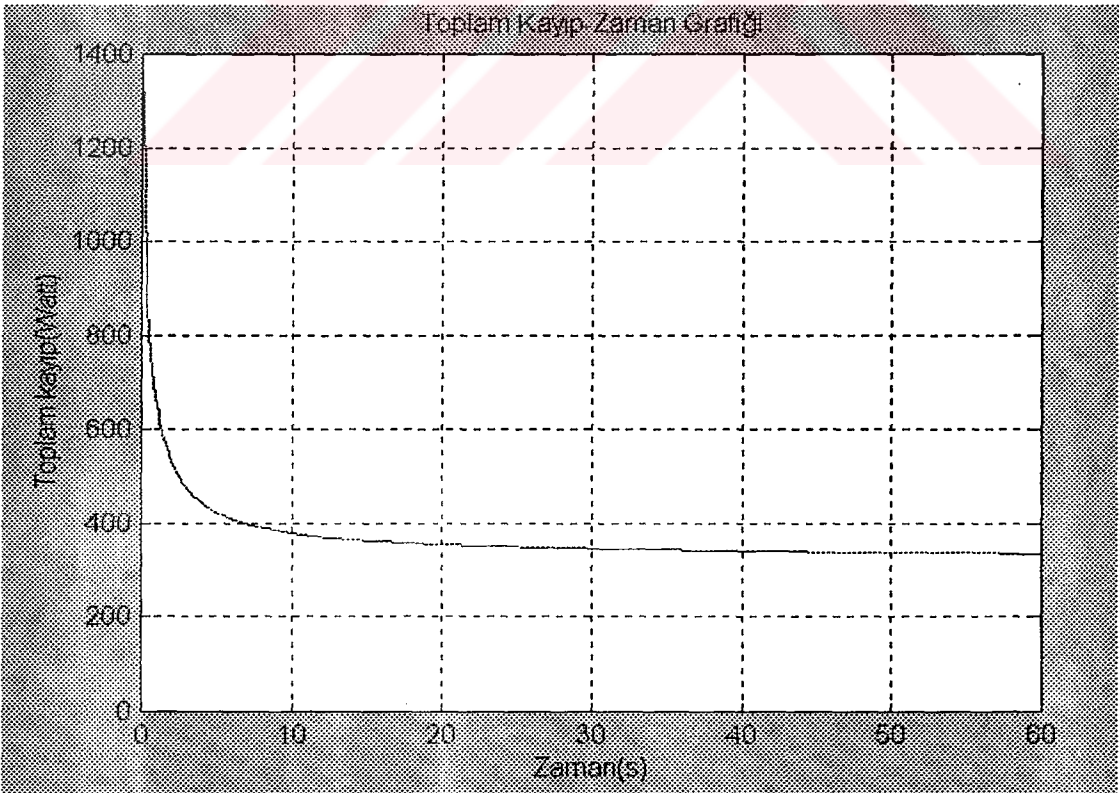
Şekil 5.28 Karşıt endüktansın maksimum değeri-Zaman grafiği (B)



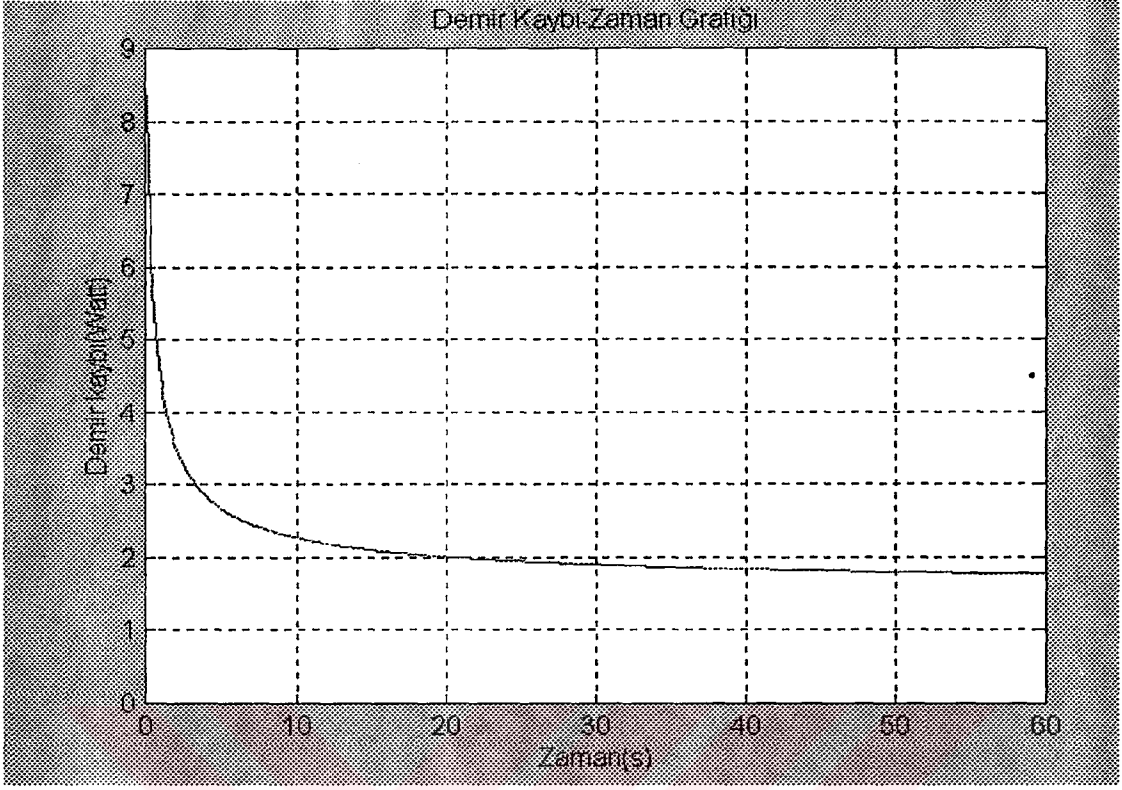
Şekil 5.29 Stator özendüktansı-Zaman grafiği (B)



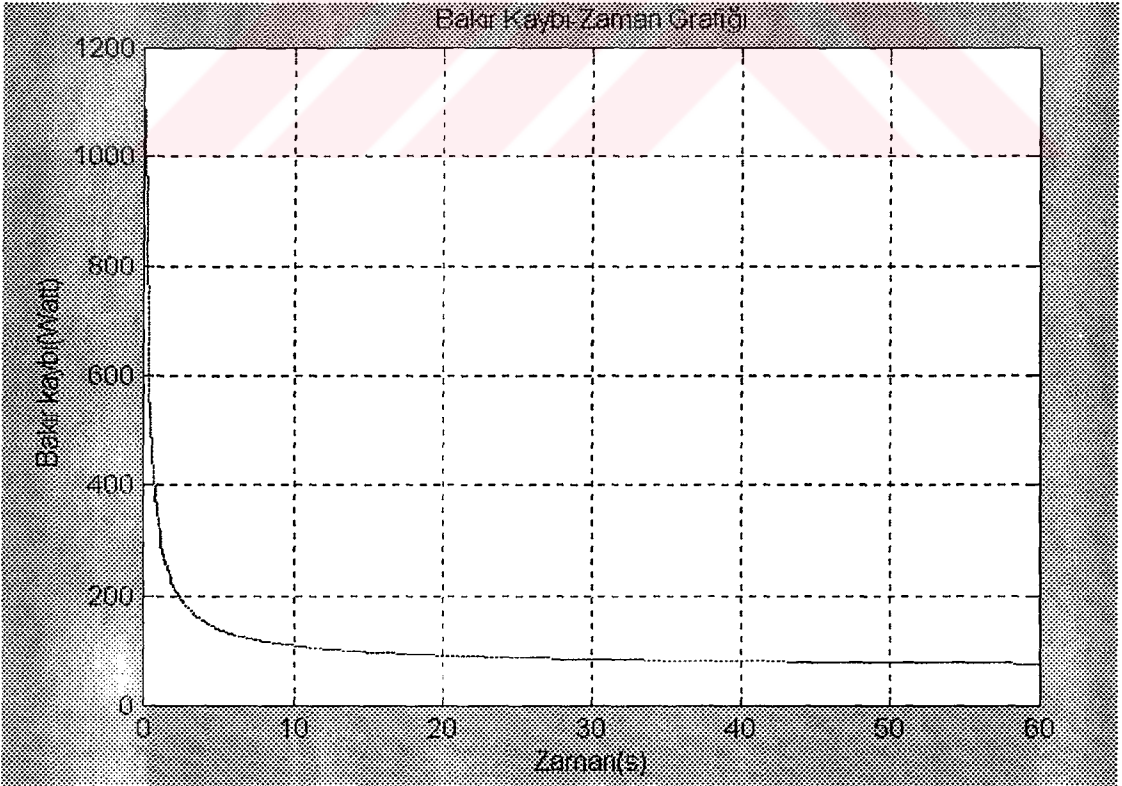
Şekil 5.30 Toplam direnç-Zaman grafiği (B)



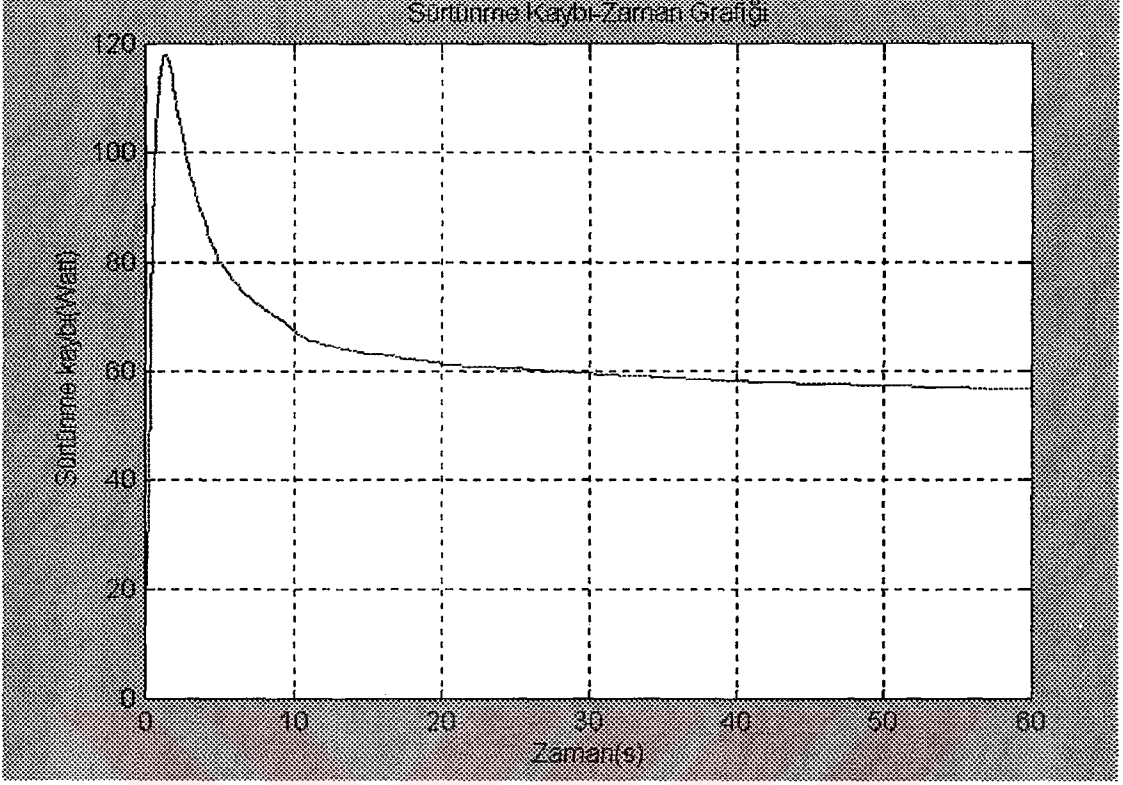
Şekil 5.31 Toplam kayıp-Zaman grafiği (B)



Şekil 5.32 Demir kaybı-Zaman grafiği (B)



Şekil 5.33 Bakır kaybı-Zaman grafiği (B)



Şekil 5.34 Sürtünme kaybı-Zaman grafiği (B)

BÖLÜM 6

MAGTROL TEST DÜZENEĞİ VE DENEY SONUÇLARI

6.1 MAGTROL TEST DÜZENEĞİ

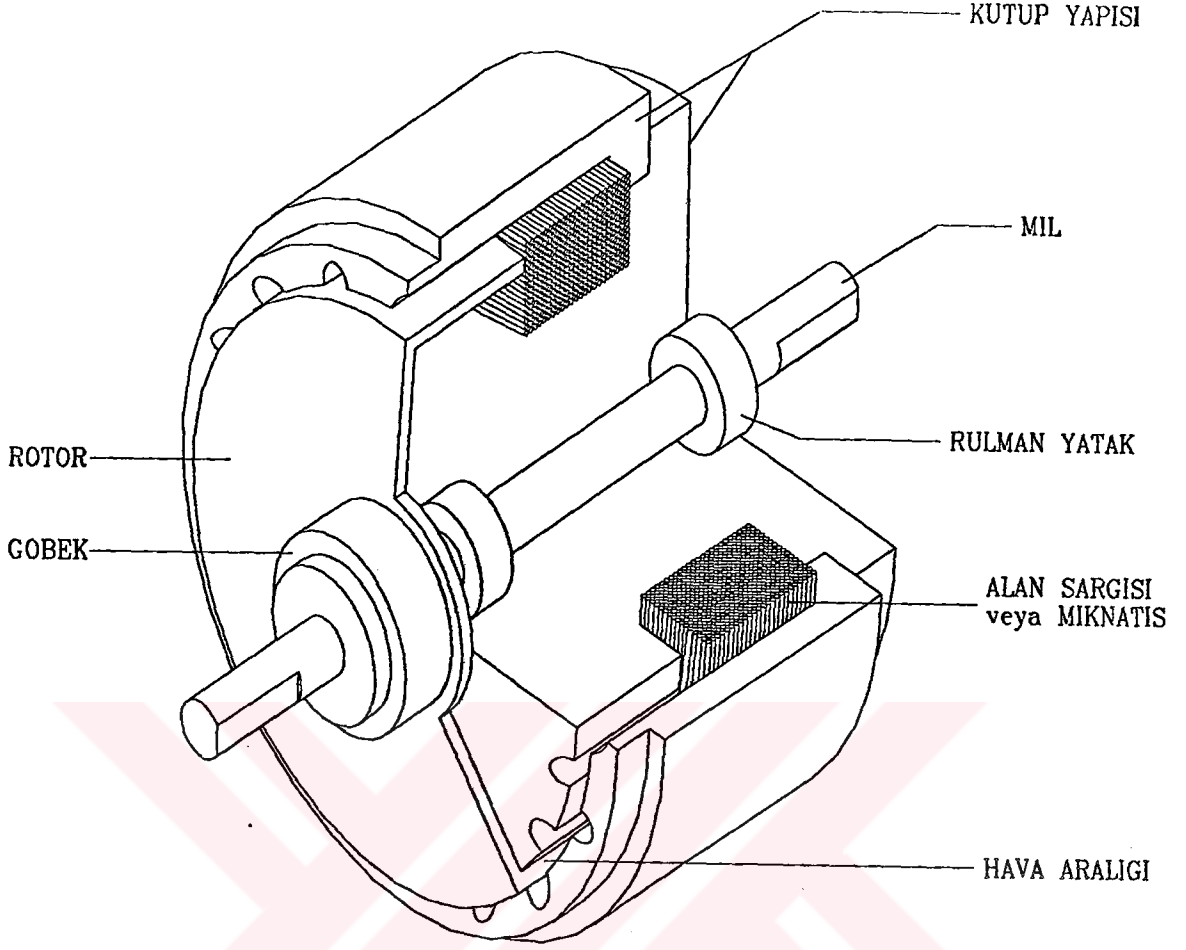
Üniversal motorların performans deneylerinin yapıldığı Magtrol test düzeneği Şekil 6.1 de gösterilmiştir. Magtrol test düzeneği şekilden de görüldüğü gibi test motoru, histerezis fren dinamometresi, programlanabilir dinamo kontrolörleri, güç analizörü, güç kaynağı, GPIB kabloları, bilgisayar ve yazıcıdan oluşmaktadır [14].

Test düzeneğinde yük olarak histerezis fren kullanılmaktadır. Histerezis frenin çalışma prensibi mıknatıslanmadaki histerezis etkinin birbirine fiziksel temas olmaksızın monte edilmiş iki temel komponent -ağ şeklindeki kutup yapısı ve özel çelik rotor / mil yapısı- montajı kullanarak moment kontrolüne uygulanması ilkesine dayanmaktadır. Kutup yapısı enerjileşinceye kadar rotor kendi mil yatağı üzerinde rahatça dönebilir. Alan sargısı ya da bir mıknatıs yardımıyla bir manyetik alan oluşturulduğunda hava aralığında alan akısı meydana gelir ve rotor manyetik olarak engellenir. Böylece kutup ve rotor arasında bir frenleme sağlanır. Histerezis fren yapısını gösteren kesit resim Şekil 6.2 ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Güç kaynağı ile test motoru arasına bağlanan Magtrol 5100 güç analizörü yüksek doğrulukta ölçümler yapıp, akım, gerilim ve giriş gücü/güç faktörü değerlerini göstermektedir.

Histerezis fren, güç analizörü ile bilgisayar arasına bağlanan programlanabilir dinamometre kontrolörleri yardımı ile çıkış momenti, hız, giriş gücü bilgileri elde edilmektedir.

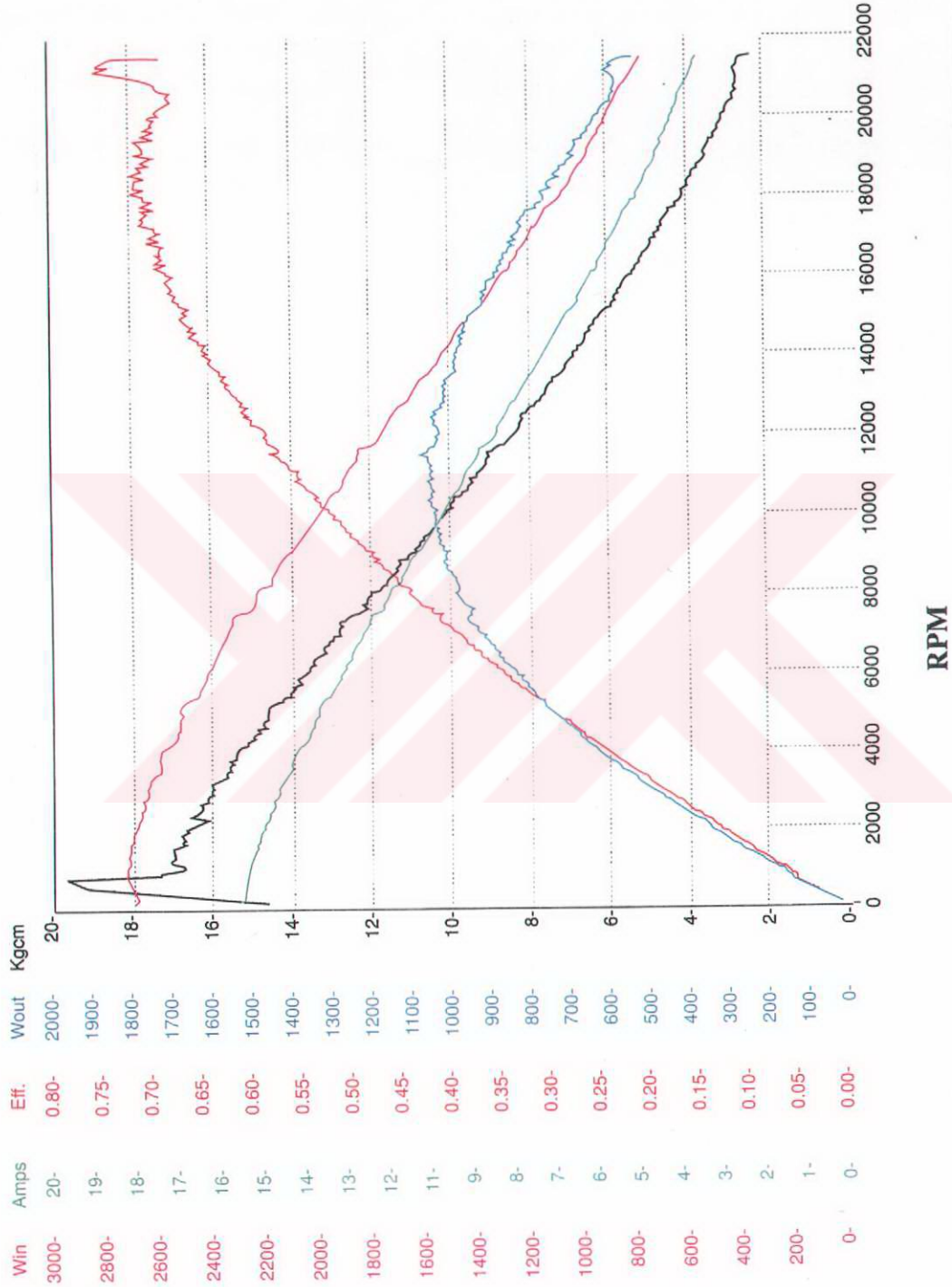
Programlanabilir kontrolörler ve güç analizörleri yardımı ile elde edilen bilgiler GPIB kabloları ile bilgisayara aktarılmaktadır. Magtrol' ün M-Test yazılımında bu bilgiler değerlendirilerek giriş gücü, çıkış gücü, çıkış momenti, akım ve verimin hızla göre değişim eğrileri elde edilmektedir.



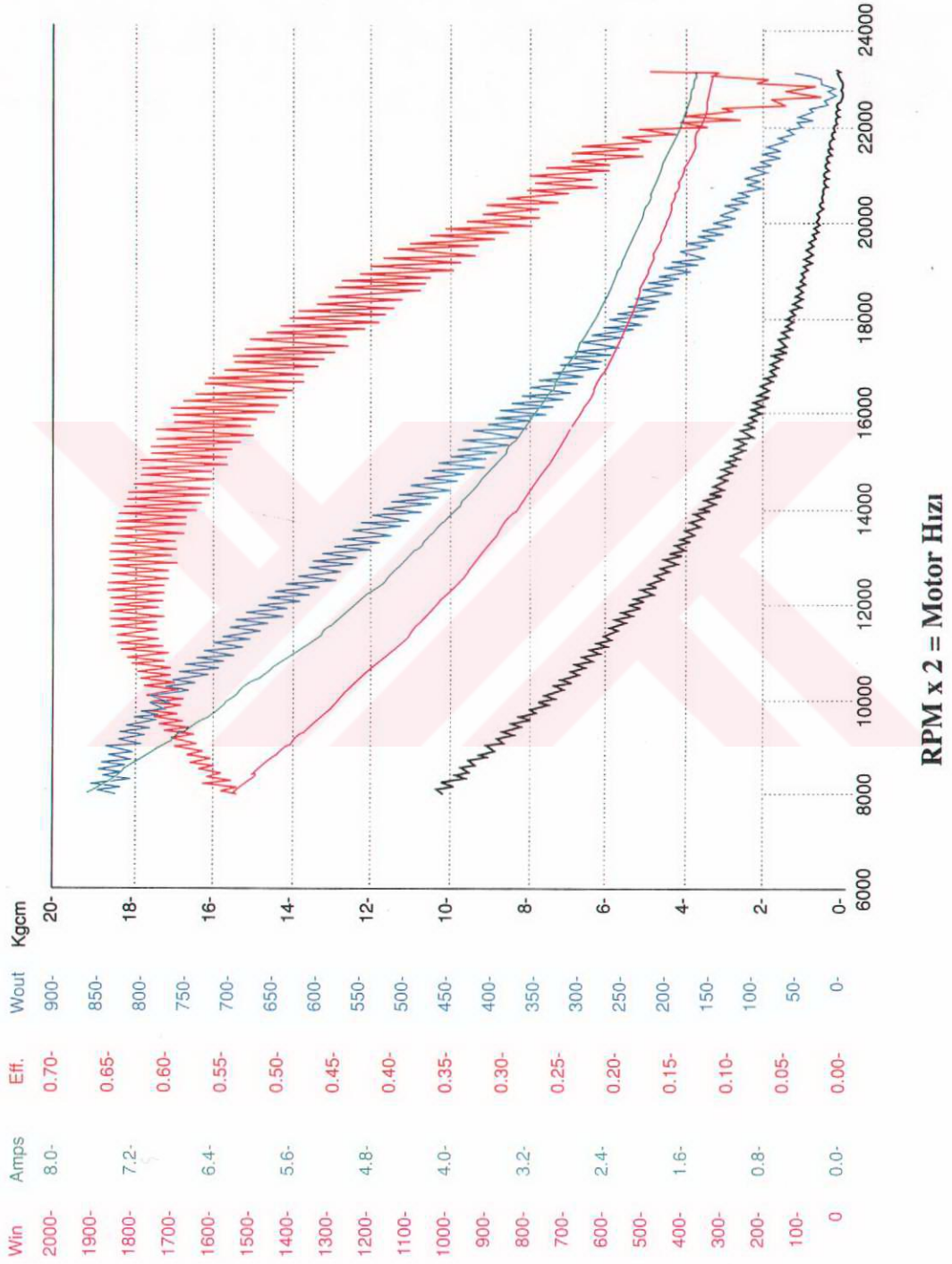
Şekil 6.2 Histerezis fren kesit resmi

6.2 MAGTROL DENEY SONUÇLARI

A ve B tipi universal motorlar Şekil 6.1' deki test düzeneğine bağlanarak histerezis frenin önceden bilinen moment değerlerinde yüklenerek, bu motorlara ilişkin çıkış momenti-hız, çıkış gücü-hız, giriş akımı-hız, giriş gücü-hız, verim-hız değişim grafikleri Magtrol M-Test programından elde edilmiştir. Bu grafikler Şekil 6.3 ve Şekil 6.4' de ölçekli olarak gösterilmiştir.



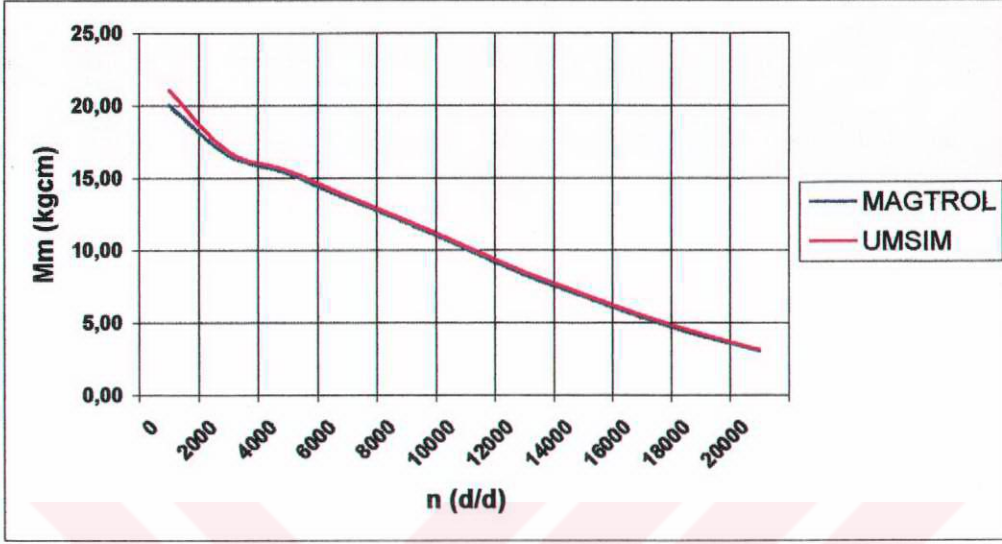
Şekil 6.3 A tipi motor için Magtrol test sonuçları



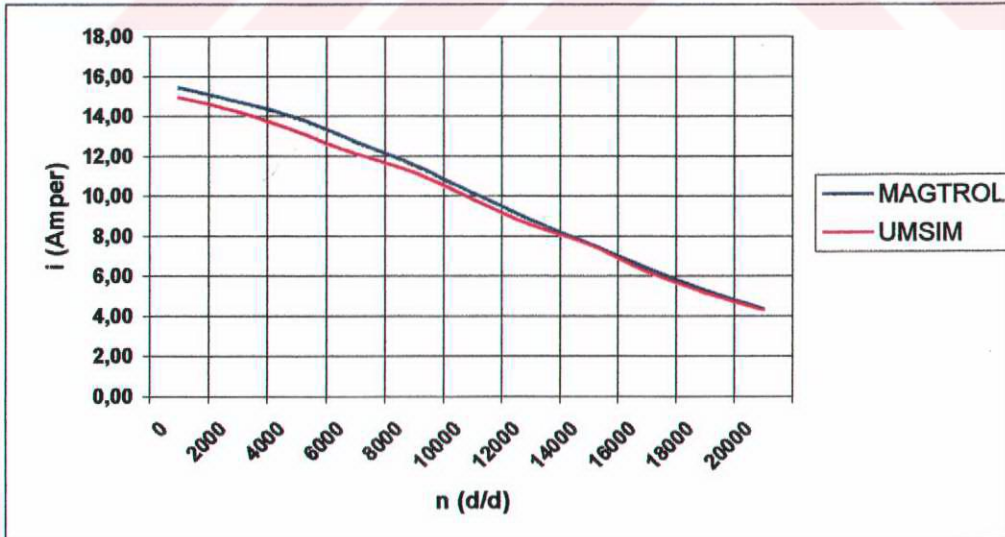
Şekil 6.4 B tipi motor için Magtrol test sonuçları

6.3 Magtrol Test Sonuçları ile Umsim Sonuçlarının Karşılaştırılması:

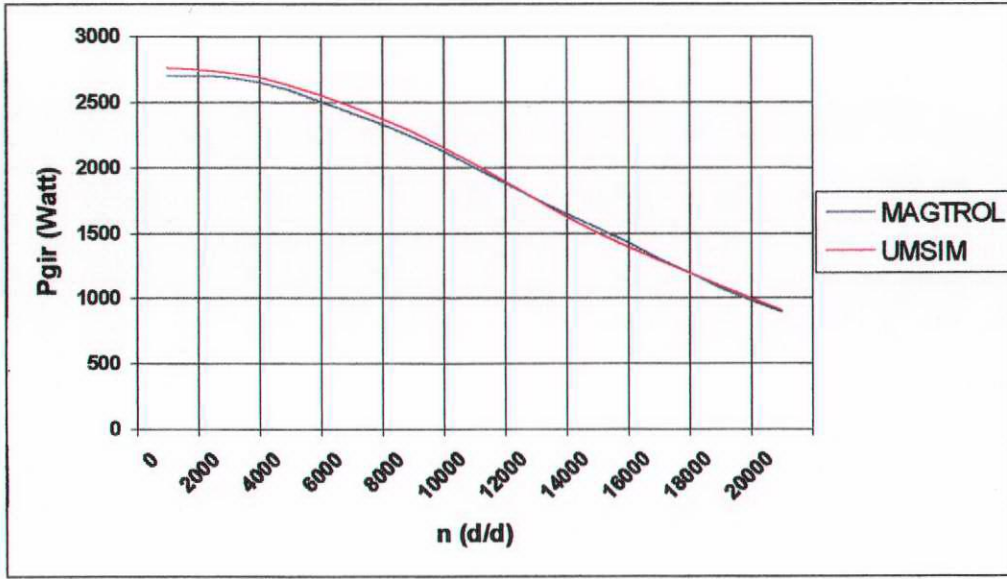
6.3.1. A Tipi Üniversal Motor için Karşılaştırma:



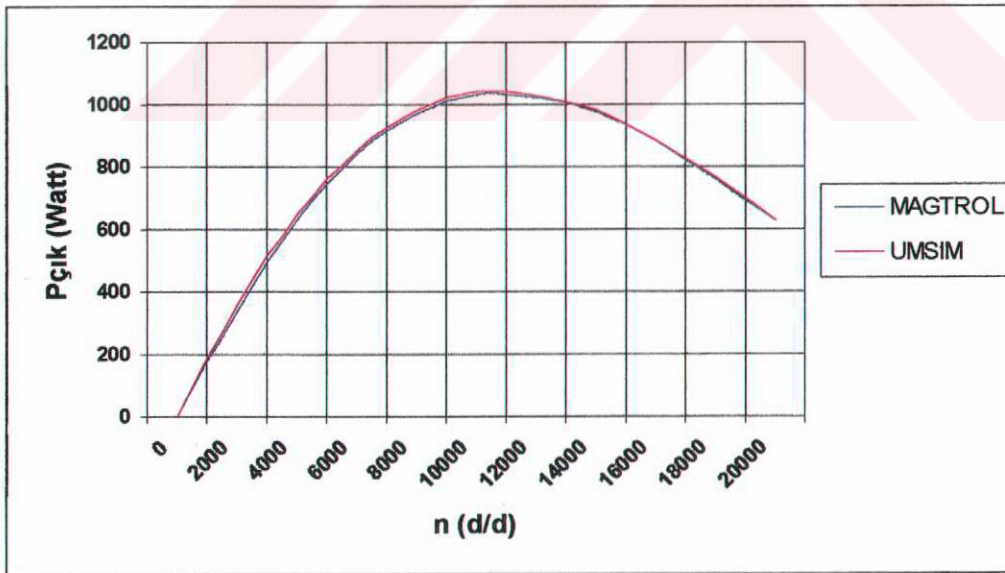
Şekil 6.5 Hız-Çıkış Momenti Karşılaştırması (A)



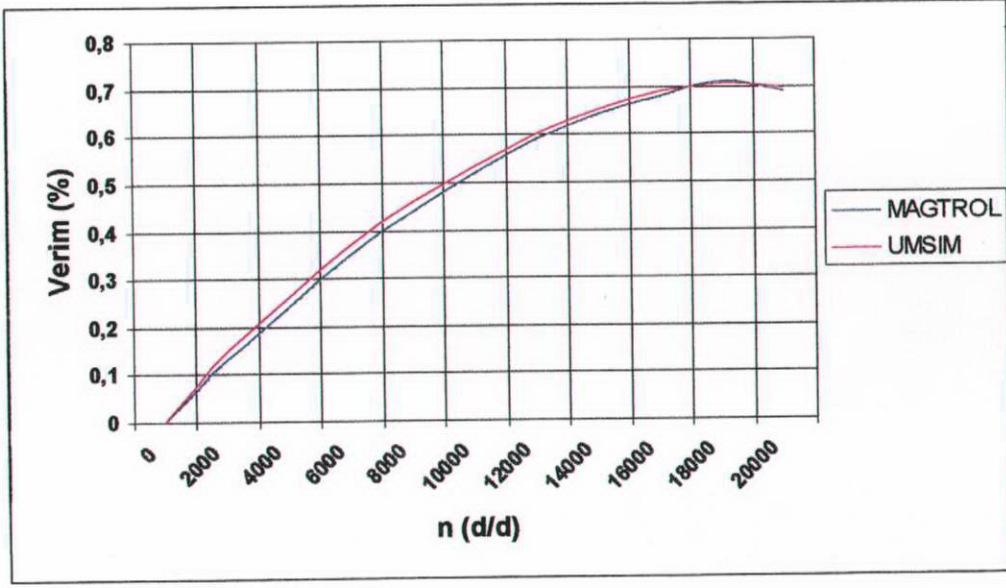
Şekil 6.6 Hız-Akım Karşılaştırması (A)



Şekil 6.7 Hız-Giriş Gücü Karşılaştırması (A)

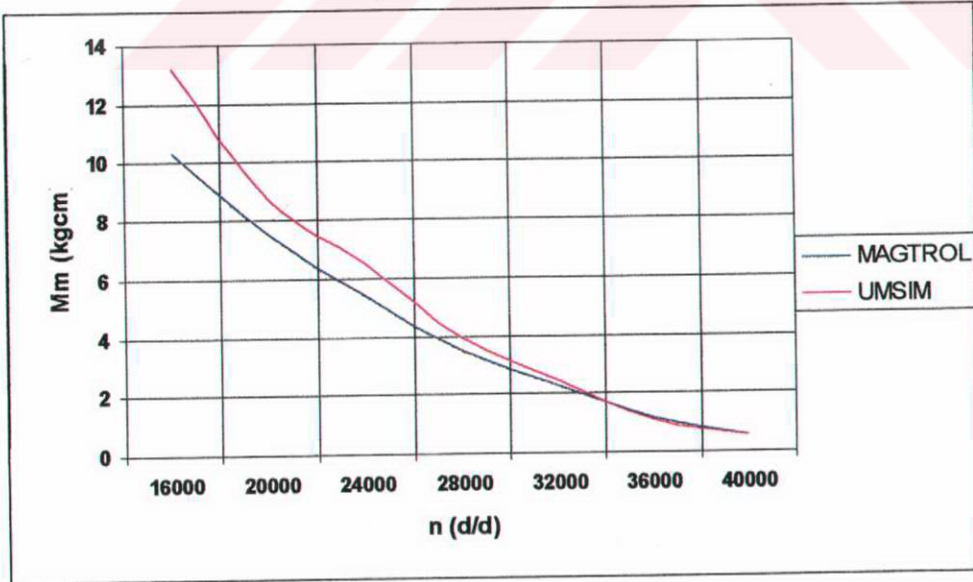


Şekil 6.8 Hız-Çıkış Gücü Karşılaştırması (A)

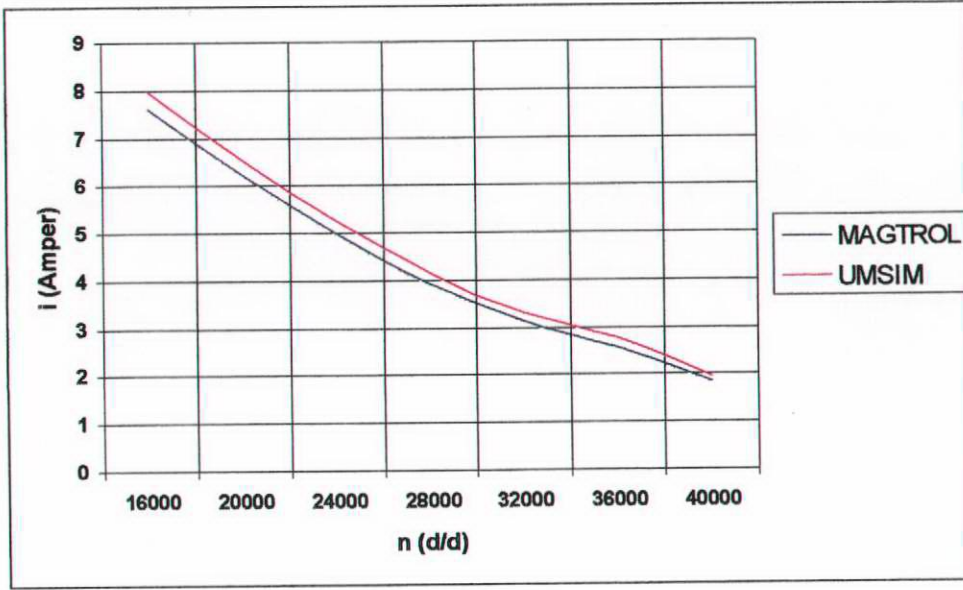


Şekil 6.9 Hız-Verim Karşılaştırması (A)

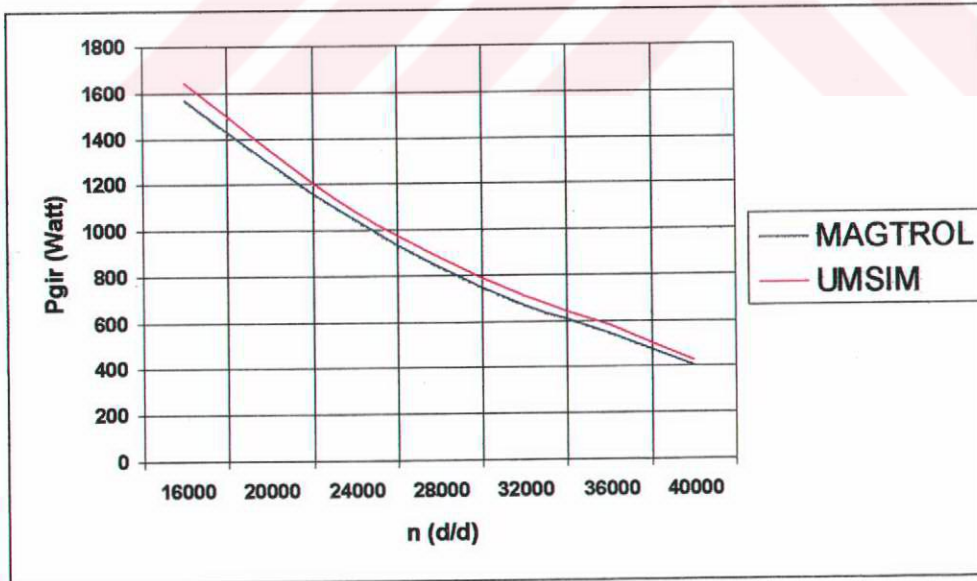
6.3.2. B Tipi Üniversal Motor için Karşılaştırma:



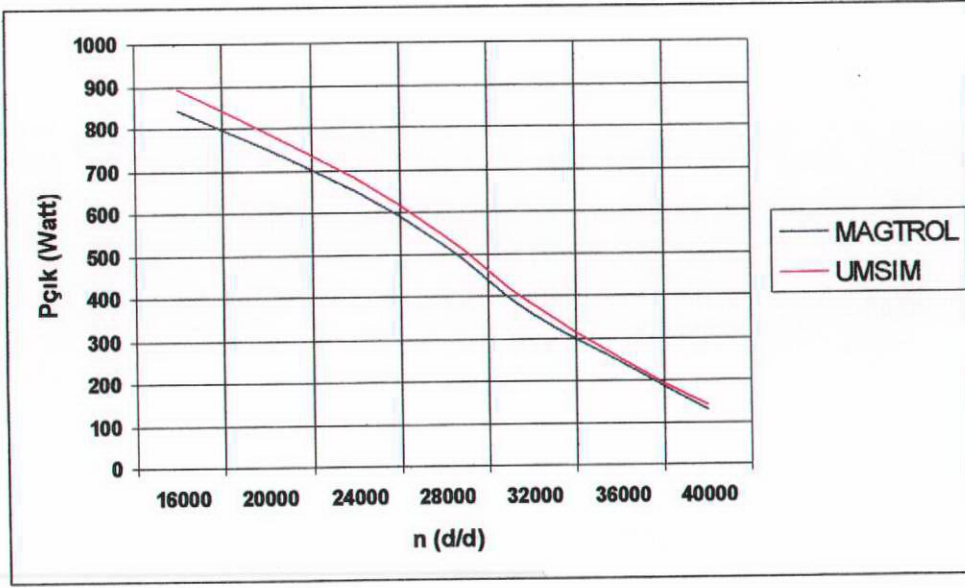
Şekil 6.10 Hız-Çıkış Momenti Karşılaştırması (B)



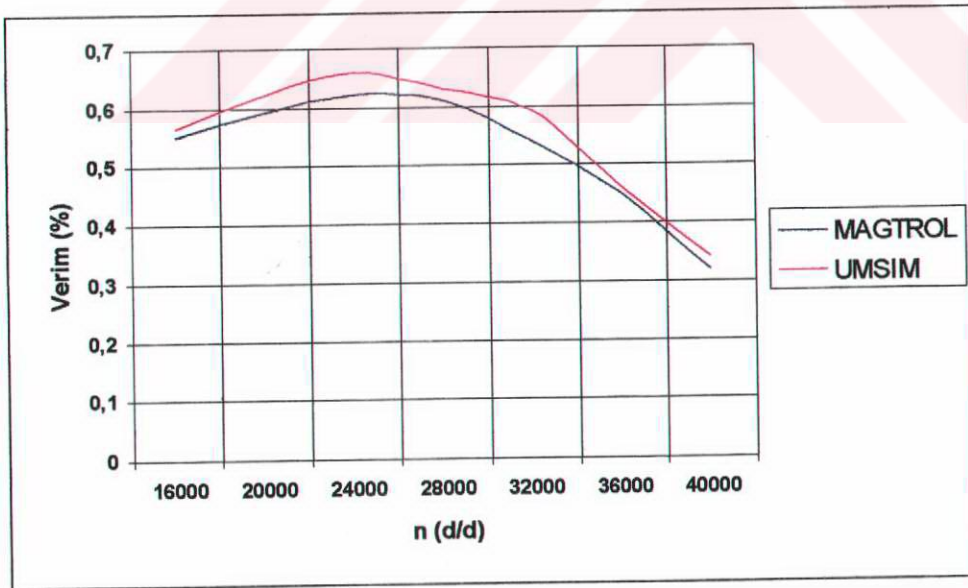
Şekil 6.11 Hız-Akım Karşılaştırması (B)



Şekil 6.12 Hız-Giriş Gücü Karşılaştırması (B)



Şekil 6.13 Hız-Çıkış Gücü Karşılaştırması (B)



Şekil 6.14 Hız-Verim Karşılaştırması (B)

BÖLÜM 7

ÜNİVERSAL MOTOR TASARIMI

7.1 Motor Ana Boyutlarının Belirlenmesi

Üniversal motorun boyutlandırılması, iç güç bağıntısı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu hesabın yapılabilmesi için, motorun çıkış gücü, devir sayısı ve nominal gerilimi veri olarak alınmıştır [15].

İç güç (P_i):

$$P_i = P_{mek} + P_{stm} + P_{fe} \quad (7.1)$$

SENUR Elektrik Motorları A.Ş. tarafından üretilen üniversal motorların çapları 30-50 mm. Saç paket uzunlukları 20-40 mm. Arasında değişip, bu motorlarda rulmanlı yataklar kullanılmaktadır. Motorlara uygulanan çeşitli deneyler sonucu maksimum ve minimum boyutlara sahip olanlar için sürtünme kayıplarının hıza bağlı değişim grafikleri elde edilmiştir. Grafikler Ek F' de verilmiştir. Tasarım sırasında sürtünme kayıpları için bu grafiklerden yararlanılmış böylece başlangıç da kayıp değerleri yaklaşık olarak kapsama alınabilmiştir. Ana boyutların belirlenmesinden, sonra sürtünme kayıpları için Bölüm 2' de verilen formüller yardımı ile kesin hesap yapılmış ve tasarımda geri dönülerek bu kayıplar düzeltilip, ana boyutların yeniden hesabı yapılmıştır.

Demir kayıplarının hesabında, önceden tahmin edilen yaklaşık bir kütle ile yola çıkılmış ve kullanılan sacın iyi kalitede bir sac olduğu düşünülmüştür. Buna bağlı olarak kütleye bağlı demir kayıpları değişim grafiği oluşturulup Ek-E' de verilmiştir. Ana boyutların belirlenmesinden sonra demir kayıpları düzeltilerek hesabın baştan yapılması sağlanmıştır.

Sürtünme kayıpları ve demir kayıpları belirlendikten sonra iç güç ve iç güçten yola çıkarak da iç moment hesaplanmıştır.

$$P_i = M_i \cdot w_m \Rightarrow M_i = \frac{P_i}{w_m} \quad (\text{Nm.}) \quad (7.2)$$

$$w_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (\text{rad/sn.}) \quad (7.3)$$

Üniversal motora ilişkin ana boyut denklemi [16]:

$$P_i = C \cdot D_a^2 \cdot L_i \cdot n \quad (\text{Watt}) \quad (7.4)$$

Bu denklemdeki C' ye faydalanma katsayısı denir ve

$$C = \frac{P_i}{D_a^2 \cdot L_i \cdot n} = \pi^2 \cdot \alpha_i \cdot B_\delta \cdot A_s \quad \left(\frac{\text{Watt} \cdot \text{saniye}}{\text{cm}^3} \right) \quad (7.5)$$

şeklinde ifade edilir.

B_δ : Hava aralığı endüksiyonu (tesla) olup üniversal motorlar için;

$$0,45 \leq B_{ort} \leq 0,55$$

$$B_{ort} = \frac{2p \cdot \Phi_\delta}{\pi \cdot D_a \cdot L_i} = \frac{\Phi_\delta}{\tau_p \cdot L_i} \quad (7.6)$$

$$B_\delta = \frac{B_{ort}}{\alpha_i} = \frac{\Phi_\delta}{\alpha_i \cdot \tau_p \cdot L_i} = \frac{2p \cdot \Phi_\delta}{\alpha \cdot \pi \cdot D_a \cdot L_{i1}} \quad (7.7)$$

sınırları arasında değişmektedir.

A_s : Özgül amper iletken sayısı olmak üzere;

$$A_s = \frac{Z \cdot i_a}{\pi \cdot D_a \cdot 2a} \quad (7.8)$$

Faydalanma katsayısı motor tasarımında önemli bir büyüklüktür. Yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucu faydalanma katsayısı için genel bir tablo oluşturulmuştur. Bu tablo Ek-G' de verilmiştir. Tasarım sırasında hıza bağlı olarak faydalanma katsayısı tablodan okunabilir. İyi soğutulan motorlar için üst değerlere doğru çıkılabilir.

Yapılan incelemeler sonucu üniversal motorlarda L_1/D_a oranının,

$$0,55 \leq \frac{L_1}{D_a} \leq 0,9 \quad (7.9)$$

sınırları arasında değiştiği görülmüştür.

Ana boyut denkleminde,

$$D_a^2 \cdot L_1 = \frac{P_i}{C \cdot n} \quad (7.10)$$

eşitliği elde edilmiştir. Denklem (2.8) ve (2.9)' un ortak çözümünden motor çapı ve sac paket uzunluğu belirlenmiştir.

- Kutup sayısı standart olarak $2p = 2$ ' dir.
- Rotor çevre hızı,

$$v_a = \frac{\pi \cdot D_a \cdot n}{60} \quad (7.11)$$

- Fiktif kutup örtme faktörü standart olup $\alpha_i = 0,67$ ' dir.
- Kutup taksimatı,

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D_a}{2p} \quad (7.12)$$

- Hava kesiti,

$$A_{\delta} = \alpha_i \cdot \tau_p \cdot L_i \quad (7.13)$$

- Rotor diş akı yoğunluğu,

$$\Phi_d = \frac{2p \cdot \Phi_{\delta}}{\alpha_i \cdot S} \quad (7.14)$$

S : Toplam bobin yanı sayısı

- Saçlardan meydana gelen rotorda saçlar arasındaki yalıtkan tabakadan dolayı %8 kadar bir hacim kaybı kabul etmemiz gerekir.

L_{fe} : Rotorun demir uzunluğu,

L_{topl} : Toplam rotor uzunluğu olmak üzere;

$$L_i \cong \frac{L_{fe} + L_{topl}}{2} \quad (7.15)$$

$$L_{fe} = k_e \cdot L_{topl} \quad (7.16)$$

k_e : Demir doldurma faktörü $\cong 0,92$ olarak alınabilir.

$$L_i = \frac{0,92 \cdot L_{topl} + L_{topl}}{2} = 0,96 \cdot L_{topl} \quad (7.17)$$

L_i değeri bilindiğinden L_{topl} değeri denklem (7.17)' den hesaplanabilir.

Kutup uzunluğu rotordan bir miktar kısa olmalı, yani iki tarafından biraz taşacaktır. Şu halde kutup uzunluğu,

$$L_p = L_{topl} \cdot 0,97 \quad (7.18)$$

- Motor çıkış momenti,

$$M_{mek} = \frac{P_{mek}}{\omega_m} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_{mek}}{n} \text{ (Nm.)} \quad (7.19)$$

Diğer taraftan motor çıkış momenti için aşağıdaki bağıntı önerilmektedir [17].

$$M_{mek} = 15,894 \cdot 10^{-2} \cdot \Phi_\delta \cdot Z \cdot i \cdot \frac{2p}{2a} \quad (7.20)$$

- Toplam iletken sayısı,

$$Z = \frac{E \cdot 2a \cdot 60}{2p \cdot n \cdot \Phi_\delta} \approx \frac{P_{mek} \cdot 2a \cdot 60}{i \cdot 2p \cdot n \cdot \Phi_\delta} \quad (7.21)$$

7.2 Sargı Şekli

Üniversal motorlarda kutup sayısı ikidir. Dalgalı sargılar kutup sayısı en az dört olduğu zaman uygulanabilen sargılardır. Yani p birden büyük olmalıdır. Bu yüzden üniversal motorlarda olduğu gibi iki kutuplu makineler daima bükümlü sargı olarak imal edilirler. Bükümlü sargılar hakkında ayrıntılı bilgi Bölüm 2' de verilmiştir.

7.3 Oluk ve Kollektör Boyutlarının Belirlenmesi

Başlangıçta oluklar için uygun bir derinlik kabul edilmelidir. Oluk derinliğinin uygun seçilmesinin önemi büyüktür. Oluğun derin olarak seçilmesi oluğa fazla bakır yerleştirmek ve dolayısıyla akım şiddetini arttırmak imkanı verir. Bu bakımdan hesabın müsaade ettiği oranda olukları derin seçmek doğru olur. Diğer taraftan derin oluklar kullanımı sonucunda diş yüksekliğinin büyümesi ile dişlerin relüktansı büyüyeceğinden, bu gibi derin oluklu rotorlarda daha küçük bir manyetik akı yoğunluğu ile çalışmak gerekecektir.

Kollektörlü alternatif akım makinalarında, hava aralığı doğru akım makinalarındakine oranla küçük alınır ve komutasyona etki yapabilecek oluk harmoniklerini önlemek amacı ile, oluk ağızları yarı kapalı olarak yapılır. Ağız yarı kapalı oluklu makinalarda hava aralığındaki endüksiyon daha düzgün bir şekilde rotor çevresine yayılmıştır. Bu oluklardaki dış demir kayıpları ve kutup tabanındaki manyetik akı titreşimi, açık ağızlı oluklara göre daha azdır.

Üniversal motorlar boyutları belirli sınırlar arasında değişen küçük boyutlarda motorlardır. Bu yüzden oluk boyutları ile rotor çapı ve uzunluğu arasında bir oran kurularak oluk boyutları elde edilebilir. Tasarım sırasında bu ilişki göz önüne alınıp, AutoCAD programı ile bağlantı kurularak oluk boyutları ve sayısı belirlenmiştir [18].

Kollektör dilim sayısı, oluk sayısına bağlı olarak saptanmış ve kollektör boyutları yukarıdakine benzer biçimde AutoCAD programı yardımıyla belirlenmiştir.

- Tasarım başlangıcında üniversal motorlarda,

$$P_i \cong E \cdot i_a \cdot \cos(\varphi - \theta) \cong M_i \cdot w_m \approx E \cdot i_a \quad (7.22)$$

eşitliğinde E geriliminin besleme gerilimi V_1 ' in %80' i kadar olduğu düşünülerek yola çıkılmış ve tasarım sırasında geri besleme yöntemi uygulanarak E ile V_1 arasındaki oran düzeltilerek doğru sonuca ulaşılmıştır.

$$i = i_a = \frac{M_i \cdot w_m}{E} = \frac{M \cdot w_{mi}}{0,8 \cdot V_1}$$

- Rotor akım yoğunluğu (j_a) ve stator akım yoğunluğu (j_f) değerlerinin, yapılan incelemeler sonucu belirli sınırlar arasında değiştiği görülmüştür. Yüksek hızlı iyi soğutulan motorlarda küçük, düşük hızlı ve soğutması iyi olmayan motorlarda büyük değerler seçilmelidir.

$$18 \leq j_a \leq 27$$

$$11 \leq j_f \leq 17$$

Akım yoğunlukları seçildikten sonra rotor ve stator iletkenlerinin kesitleri hesaplanabilir.

$$j_a = \frac{i}{2 \cdot q_a} \Rightarrow q_a = \frac{i}{2 \cdot j_a} \quad (7.23)$$

$$j_f = \frac{i}{q_f} \Rightarrow q_f = \frac{i}{j_f} \quad (7.24)$$

Autocad yardımı ile stator ve rotor iletkenlerinin sarılacağı etkin alanlar hesaplanıp, bu alanlar tam dolacak şekilde iletkenler yerleştirilerek, rotor ve stator sarımlarının maksimum değerleri belirlenmiştir.

Maksimum stator sarım sayısı belirlendikten sonra fırça kaydırması sıfır alınarak tasarıma devam edilip, tasarımın ilerleyen aşamalarında geri dönülerek fırça kaydırması düzeltilmiştir.

Genelleştirilmiş üniversal motor eşdeğer devresinden,

$$M_i = i^2 \cdot \left[(L_{\max} - L_{\min}) \cdot \sin(2\alpha) + \frac{N_a \cdot N_f}{\mathfrak{R}_{af}} \cdot \cos(\alpha) \right] \quad (7.25)$$

$$\alpha = 0 \Rightarrow M_i = i \cdot N_a \cdot \Phi_\delta \Rightarrow N_a = \frac{M_i}{i \cdot \Phi_\delta} \quad (7.26)$$

Denklem 7.26' dan rotor sarım sayısı hesaplanabilir.

- Motor büyüklükleri belirlendikten sonra sonlu elemanlar paket programı olan Magnet 5.2 programı yardımı ile stator sarım sayısının doğruluğu kontrol edilmektedir. Magnet 5.2 programının bulduğu manyetik akı yoğunluğu (Φ_{FEM}) ile tasarım sırasındaki manyetik akı yoğunluğu (Φ_δ) karşılaştırılmakta, eğer $\Phi_{FEM} > \Phi_\delta$ ve yoğun doyma durumu varsa stator sarım sayısı azaltılmakta, $\Phi_{FEM} < \Phi_\delta$ ise stator sarım sayısı arttırılmaktadır. Bu iki durumun dışında $\Phi_{FEM} \approx \Phi_\delta$ ve doyma durumu iyi ise tasarımın bir sonraki aşamasına geçilmektedir.

Bu kıyaslamalar yapıldıktan sonra fırça kaydırması (α), rotora ilişkin maksimum ve minimum relüktanslar ($\mathcal{R}_{\max}, \mathcal{R}_{\min}$), karşıt endüktansın maksimum değeri (L) Magnet 5.2 programından alınmıştır. Alınan bu değerler Bölüm 5' te ayrıntılı olarak açıklanan Matlab-Simulink ortamında yazılan benzetişim programında (UMSIM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

UMSIM programından iç gerilim, hız, çıkış momenti, çıkış gücü, iç güç, iç moment, giriş gücü, sürtünme kayıpları, bakır kayıpları, demir kayıpları ve verim değerleri elde edilmektedir.

UMSIM programında rotor ve statorda indüklenen gerilimler ayrı ayrı hesaplanmış olup, elde edilen E toplam endükleme gerilimi yardımı ile tasarımda geri dönülerek düzeltme yapılmakta, yani $0,8 \cdot V_1$ gerilimi yerine bu değer koyularak hesaplamalar yeniden yaptırılmıştır. Bu düzeltme sırasında Magnet 5,2' den elde edilen fırça kaydırması ve stator sarım sayısı kullanılmıştır. Bu süreç $\Phi_{FEM} \approx \Phi_{\delta}$, $E(I) - E(I - 1) < \varepsilon$ (I =sayaç) ve iyi bir doyma elde edilene kadar devam etmiştir.

Yukarıda belirtilen koşullar tam olarak sağlandıktan sonra UMSIM programından performans sonuçları alınarak tasarım tamamlanmıştır.

Üniversal motor tasarımı Visual-Basic 5.0 paket programı kullanılarak görsel bir yazılım haline getirilmiştir. Bu yazılımın akış diyagramı ve sonuçları Bölüm 8' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

7.4 Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

- Rotor hareket geriliminin hesabı [19]:

$$E_g = 2,82 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{\theta_{kutup}}{180} \cdot \Phi_{\delta} \cdot K_p \cdot K_d \cdot Z \cdot n \cdot \cos(\alpha) \quad (7.27)$$

Z : toplam iletken sayısı

θ_{kutup} : kutup yay açısı $\approx 120^\circ$

Φ_{δ} : manyetik akı (mweb.)

$$K_p : \text{rotor sargısının adım faktörü} = \cos \left[90 \cdot \left(1 - \frac{S_{ac}}{N/2p} \right) \right] \quad (7.28)$$

S_{ac} : bir bobinin kapsadığı oluk sayısı

N : toplam oluk sayısı

$$K_d : \text{rotor sargısının sargı faktörü} = \frac{2}{N \cdot \sin\left(\frac{180}{N}\right)} \cong \frac{2}{\pi} \quad (7.29)$$

α : fırça kaydırma açısı

- Rotor transformatör geriliminin hesabı:

$$E_{ta} = 9,87 \cdot 10^{-9} \cdot f \cdot F_f \cdot \Phi_\delta \cdot K_p \cdot K_d \cdot Z \cdot \sin(\alpha) \left/ \begin{matrix} - (90 - \psi_{his}) \end{matrix} \right. \quad (7.30)$$

f : şebeke frekansı = 50 Hz.

F_f : rotor akısının form faktörü, normal olarak = 1,1

ψ_{his} : histerezis açısı $\cong 8^\circ$

- Stator transformatör geriliminin hesabı:

$$E_{tf} = 4,44 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot 2N_{fnet} \cdot \Phi_\delta \left/ \begin{matrix} 90 - \psi_{his} \end{matrix} \right. \quad (7.31)$$

$$N_{fnet} = \frac{N_f}{2} - \frac{\alpha \cdot Z}{720} \quad (7.32)$$

N_f : stator sarım sayısı

- Rotor direnci:

$$r_a = \frac{1}{\chi} \cdot \frac{Z \cdot l_z}{(2a)^2 \cdot q_a} \text{ (ohm.)} \quad (7.33)$$

$$l_z : \text{bir iletkenin metre olarak toplam uzunluğu} = L_t + 1,2 \cdot D_a \quad (7.34)$$

2a : paralel kol sayısı = 2

q_a : mm^2 olarak rotor iletken kesiti

χ : $m/\Omega \cdot mm^2$ olarak bakırın özgül iletkenliği

- Stator direnci:

$$r_f = \frac{1}{\chi} \cdot \frac{N_f \cdot l_f}{q_f} \text{ (ohm.)} \quad (7.35)$$

l_f : bir sarımın metre olarak uzunluğu

q_f : mm^2 olarak stator iletken kesiti

- Rotor ve statordaki direnç gerilim düşümlerinin hesabı ($60^\circ C$):

$$r_{ap} = r_a \cdot [1 + (0,004 \cdot 60)] \quad (7.36)$$

$$r_{fp} = r_f \cdot [1 + (0,004 \cdot 60)] \quad (7.37)$$

$$V_{dir} = (r_{ap} + r_{fp}) \cdot i + V_{fir}$$

V_{dir} : toplam direnç gerilim düşümü

V_{fir} : fırçalardaki gerilim düşümü

- Statordaki reaktansı

$$X_f = w \cdot L_{ff} = 2\pi f \cdot L_{ff} \quad (7.38)$$

L_{ff} : stator özendüktans değeri

- Rotor reaktansı:

$$X_a = w \cdot L_{aa} = 2\pi f \cdot L_{aa} \quad (7.39)$$

$$L_{aa} = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} \cdot \cos(2\alpha) : \text{rotor özendüktansı} \quad (7.40)$$

- Toplam reaktif gerilim düşümü:

$$V_{re} = i \cdot (X_a + X_f) \quad (7.41)$$

- Güç faktörünün ($\cos\varphi$) hesabı:

$$V_1(\varphi)^0 = E_{\varphi}(90 - \psi_{his})^0 + E_{ta}(-90 - \psi_{his})^0 + E_g(-\psi_{his}) + V_{dir}(0)^0 + V_{re}(90)^0 \quad (7.42)$$

$$C(X)^0 = E_{\varphi}(90 - \psi_{his})^0 + E_{ta}(-90 - \psi_{his})^0 + V_{dir}(0)^0 + V_{re}(90)^0 \quad (7.43)$$

$$V_1(\varphi)^0 = C(X)^0 + E_g(-\psi_{his})$$

Üniversal motorun fazör diyagramı ve yukarıdaki denklemler kullanılarak;

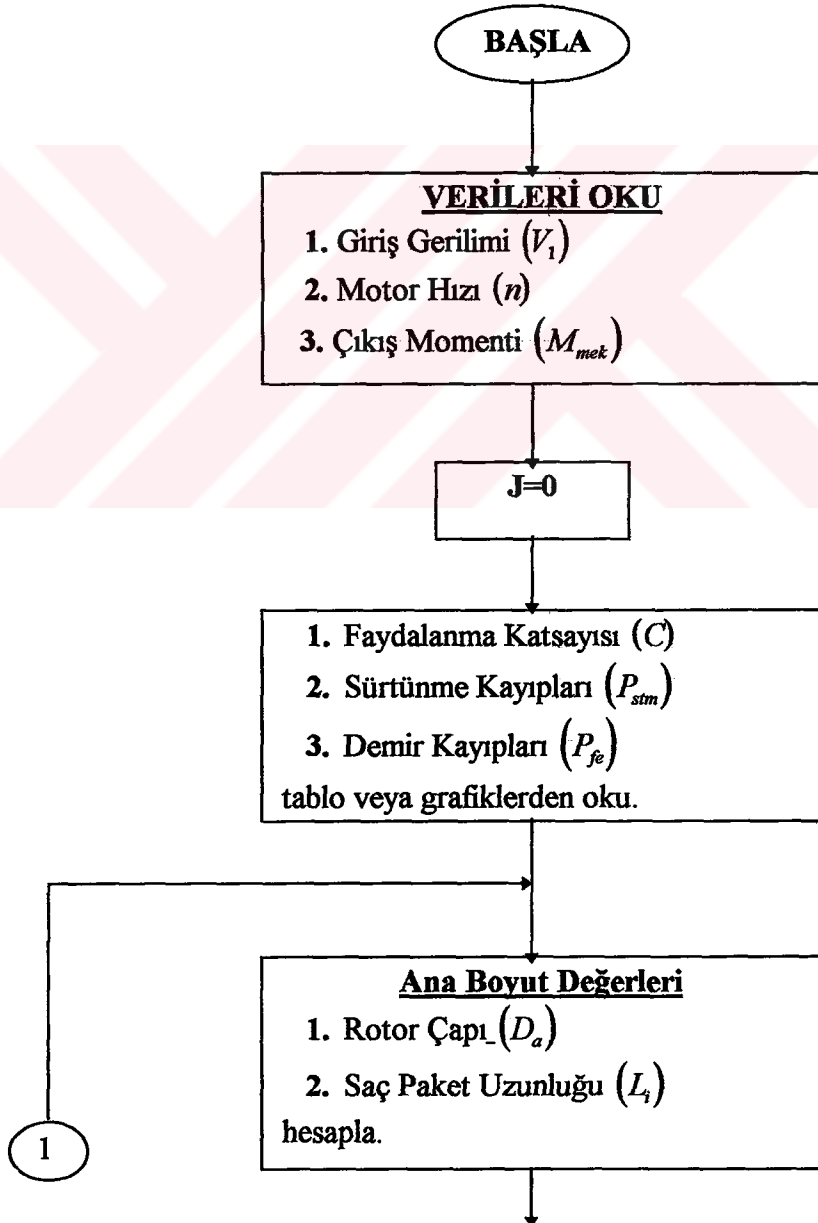
$$\varphi = \arccos \left[\frac{C \cdot \cos(X) + E_g \cdot \cos(\psi)}{V_1} \right] \quad (7.44)$$

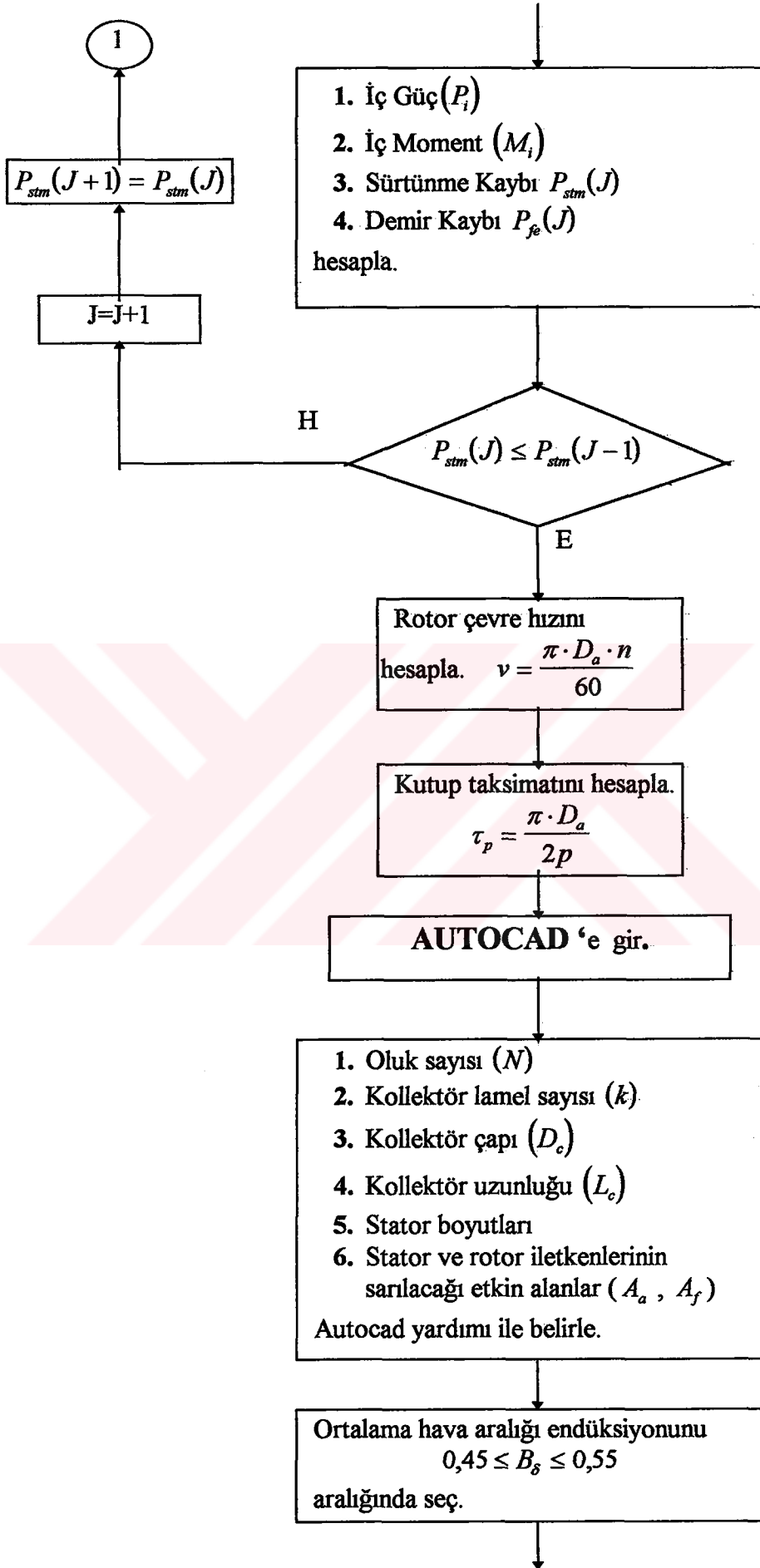
olarak bulunur.

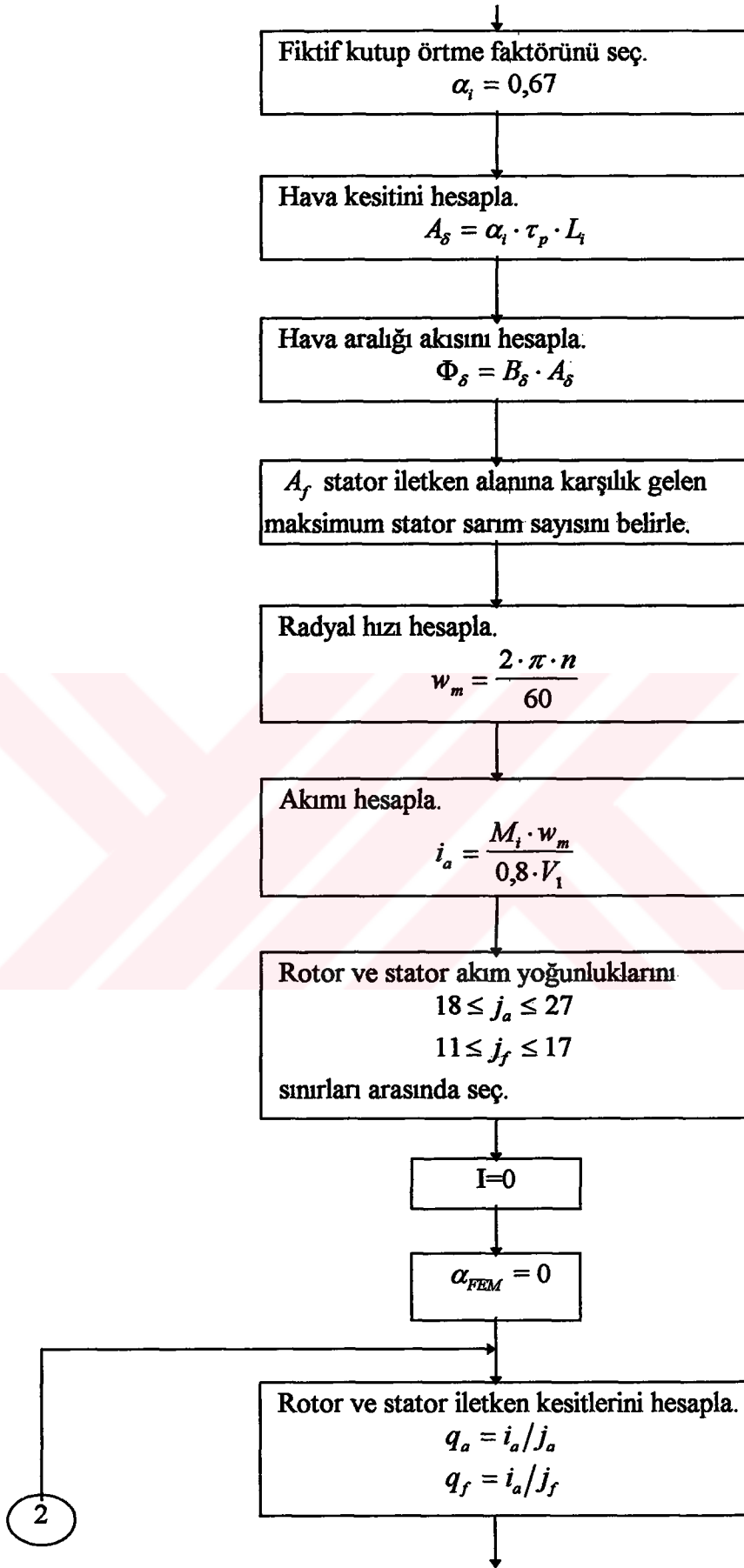
BÖLÜM 8

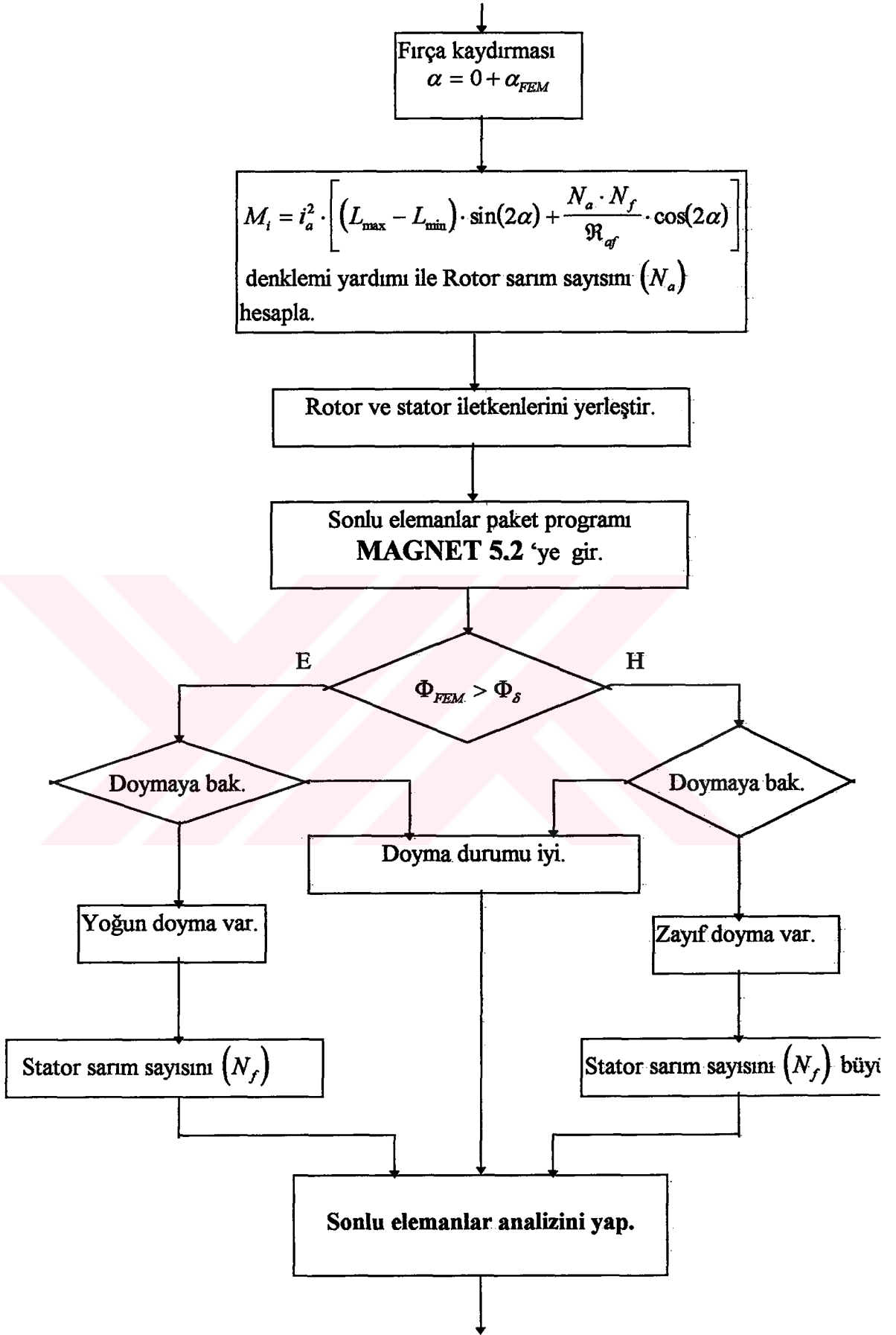
ÜNİVERSAL MOTOR TASARIM PROGRAMININ AKIŞ DİYAGRAMI VE VİSUAL BASİC SONUÇLARI

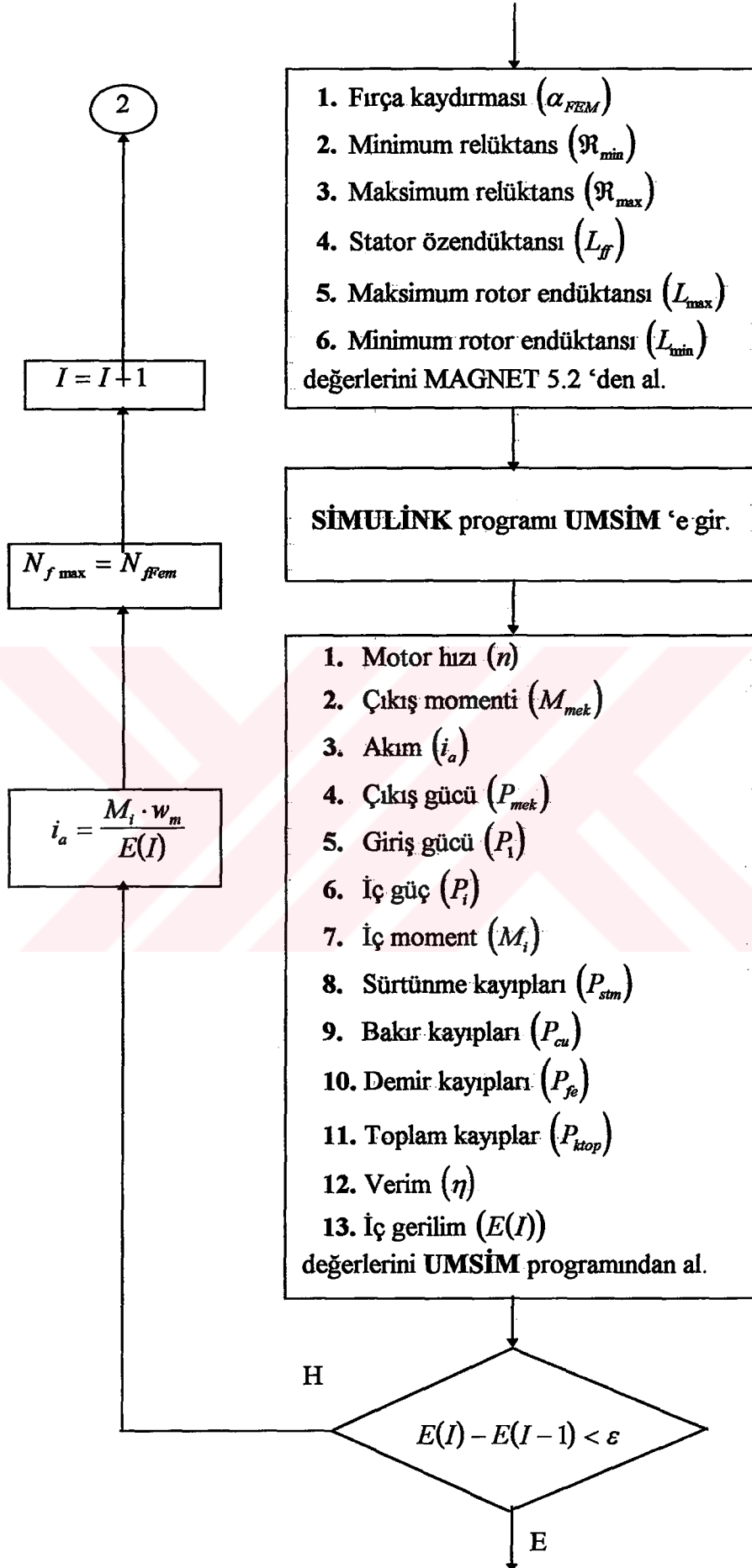
8.1 Bilgisayar Programı Akış Diyagramı













SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, günlük hayatımızda çok geniş bir kullanım alanına sahip olan ve diğer elektrik motorlarına göre düşük maliyetlerde imal edilip, çok yüksek hızlara ulaşabilen bir fazlı universal motorlar ayrıntılı olarak incelenip bilgisayar benzetişimi ve tasarım programı gerçekleştirilmiştir. Bütün mühendislik alanlarında olduğu gibi Elektrik Mühendisliğinde de inanılmaz kolaylıklar ve imkanlar sağlayan yazılım dünyasındaki hızlı gelişmeler motor benzetişimi ve tasarımı sırasında kullanılmıştır.

Öncelikli olarak universal motor yapısı, çalışma prensibi ve eşdeğer devre modeli verilerek matematik model geliştirilmiştir. Eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi için çeşitli endüktans deneyleri geliştirilmiş olup, kayıpların ayrılması için de yük performans deneyleri, boşa çalışma ve yavaşlama deneyleri uygulanmıştır.

Deneyler sonucu elde edilen eşdeğer devre parametreleri ve matematik model MATLAB with SIMULINK paket programında kullanılarak universal motor benzetişimi yapılmıştır. Geliştirilen yazılım UMSIM olarak isimlendirilmiştir. Bu benzetişim programı SENUR Elektrik Motorları A.Ş. Tarafından üretilen çeşitli motorlara uygulanarak, bu motorlara ilişkin performans sonuçları elde edilmiştir.

Benzetişimi gerçekleştirilen motorlar, hassas olarak performans ölçümü yapan MAGTROL test düzeneğine bağlanarak, bu motorlara ilişkin performans değerleri deneysel olarak elde edilmiştir. Öyle ki bulunan bu performans değerleri bilgisayar benzetişimi ile bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmış olup, sonuçların yaklaşık olarak birbirlerini desteklemekte olduğu görülmüştür. Bu durumda oluşturulan benzetişim algoritmasının ve işlemlerinin doğruluğunu göstermektedir.

Tez çalışmasında son olarak universal motor tasarım metodolojisi geliştirilmiştir. Tasarım yöntemi ve tasarım sırasında kullanılan denklemler, grafikler ve tablolar çeşitli deneyler, literatür çalışması ve ters mühendislik yaklaşımı ile elde edilmiştir.

Zamanın önemli bir unsur olduğu yaşantımızda tasarımı gerçekleştirenler'e kolaylık sağlamak amacıyla bir tasarım programı oluşturulmuştur. Bu program oluşturulurken görsellik ve kullanım kolaylığı öncelikli olarak düşünüldüğünden, görsel bir yazılım olan VISUAL BASIC programlama dili kullanılmıştır.



KAYNAKLAR

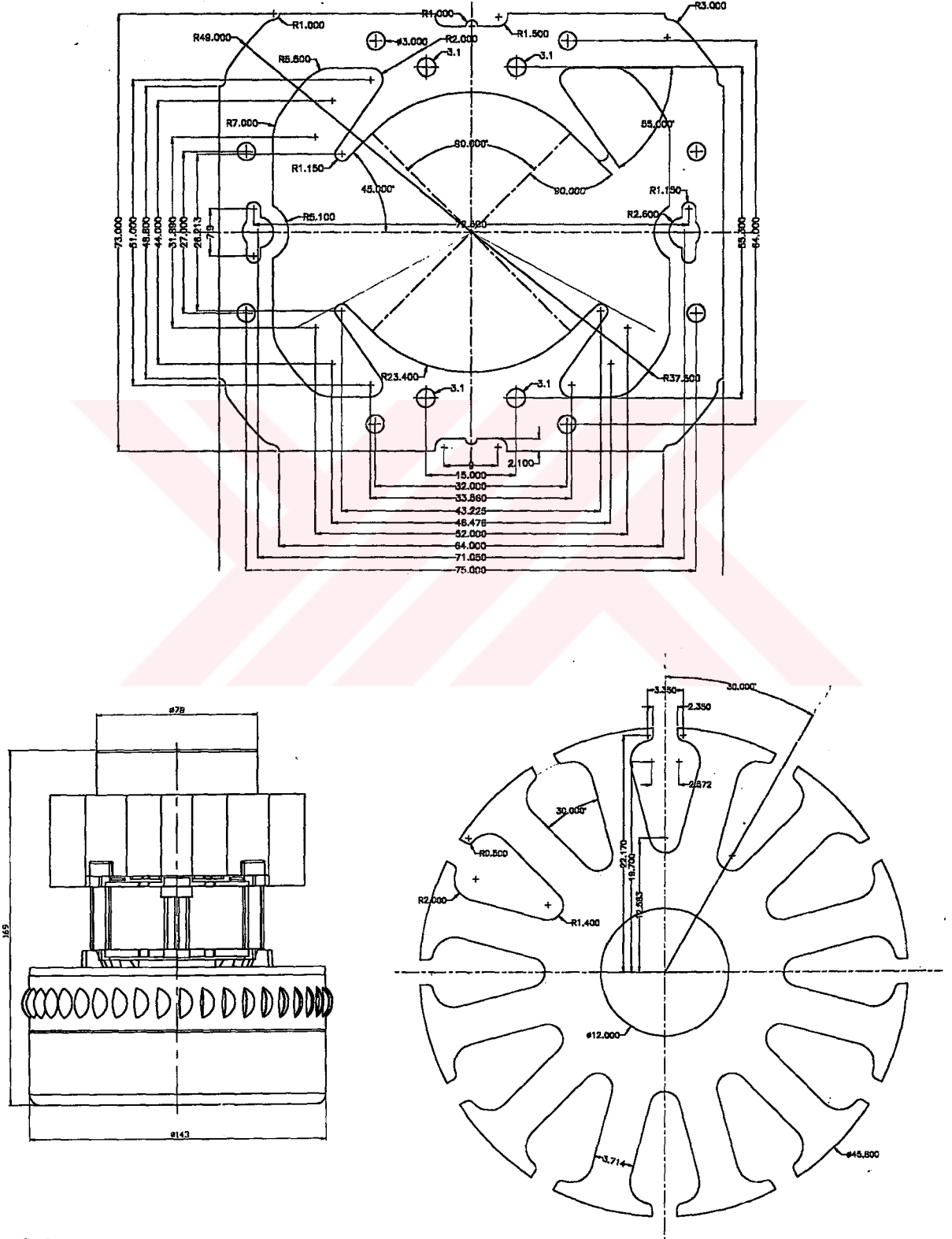
- [1] **SİSKİND, C., S.** Electrical Machines Direct and Alternating Current, Second Edition, McGraw-Hill Book Co., usa, (1959)
- [2] **TUNÇAY, R.N.** Üniversal motor seminer notları, SENUR Elektrik Motorları A.Ş.,İstanbul, (1997)
- [3] **VEİNOTT, C. G.** Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors,Chapter 12, McGraw-Hill Book Co., New York, (1948)
- [4] **GÜLSEVEN, S.** Üniversal Motorda Hız Kontrolü ve Doğru Akım Kırıyıcı ile Sürülen Motor Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, (1993)
- [5] **BODUROĞLU, T.** Elektrik Makinaları Dersleri, Cilt IV, Kısım I, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, (1994)
- [6] **RICHARDS, E., F.** Seminar Notes, Section 1, Small Motor Manufacturing Association Publication, USA, (1994)
- [7] **SARIOĞLU,M.,K.** Elektrik Makinalarının Temelleri1, İTÜ, Elek.Fak.,(1975)
- [8] **ÖNCÜLOĞLU,C.**Üniversal Motorun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Magnetik Alan İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, (1998)
- [9] **FUJII, T.; HANAZAWA, T.** Commutation of Universal Motors, Conference Record-IAS Annual Meeting - Publ by IEEE, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, USA, P. 265-271, (1989)

- [10] **ROYE, D.; POLOUJODOFF, M.** Contribution to the study of commutation in small uncompensated universal motors, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 1, Jan./Feb. (1978)
- [11] **MATLAB** User's Guide The Math Works Inc, Massachusetts, (1991)
- [12] **SIMULINK** User's Guide, The Math Works Inc, Massachusetts, (1992)
- [13] **HENNEBERGER, G.; ASCHE, G.; RODDER, D.** Computer Modelling of on universal by numerical field analysis and dynamic simulation, ICEM, Boston, (1990)
- [14] **MAGTROL** Testing Equipment, Magtrol Inc., New York, USA, (1997)
- [15] **GÜZELBEYOĞLU, N.** Elektrik Makinaları I-II, İTÜ, Gümüşsuyu, (1992)
- [16] **BODUROĞLU, T.** Elektrik Makinaları Dersleri, Cilt IV, Kısım II, İTÜ, Elektrik-Elektronik Fak., (1984)
- [17] **TARNOW, V., K.** Sizing of DC Permanent Magnet and AC Universal Motors, Proceedings of The Electrical / Electronic Insulation Conference 1995, FFF Piscataway, NJ, USA, p. 381-383, (1995)
- [18] **YEADON, A., W.** Performance Calculations Seminar Notes, Section II, Small Motor Manufacturing Association Publication, USA, (1994)
- [19] **TARNOW, V., K.** A Design Methodology and Considerations Seminar Notes, Section II, Small Motor Manufacturing Association Publication, USA, (1994)
- [20] **UYSAL, M.** Visual Basic 5.0 ile Yazılım Geliştirme, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, (1998)

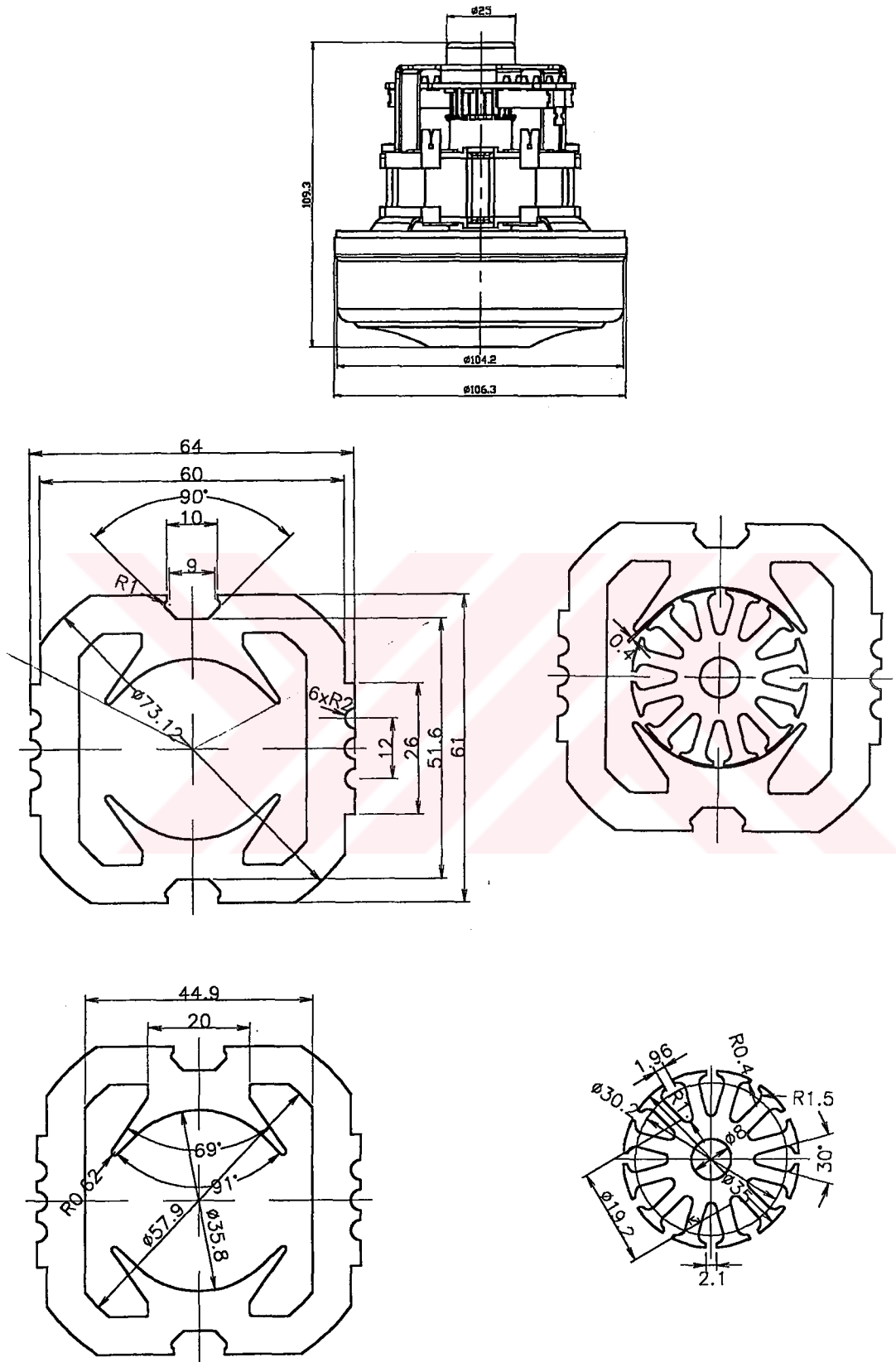
- [21] **ÇUBUKÇU, F.** Visual Basic Temel Kullanım Kılavuzu 6.0, Alfa Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, (1998)



EK B



Şekil B.1 A Tipi motora ilişkin boyutlar



Şekil B.2 B tipi motora ilişkin boyutlar

EK C

A TİPİ MOTORA AİT ANMA DEĞERLERİ VE HESAP SONUÇLARI

$$\begin{aligned}V_1 &= 220\text{Volt} \\f &= 50\text{Hz} \\i &= 5,08\text{Amper} \\P_i &= 1070\text{Watt} \\P_{mek} &= 750\text{Watt} \\M_{mek} &= 0.408\text{Nm.} \\\eta &= 0,69 \\n &= 18000\text{d} / d \\\text{İzolasyon Sınıfı} &= F \\\text{Koruma Sınıfı} &= II\end{aligned}$$

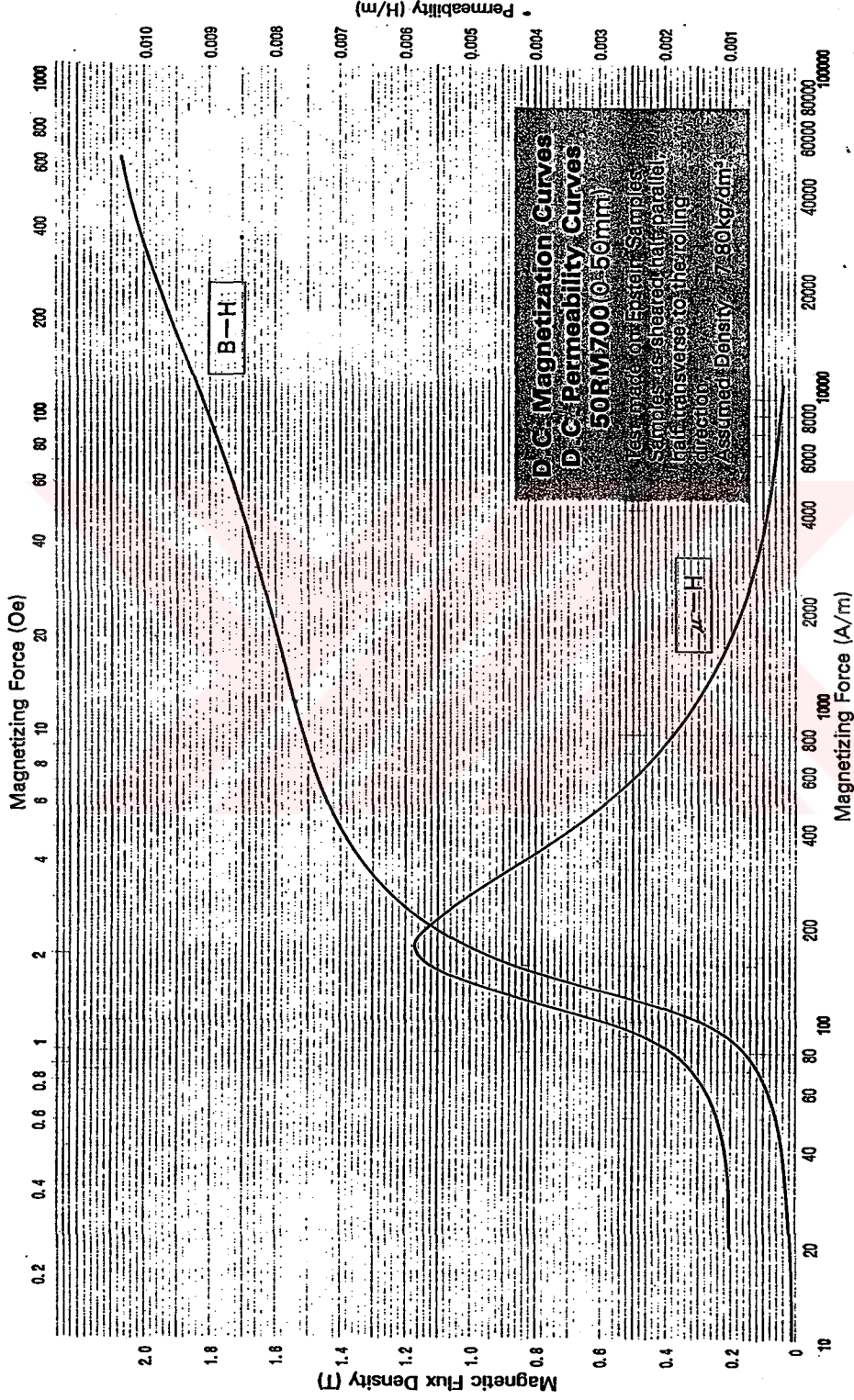
$$\begin{aligned}D_a &= 4,58\text{cm.} \\L_i &= 3,00\text{cm.} \\2p &= 2 \\2a &= 2 \\\Psi_{his} &= 8^\circ \\D_c &= 2,8\text{cm.} \\t_{br} &= 1,12\text{cm.} \\w_{br} &= 0,62\text{cm.} \\T_d &= 1.1\text{cm.} \\N_f &= 170\text{sarım} \\w_{at} &= 0,3714\text{cm.} \\C_b &= 24 \\N &= 12 \\N_{ab} &= 21 \\S_{ac} &= 5 \\\theta_{kutup} &= 110^\circ \\\Phi_f &= 0,94\text{mweber} \\Z &= 1008 \\K_p &= 0,9659 \\F_f &= 1.11 \\r_a &= 4\text{ohm.} \\r_{\pi} &= 3,46\text{ohm.} \\q_a &= 0,114\text{mm}^2 \\K_d &= \frac{2}{\pi}\end{aligned}$$

B TİPİ MOTORA AİT ANMA DEĞERLERİ VE HESAP SONUÇLARI

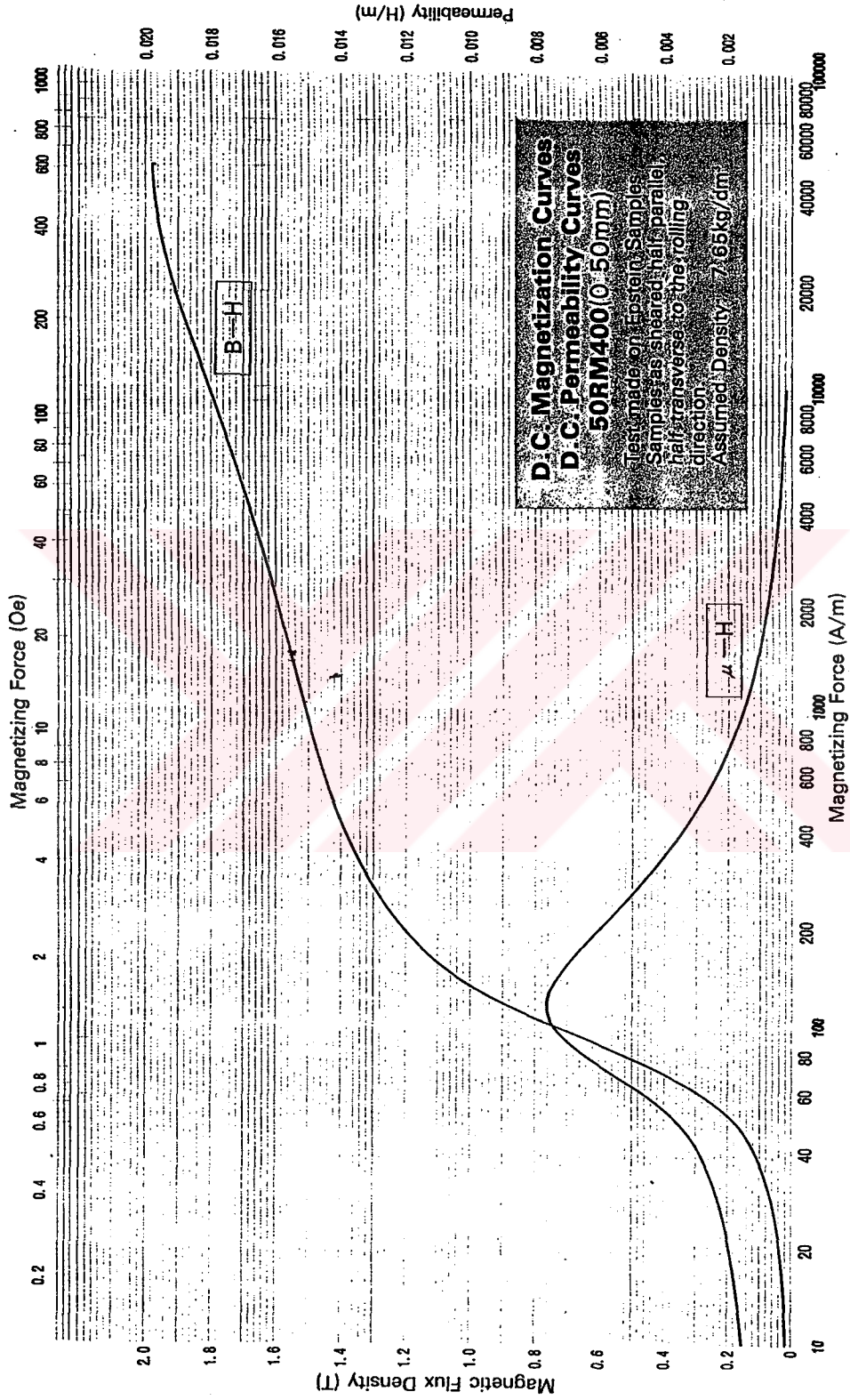
$$\begin{aligned}
 V_1 &= 220 \text{ Volt} \\
 f &= 50 \text{ Hz} \\
 i &= 2,35 \text{ Amper} \\
 P_i &= 510 \text{ Watt} \\
 P_{mek} &= 250 \text{ Watt} \\
 M_{mek} &= 0,11 \text{ Nm.} \\
 \eta &= 0,49 \\
 n &= 37000 \text{ d / d} \\
 \text{İzolasyon Sınıfı} &= F \\
 \text{Koruma Sınıfı} &= II
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_a &= 3,5 \text{ cm.} \\
 L_i &= 2,12 \text{ cm.} \\
 2p &= 2 \\
 2a &= 2 \\
 \Psi_{his} &= 8^\circ \\
 D_c &= 2,2 \text{ cm.} \\
 t_{br} &= 0,595 \text{ cm.} \\
 w_{br} &= 0,545 \text{ cm.} \\
 T_d &= 0,65 \text{ cm.} \\
 N_f &= 161 \text{ sarım} \\
 w_{at} &= 0,21 \text{ cm} \\
 C_b &= 24 \\
 N &= 12 \\
 N_{ab} &= 24 \\
 S_{ac} &= 5 \\
 \theta_{kutup} &= 110^\circ \\
 \Phi_f &= 0,53 \text{ mweber} \\
 Z &= 1152 \\
 K_p &= 0,9659 \\
 F_f &= 1,11 \\
 r_a &= 4,16 \text{ ohm.} \\
 r_{fT} &= 3,15 \text{ ohm.} \\
 K_d &= \frac{2}{\pi}
 \end{aligned}$$

EK D

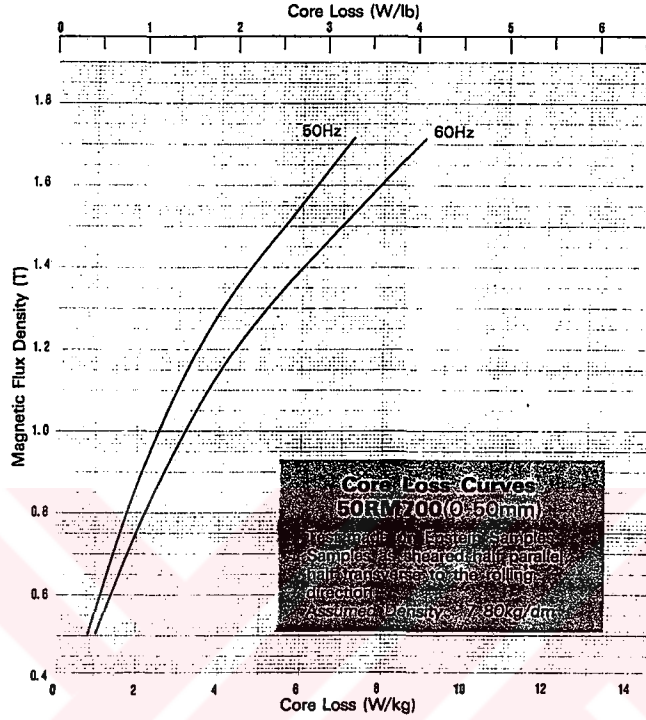


Şekil D.1 A tipi motor için B-H ve μ -H değişim eğrileri

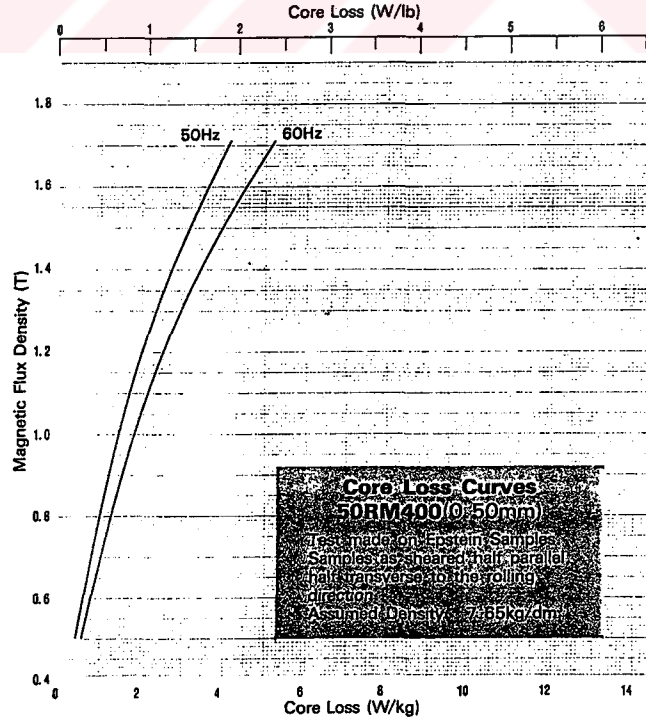


Şekil D.2 B tipi motor için B-H ve μ -H değişim eğrileri

EK E

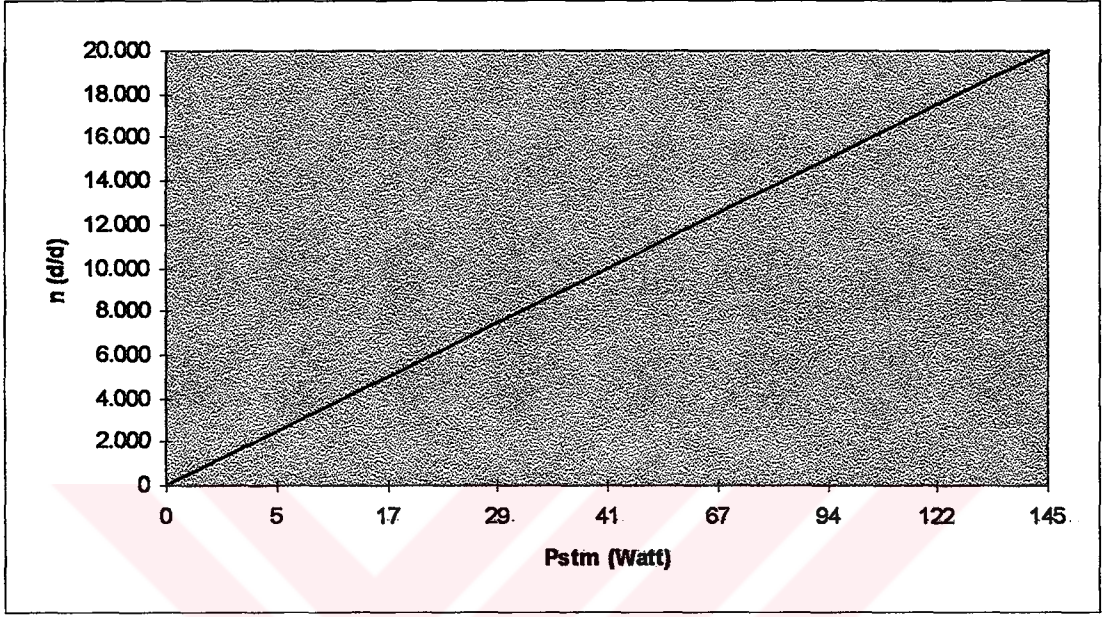


Şekil E.1 A tipi motor için sac levhada kilogram başına demir kaybı abağı

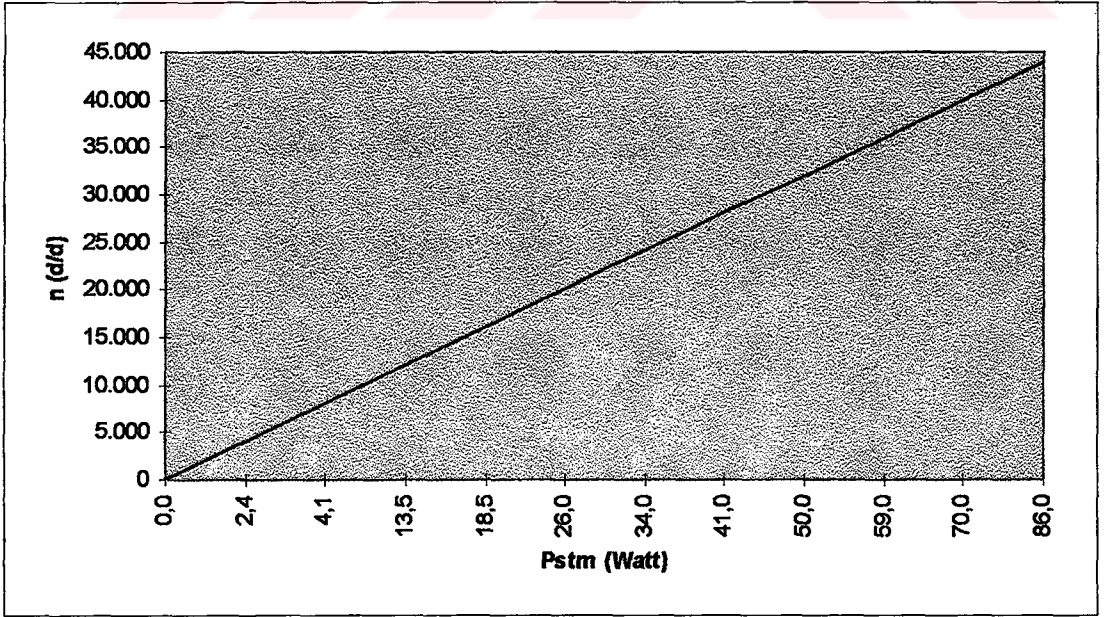


Şekil E.2 B tipi motor için sac levhada kilogram başına demir kaybı abağı

EK F



Şekil F.1 A tipi motor için Sürtünme kaybı-Hız eğrisi



Şekil F.2 B tipi motor için Sürtünme kaybı-Hız eğrisi

EK G

Tablo G.1 Faydalanma katsayısının (C), $\frac{P_{mek}}{n}$ ye bağılı olarak alt ve üst sınırları

$\frac{P_{mek} (Watt)}{n}$	$C * 10^{-3} \left(\frac{Watt \cdot dakika}{cm^3} \right)$
0,001	0,3 – 0,5
0,02	0,4 – 0,6
0,04	0,6 – 1,0
2	0,8 – 1,1
4	1,1 – 1,4
6	1,2 – 1,7

EK H

Üniversal Motor Tasarım Programının Görünümü

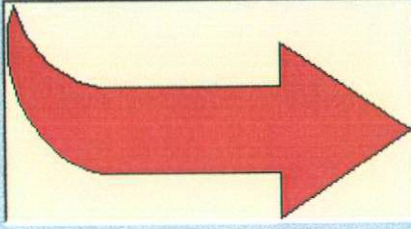
Ana Menü - [Form1]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

SENUR **ELEKTRİK MOTORLARI SANAYİ ve TİCARET A.Ş.**

BİR FAZLI UNİVERSAL MOTOR TASARIMI

Prof. R. Nejat TUNÇAY Elekt.Müh. Murat YILMAZ



İstanbul Teknik Üniversitesi 1998

İLERİ>>>

Ana Menü - [Form2]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

MOTOR VE YÜK VERİLERİ

YÜK MOMENTİ (Nm.)	Tm=?
ANMA HIZI (d/d)	n=?
EN YÜKSEK HIZ (d/d)	nmax=?
EN DÜŞÜK HIZ (d/d)	nmin=?
KUTUP SAYISI	2p=?
ELEKTRİK GERİLİMİ (V)	V _i =?
FREKANS (Hz.)	f=?
MOTORA BİR ÖZEL NUMARA ATAYINIZ	İsim=?

İLERİ>>>

Verileri Girmek İçin Tıklayınız

İLERİ>>>

Ana Menü - [Form3]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simülink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

Sürtünme Kayıplarını Belirlemek İçin Tıklayınız	Sürtünme Kayıpları (Watt)	P _{stm} =?
Faydalanma Katsayısını Belirlemek İçin Tıklayınız	Faydalanma Katsayısı	C=?
Fiktif Kutup Örtme Faktörünü Belirlemek İçin Tıklayınız	Fiktif Kutup Örtme Faktörü	x _i =?
Demir Kayıplarını Belirlemek İçin Tıklayınız	Demir Kayıpları	P _{fe} =?
Li / Da Oranını Belirlemek İçin Tıklayınız	Li / Da Oranı	Li/Da=?

 <<<GERİ
  İLERİ>>>

Ana Menü - [Form8]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simülink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

ANA BOYUT DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Ana Boyut Değerlerinin Hesaplanması İçin Tıklayınız

Radial Hız (ω_m =rad/s)	ω_m
Mekanik Güç (P_m =Watt)	P_m
İç Güç (P_i =Watt)	P_i
Rotor Çapı (D_a =cm.)	D_a
Saç Paket Uzunluğu (L_i =cm.)	L_i
Kutup Taksimatı (T_p =cm.)	T_p
Rotor Çevre Hızı (V_a =cm/s)	V_a

 <<<GERİ
  İLERİ>>>

Manyetik akı ve manyetik akı yoğunluğu hesabı için ileri>>>

Ana Menü - [Form16]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

 **Manyetik Akı ve Manyetik Akı Yoğunluğu Hesabı İçin Tıklayınız.**

Hava Kesiti ($Ad=cm^2$)	Ad
Manyetik Akı ($Fi=Weber$)	Fi
Manyetik Akı Yoğunluğu ($B=Tesla$)	B
İletken Sayısı (Z)	Z

 <<<GERİ

İLERİ>>>

Ana Menü - [Form10]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Rotor Hareket Gerilimi	Eg
Rotor Transformatör Gerilimi	Eta
Stator Transformatör Gerilimi	Etf
Rotor Direnci	ra
Stator Direnci	rf
Rotor ve Statordaki Toplam Direnç Gerilim Düşümü	Vdir
Rotor Reaktansı	Xa
Stator Reaktansı	Xf
Rotor ve Statordaki Toplam Reaktif Gerilim Düşümü	Vrea
Toplam Gerilim Düşümü	Vtop
Güç Faktörü	cos(u)



Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesaplanması İçin Tıklayınız

Ana Menü - [Form11]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simülasyon Çıkış Yardım

SÜRTÜNME KAYIPLARI

Sürtünme kayıpları denildiği zaman yatak sürtünmesi, hava sürtünmesi ve fırça sürtünmesinden ileri gelen kayıplar anlaşılır.

Yatak sürtünmesinden ileri gelen kayıplar; yatak tipine göre değişmektedir. Bilyalı ve rulmanlı yataklarda sürtünme kayıpları bilyalı yataklardakine oranla çok düşüktür. Yatak kayıpları yatak sıradaki derecesi ile ters orantılıdır. Makinanın ilk harekete geçmesinde bu kayıplar sıradaki büyük olur ve yatak ısındıkça kayıplar azalır.

Yatak kayıplarının hesaplanması için tıklayınız **Tyk**

Hava sürtünmesi kayıpları; endüvi ve sargı başlarının hava içindeki hareketleri sonucunda meydana gelen kayıplardır. Hava sürtünmesi kayıplarının hasas bir şekilde hesap edilmesi oldukça zordur. Makinanın hesabında hava ve yatak sürtünme kayıpları için ortak tahmini değerler alınır.

Hava sür. kayıplarının hesaplanması için tıklayınız **Thk**

Fırça kayıpları; fırçanın boyutlarına, basınca ve hızla göre değişir.

Fırça kayıplarının hesaplanması için tıklayınız **Tfk**

Sürtünme grafikleri için sayfa 2'ye bakınız. (Fırtına, Kuru-İslak)

Sayfa 2>>>

Ana Menü - [Form4]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simülasyon Çıkış Yardım

Islak-Kuru Yataklarına Sahip Motor İçin Sürtünme Kayıpları Eğrisi

Sürtünme Kayıpları-Hız Eğrisi

n (d/d)	Pstn (Watt)
2500	0
5000	20
7500	40
10000	60
12500	80
15000	100
17500	140

Fırtına Yataklarına Sahip Motor İçin Sürtünme Kayıpları Eğrisi

Sürtünme Kayıpları-Hız Eğrisi

n (d/d)	Pstn (Watt)
0	0
400	2
800	4
1200	6
1600	8
2000	10
2400	12
2800	14
3200	16
3600	18
4000	20
4400	90

Nominal Devir Hızına Göre Sürtünme Kayıplarını Grafiklerden Okuyunuz.

Okuduğunuz Değeri Girmek İçin Tıklayınız. **Pstn**

<<< Sayfa 1

Ana Menü - [Form5]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

Faydalanma Katsayısı Tablosu

P / n (Watt / (d/d))	C (10 ⁻³)
0,001	0,3 - 0,5
0,02	0,4 - 0,6
0,04	0,6 - 1,0
2	0,8 - 1,1
4	1,1 - 1,4
6	1,2 - 1,7

C Değerini Tablodan Okuyunuz.

Okunan Değeri Girmek İçin Tıklayınız.

C

Ana Menü - [Form6]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

Fiktif Kutup Örtme Faktörü (xi)

Yardımcı kutuplu makinalarda : $0,6 < xi < 0,7$

Yardımcı kutupsuz makinalarda : $0,65 < xi < 0,75$

Universal Motorlarda Genellikle $xi=0,67$ olarak alınır.

Fiktif Kutup Örtme Faktörünü Girmek İçin Tıklayınız.

xi

Ana Menü - [Form14]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

ROTOR SARGILARI

Modern doğru akım makinalarının rotor sargıları bükümlü ve dalgalı sargı tipindedir. Akımı büyük makinalarda bükümlü sargı, gerilimi büyük makinalarda dalgalı sargılar kullanılır. Her ikisargı tip ile iki tab akabılır. Bunun nedeni bobin uçlarının kolektöre düzgün ulaşmasıdır. Bir bobin yanı bir olukta üst de ise aynı bobinin diğer bobin yanı kutup adımı kadar öteki olukta altıdır.

Dalgalı sargılar kutup adedi en az 4 ($2p=4$) olduğu zaman uygulanabilir. İki kutup lu ($2p=2$) makinalar daima bükümlü sargı olarak imal edilirler.

Universal motorlarda, kutup sayısı daima iki olduğundan bükümlü sargı kullanılır.

Bükümlü sargılar, Basit bükümlü ve çok doluşumlu bükümlü sargılar olmak üzere iki kısma ayrılır. Çok doluşumlu bükümlü sargılarda, büyük akımlarda p paralel kol sayısını arttırmak gerekir. Bu yüzden universal motorlarda Basit bükümlü sargılar kullanılır.

Basit Bükümlü Sargı İçin Sayfa2'ye Bakınız.

Sayfa 2>>>

Ana Menü - [Form15]

Kayıplar Sargı B-H Eğrisi Katsayılar Magnet Simulink AutoCAD Simulasyon Çıkış Yardım

BASİT BÜKLÜMLÜ SARGI

<<< Sayfa 1

ÖZGEÇMİŞ

Murat Yılmaz 18 Ekim 1974 yılında Sivas 'da doğdu. Sırası ile Cibali İlköğretim Okulu ve Bahçelievler Lisesini bitirdi. 1991 yılında okumaya hak kazandığı lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde yaparak 1995 yılında Elektrik Mühendisi ünvanını alarak mezun oldu. Mezun olduğu yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazandı.

