

**ASENKRON MOTOR VE ASENKRON GENERATÖR
PAREMETRELERİNİN DOLAYLI METOT İLE ÇIKARILMASI**

Vedat BOZKURT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2006
ANKARA**

Vedat BOZKURT tarafından hazırlanan ASENKRON MOTOR VE ASENKRON GENERATÖR PAREMETRELERİNİN DOLAYLI METOT İLE ÇIKARILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. İsmail ÇOŞKUN

Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA

Tarih : 13...../...10..../...2006.....

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Vedat BOZKURT

ASENKRON MOTOR VE ASENKRON GENERATÖR PAREMETRELERİNİN DOLAYLI METOT İLE ÇIKARILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Vedat BOZKURT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2006

ÖZET

Asenkron motorlar, endüstride en çok kullanılan elektrik motorlarıdır. Bu tercihin başlıca sebepleri, arızalarının az, bakımlarının kolay olması, değişik faz sayılarında imal edilebilmeleri ve güç elektroniğindeki gelişmeler sayesinde hız ayarlarının kolayca yapılabilmesidir. Son yıllarda asenkron generatörler enerji üretim sektöründe yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde üretilen ve piyasaya arz edilen asenkron motorların ve generatörlerin ulusal ve uluslar arası standartlara uygun olması gereklidir. Asenkron motor ve generatörlerle ilgili belli başlı standartlar. TS 3067, IEC34-1, IEC34-2, IEEE Standart 112-2004, VDE 0530 olarak belirtilebilir. Asenkron motorların ve generatörlerin fabrika testlerinde direk ve dolaylı test metotları kullanılmakta olup, düşük maliyeti ve kolaylığı sebebiyle dolaylı metot çok tercih edilmektedir. Bu çalışmada, uluslararası seviyede en çok tercih edilen dolaylı ve direkt metot incelenmiş ve 160-4-160 tipi 4.4/6.6 kW gücündeki bir motor üzerinde motor-generatör çalışma deneyi gerçekleştirilerek sonuçları rapor edilmiştir.

Bilim Kodu : 703.1.033
Anahtar Kelimeler : Asenkron motor, dolaylı metot, Asenkron generatör,
Sayfa Adedi : 97
Tez yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA

**DETERMINING OF PARAMETERS OF THE INDUCTION MOTOR AND
INDUCTION GENERATOR WITH INDIRECT METHOD**

(Master Of Science Thesis)

Vedat BOZKURT

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2006

ABSTRACT

Induction motors are the most preferable electric motors in industrial area and generally on actuators. The mainly reasons for selection of these motors are to easy production in multi phase, due to progress of power electronics, their speed can be controlled by means of the inverters and their robust construction. The induction motors produced and supplied to industry in our country. The motors which is produced should be certificated both of the national and international standards. The mainly international standards are TS 3067, IEC 34-1, IEC 34-2, IEEE Standard 112-1996, VDE 0530. Both standards, IEC 34-2 (Indirect method) and IEEE 112 (direct method) have been used for tests in the factories. This method is capable of either determining motor parameters or to nameplate of these motors. The test equipment for indirect method is lower cost than direct method. In this study IEC34-2 and IEEE112 which are the most preferred international standards, were compared with each other and applied to a 160-4-160 type 6,6/4,4 kW induction motor. Motor operated as an induction generator, and then obtained values compared with the motor.

Science Code : 703.1.033
Keywords : Induction motor, Indirect method, induction generator,
Number of Page : 97
Thesis Advisor : Asist. Prof. Dr. İbrahim Sefa

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd.Doç.Dr. İbrahim SEFA 'ya ayrıca çalışmalarımda yardımcı olan Teknik öğretmenler Sayın Hikmet ULUTAŞ, Yavuz ŞAHİNBAŞ ve İsmail ÇINAR'a, manevi desteğiyle beni yalnız bırakmayan çok değerli eşim Serap BOZKURT'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. ASENKRON MOTORLAR	3
2.1. Asenkron Motorların Yapısı	3
2.1.1. Stator	4
2.1.2. Rotor	4
2.1.3. Gövde	7
2.1.4. Kapaklar	8
2.1.5. Yataklar	8
2.1.6. Havalandırma	8
2.2. Alternatif Akım Motorlarının Çalışma Prensibi	9
2.3. Asenkron Motorun Çalışma Prensibi	9
2.4. Rotorda Endüklenen Gerilim ve Rotor Frekansı	12
2.5. Asenkron Motorun Bazı Temel Büyüklükleri	13
2.6. Asenkron Motorun Çalışma Özelliklerini Etkileyen Faktörler	14
2.6.1. Asenkron motorun çalışma özelliklerini etkileyen fiziksel faktörler ..	14
2.6.2. Manyetik doyma	15
2.7. Asenkron Motorlarda Kayıplar ve Verim	15
2.7.1. Elektrik kayıpları	15
2.7.2. Mekanik kayıplar	16
2.8. Stator Kaçak Reaktansı	17
2.9. Motorların Eşdeğer Devrelerinin Çıkarılması	19
2.9.1. Asenkron motorda rotor hızı ve kayma	19
2.9.2. Eşdeğer devre	21
2.9.3. Kaymanın bir Olduğu durum (Kilitli rotor durumu, $s=1$)	24

	Sayfa
2.9.4. Kaymanın birden küçük olduğu durum ($s < 1$).....	26
2.9.5. Kaymanın sıfır olduğu durum ($s = 0$).....	26
2.9.6. Motorun eşdeğer devresi	27
2.9.7. Asenkron motorda güç ve moment ifadeleri	29
3. ASENKRON GENERATÖRLER.....	32
3.1. Asenkron Generatör yapısı	33
3.2. Asenkron Generatör Çalışma Prensibi	34
3.3. Asenkron Generatör Eşdeğer Devresi.....	35
4. TEST METOTLARI.....	37
4.1. Direk Metot IEEE-112 Test Standardı	37
4.1.1. Genel bakış	38
4.1.2. Amaç	38
4.1.3. Güç kaynağı	41
4.1.4. Test işlemleri.....	42
4.1.5. Standart sıcaklıklar ve sıcaklıkların ölçülmesi	43
4.1.6. Gerekli ölçmeler.....	46
4.1.7. Makine kayıpları ve kayıpları bulmak için testler	47
4.1.8. Güç faktörünün bulunması	50
4.1.9. Verimin bulunması.....	51
4.2. Dolaylı Test Metot IEC 34-2	53
4.2.1. Değişmez kayıplar.....	53
4.2.2. Yük kayıpları	53
4.2.3. İlave yük kayıpları.....	54
4.2.4. Verimin elde edilmesi	54
5. IEC 34-2 METOTUYLA ASENKRON MOTOR-GENERATÖR ÇALIŞMA PAREMETRELERİNİN BULUNMASI	56
5.1. Dolaylı Metotla 4,4 kW Motor Çalışma Parametrelerinin Bulunması	56
5.1.1. Deney işlem sırası	56
5.1.2. Deney test seti	56
5.1.3. Soğuk direnç ölçümü.....	57
5.1.4. R_{Mtn} , nihai sargı direncinin bulunması	57
5.1.5. Rotor T_n ($^{\circ}C$)' nin hesaplanması	58

	Sayfa
5.1.6. Stator $T_n (^{\circ}\text{C})$ ' nin hesaplanması.....	58
5.1.7. P_1 , giriş gücünün bulunması	59
5.1.8. n_s , senkron devrin hesaplanması	62
5.1.9. s , sıcak kaymanın hesaplanması	62
5.1.10. n , sıcak hızın hesaplanması.....	62
5.1.11. P_{cu1} , Stator bakır kaybının hesaplanması.....	63
5.1.12. P_{fe} , demir kaybının hesaplanması	63
5.1.13. P_2 , Ek yük kayıplarının hesaplanması	65
5.1.14. P_{stat} , toplam stator kaybının hesaplanması.....	66
5.1.15. P_d , Statordan rotora aktarılan gücün hesaplanması	66
5.1.16. P_{cu2} , Rotor iletken kaybının hesaplanması.....	66
5.1.17. P_{mek} mekanik kaybı ve P_{fe} , demir kayıpları eğrilerinin çizilerek Hesaplanması	66
5.1.18. P_{rot} , rotor toplam kaybının hesaplanması	67
5.1.19. P_{top} , toplam motor kaybının hesaplanması	67
5.1.20. $P_{çık}$, motor çıkış gücünün hesaplanması	67
5.1.21. Verimin hesaplanması	67
5.1.22. $\cos \theta$, güç katsayısının hesaplanması	68
5.1.23. Dolaylı metot sonuç değerleri.....	68
5.2. Dolaylı Metotla 6,6 kW Motor Çalışma Parametrelerinin Bulunması	69
5.2.1. Soğuk direnç ölçümü.....	69
5.2.2. R_{Mtn} , nihai sargı direncinin bulunması	70
5.2.3. Rotor $T_n (^{\circ}\text{C})$ ' nin hesaplanması	70
5.2.4. Stator $T_n (^{\circ}\text{C})$ ' nin hesaplanması.....	71
5.2.5. P_1 , giriş gücünün bulunması	71
5.2.6. n_s , senkron devrin hesaplanması	74
5.2.7. s , sıcak kaymanın hesaplanması	74
5.2.8. n , sıcak hızın hesaplanması	75
5.2.9. P_{cu1} , Stator bakır kaybının hesaplanması.....	75
5.2.10. P_{fe} , demir kaybının hesaplanması	75
5.2.11. P_2 , Ek yük kayıplarının hesaplanması	77
5.2.12. P_{stat} , toplam stator kaybının hesaplanması.....	78

	Sayfa
5.2.13. P_d , Statordan rotora aktarılan gücün hesaplanması	78
5.2.14. P_{cu2} , Rotor iletken kaybının hesaplanması.....	78
5.2.15. P_{mek} mekanik kaybı ve P_{fe} , demir kayıpları eğrilerinin çizilerek hesaplanması	78
5.2.16. P_{rot} , rotor toplam kaybının hesaplanması	79
5.2.17. P_{top} , toplam motor kaybının hesaplanması	79
5.2.18. $P_{çık}$, motor çıkış gücünün hesaplanması	79
5.2.19. Verimin hesaplanması	79
5.2.20. $\cos \theta$, güç katsayısının hesaplanması	80
5.2.21. Dolaylı metot sonuç değerleri.....	80
5.3. Generatör çalışma 1000 d/dk ve 1500 d/dk Yüklü Çalışma Parametreleri ..	81
5.3.1. Deney test seti	81
5.3.2. Deney işlem sırası	81
5.3.3. 1000 d/dk generatör yüklü çalışma parametreleri.....	82
5.3.4. 1000 d/dk generatör-motor çalışma test eğrilerinin karşılaştırılması...	85
5.3.5. 1500 d/dk generatör yüklü çalışma parametreleri.....	88
5.3.6. 1500 d/dk generatör-motor çalışma test eğrilerinin karşılaştırılması...	90
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Asenkron motor iki kutup stator-rotor oluk sayıları.....	6
Çizelge 2.2. Asenkron motor dört kutup stator-rotor oluk sayıları	7
Çizelge 2.3. Asenkron motor altı kutup stator-rotor oluk sayıları.....	7
Çizelge 2.4. Asenkron motor sekiz kutup stator-rotor oluk sayıları.....	7
Çizelge 3.1. Müsaade edilebilir ani hız değişme hız limitler	33
Çizelge 4.1. İzolasyon sargı sıcaklıkları	42
Çizelge 4.2. Kaçak yük kaybı tahmini hesaplama tablosu.....	47
Çizelge 4.3. Farklı test standartlarında elde edilen verim değerleri	53
Çizelge 5.1. Test öncesi motor değerleri 4,4 kW 1000 d/dk	57
Çizelge 5.2. Isı testi sıcaklık değerleri 4,4 kW 1000 d/dk	58
Çizelge 5.3. Yüklü çalışma test data tablosu 4.4 kW 1000 d/dk.....	59
Çizelge 5.4. Sıcaklık değerleri 4,4 kW 1000 d/dk.....	62
Çizelge 5.5. Yüksüz çalışma data tablosu 4.4 kW 1000 d/dk	63
Çizelge 5.6. Kilitli rotor test data değerleri 4.4 kW 1000 d/dk	68
Çizelge 5.7. Test öncesi motor değerleri 6,6 kW 1500 d/dk.....	70
Çizelge 5.8. Isı testi sıcaklık değerleri 6,6 kW 1500 d/dk	70
Çizelge 5.9. Yüklü çalışma test data tablosu 6.6 kW 1500 d/dk.....	72
Çizelge 5.10. Yüksüz çalışma test data tablosu 6.6 kW 1500 d/dk.....	75
Çizelge 5.11. Kilitli rotor test data değerleri 6.6 kW 1500 d/dk	80
Çizelge 5.12. Asenkron generatör 1000 d/dk yüklü çalışma test data değerleri	82
Çizelge 5.13. Asenkron generatör 1500 d/dk yüklü çalışma Test data değerleri	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Asenkron motorun ön ve yan görünüşü	4
Şekil 2.2. Stator oluk şekilleri	4
Şekil 2.3. Üç fazlı sargıda döner alan manyetik akı akım değişim eğrileri	11
Şekil 2.4. Oluk içindeki kaçak akılar	18
Şekil 2.5. Bobinin baş ve sonlarındaki kaçak akılar	19
Şekil 2.6. s kaymasının rotor dönme sayısına göre değişimi	21
Şekil 2.7. Rotor bir fazının eşdeğer devresi	22
Şekil 2.8. Rotorun faz eşdeğer devresi.....	23
Şekil 2.9. Rotoru kilitli motorun yaklaşık ve özdeş devresi	25
Şekil 2.10. Kaymanın birden küçük olduğu durumdaki eşdeğer devre	26
Şekil 2.11. Yaklaşık stator ve rotor eşdeğer devresi.....	27
Şekil 2.12. Stator ve rotor eşdeğer devreleri ayrı ayrı gösterilmesi	28
Şekil 2.13. Asenkron motorun Teşdeğer devresi.....	29
Şekil 2.14. Asenkron motorun stator terimlerine göre bir fazının eşdeğer Devresi... ..	29
Şekil 2.15. Asenkron motorda basitleştirilmiş eşdeğer devresi.....	30
Şekil 2.16. Asenkron motorlarda kalkınma anındaki eşdeğer devre	31
Şekil 3.1. Generatör ve motor çalışmada devrilme moment noktaları	32
Şekil3.2. Sincap kafesli asenkron motor parçaları	33
Şekil 3.3. Asenkron Generatörün; gerilim mıknatıslama çalışma eğrileri.....	34
Şekil 3.4. Kendinden uyarımlı asenkron generatör yaklaşık eşdeğer devres.....	36
Şekil 3.5. Karışık frekanslı çalıştırma.....	47
Şekil 3.6. Eşdeğer devre.....	49
Şekil 5.1. Dolaylı metot deney şeması.....	56
Şekil 5.2. Yüklü çalışma yük– akım eğrisi	60
Şekil 5.3. Yüklü çalışma yük – güç katsayısı eğrisi	60
Şekil 5.4. Yüklü çalışma yük – devir eğrisi	60
Şekil 5.5. Yüklü çalışma yük – reaktif güç eğrisi.....	61
Şekil 5.6. Yüklü çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi.....	61
Şekil 5.7. Yüklü çalışma yük – Pgir eğrisi.....	61
Şekil 5.8. Yüksüz çalışma gerilim – Pgir eğrisi	64
Şekil 5.9. Yüksüz çalışma gerilim – Pcu eğrisi.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. Yüksüz çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi.....	64
Şekil 5.11. Yüksüz çalışma gerilim – Güç katsayısı eğrisi	65
Şekil 5.12. Yüksüz çalışma gerilim – mekanik kayıplar eğrisi	65
Şekil 5.13. Yüklü çalışma yük– akım eğrisi	72
Şekil 5.14. Yüklü çalışma yük – devir eğrisi	73
Şekil 5.15. Yüklü çalışma yük – güç katsayısı eğrisi	73
Şekil 5.16. Yüklü çalışma yük – reaktif güç eğrisi.....	73
Şekil 5.17. Yüklü çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi.....	74
Şekil 5.18. Yüklü çalışma yük – P _{gir} eğrisi.....	74
Şekil 5.19. Yüksüz çalışma gerilim – P _{gir} eğrisi	76
Şekil 5.20. Yüksüz çalışma gerilim – P _{cu} eğrisi	76
Şekil 5.21. Yüksüz çalışma mekanik kayıplar eğrisi	76
Şekil 5.22. Yüksüz çalışma gerilim – güç katsayısı eğrisi	77
Şekil 5.23. Yüksüz çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi.....	77
Şekil 5.24. Asenkron generatör deney bağlantı şeması	82
Şekil 5.25. Generatör çalışma yük – akım eğrisi.....	83
Şekil 5.26. Generatör çalışma yük – güç katsayısı eğrisi.....	83
Şekil 5.27. Generatör çalışma yük – devir eğrisi.....	83
Şekil 5.28. Generatör çalışma yük – reaktif güç eğrisi	84
Şekil 5.29. Generatör çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi	84
Şekil 5.30. Generatör çalışma yük – P _{gir} eğrisi	84
Şekil 5. 31. a) Generatör yüklü çalışma yük - akım eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük - akım eğrisi.....	85
Şekil 5.32. a) Generatör yüklü çalışma yük - güç katsayısı eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük - güç katsayısı eğrisi.....	85
Şekil 5.34. a) Generatör yüklü çalışma yük – reaktif güç eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük – reaktif güç eğrisi.....	86
Şekil 5.35. a) Generatör yüklü çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi b) Motor yüklü çalışma aktif güç - güç katsayısı eğrisi.....	87
Şekil 5.36. a) Generatör çalışma yük – P _{gir} eğrisi b) Motor çalışma yük - P _{gir} eğrisi.....	87
Şekil 5.37. Generatör çalışma yük – akım eğrisi.....	88
Şekil 5.38. Generatör çalışma yük – güç katsayısı eğrisi.....	88

Şekil	Sayfa
Şekil 5.39. Generatör çalışma yük – devir eğrisi.....	89
Şekil 5.40. Generatör çalışma yük – reaktif güç eğrisi.....	89
Şekil 5.41. Generatör çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi	89
Şekil 5.42. Generatör çalışma yük – P_{gir} eğrisi	90
Şekil 5.43. a) Generatör yüklü çalışma yük - akım eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük - akım eğrisi.....	90
Şekil 5.44. a) Generatör yüklü çalışma yük – güç katsayısı eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük – güç katsayısı eğrisi.....	91
Şekil 5.45. a) Generatör yüklü çalışma yük - devir eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük - devir eğrisi.....	91
Şekil 5.46. a) Generatör yüklü çalışma yük - P_{gir} eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük - P_{gir} eğrisi.....	92
Şekil 5.47. a) Generatör yüklü çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi b) Motor yüklü çalışma aktif güç – reaktif güç eğrisi.....	92
Şekil 5.48. a) Generatör yüklü çalışma yük – reaktif güç eğrisi b) Motor yüklü çalışma yük – reaktif güç eğrisi	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
n_s	Senkron devir
f_s	Stator frekansı
f_r	Rotor frekansı
s	Kayma
E_{20}	Kilitli rotor gerilimi
P_{edd}	Fuko kaybı
P_{his}	Histeresiz kaybı
I_0	Boşta çalışma akımı
I_c	Uyartım devresi watlı akım bileşeni
I_m	Uyartım devresi mıknatıslama akım bileşeni
M_d	Döndürme momenti
$T_n(^{\circ}C)$ Rotor	Rotor nihai sıcaklığı
$T_n(^{\circ}C)$ Stator	Stator nihai sıcaklığı
$P_1(Kw)$	Çekilen Güç
n_r	Asenkron devir
$P_{cu1} (kW)$	Stator bakır kayıpları
$P_{fe} (kW)$	Demir kayıpları
$P_2 (kW)$	Ek kayıpları
$P_{stat} (kW)$	Toplam stator kayıpları
$P_d (kW)$	Statordan rotora aktarılan güç
$P_{cu2} (kW)$	Rotor iletken kaybı
$P_{mek} (kW)$	Mekanik kayıplar
$P_{rotor} (kW)$	Toplam rotor kaybı
$P_{tot} (kW)$	Toplam motor kaybı
η	Motor verimi

Simgeler**Cos phi****P_{out} (Kw)****R_{mT} (ohm)****R_{mTn} (ohm)****kW****Kgm****Açıklama**

Güç katsayısı

Çıkış gücü

Kablolu sargı direnci

T_n 'deki sargı direnci

Kilowatt

Kilogrammetre

Kısaltmalar**TSE****IEEE****IEC****NEMA****VDE****JEC****CSA****AA****DC****Açıklama**

Türk standartlar Enstitüsü

Institute of Electrical and Electronics Engineers

International Electrotechnical Commission

National Electrical Manufacturers Association

Almanya Ulusal Standardı

Japonya Ulusal Standardı

Kanada Ulusal Standardı

Alternatif Akım

Doğru Akım

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstride en çok kullanılan elektrik motoru, asenkron motorlardır. Maliyetinin düşük olması, fırça ve kolektörün bulunmaması, arıza oranının az olması gibi sebeplerle tercih edilmektedirler. Çalışma ilkesi bakımından bu motorlara endüksiyon motorları da denilmektedir. Ülkemizde üretilen motorlar uluslararası standartlara uygun olmalıdır. Uluslararası Standartlar Kuruluşu (ISO)'ya üye bir kuruluş olan Türk Standartları Enstitüsü, ülkemizde üretilen 3 fazlı asenkron motorlarla ilgili olarak test yöntemlerini içeren TS 3067 standardını yayınlamıştır. Günümüzde ülkeler ithal ettikleri elektrik motorlarının uluslararası kabul edilen standartlara uygun standart belgeli olmasını istemektedirler. Bu sebeple ülkemizden ihraç edilen motorların da uluslararası standartlara uygun olması gerekmektedir. Türk Standartları Enstitüsü de bu gerekliliğe bağlı olarak IEC 34-2 standardını referans kabul ederek ve TS 3067 standardının başına EN (Avrupa Normu) harflerini getirerek, yeni standardını buna göre hazırlamıştır. Bu çalışmanın ikinci bölümünde elektrik akımının döndürme etkisi, döner manyetik alanın meydana getirilmesi anlatılmaktadır. Ayrıca klasik asenkron motorun yapısı, çalışma prensibi, eşdeğer devreleri, güç ve moment ifadeleri verilmiştir. 3 fazlı sincap kafesli asenkron motorlarda gerilim-akım, frekans-akım, yük-akım eğrileri çizilmiştir. Üçüncü bölümde Asenkron generatörler ele alınmıştır. Sırası ile asenkron generatörlerin yapısı, çalışma prensibi, asenkron generatör eşdeğer devresi, asenkron generatör yüklü çalışma test verileri çizelge olarak düzenlenmiş ve motor çalışma durumu ile generatör çalışma durumlarından elde edilen eğriler karşılaştırılarak analiz yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise; 3 fazlı asenkron motorları ve generatörlerin kayıplarının, verimlerinin bulunması ile ilgili ulusal ve uluslararası 3 fazlı asenkron motor standartları, bunların arasındaki benzerlikler ve farklılıklar incelenmiştir. Ulusal standardımız TS 3067'nin de referans aldığı IEC 34-2 dolaylı test metodu ve direkt metot IEEE-112 standardının test prosedürü karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Beşinci bölümde ise; 160/4/160 tipi, 4.4/6.6 kW, 1000/1500 d/d özelliklerindeki 3 fazlı asenkron motorun; sırasıyla, etkin faz sargı direnci bulunmuş,

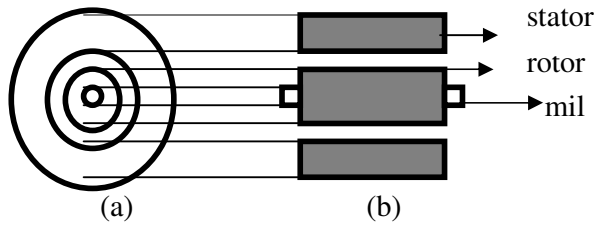
motor olarak çalışma durumunda boşta çalışma deneyi, tam yük deneyi, ısı testi ve ayrıca kısa devre deneyi yapılarak, elde edilen test verileri tablolar halinde gösterilmiş, bu değerlerden eğriler çizilmiştir. Bu bölümde; test edilen motorun kayıpları, verimi, gücü; IEC 34-2 test metoduna göre hesaplanarak bulunmuştur. Aynı motor daha sonra generatör modunda çalıştırılarak test verileri çizelgeler halinde gösterilerek eğriler çizilmiştir. Daha sonra motor çalışma eğrileri ile generatör çalışma eğrileri karşılaştırılarak gerekli analizler yapılmıştır. Altıncı bölümde ise bu çalışmada elde edilen sonuçlar verilmiş ve önerilerde bulunulmuştur. Türk Standartlar Enstitüsü'nün de referans olarak kabul ettiği IEC 34-2 incelenmiş olup, çift sargılı bir asenkron makinenin motor ve generatör çalışmasında uygulanmış olması yapılan çalışmanın önemini artırmaktadır.

2. ASENKRON MOTORLAR

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makineler elektrik motorlarıdır[1]. Bu motorlar çalışma gerilimlerine göre, alternatif ve doğru akımla çalışan motorlar olmak üzere ikiye ayrılır. Alternatif akım (AA) motorları bir veya çok fazlı olarak yapılmaktadır. Endüstride kullanılan elektrik makinelerinden en sağlam ve en ucuz olanı en az arıza yapanı ve en çok kullanılanı asenkron motorlardır. Çalışma prensibi bakımından bu makinelere endüksiyon motorları da denilmektedir. Bu motorlar gerekli şartlar sağlanıldığında generatör olarak da kullanılabilir[2]. Asenkron makinelerin dönme hızları, senkron makinelerin aksine sabit değildir. Bu hız motor olarak çalışmada senkron hızdan küçüktür. Asenkron motorlarda alternatif akım doğrudan statora, transformatör hareketinde olduğu gibi, indüksiyon yoluyla rotora uygulanmaktadır[3]. Döner alan prensibine göre çalışan asenkron makinelerin yapımı ile ilgili ilk çalışmalar 1820-1831 yıllarında başlamıştır. Ampere kanunu 1825 yılında ve Faraday kanunun da 1831’de bulunmasına rağmen sanayi tipi bir asenkron motor 1890 yıllarında yapılmıştır. Bu alandaki ilk çalışmayı Nikola TESLA yapmaya başlamıştır. Tesla’nın bu çalışmaları bir süre sonra A.B.D. de George Westinghouse firması tarafından satın alınmıştır. Nikola Tesla daha sonra A.B.D.’nin Pittsburgh şehrine giderek ilk endüstri tipi asenkron motorun yapımını Westinghouse firmasında 1890 yıllarında gerçekleştirmiştir.

2.1. Asenkron Motorların Yapısı

Asenkron motorlar genellikle sabit duran stator ve kendi çevresinde dönen rotor başta olmak üzere gövde, mil, kapaklar, pervane gibi parçalardan oluşur. Stator nüvesi histerisiz kayıplarını azaltmak için silikon alaşımlı çelik saçlardan imal edilmiş laminasyonların preslenmesiyle istenilen ebatlarda yapılır. Bundan başka eddy akım kayıplarını azaltmak için laminasyonlar oksit veya vernikle kaplanır. İzoleli iletkenler stator içine uygun adım sayılarına göre yerleştirilirler. Sarım bitirildiğinde motor akım ve gücüne göre faz sargı uçlarına yıldız veya üçgen bağlantı yapılır. Şekil 2.1’de bir asenkron motora ait dik ve enine kesitleri verilmiştir.

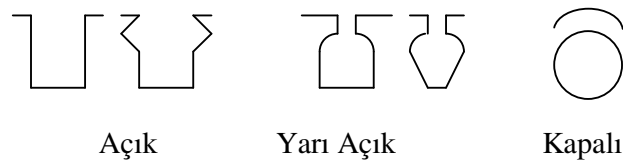


Şekil 2.1. Asenkron motorun mil eksenine göre a) dik kesiti b) enine kesiti

Şekil 2.1’de görüldüğü rotor, N S kutuplarının meydana geldiği stator içerisine yerleştirilmiş olup rotor eksenini etrafında rahatça dönebilecek şekilde yataklanmıştır. Stator ile rotor arasında hiçbir elektriki bağlantı yoktur.

2.1.1. Stator

Stator, manyetik alanın meydana geldiği motorun sabit kısmıdır. Asenkron motor statorunun manyetik kısmı, birer tarafları yalıtılmış 0,45-0,50 veya 0,80 mm kalınlığında silisli çelik sac lar preslenerek yapılır[4]. Bu manyetik devre etrafına endüksiyonu oluşturmak üzere sargılar yerleştirilir. Bu sargılar statora açılan oluklarda bulunur. Şekil 2.2’de statora açılan ağzı kapalı, yarı açık ve açık olukların şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Stator oluk şekilleri

2.1.2. Rotor

Genel olarak motorların dönen kısmına rotor denilir. Asenkron motorlar rotor yapılarına göre sincap kafesli veya sargılı rotorlu imal edilirler. Rotor segman veya dişli bir sistemle motor miline sabitlenmiştir. Stator paketi gibi manyetik sac ların bir araya getirilmesiyle oluşturulan rotorun üzerine açılan oluklara rotor tipine göre sargı yerleştirilir. Sincap kafesli rotorda ise oluklarına eritilmiş alüminyum dökülerek rotor

iletkenleri oluşturulur. Bu şekilde yapılan kısa devre çubukları özel durumlarda bakır malzeme kullanılarak yapılabilir. Asenkron motor rotor manyetik nüvesinin yapılışı statora benzemektedir. Rotor saç paketi küçük motorlarda mil üzerine, büyük güçlü motorlarda ise dökümden yapılmış bir göbek üzerine monte edilmektedir.

Sincap kafesli rotor

Statorda olduğu gibi laminasyonlar kalıpla preste kesilerek istenilen uzunlukta rotor paketi haline getirilir. Rotor oluklarına pres döküm ile alüminyum veya bakır çubuklar yerleştirilir. Rotorun iki tarafındaki çubuklar kısa devre edilir. Buna kısa devre halkası denir. Kısa devre halkası üzerinde, küçük kanatçıklar meydana getirilir. Bu kanatçıklar rotorun soğumasına yardımcı olur. Bugün motor imalatında rotor oluk biçimleri üç grupta toplanabilir:

- 1) Yuvarlak çubuklu tek kafesli oluklar
- 2) Derin çubuklu konik kesitli veya silindirik kesitli oluklar
- 3) Çift yuvarlak kafesli veya yuvarlak dikdörtgen kesitli çift kafesli oluklar

olarak adlandırılabilir. 10 kW güce kadar olan motorlar, genellikle yuvarlak veya derin çubuklu kafesli, normal eğimlidir. 10 kW gücün üstündeki motorlar ise çift kafesli zikzak eğimlidir. Kısa devre rotor sargıları rotorun çevresine açılmış, tam kapalı veya çok dar yarıklı oluklar içine yerleştirilmiş, yuvarlak, dikdörtgen, yamuk veya kare kesitli çıplak bakır iletkenlerden meydana gelir. Oluklara yerleştirilen bu çubuklar bir çemberle rotorun her iki yanından kısa devre edilmektedir. Rotor oluk sayısı stator oluk sayısına eşit olamaz, eşit olduğu zaman motor kalkınmaz. Rotor oluk sayısı stator oluk sayısının %70-85 veya %115-120'si kadar olmalıdır[5]. Çizelge 2.1.'de değişik kutup sayıları için kullanılan stator ve rotor oluk sayıları görülmektedir. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel değil meyilli olarak açılmaktadır[6]. Bu tip rotorlar tek veya çift kafesli olarak iki tipte yapılmaktadır. Tek kafesli rotor genellikle alüminyum dökümden elde edilmektedir, bu yüzden maliyeti düşüktür. Tek kafesli

rotorlu motorlarda kalkış momenti oldukça düşüktür, dolayısıyla yol alma esnasında çektiği akım, nominal akımın çok üstündedir. Çift kafesli rotor ise biri dışta yüksek dirençli, öbürü içte daha düşük dirençli olmak üzere iki sincap kafesten oluşmuştur. Yüksek dirençli dış kafeste oluşan moment oldukça yüksek, kalkış akımı ise oldukça düşüktür. Yol verme sonunda rotor akımlarının frekansı sıfıra yaklaşır; her iki kafesten eşit miktarda akım geçer. Sincap kafesli bir asenkron motorun yol verme karakteristikleri rotor çubuklarının uygun bir biçimde biçimlendirilmesi ve hava aralığı manyetik alanına göre pozisyonlarının değiştirilmesi ile ayarlanabilir. Çok fazlı indüksiyon motorlarının teorisi ve akım, tork ve güç ilişkilerinin geliştirilmesi stator sargı uyarıtımı ile meydana gelen senkron döner mmf'nin bütün ana kutuplar üzerindeki boşlukta sinüsoidal olarak dağıtılmış olduğu ve kayma frekansında indüklenmiş akımlardan dolayı rotor mmf'nin bütün indüklenmiş kutuplar üzerinde aynı şekilde dağıtılmış olduğu varsayımına dayanır. Bununla beraber pratikte hava aralığı akı dağılımı harmonikler içerir. Bunların oluşma nedenleri sonlu oyuk sayısında mmf'nin yoğunlaşması (sargı harmonikleri) ve stator ve rotor açıklıklarından dolayı hava aralığının düzgün olmaması gerçeğinden (oyuk harmonikleri) dolayıdır. [7].

Çizelge 2.1. Asenkron motor stator-rotor oluk sayıları

NORM MOTOR (2 Kutup-3000 d/dk)		
MOTOR TİPİ	KANAL SAYISI	
	STATOR	ROTOR
80	24	18
90	24	18
100	24	18
112	24	18
132	36	30
160	36	30

Sargılı rotorlu motor

Yüksek bir kalkış momenti ve hız ayarı istenildiğinde rotora çubuklar yerine, stator sargıları gibi sargılar yerleştirilir. Mil üzerine yerleştirilen bileziklere bağlanır [8].

Çizelge 2.2. Asenkron motor stator-rotor oluk sayıları

NORM MOTOR (4 Kutup -1500 d/dk)		
MOTOR TİPİ	KANAL SAYISI	
	STATOR	ROTOR
80	24	22
90	36	28
100	36	28
112	36	28
132	36	28
160	36	28

Çizelge 2.3. Asenkron motor stator-rotor oluk sayıları

NORM MOTOR (6 KUTUP-1000 d/dk)		
MOTOR TİPİ	KANAL SAYISI	
	STATOR	ROTOR
80	36	30
90	36	26
100	36	34
112	36	34
132	36	44
160	54	38

Çizelge 2.4. Asenkron motor stator-rotor oluk sayıları

NORM MOTOR (8 KUTUP-750 d/dk)		
MOTOR TİPİ	KANAL SAYISI	
	STATOR	ROTOR
80	36	30
90	36	26
100	36	34
112	36	34
132	48	44
160	48	44

2.1.3. Gövde

Bir asenkron motorların gövdesi motorun bütün kısımlarını taşımaktadır. Gövde pik dökümden veya alüminyumdan yapılmış olup, stator saçları iç yüzeyine tespit edilmektedir. Gövdede bağlantı klemensini ve kapağını taşıyan bölme ile büyük

motorlarda taşıma kolaylığı için bir halka bulunur. Ayrıca yatık çalışan motorlarda gövde ile beraber dökülmüş veya gövdeye sonradan tutturulmuş ayaklar bulunmaktadır[9]. Bazı küçük güçlü motorlarda gövde ve kapaklar saçtan yapılmaktadır.

2.1.4. Kapaklar

Kapaklar rotoru taşıyan kısımlardır. Rotorla stator arasındaki hava aralığının çok az olması nedeni ile kapaklardaki yataklama merkezleri ve kapakların faturaları çok iyi işlenmelidir. Çalışma yerinin sıcaklığına bağlı olarak motor kapakları üzerine soğutma kafesleri yerleştirilir.

2.1.5. Yataklar

Asenkron motorlarda daha çok bilyeli (rulmanlı) yataklar kullanılır. Küçük güçlü motorlarda tek tarafı kapalı (Z) veya iki tarafı kapalı (ZZ) rulmanlar, büyük güçlü motorlarda ise yağlama yapılabilmesi için iki tarafı da açık metal bilyalı yataklar kullanılır. Bilyalı yataklar üzerlerindeki numaralara göre motorlarda kullanılırlar.

2.1.6. Havalandırma

Soğutma ve havalandırma bakımından motorlar; kendiliğinden soğuyan, kendi kendini soğutan, harici soğutmalı olmak üzere gruplandırılır. Motor gövde ve sargılarının soğutulması için çeşitli olanaklar sağlanmıştır. Bu amaçla, stator gövdesi ile stator sac bloğu arasında boşluk bırakılmaktadır. Rotor orta kısmına kanallar açılmıştır. Rotorun kısa devre halkalarında küçük kanatçıklar meydana getirilir. Açık tip motorlarda iç kısma motorun mili üzerine pervane takılır. Kapalı tip motorların soğutulması için, motor dış kısmına pervane takılır ve üzeri bir kapakla kapatılır[9]. Çalışma rejimi bakımından ve çok sıcak ortamlarda çalışan motorlarda harici soğutma fan motorlarıyla sağlanır. Küçük güçlü motorlarda soğutma pervaneleri plastik malzemeden, büyük güçlü motorlarda ise alüminyum dökümden imal edilmektedir.

2.2. Alternatif Akım Motorlarının Çalışma Prensibi

Alternatif akım motorlarının statorları ile rotorları arasında herhangi bir elektriki bağ yoktur. Motorlarda stator enerjisi rotora manyetik yolla aktarılmaktadır. Alternatif akım motorları Faraday'ın manyetik alan etkisinde kalan ve içerisinden akım geçen bir iletkende meydana gelen kuvvet prensibine göre çalışmaktadır. Bunu açıklarsak, herhangi bir iletken bobin şekline getirilip, bobin düzleminin eksenine dik olarak, bu eksen etrafında dönebilecek şekilde düzenlenmiştir. Manyetik alan içinde bu iletken akım uygulandığında bir dönme kuvveti meydana getirmektedir. Bu kuvvetin oluşmasının nedeni, bobinin içinde bulunduğu manyetik alan ile bobinden geçen akımın bobin etrafında meydana getirdiği manyetik alanın birbirine etkisidir. Bu etki elektrik motorlarının çalışma prensibinin esasını oluşturur. Bu döndürme momenti AA motorlarında rotorun manyetik alanına, statorun manyetik alanına ve bunların arasındaki açısının sinüsüne bağlıdır. Döner manyetik alanı oluşturmak için 120° faz farklı akımlar üç fazlı motor sargılarına uygulanmalıdır[1]. Stator sargılarından geçen akımlardan dolayı stator manyetik akı yoğunluğu oluşur. Bu manyetik akı yoğunluğunun çok az bir kısmı kaçak olarak havadan devresini tamamlarken büyük kısmı da stator demir nüvesi, stator-rotor arasındaki hava boşluğu ve rotor demir nüvesi üzerinden devresini tamamlar. Dolayısıyla, hem stator sargılarında hem de rotor sargılarında Faraday yasasına göre gerilim indüklenir. Rotor sargıları kısa devre olduğundan, rotor devresinden kısa devre akımı dolaşır. Bunun sonucu rotor akı yoğunluğu oluşur. Oluşan stator ve rotor döner alanlarının etkileşimi sonucu motorda bir döndürme momenti oluşur[10].

2.3. Asenkron Motorun Çalışma Prensibi

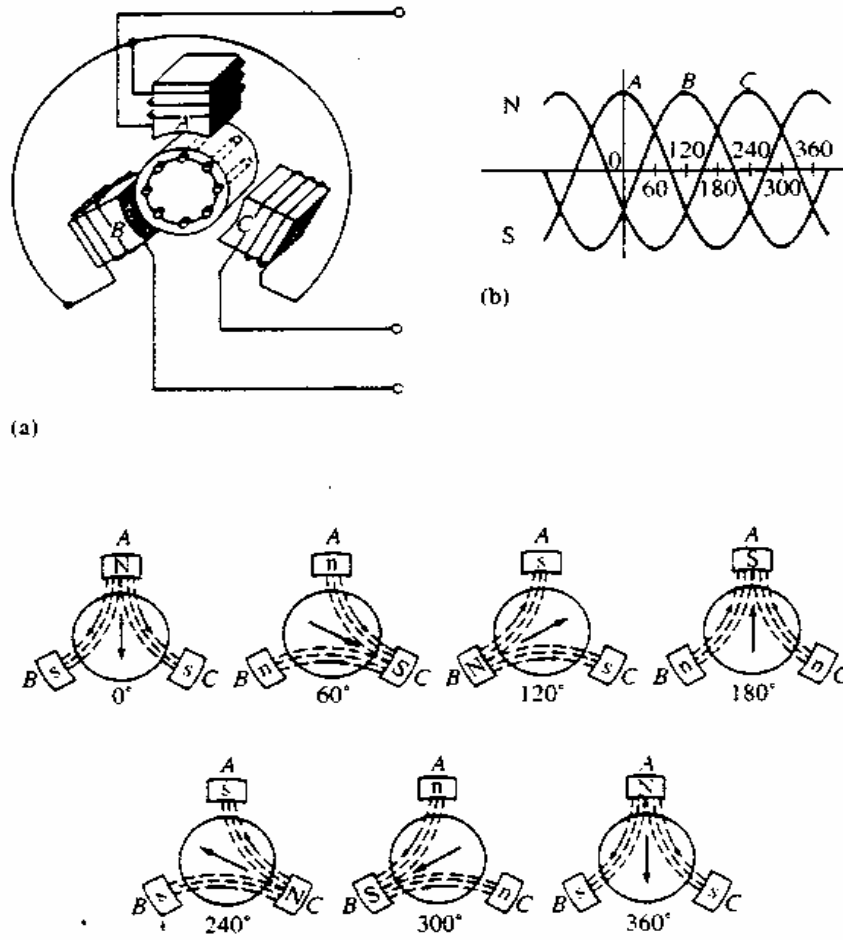
Asenkron motorlar transformatörler gibi indükleme esasına göre çalıştığından asenkron motorlara indüksiyon motorları da denir. İndüksiyon prensibine göre:

- a) Döner bir manyetik alan içinde bulunan iletkenlerde gerilim indüklenir.
- b) Döner bir manyetik alan içinde bulunan iletkenlerden bir akım geçirilirse, iletkenler manyetik alan tarafından itilirler. Bir rotorun dönebilmesi için;

1) Rotor iletkenlerinden bir akımın geçmesi,

2) Rotor iletkenlerinin dönen bir manyetik alan içinde bulunması

gerekir. Normal olarak asenkron motorlarda stator ile rotor arasında herhangi bir elektriki bağ yoktur. Asenkron motorlarda dönen daimi mıknatısın görevini stator sargılarına uygulanan üç fazlı akımın meydana getirdiği "döner alan" yapar. Asenkron motorun çalışma ilkesi bir döner alan varlığına dayanır[4]. Çok fazlı bir stator sargısında aynı faz sayısında çok fazlı bir akım geçerse hava aralığında sabit genlikte bir döner alan oluşur. Bu döner alan rotor sargısı iletkenlerinde gerilim indükler, bu gerilim bir döndürme momenti oluşturur. Bu moment etkisiyle rotor, döner alan yönünde hızlanarak çalışma şekline göre n devir sayısına ulaşır. Eğer statora belli frekanslı sinüsoidal 3 fazlı gerilimler uygulanırsa dengeli akımlar oluşur. Bu akımlar hava aralığında genliği sabit ve senkron hız adı verilen sabit bir hızda dönen akı yoğunluğunu oluşturur[11]. En basit şekilde iki kutuplu ve üç fazlı asenkron motor Şekil 2.3'deki gibi tasarlanabilir. Burada stator 120^0 açıyla yerleştirilmiş, üç adet demir blok üzerine sarılmış üç faz sargısı yıldız bağlanmış ve üç fazlı kaynaktan beslenmiştir. Rotor, silisli saçlardan yapılmış sincap kafesli rotordur. Stator sargıları üç fazlı sistemden enerjilendirildiğinde, üç fazlı sargılardan geçen akımlar değişik zamanlarda maksimum değerlerine ulaşırlar. faz akımları birbirinden 120^0 elektriki derece ile sargılardan geçerken oluşturdukları akılarda 120^0 farklı olur. (Şekil 2.3.b). Şekil 2.3.c'de Şekil 2.3.b'ye bağlı olarak üç fazlı asenkron motorun stator akısının rotora geçmesi zamana bağlı olarak gösterilmektedir. Örneğin, 0 derecede, A fazı N kutbunda da maksimum değerdedir. B ve C fazları ise zayıf değerlerdedir. 60^0 'de ise C fazı S kutbunda kuvvetli değerde, A ve B fazları ise N kutbunda daha zayıf olur. 120^0 'ise B fazı N kutbunda kuvvetli, A ve C fazları S kutbunda zayıftır. Büyük oklar akımın yönünü göstermektedir. Her faz sargısının ürettiği akı dalgalı bir akı olduğu olduğu halde, üç faz sargısının ürettiği birleşik manyetik akı iki kutuplu döner akıdır. Toplam akı asenkron motor hareketini oluşturur. Lenz kanununa göre rotorda oluşan gerilim, akım ve akı kendilerini meydana getiren alana karşı yöndedir. Bu yüzden rotor döner alan yönünde veya



Şekil 2.3. a) Üç fazlı asenkron motor b) Üç fazlı manyetik akı dalgası
c) Üç fazlı sargılarda manyetik akı yönü

döner alanında itilecek yönde moment oluşumunu sağlamalıdır[8]. Şekiller incelendiğinde, N-S kutuplarının saat ibresi yönünde döndüğü görülür. Üç fazlı alternatif akımdaki bir periyotluk değişme N-S kutuplarının bir devir yapmasına sebep olur. Alternatif akımın frekansı 50 Hz ise, saniyede 50 periyotluk bir değişme yapar. Dolayısıyla statordaki faz bobinlerinin meydana getirdiği N-S kutupları da saniyede 50 devirle döner. Bu dakikada 3000 devir eder. Şu halde, 3 fazlı bir statorda üç fazlı alternatif akım uygulandığında, sargılardan geçen akımlar dönen bir manyetik alan meydana getirirler. Dönen alanın devir sayısı alternatif Bu şekiller

incelendiğinde, N-S kutuplarının saat ibresi yönünde döndüğü görülür. Üç fazlı alternatif akımdaki bir periyotluk değişme N-S kutuplarının bir devir yapmasına sebep olur. Alternatif akımın frekansı 50 Hz ise, saniyede 50 periyotluk bir değişme yapar. Dolayısıyla statordaki faz bobinlerinin meydana getirdiği N-S kutupları da saniyede 50 devirle döner. Bu dakikada 3000 devir eder. Şu halde, 3 fazlı bir statorda üç fazlı alternatif akım uygulandığında, sargılardan geçen akımlar döner bir manyetik alan meydana getirirler. Döner alanın devir sayısı alternatif akımın frekansı ile doğru orantılıdır. İki kutuplu statorda döner alanın saniyedeki devir sayısı alternatif akımın frekansına eşittir. . 3 fazlı, 4 kutuplu bir statora alternatif akım uygulandığında meydana gelen döner alanın devir sayısı, iki kutuplu statordaki döner alan devir sayısının yarısına eşittir. 4 kutuplu bir statorda N S N S olarak 4 kutup meydana gelir. Bu statorda N kutbu ile S kutbu arasındaki elektriki açı 180^0 olduğu halde, mekanik (geometrik) açı 90^0 dir. N kutbu ile N kutbu arasındaki elektriki açı 360^0 dır. Bir çift kutbun elektrik açı 360^0 olduğuna göre, 4 kutuplu bir statordaki elektriki açı $(360^0 \times 2)$ dir. Statora uygulanan alternatif akımdaki bir periyotluk (360^0 lik) değişme, döner alanın 360 elektriki açılık dönmesine (yarım devir) sebep olur. Kutup sayısı ile döner alanın devir sayısı ters orantılıdır. Döner alanın devir sayısı aşağıdaki formülle bulunur. Döner alanın devir sayısına senkron devir de denir[12].

$$n_s = \frac{60.f}{p} \quad (2.1)$$

2.4. Rotorda İndüklenen Gerilim ve Rotor Frekansı

Asenkron motor dururken, stator sargılarına gerilim uygulandığı anda rotor dönmeye başlamadan, stator frekansı f_s ve rotor frekansı f_r birbirlerine eşittir. Stator sargılarında indüklenen E_s gerilimi rotor sargılarında indüklenen E_r gerilimi, dönüştürme oranı $a=1$ ise, birbirlerine eşittir. Ayrıca $n_r=0$ olduğundan, kayma $s=1$ olur. Rotor senkron hızda dönerse, $n_r=n_s$ olacağından, kayma $s=0$, $f_r=0$ Hz ve $E_r=0$ volt olur. Çünkü rotor çubukları stator döner alan hızında döndüğünden, stator manyetik akısı tarafından kesilmemektedir. Rotor frekansı Eş. 2.2 ile bulunabilir.

$$f_r = s(f_s) = \frac{n_s - n_r}{n_s} f_s \quad (2.2)$$

Stator döner alan hızı $n_s = 120f_s/P$ olarak ifade edildiğine göre, $f_s = Pn_s/120$ olur. Bu ifade Eş. 2.2 de yerine yazılırsa;

$$f_r = \frac{n_s - n_r}{n_s} f_s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \left[\frac{P n_s}{120} \right] = \frac{P}{120} (n_s - n_r) \quad (2.3)$$

Stator ve rotor sargılarında indüklenen gerilimler arasındaki bağıntı da frekans bağıntısı ile aynı olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_r = s.(E_s) \quad (2.4)$$

Eşitlikler Eş. 2.2-Eş. 2.4 'den görüldüğü gibi, rotor dönerken stator ve rotor frekansları ile indüklenen gerilimler arasındaki bağıntı kayma ile orantılıdır. Rotor hızı normal çalışmada senkron hıza çok yakın olduğundan kayma küçük olacaktır. Kaymaya bağlı olarak rotor frekansı ve gerilimi de azalacaktır[10].

2.5. Asenkron Motorun Bazı Temel Büyüklükleri

Asenkron motorun işletme şartlarını belirleyen stator akımı, stator gerilimi, rotor akımı, rotor gerilimi, momenti, kayması, güç katsayısı ve gücü gibi tanımları açıklamakta fayda vardır. Stator sargılarına şebekeden alternatif bir gerilim uygulandığında sargılar şebekeden alternatif akımlar çeker. İşte bu akıma stator akımı denir. Bu akım stator sargılarında döner manyetik alan meydana getirerek, hem stator sargılarında hem de rotor sargı veya çubuklarında endüksiyon elektromotor kuvvetlerini meydana getirir. Statorda meydana gelen endüksiyon elektromotor kuvveti dışarıdan uyguladığımız stator gerilimini dengeler. Rotorda meydana gelen endüksiyon elektromotor kuvveti, kısa devre durumundaki rotor iletkenlerinde bir akımın dolaşmasını sağlar bu akıma rotor akımı denir. Rotor akımı, Lenz kanununa göre kendisini meydana getiren akıma yani stator akımına zıt yöndedir. Rotorda endüksiyon elektromotor kuvvetinin meydana gelmesi için stator döner alanı ile rotor devri arasında fark meydana gelmelidir. Rotor devir sayısı ile stator döner alanın hızı Arasındaki bu fark kaymayı meydana getirir. Statorun döner alan hızı ile rotorun hızı

arasındaki farkın, stator döner alan hızına oranına asenkron motorun kayması denir. Kayma (s) harfi ile gösterilir ve Eş. 2.5 ile hesaplanır. Kayma genellikle yüzde olarak ifade edilir. Kayma asenkron motorun çalışma koşullarına göre değişen bir büyüklüktür.

$$\%s = \frac{(n_s - n_r) \cdot 100}{n_s} \quad (2.5)$$

Stator sargılarının hava aralığında meydana getirdiği manyetik alan ile rotor akımının oluşturduğu manyetik alanın birbirlerini etkilemesi ile rotorda bir dönme kuvveti oluşur. Bu kuvvete de döndürme momenti denilir. Asenkron motor, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürken; şebekeden çektiği elektrik enerjisinin bir kısmını mil gücü olarak dışarıya verdiği halde, bir kısmını da bakır, demir ve sürtünme kayıpları şeklinde harcamaktadır. Kaybolan bu enerjiler motor verimini etkilediğinden çok önemlidir. Stator akımından dolayı sargılarda oluşan endüksiyon elektromotor kuvveti sargılarda indüksiyon akımının oluşmasına neden olur. Bu akımın yönü stator akımına lenz kanununa göre zıt yönde olduğundan stator akımı, gerilimine göre geri kalır. Alternatif olarak değişen stator akımı ve gerilimi arasındaki bu geri kalmaya faz farkı denir. Faz farkı elektriki açı cinsindendir. Bu açının kosinüsü, asenkron motorun şebekeden çektiği gücü etkilediğinden güç katsayısı olarak isimlendirilir.

2.6. Asenkron Motorun Çalışma Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Asenkron motorlardan alınabilecek en büyük gücü sınırlayan iki önemli fiziksel olay vardır. Bunlardan birincisi manyetik doyma, diğeri ise, enerjinin bir türden diğeri bir türe dönüşümü sırasında oluşan enerji kayıpları dolayısı ile motorun statorunda meydana gelen ısı artışlarıdır.

2. 6. 1. Yapısal faktörler

Elektrik motorlarının yapısal olarak genelde ferro-manyetik malzeme, bakır iletken ve ızalasyon maddelerinden oluştuğu bilinmektedir. Motorun performansı açısından çevre koşullarına göre stator gövdesi değişik malzemelerden oluşturulmaktadır. Buna göre motor gövdesini oluşturan ferro-manyetik devrenin geometrik yapısı, manyetik

manyetik akının en az kayıp ile ferro-manyetik gövdeden geçmesini sağlayacak şekilde yapılmaktadır. Bakır iletken malzemesinin kesiti, normal çalışma koşullarında ve kısa devre olaylarında meydana gelebilecek ısı ve mekanik zorlamalara emniyetle dayanabilecek şekilde boyutlandırılmaktadır.

2.6.2. Manyetik doyma

Asenkron motorlarda, gerilimin ve elektromanyetik momentin, motor sargılarının etkisi altında bulunduğu manyetik akının değişme hızına bağlı olarak oluştuğu bilinmektedir. Sargılarda oluşan manyeto motor kuvvetin büyüklüğü, motorun ferro-manyetik kısmının ve hava aralığının relüktansına bağlı olarak oluşan manyetik akının değeri ile bulunmaktadır. Bu nedenle manyetik doyma, motorun işletme özelliklerini önemli oranda etkileyen bir faktördür. Motoru oluşturan statorun manyetik direncinin, hava aralığı manyetik direncine göre ihmal edilebilecek oranda küçük olduğundan manyetik potansiyelin yaklaşık olarak tamamı hava aralığı tarafından sarf edilmektedir.

2.7. Asenkron Motorlarda Kayıplar ve Verim

Enerjinin bir türden başka bir türe dönüşümü sırasında oluşan kayıp enerji, motorun ekonomik değeri ve çalışma koşulları yönünden büyük önem taşımaktadır. Gerçekten kayıp enerji, motorun verimini ve işletme ekonomisini etkileyen önemli faktördür. Ayrıca ısı şeklinde oluşan kayıp enerji, motorun belirli kısımlarında aşırı ısınmalara ve izolasyon maddelerinin yapısında değişmelere ve bozulmalara neden olmaktadır. Isınma sonucu oluşan direnç artışları neticesinde ek ısınma kayıpları oluşur[13]. Motorun verimi motordan alınan gücün, motora uygulanan güce oranı ile bulunur. Motorun giriş gücünden kaybolan güçleri çıkarıldığında motorun çıkış gücü elde edilir. Asenkron motorlarda oluşan kayıplar iki esas gruba ayrılabilir[10].

2.7.1. Elektrik kayıpları

a) Bakır kayıpları, $I^2.R$ kayıpları olarak bilinen olarak bakır kayıpları; motorun stator ve rotor sargılarında oluşmaktadır. Sargının doğru akım eşdeğer direncinin 75°C 'deki değeri için hesaplanmaktadır. Gerçek $I^2.R$ kayıpları, sargının şebeke frekansında ve manyetik akı koşulları altındaki gerçek değeri ile bağlıdır[13].

Motorun bakır kayıplarının hesaplanması verim test metotlarında farklı yöntemlerle bulunmaktadır. Bazı hesaplamalarda sürtünme ve rüzgar kayıplarında çok küçük değerlerde olduğu için ihmal edilebilmektedir. Diğer hesaplamalarda ise bu bakır kaybı direk olarak rotor kayıplarında hesaba katılmaktadır. Bu farklı hesaplamalar, tez içindeki verim test metot hesaplamalarında gösterilmiştir.

b) Demir kayıpları, asenkron motorun nüve kayıpları hem statorda hem de rotorda meydana gelir. Nüve kayıpları eddy akımları kaybı ve histerisiz kaybı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Her iki kayıp da frekans ve manyetik akı yoğunluğu ile orantılıdır. Değişken manyetik alan içinde kalan demir nüvede indüklenen gerilimden dolayı nüve içersinden eddy akımları dolaşır. Bu akımlar nüvede ısı şeklinde enerji açığa çıkartarak güç kaybına sebep olur. İşte bu kayıp güce eddy akımları kayıpları denir. Eddy akımları kaybı bazen fuko akımları veya girdap akımları kaybı olarak adlandırılır. Histeresiz kayıpları, zamana göre değişen manyetik akı yoğunluğundan dolayı, nüvenin manyetik domainlerindeki her bir atomun manyetik akı yoğunluğunun pozitif ve negatif yarı saykılarında yön değiştirmesi esnasında ısı şeklinde harcanan güçtür. Eddy ve Histeresiz kayıpları frekansla orantılıdır. Ancak senkron hıza yakın değerlerde çalışan bir asenkron motorun kayması çok küçük olacağından, rotorda meydana gelen nüve kayıpları da çok küçük olacaktır. Dolayısıyla rotor nüve kayıpları genelde stator nüve kayıpları ile birlikte stator tarafında toplam nüve kaybı olarak hesaplanır[10]. Eddy akım ve histeresiz kayıplarından oluşan demir kayıpları; stator gerilimine, frekansa ve akı seviyesine bağlı olarak hemen hemen sabit bir değerde kalır. Demir kayıpları yüksüz çalışma testinden elde edilir[14].

2.7.2. Mekanik kayıplar

Sürtünme ve rüzgar kayıpları

Asenkron motorun sürtünme ve rüzgar kayıpları motorun hızı ile orantılı olup motorun boşta çalışma deneyinden hesaplanır. Motor boşta çalışırken hızı senkron hıza çok yakın olduğu için kayma çok küçük olur. Rotor devresinden çok küçük miktarda geçen akımın sebep olacağı rotor bakır kayıpları ihmal edilir. Buna göre

motorun boşta şebekeden şektiği g stator bakır kaybı, toplam nüve kaybı ve sürtünme-rüzgar kayıplarına eşittir. Stator faz direnci ve stator akımı bilinirse, nüve ve sürtünme-rüzgar kayıpları hesap edilebilir. Asenkron motor çok geniş hız bandı içersinde şalışmıyor ise sürtünme-rüzgar kayıpları sabit alınır. Nüve kayıpları da sabit olarak kabul edilirse, nüve kayıpları ile sürtünme-rüzgar kayıplar beraberce sabit döner kayıplar olarak alınabilir[10].

Kaçak yük kayıpları

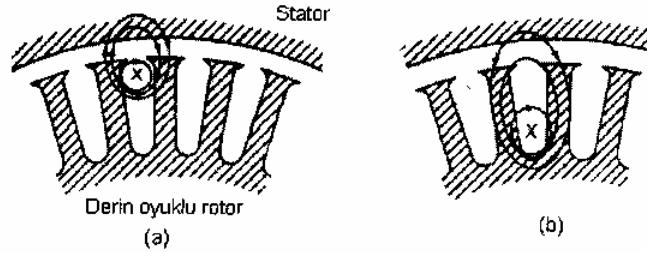
Kaçak yük kayıpları ekstra nüve kayıpları olup, yüke bağlı olarak artan hava aralığı kaçak akısı ve bu akıların yüksek frekans etkilerinden dolayı ortaya çıkar. Bir asenkron motorun kaçak yük kayıpları; asenkron motorun hem statorunda hem de rotorunda ekstra nüve kaybı olarak meydana gelir. Kaçak yük kayıpları genellikle motorun çıkış gücünün %1 değerinde alınır[10].

2. 8. Stator Kaçak Reaktansı

Statordaki iletkenlerden geçen akımın meydana getireceği manyetik akının bir kısmı kaçak olarak iletkenlerin etrafında devresini tamamlar. Silisyumlu demir saçlardan yapılmış olan stator oluklarındaki iletkenlerin etrafındaki manyetik direncin (relüktansın) düşük olması kaçak akının oldukça büyük olmasına sebep olur.statorun Statorun kaçak akısı iki kısma ayrılır:

- a - Oluklarda iletkenler etrafındaki kaçak akılar,
- b - Bobinlerin baş ve sonlarındaki kaçak akılar,

Bu kaçak akıları ayrı ayrı incelendiğinde; Oluklardaki kaçak akılar: Oluklardaki iletkenlerden akım geçtiğinde meydana gelen ve iletkenleri çevreleyen kaçak akılar oluğun şekline göre değişirler. şekil 2.4'de çeşitli biçimlerdeki oluklarda meydana gelen kaçak akılar görülmektedir.

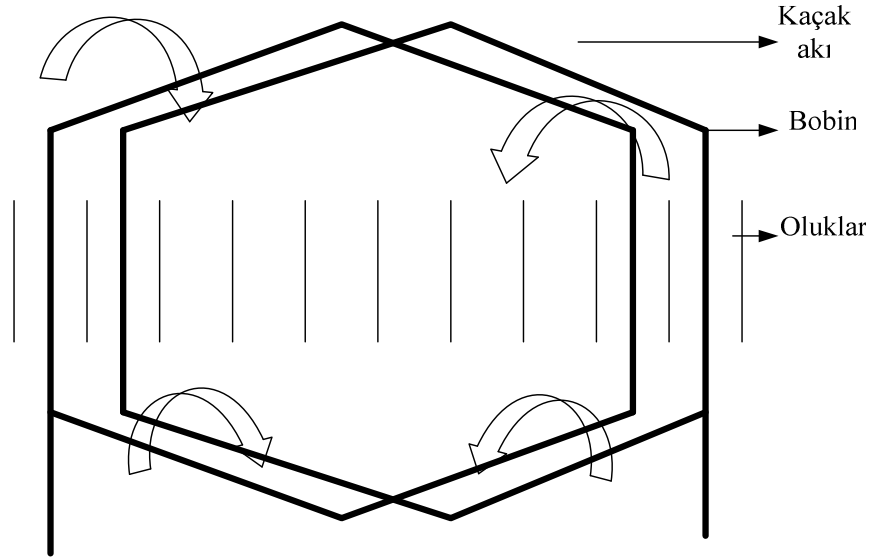


Şekil 2.4. Oluk içindeki kaçak akılar

Genel olarak kaçak akılar için şunlar söylenebilir.

- 1) Oluklar derinleştikçe kaçak akılar artar.
- 2) Olukların ağızları kapandıkça kaçak akılar artar.
- 3) Oluğun dibindeki iletkenlerin reaktansı üst faktörlere nazaran daha fazladır.

Çünkü; bir oluğun içindeki iletkenlerden dip tarafta olanlarını çevreleyen kaçak akı, üst taraftaki iletkenlerin etrafını çevreleyen kaçak akıdan daha büyüktür. Bobin baş ve sonlardaki kaçak akılar: Stator oluklarına yerleştirilen bobinlerin baş ve sonlardaki kaçak manyetik akılar oluşmaktadır. Şekil 2.5’de bobin baş ve sonlarındaki kaçak akılar gösterilmiştir. Bu akılar oluk kaçak akısından daha azdır. Şekil 2.4’deki oluklar içinde meydana gelen kaçak akılar 4 maxwell/Acm ise Şekil 2.5.’deki bobin baş ve sonlarındaki kaçak akılar yaklaşık olarak 0,4–0,8 maxwell/A.cm olur. Herhangi bir bobinin endüktansı (özindükleme katsayısı) sipir sayısının karesi ile değişir. Eğer oluklardaki seri bağlı iletkenlerin sayısı iki kat arttırılırsa, her oluğun kaçak reaktansı dört kat arttırılmış olur. Kaçak akının meydana getirdiği endüktans alternatif akımın açısal hızı ile çarpılınca kaçak reaktans bulunur. Bir motorun 25 c/sn deki kaçak reaktansı, diğer şartlar aynı olduğuna göre, 50c/sn deki reaktansından oldukça küçüktür [12].



Şekil 2.5. Bobinin baş ve sonlarındaki kaçak akılar

2.9. Asenkron Motor Eşdeğer Devresinin Çıkarılması

Asenkron motorun; güç katsayısı, kalkınma akımı, döndürme momenti, güç ve çeşitli yüklerdeki verim hesapları için motorun eşdeğer elektrik devresini bilmek çok büyük kolaylık sağlamaktadır. Motora ait eşdeğer devreyi çıkarmak için; Rotor sargısına ilişkin akım ve gerilim değerlerini stator sargısına ilişkin akım gerilim değerlerine yaklaştırmak için, transformatörlerde olduğu gibi, motorun rotor yanı statora indirgenerek kullanışlı bir devre elde etmek mümkün olmaktadır. Asenkron motorun rotor tarafına ait değerleri stator tarafına indirgemek için rotor durmakta iken, rotor gerilimini, gerilim değiştirme oranı (a) ile çarpıp ve rotor devresine ait görünen gücünü (P) sabit tutmak gerekir. Bu çalışmada dönüştürme oranı (a) ile çarpılan rotora ait büyüklükler ($\hat{}$) işareti ile gösterilmiştir.

2.9.1. Asenkron motorda rotor hızı ve kayma

Bir asenkron motorun statorundaki döner alan hızına senkron hız denilir. Rotor hiçbir zaman senkron hızla dönmez. Rotorun senkron hızla döndüğünü farz edersek, stator alanı ve rotor çubukları aynı doğrultuda olacağından çubuklar döner alan tarafından kesilmeyecektir. Bu durumda çubuklarda bir elektromotor kuvvet indüklenmeyecek

ve bir moment oluşmayacaktır. İndükleme ile elektromotor kuvvet elde etmek için rotor kısa devre çubuklarını bir alanın kesmesi gerekmektedir. Bu nedenle rotordaki kısa devre akımlarının meydana getirdiği alan döner alana göre gerilemek zorundadır. Rotor üzerinde yük bulunmasa bile rotorun yenmesi gereken elektriki ve mekaniki dirençler hiçbir zaman sıfır olmayacağından az da olsa rotorda bir yük vardır. Bundan dolayı rotor, döner alan hızından daha küçük bir devirde dönmek zorundadır. Motor miline yük bağlandığında rotorun hızı daha da düşer. Senkron hızla dönen stator alanı, rotor çubuklarını daha büyük hızla keser. İndüklenen gerilim ve akım artar dolayısıyla moment de artar. Döner alanın hızı akımın frekansına ve kutup sayısına bağlı olup bu hız Eş 2.6 ile verilmiştir.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2.6)$$

Asenkron motorlarda kayma iki şekilde ifade edilir.

1- Devir cinsinden kayma: Senkron hız ile rotor hızı arasındaki farktır.

$$n = n_s - n_r \quad (2.7)$$

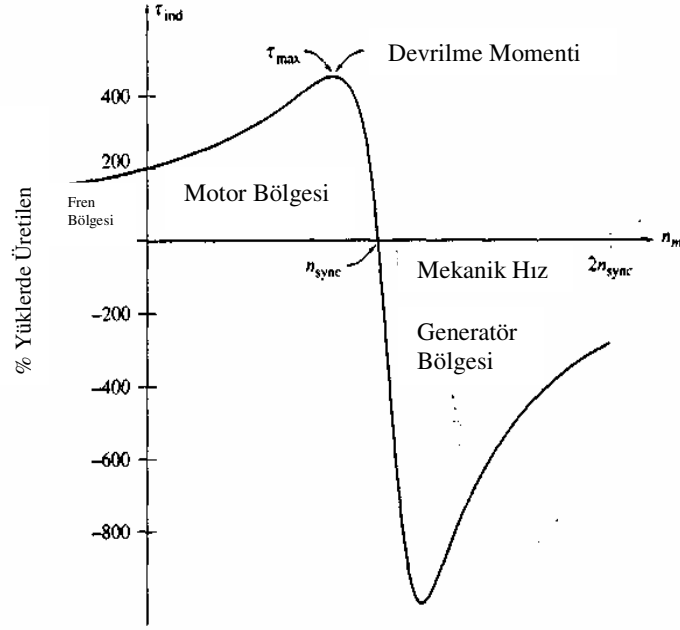
2- Yüzde cinsinden kayma: Senkron hız ile rotor hızının farkının senkron hıza oranıdır(4).

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100 \quad (2.8)$$

$$n_r = n_s(1-s) \quad (2.9)$$

Asenkron motor dışarıdan bir uyarım makinesi ile döner alan yönünde ve döner alanın hızının üzerinde döndürülürse, kayma negatif olacaktır. Bu durumda rotor akısı stator sargılarında bir gerilim indükleyeceğinden asenkron motor bir generatör gibi çalışacaktır. Asenkron motor döner alanın tersi yönünde ve senkron hızdan daha büyük bir hızla döndürülecek olursa kayma pozitif olacaktır. Motorun kilitli duruma geçmesi esnasında ısı kayıpları artar ve motor aşırı şekilde ısınır. Asenkron motorun

rotoru dönmeyecek şekilde tespit edilirse, stator döner alanı transformatör devresinde gibi alternatif alanın yerini alarak rotor sargılarında gerilim indüklendirir. Bu sırada kayma $s=1$ olur ve motor genel olarak transformatör özellikleri gösterir. Şekil 2.6'da kaymanın (s) rotor dönme sayısına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 2.6. Kaymanın
(s) rotor dönme

hızına göre değişimi

2.9.2 Eşdeğer devre

Asenkron motorların stator ve rotorlarına ait değerler ve eşdeğer devre kaymaya bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bu değişiklikler, asenkron motorun boşa, yüklü ve kilitli çalışmasına yani kaymanın bir, birden küçük ve sıfır olmasına göre değişik durumlarda incelenebilir. Stator tarafına indirgenen rotorun, direnç, reaktans ve elektromotor kuvvet değerleri, stator ve rotor sargılarının faz başına sarım sayıları ve sargı faktörlerinin oranları sonucu bulunan ve dönüştürme oranı olarak ifade edilen bir katsayı ile çarpıldıktan sonra üslü sembollerle gösterilecektir. Dönüştürme oranı Eş. 2.10 ile hesaplanabilir [12].

$$a = \frac{N_1 \cdot k_{s1}}{N_2 \cdot k_{s2}} \quad (2.10)$$

Rotorun eşdeğer devresi

Rotor sargılarından geçen akım, stator sargıları tarafından kaynaktan çekilen akımın reaktif bileşeni olan mıknatıslanma akımı tarafından yaratılan, hava aralığı manyetik akısı tarafından oluşturulur. $s.E_2$, empedansı $Z_r = R_r + j.s.X_{kr}$ olduğuna göre, stator akımını dengeleyen rotor akımı Eş. 2.11 deki verildiği gibidir.

$$I_r = \frac{sE_2}{Z_r} = \frac{sE_2}{\sqrt{(R_r)^2 + (s.X_{kr})^2}} \quad (2.11)$$

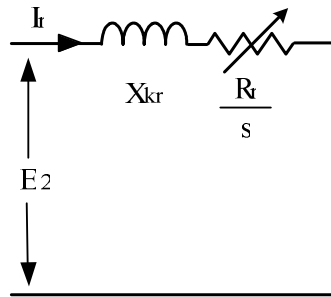
Bu formülde pay ve payda s 'e bölünerek rotor akımı Eş. 2.12 deki gibi bulunur.

$$I_r = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_{kr})^2}} \quad (2.12)$$

s kayması ile çalışan bir asenkron motorun rotor empedansı Eş. 2.13 deki gibi olmaktadır.

$$Z_r = \sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_{kr})^2} \quad (2.13)$$

Bu empedansın eşdeğer devresi Şekil 2.7' de görülmektedir.



Şekil 2.7 Rotorun bir fazına ait eşdeğer devre

Şekil 2.7'deki $\frac{R_r}{s}$ direnci kayma ile değişen bir omik dirençtir. $\frac{R_r}{s}$ direncine R_r

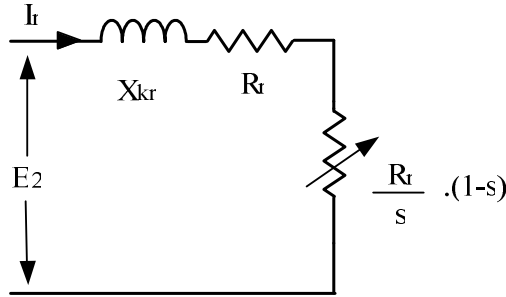
direncini ekleyip çıkarılarak Eş. 2.15 elde dileyebilir.

$$\frac{R_r}{s} = \frac{R_r}{s} - R_r + R_r \quad (2.14)$$

$$\frac{R_r}{s} = \frac{R_r}{s} (1-s) + R_r \quad (2.15)$$

Şekil 2.7'deki rotor eşdeğer devresindeki $\frac{R_r}{s}$ yerine Eş. 2.15'deki eşitliğini yerine

koyarak eşdeğer devreyi yeniden çizdiğimizde Şekil 2.8'deki devre elde edilir.



Şekil 2.8. Rotorun faz eşdeğer devresi

Rotor eşdeğer devresindeki kayma ile değişen omik direnç $\frac{R_r}{s} \cdot (1-s)$ rotor

milindeki yükün bir fazının elektriki eşdeğeridir. R_r rotor etkin faz direnci X_{kr} rotorun kilitli rotor kaçak faz reaktansıdır. Şekil 2.8'de R_r faz etkin direncinde kaybolan güç Eş. 2.16 da verilmektedir. P_{rcu} faz başına rotor bakır kaybını verir. Faz başına rotor milinden alınan mekanik güç ise Eş. 2.17 de verilmektedir.

$$P_{rcu} = I_r^2 \cdot R_r \quad (2.16)$$

$$P_{mek} = I_r^2 \frac{R_r \cdot (1-s)}{s} \quad (2.17)$$

$$I_r = \frac{E_2}{\sqrt{(R_r)^2 + (X_{kr})^2}} \quad (2.18)$$

Ayrıca, duran rotorda devreden geçen akım değeri çok küçüktür. Motor normal devrinde $X_{kr} = sX_{kr}$ küçük değerli olup $\cos\phi$ değeri bire yakın olmaktadır Eşdeğer

$$\cos\phi = \frac{R_r}{\sqrt{(R_r)^2 + (X_{kr})^2}} \quad (2.19)$$

devrede s kayması ile değişen bir direnç vardır. Bu direnç gerçekten, motorun kendisinde yoktur. Ancak söz konusu direnç asenkron motorun çalışma özelliğinden ortaya çıkan bir dirençtir.

2.9.3. Kaymanın bir olduğu (kilitli rotor) durum

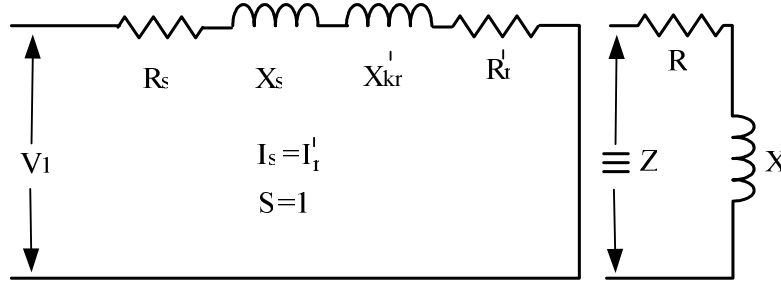
Asenkron motorun rotorunun kilitleyerek dönmesini önledikten sonra 3 fazlı alternatif gerilim uygulanmaktadır. Meydana gelen döner alan stator sargılarını keserek statorun faz sargılarında zıt elektromotor kuvvet indükler. Döner alan aynı zamanda rotor sargılarını da keserek zıt elektromotor kuvvet indükler. Stator döner alanı ile aynı hızda ve aynı yönde dönen rotor manyetik alanı stator manyetik alanını zayıflatarak hava aralığındaki, akının azalmasına sebep olur. çünkü rotor kutupları stator kutuplarına zıttır. Manyetik akının azalması zıt elektromotor kuvvetini azaltır. Asenkron motorun statorunda meydana gelen döner manyetik alanın hızı, senkron hız olarak açıklanmış ve Eş. 2.6 da verilmiştir. Ayrıca rotor devrinin s kaymasına bağlı olarak, senkron devrinden daima düşük olması gerektiği de belirtilmiştir. Yapılan açıklamalardan faydalananak, rotor devri için; Eş. 2.9 da verilmiştir. Eş. 2.8'e göre rotor hızı $n_r=0$ ise $s=1$ olur. Bu durumda rotor dönmediğinden $s=1$ haline kilitli rotor hali denmektedir. Kilitli rotor halindeki motor büyüklükleri;

$$E_1 = E_2' \quad (2.20)$$

$$f_s = f_r \quad (2.21)$$

$$Z_r' = R_r' + j.X_{kr}' \quad (2.22)$$

olacaktır. Bu şartlardaki motorun eşdeğer devresi Şekil 2.9'de verilmiştir.



Şekil 2.9. Rotoru kilitli motorun yaklaşık ve özdeş devresi

Şekil 2.9'de verilen eşdeğer devreye göre $s=1$ iken rotor gücü Eş. 2.23 deki gibidir.

$$P_k = (R_s + R_r') \cdot (I_2')^2 \quad (2.23)$$

dir. Bu durumdaki güce kısa devre gücü denilmektedir. Kısa devre gücü motorun bakır kayıplarını karşılayan güçtür. O halde toplam bakır kayıpları için,

$$3P_k = 3(R_s + R_r') \cdot (I_2')^2 \quad (2.24)$$

ifadesi yazılabilir. Yine Şekil 2.9'a göre şebeke faz gerilimi, devre empedansı gerilim düşümüne eşit olmaktadır. Buradan,

$$V_1 = Z I_2' = (\sqrt{(R_s + R_r')^2 + (X_s + X_{kr}')^2}) I_2' \quad (2.25)$$

olacaktır. Buradan statör ve rotor reaktansları ise

$$X_s + X_{kr}' = \sqrt{Z^2 - (R_s + R_r')^2} \quad (2.26)$$

olarak bulunur. Bazı hallerde, bu reaktanslar birbirine eşit olarak kabul edilmektedir.

Bu gibi durumlarda reaktanslar;

$$X_s = X'_{kr} \quad (2.27)$$

olmaktadır.

2.9.4. Kaymanın birden küçük olduğu durum ($s < 1$)

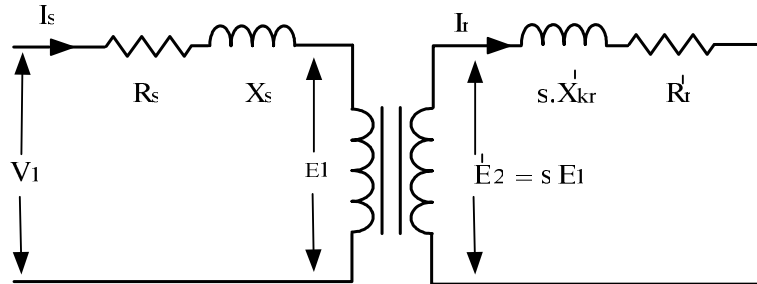
Asenkron motorun miline yük bindikçe rotorun devri azalır, rotor kayması büyür. Böylece kayma birden küçük olur. Bu durum yüklü çalışma durumudur. Rotor döner alan hızından daha düşük bir hızda dönerken ve yüklü iken statora indirgenmiş rotor büyüklükleri;

$$s \cdot E_1 = E \quad (2.28)$$

$$s \cdot f_s = f_r \quad (2.29)$$

$$Z'_r = R'_r + j \cdot s \cdot X'_{kr} \text{ olarak yazılabilir.} \quad (2.30)$$

Kaymanın birden küçük olduğu durumdaki eşdeğer devre şekil 2.10'de verilmiştir.



Şekil 2.10. Kaymanın birden küçük olduğu durumdaki eşdeğer devre

Rotordan geçen faz akımları büyür, motor kutuplarının manyetik akısı artar ve döner alanın manyetik akısını daha fazla zayıflatır. Stator sargılarındaki zıt elektromotor kuvvetler küçülür, motorun şebekeden çektiği akım artar. Şu halde motorun miline uygulanan yük arttıkça motorun şebekeden çektiği faz akımı artacaktır.

2.9.5. Kaymanın sıfır olduğu durum ($s=0$)

Asenkron motorun rotoru senkron hız ile dönmüş olsa idi rotor devresi açık devre

olurdu. Çünkü $\frac{R_r \cdot (1-s)}{s}$ sonsuz olmaktadır. Bu durumda $n_r = n_s$, $s=0$ ve $s \cdot E_2' = 0$ ve $I_r' = 0$ için rotor sargılarından akım geçmeyecek ve döndürme momenti meydana gelmeyecektir. Motor şebekeden stator bakır ve demir kayıplarını karşılayacak bir akım çeker. Stator sargı direnci küçük olduğundan bu akımın stator demir kayıplarını karşıladığı kabul edilmektedir. Bu durumdaki demir kaybı için,

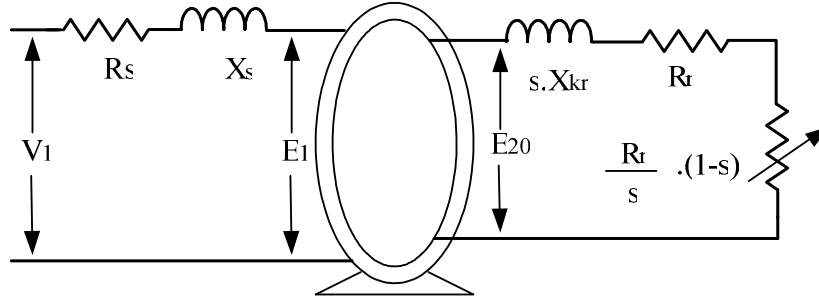
$$\frac{(V_1)^2}{R_m} = R_m \cdot (I_o)^2 / \text{faz} \quad (2.31)$$

yazılabilir. Motor boş çalışma akım değeri hava aralığının küçük olmasına rağmen, nominal akımın %20 - %60'ı kadardır. Bu akım (I_o) Eş. 2.32 ve mıknatıslanma reaktansı (X_m) Eş. 2.33 daki gibi yazılabilir.

$$I_o = \sqrt{(I_e)^2 + (I_m)^2} \quad (2.32)$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{E_1}{I_m} \quad (2.33)$$

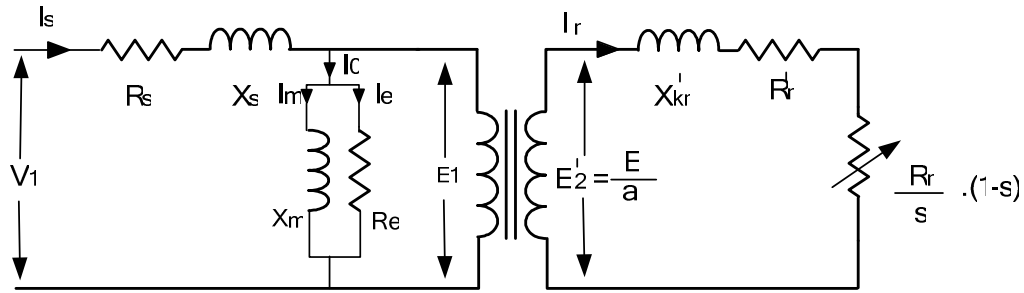
2.9.6. Motorun eşdeğer devresi



Şekil 2.11. Yaklaşık stator ve rotor eşdeğer devresi

Üç fazlı statorda bir fazın etkin direnci R_s , kaçak reaktansıda X_s olsun. dönüştürme oranı (a) olduğuna göre, rotor eşdeğer devresi stator terimlerine çevrilerek çizilebilir. Şekil 2.11' de stator ve rotor eşdeğer devresi birlikte çizimi gösterilmiştir Şekil 2.11' den şunu çıkarmak mümkündür: Rotor akım devresi kısa devre olan asenkron

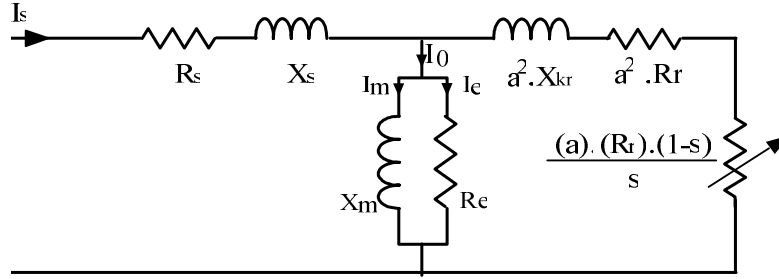
makinenin herhangi bir işletme durumu, ayrı elektriksel şartlarda durmakta olan motorun rotoruna uygun dirençler bağlanarak ayar edilebilir. Bu durumda rotor akım devresi kısa devre edilmiş asenkron motor her bir devir sayısında elektriksel olarak sekonderi $\frac{R_r \cdot (1-s)}{s}$ direnci ile yüklenmiş bir trafo gibi davranır. Gerçekte duran birrotora bağlanması gereken $\frac{R_r \cdot (1-s)}{s}$ direnci, rotorun dönmesi durumunda milinden alınan mekanik gücün eşdeğer direncidir. Buna göre rotor devresini statora indirgeyerek tekrar çizebiliriz. Ama mıknatıslama akımı I_m ve yalnız stator demir kayıplarını karşılayan akımı I_e ' yi gözetip, rotorun dönmesi durumunda frekansının çok küçük olması nedeni ile rotordaki demir kayıpları ihmal edilmektedir. Şekil 2.12'de rotor devresi statora indirgeyerek stator ve rotor eşdeğer devreleri ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Stator ve rotor eşdeğer devrelerinin ayrı ayrı gösterilmesi

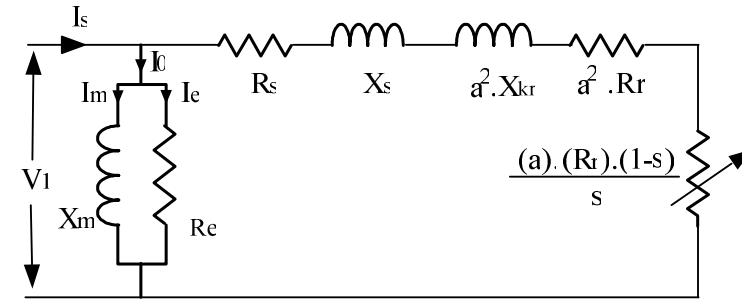
Asenkron motorlarda hava aralığının bulunması nedeniyle I_m çok büyüktür. I_e ise I_m 'ye göre oldukça küçük değerdedir. Şekil 2.13'de ise rotor eşdeğer devresi statora aktarılarak motorun eşdeğer devresi yeniden çizilmiştir. Motor boşta çalışırken çektiği güç, statorda meydana gelen demir kayıplarını ve rotorun sürtünme kaybını karşılar. Motorun şebekeden çektiği akım, hava aralığında belirli yoğunlukta manyetik akının meydana getirilmesini ve akının yolunu tamamlamasını sağlar. Motor yük altında çalışırken, yukarıda açıklanan görevi yapan I_0 akımını çektiği gibi yükü taşımak içinde şebekeden akım çeker. Şekil 2.12'deki devreye motorun uyarım devresini eklediğimizde elde edilen eşdeğer devre Şekil 2.13'de görülmektedir bu

şekilde asenkron motorun genel eşdeğer devresine sinüzoidal bir gerilim uygulandığında devre akımı, demir nüve kayıp akımı, mıknatıslanma akımı ve yüksüz akımı gösterilmiştir.



Şekil.2.13. Asenkron motorun T eşdeğer devresi

Motorun uyarım devresi girişe aktarıldığında Şekil 2.14'deki devre elde edilmiş olacaktır.



Şekil 2.14. Asenkron motorun stator terimlerine göre bir fazının eşdeğer devresi

2.9.7. Asenkron motorda güç ve moment ifadeleri

$$\text{Statora giriş gücü: } P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \quad (2.34)$$

$$\text{Rotor giriş gücü: } P_2 = P_1 - (P_{sfe} + P_{scu}) \quad (2.35)$$

Şekil 2.14'da yaklaşık eşdeğer devre çizilmiştir. Şekil 2.14'e baktığımızda, devrenin empedansı, Eş. 2.36 daki gibidir.

$$Z = \sqrt{((R_s) + (R_r) + (R_r) \cdot \frac{(1-s)}{s})^2 + (X_s + X_{kr})^2} \quad (2.36)$$

$$Z = \sqrt{\left(R_s + \frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_s + X_{kr})^2} \quad (2.37)$$

$$P_2 = (I_r)^2 \cdot \left(R_r + \frac{R_r \cdot (1-s)}{s}\right) = (I_r)^2 \cdot \frac{R_r}{s} \quad (2.38)$$

$(I_r)^2 \cdot R_r$ = Rotor bakır kayıpları

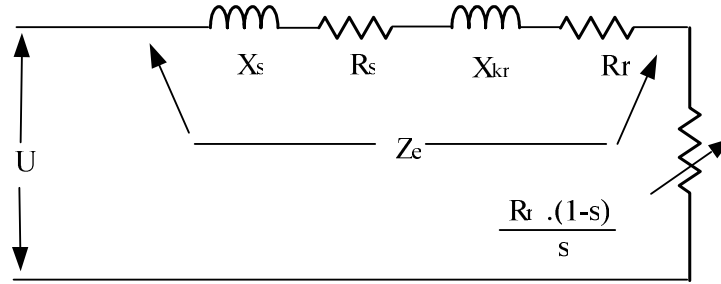
$$P_m = P_\phi = (I_r)^2 \cdot \frac{R_r \cdot (1-s)}{s} \quad (2.39)$$

P_ϕ = Rotor milinden alınan mekanik güç

$$P_m = P_\phi = (I_r)^2 \cdot \frac{R_r \cdot (1-s)}{s}$$

Asenkron motorun milinden alınan güç ($P_m = P_\phi$) ile rotora giren güç arasında $P_m = P_2 \cdot (1-s)$ bağıntısı vardır. Motor milinden hangi kaymada maksimum güç alınacağı ise Eş. 2.41 de verilmiştir.

$$P_m = (I_r)^2 \cdot \frac{R_r \cdot (1-s)}{s} = \frac{(U^2 \cdot R_r \cdot (1-s))}{(Z_e^2 \cdot s)} \text{ yazalım} \quad (2.40)$$



Şekil 2.15. Asenkron motorda basitleştirilmiş eşdeğer devre

Makine milinden maksimum güç çekebilmek için $\frac{R_r \cdot (1-s)}{s} = Z_e$ olmalıdır.

$$s = \frac{R_r}{(R_r + Z_e)} \text{ olmalıdır.}$$

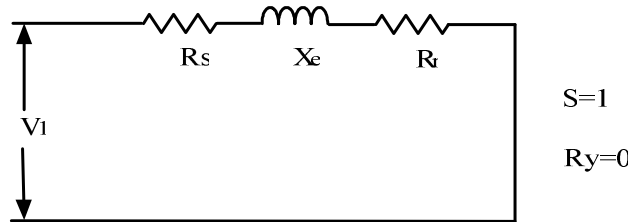
Asenkron motorda ilk kalkınma momenti

Rotor hızı $n_r=0$ iken ilk kalkınmada kayma $s=1$ ve mekanik yükü temsil eden direnç

$R_y=R_r \cdot \left(\frac{1-1}{1}\right)=0$ olur. Motorun şebekeden çektiği akım Eş. 2.42 ile verilmiştir.

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{((R_s + R_r)^2 + X_e^2)}} \quad (2.41)$$

Şekil 2.16' da asenkron motorun kalkınma anındaki eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 2.16. Asenkron motorlarda kalkınma anındaki eşdeğer devre

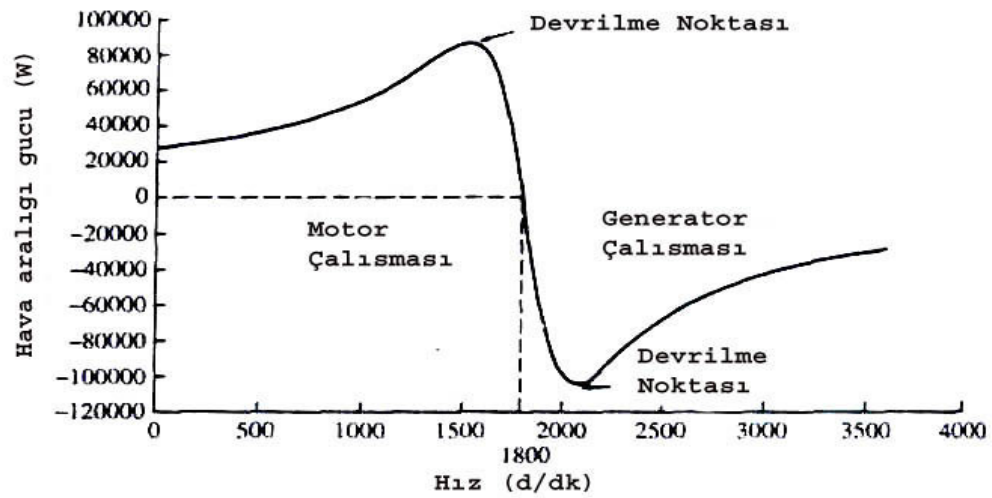
$$\text{Rotora giriş gücü } P_2 = \frac{U_1^2 \cdot R_r}{((R_s + R_r)^2 + X_e^2)} \text{ w/faz} \quad (2.42)$$

Eş. 2.43'deki güç, moment ifadesinde yerine konulursa Eş. 2.44'deki moment elde edilir.

$$M_d = \frac{0,975 \cdot U_1^2 \cdot R_r}{n_s \cdot ((R_s + R_r)^2 + X_e^2)} \text{ kgm/faz} \quad (2.43)$$

3. ASENKRON GENERATÖRLER

Gerilim ve frekansı sabit olan bir şebekeye paralel bağlanmış olan üç fazlı asenkron makine döner alan yönünde senkron devir sayısı üstünde tahrik edilecek olursa, asenkron makine motor çalışma durumundan generatör çalışma durumuna geçer. Bu durumda asenkron makine mıknatıslanma akımını şebekeden çekerek generatör olarak çalışmaya başlar. Böylece s kayması ile M_d döndürme momenti ve mekanik gücün işareti yön değiştirerek negatif olur. s 'nin negatif olması ile asenkron makinenin statoru şebekeye aktif elektrik enerjisi vermeye başlar. Asenkron generatörün ilginç tarafı mıknatıslanma akımını kendisinin üretmeyip şebekeden çekmesi halinde bu reaktif akımın motor olarak çalışma durumundaki değer ve yönünü korumasıdır[15].



Şekil 3.1. Generatör ve motor çalışmada devrilme moment noktaları

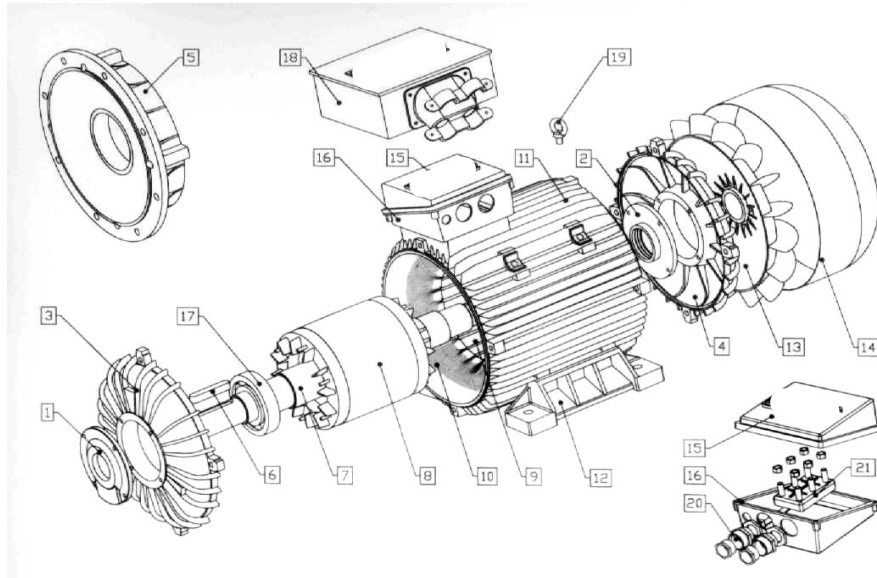
Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi motor senkron hızın çok üstünde döndürülürse devrilme moment noktasından sonra gerilim hızla düşecektir. NEMA uygulamalarına göre Çizelge 3.1.'deki senkron hız aşım kriterlerine uyulmalıdır. Bu hız artışları hem döndürücü makineye hem de generatöre zarar verir. Ani yük artması veya azalması durumunda da aynı etki görülür[16].

Çizelge3.1. Müsaade edilebilir ani hız değişimi limitleri

Güç (Hp)	Senkron Hız (d/dk)	Senkron Hızın Üstünde %
≤200	1201 ve üzeri	25
≤200	1200 ve altı	50
250-500	1801 ve üzeri	20
250-500	1800 ve altı	25

3.1. Asenkron Generatör Yapısı

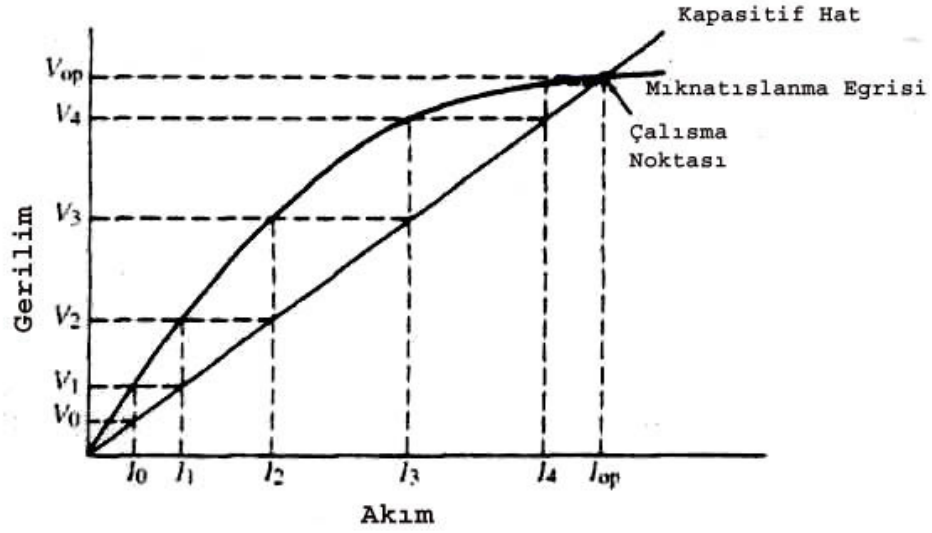
Asenkron generatörler konstrüksiyon yapısı bakımından sincap kafesli motorlardan bir farkları yoktur. Genel yapı olarak klasik asenkron motor parçalarıdır:



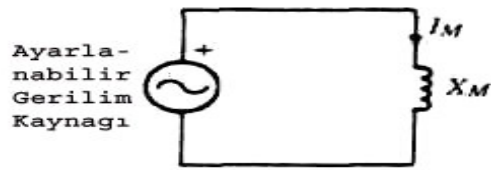
Şekil 3.2. Sincap kafesli asenkron motoru oluşturan bileşenler

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1) Dış rulman kapağı | 12) Motor ayakları |
| 2) İç bilya kapağı | 13) Fan |
| 3) Pervane | 14) Fan kapağı |
| 4) Kapak içi pervane kanatçıkları | 15) Klemens üst kapağı |
| 5) B5 flanş | 16) Klemens kutusu |
| 6) Kama mili | 17) Rulman |
| 7) Şaft | 18) Büyük klemens kapağı |
| 8) Rotor paketi | 19) Taşıma kancası |
| 9) Stator paketi | 20) Kablo rekoru |
| 10) Stator sargısı | 21) Bağlantı klemensi |
| 11) Gövde | |

3.2. Asenkron Generatör Çalışma Prensibi



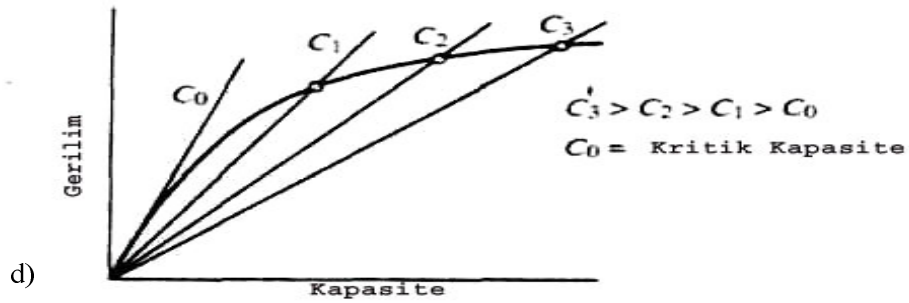
(a)



(b)



(c)



d)

Şekil 3.3. a) Kendinden uyarımlı generatör uç gerilim değişim eğrisi b) Mıknatıslama eğrisinin elde edildiği devre c) Kapasitif hat eğrisinin elde edildiği devre d) Değişik kapasite değerlerinde çalışma noktasının tesbiti

Şekil 3.1.a'da görüldüğü gibi; artık mıknatısiyet gerilimi V_0 gerilimi kapasitörde I_0 akımını oluşturur. Akım I_0 aynı zamanda mıknatıslanma reaktansı X_m 'de görülür ve bu akım mıknatıslanma eğrisinde gösterilmiştir. I_0 akımı karşıda V_0 geriliminin V_1 gerilim değerine yükselmesine sebep olur. V_1 gerilimi kapasitörde I_1 yüksek akımını dolaştırır. bu dönüşümde reaktans gerilimi V_2 daha büyük gerilim değerine yükselir. Mıknatıslama eğrisi ve kapasitif hat eğrisinin kesiştiği nokta yüksüz çalışan generatör çalışma noktasıdır. Yüksüz çalışma noktasının ayarlanması kapasitif hat eğrisinin değiştirilmesiyle mümkündür. X_c kapasitif hat eğrisi olduğundan ve $X_c = \frac{1}{(2\pi fC)}$, artan kapasite eğriyi küçültür ve gerilimi artırır. Şekil 3.3.d'de kapasitörlerin birkaç çalışma noktası gösterilmiştir. Bu kapasitif hat değerlerinden mıknatıslanma eğrisine teğet olan C_0 kapasite değeri kritik kapasite değeri olarak adlandırılır ve bu kritik kapasite değeri gerilim oluşmasını engeller. Generatörün çalışma esnasındaki frekansı çalışma noktasındaki kapasitif reaktanstan tespit edilir. Böylece; Şekil 3.1.a ve ohm kanunundan

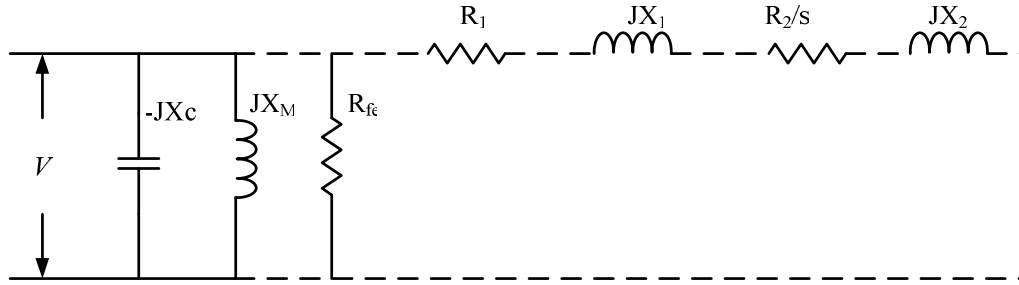
$$X_c = \frac{V_{op}}{I_{op}} \Rightarrow \frac{1}{2\pi fC} = \frac{V_{op}}{I_{op}} \quad (3.1)$$

$$f = \frac{I_{op}}{V_{op}} * \frac{1}{2\pi C} \quad (3.2)$$

Kendinden uyarımlı asenkron generatörlerin en büyük handikapları yüklendikleri zaman ürettikleri gerilim değerinde hızlı düşmelerdir. Özellikle güç faktörü düşük yüklerde yüksek kapasite değerine ihtiyaç göstermeleridir.

3.3 Asenkron Generatör Eşdeğer Devresi

Kendinden uyarımlı asenkron generatörler güç sistemlerine bağlı olmadan döner manyetik alanlarını oluşturabilirler. Eşdeğer devre 3.2.'de gösterildiği gibi bir kapasitör terminal ucuna bağlanmıştır. Kesik çizgi ile gösterilen R_{fe} direnci ve X_m üretilen gerilim üzerindeki etkisi çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Yüksüz makinede,



Şekil 3.4. Kendinden uyarımlı asenkron generatörün yaklaşık eşdeğer devresi

kayma sıfır, $\frac{R_2}{s}$ sonsuz olacaktır ve kesik çizgi ile gösterilen R_1 , jX_1 , $\frac{R_2}{s}$ ve jX_2 hattı üzerinde akım olmayacak dolayısı ile bu kesik çizgili hat ihmal edilebilir. İlk hareketlendirici çalıştırıldığında; dönen rotordaki artık mıknatısiyet mıknatıslanma reaktansı X_m 'de küçük bir gerilim üretir. Bu küçük gerilim karşı kapasitörde görünür ve X_m ile kondansatörden küçük bir akım geçirir. Bu küçük akım X_m 'de $I_m X_m$ terminal gerilimini oluşturur. Bu gerilim değerine V diyebiliriz ve bu gerilim değeri artık mıknatısiyet geriliminden büyüktür. Üretilen bu gerilim değeri kapasitör akımının artmasıyla orantılı olarak büyür. Bu işlemin oluşumu Şekil 3.1.a 'da gösterilmiştir. Şekilde asenkron generatörün gerilim ve akım değerlerine göre mıknatıslanma akımı ve kapasitif hat eğrileri görülmektedir. Şekil 3.1.b'de ise X_m mıknatıslanma eğrisi elde edilen devre, Şekil 3.1.c'de ise X_c kapasitif hat eğrisi elde edilen devre, Şekil 3.1.d'de ise kapasitörlerin seçilmiş çalışma noktalarını göstermektedir[16].

4. TEST METOTLARI

Dünyada motor üreticilerinin %64'ü uluslar arası elektroteknik komisyonun IEC 34-2 standardına, %16'sı Ulusal elektrik üreticileri (NEMA)'nın uyduğu elektrik-elektronik mühendisleri IEEE 112-B standardına, %8'i Japon endüstri standartları'ndan JEC-37 standardına, geriye kalan %12'si diğer protokollere uymaktadır[17]. Türk Standartları Enstitüsü de 3 fazlı asenkron motorlarda TS 3067 standardıyla IEC 34-2 standardını referans almaktadır. Japon JEC-37 standardı IEC 34-2 standardını, Kanada CSA-390 standardı da IEEE 112-B standardını desteklemektedir Bu anlamda en fazla kullanılan uluslar arası standartları iki ana sınıfta toplanabilir;

4.1. Direkt Metot IEEE – 112 Standardı

Bu standartta verim direk metotla ölçülür. $P_{giriş}$ gücü, wattmetreyle, $P_{çıkış}$ gücü, hız sensörü (Encoder, Takometre) ve Moment sensörü kullanılarak ölçülür. Verim, giriş gücünden toplam kayıpları çıkarıp giriş gücüne bölünmesiyle bulunur. Bu standartta kaçak yük kayıpları toplam kayıplardan, bakır kayıpları, nüve kayıpları, sürtünme ve rüzgar kayıpları çıkarılarak bulunur.

$$\text{Verim}\% = \frac{P_{çıkış_mek}}{P_{giriş_elk}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Verimi bulmak için 5 temel metot kullanılır. Bu metotlar sırası ile A, B, C, E ve F metotlarıdır.

Metot A: Giriş ve çıkış gücü direkt ölçülür ve verim hesaplanır. Küçük güçlü motorlarda tercih edilir.

Metot B: Kaçak yük kayıpları direkt metotla bulunur. 180 kW 'a kadar olan motorlarda kullanılır.

Metot C: Kaskat bağlantı makine testidir. Motor ve generatör çalışmasına göre iki

motorun kayıplarının ayrılmasıyla toplam kaçak yük kayıpları bulunur.

Metot E: Dolaylı metoda benzer, ancak çıkış gücü ölçülür. Kaçak yük kayıpları farz edilen oranlarda alınır.

Metot F: Makinenin eşdeğer devresi kullanılır. Kaçak yük kayıpları ölçülür veya farz edilen değer alınır [14].

4.1.1. Güç kaynağı

İndüksiyon motorun performansı sadece hat voltajının değerine ve frekansına bağlı değildir, aynı zamanda hat geriliminin faz açısına ve dalga şekline bağlıdır.

Dalga formu

Güç kaynağı sinüsoidal dalga formuna yakın düzgün gerilim sağlamalıdır. Harmonik bozulma katsayısı, THD =%5'i geçmemelidir. THD aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$THD = \frac{\sqrt{E^2 - E_1^2}}{E_1} \quad (4.2)$$

E_1 =Temel gerilim dalgasının rms (etkin) değeri

E =Gerilim dalgasının toplam rms(etkin) değeri

Gerilim dengesizliği

Gerilim dengesizliği % 0,5'i geçmemelidir.

Frekans

Genel test için frekans $\pm 0,5$ % değerleri içinde olmalıdır.

4.1.2. Test işlemleri

Çok fazlı asenkron motorlar için rutin testler yapılır. Ayrıca İlave testler de yapılabilir. Genellikle, ilk önce sargının direnci daha sonra ortam sıcaklığı ölçülür.

Yüksüz çalışma testi

Demir, sürtünme ve rüzgar kayıplarını tespit için yüksüz çalışma testi yapılır. Motor yüke bağlı olmadan anma gerilim ve frekansında çalıştırılır. Yüksüz çalışma kayıpları bulunurken, sıcaklık, gerilim, akım ve giriş gücü ölçülmelidir.

Sürtünme ve rüzgar kaybı

Sürtünme ve rüzgar kayıpları gerilim ve güç lineer eğrisinden faydalanılarak bulunabilir. Test sıcaklığında rüzgar ve sürtünme kayıplarını tespit etmek için, test gerilim değerleriyle güç değerlerinin eğride kesiştiği noktalarda, toplam kayıplardan (çekilen giriş gücü) stator $I^2.R$ kaybı çıkarıldığında bu noktalarda rüzgar ve sürtünme kayıpları bulunabilir.

Nüve kaybı

Nüve kaybı, P_h , her test geriliminde elde edilen sürtünme ve rüzgar kayıplarından elde edilir.

Yüklü çalışma testi

Bu test, verim, güç faktörü, hız, akım ve sıcaklık artışını bulmak için yapılır. Çoğu verim test metodu yük testi gerektirir. Yük testi ya direkt olarak verimi bulmak için (verim test -A metodu) yada kaçak yük kayıplarını bulmak (verim test metodu -B, -B₁, -C) şeklinde yapılabilir. Yük testi motor % 25 - % 150 oranında yüklenerek icra edilir. Test esnasında her yük noktasında elektriki güç, akım, gerilim, frekans, hız veya kayma, moment, stator sargı sıcaklığı veya stator sargı direnci, ortam sıcaklığı ölçülür.

Ortak yükleme çeşitleri şunlardır;

Dinamometre ile yükleme,

Bu testi yapmak için motor mekanik frenle veya dinamometre ile yüklenir. Bu test

makinede sıcaklık değişmelerini minimum değere düşürmek için mümkün olduğu kadar kısa zaman içinde yapılmalıdır. Verim test metot B' ye göre stator sıcaklığı anma yükündeki sıcaklık değerinden 10 °C'yi aşmamalıdır. Mil gücü watt olarak test altındaki motor için her yük noktasında aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$P = \frac{2 \cdot n_1 T}{60} = \frac{n_1 T}{k_2} \quad (4.3)$$

Burada;

P=Mil gücü, watt olarak,

n_1 =Ölçülen hız veya ölçülen kaymanın kullanılmasıyla hesaplanan hız, d/dk,

k_2 =Moment hesaplamasında newton metre kullanıldığında 9,549 alınacaktır.(N.m),

T=Moment, newton metre olarak.

Moment ölçmeden doğrudan yükleme

Verim test metodu E'ye göre motor ayarlı bir yüke kaplin, kayış veya dişli bir sistemle bağlanır. Stator sargı direnci her yük noktasında sargılara yerleştirilmiş sensörlerle elde edilen sıcaklık değerlerinden hesaplanır.

Aynı özellikteki motorla yükleme

Verim test metodu C'ye göre iki aynı özellikteki motorun kaskat bağlanması gerekir. Yük testi yapılırken makinelerden birine frekansı değiştirilen gerilim uygulanarak yük seviyesi ve makineler arasındaki güç akışı kontrol edilir.

Kilitli rotor testi

Kilitli rotor şartlarında motor mekaniksel gerilmelere ve artan ısı etkilerine maruz kalacaktır. Bu test yapılırken motor, test araç gereçlerin zarar görmemesi ve personelin yaralanmaması için motorun mekaniksel bağlantılarının sağlam olması gerekir.

a) Motor dönüş yönü test başlamadan önce tespit edilmelidir.

b) Motor sıcaklığı teste başlarken ortam sıcaklığında olmalıdır.

c) Değerler gerilim uygulandıktan sonra 5 saniye içinde alınmalıdır.

4.1.3. Sıcaklığın ölçülmesi

Referans alınacak ortam sıcaklığı 25^0 olmalıdır. Makinenin bütün yüklerdeki verimi çalışma sıcaklığında bulunabilir. Şayet test çalışma sıcaklığı motorun rejime girdiği sıcaklık değeri değilse, sıcaklık I^2R kayıplarına bağlı bulunur. Çeşitli makine parçalarının sıcaklığı veya soğutucu kısımların sıcaklığı aşağıdaki yöntemlerle ölçülebilir:

Alkol termometre yöntemi ile

Test edilen motorun kabul edilen parçasının sıcaklığı alkol termometre yöntemi ile ölçülebilir. Bu yöntemle aşağıdaki parçalar ölçülebilir:

- a) Stator iletkenleri, minimum iki noktada
- b) Stator nüvesi, minimum iki noktada
- c) Ortam sıcaklığı
- d) Motorun soğutucu kısımları
- e) Motor karkası
- f) Motor yatakları

Kısmi sıcaklık dedektörleri ile

Kısmi yerlere yerleştirilen lokal dedektörlerle motordaki kısmi yerlerin sıcaklığı ölçülebilir, bu sıcaklık dedektörleri;

- a) Termokupullar,
- b) Küçük direnç termometreleri,
- c) Termistörler.

Bu kullanılacak lokal sıcaklık dedektörlerinin boyları 5 cm' yi geçmemelidir.

Gömülü dedektör ile

Gömülü dedektörlere direnç sıcaklık dedektörleri veya termokupullar örnek verilebilir. Gömülü dedektörler sargıların arasına yerleştirir

Sargı direnci ile

Belirlenen sargı sıcaklığı ile bilinen sıcaklıktaki sargı sıcaklığı karşılaştırılır.

Çizelge 4.1.İzolasyon sargı sıcaklıkları

İzolasyon Sıcaklığı	Çalışma Sıcaklığı
A	75
B	95
F	115
H	130

4.1.4. Gerekli ölçmeler

Elektriksel ölçme

Bütün akım ve gerilim değerleri etkin (rms) değerlerinde ölçülür. Ölçüm hassasiyetleri ve ölçme doğruluğu yüksek ölçü aletleri kullanılır. Doğru ölçmeyi etkileyen faktörler şunlardır:

- Sinyal kaynağının yüklenmesi
- Ön ayarlama
- Ölçme aletinin kalibrasyonu ve ölçme alanı

Sayısal ölçü aletleri analog ölçü aletlerinden daha çok yönlü ölçme yaparlar. Ancak gürültü seviyelerinden etkilenirler. Akım veya klasik transformatörler kullanıldığı zaman hata oranı $\pm\%0,3$ 'den fazla olmamalıdır.

-Makine terminallerine bağlı hat gerilimleri ayrı ayrı ölçülmelidir.

-Motorun her fazının hat akımı ölçülerek ve ortalama değeri test datasından elde edilen makine performansının hesaplanmasında kullanılır.

-Giriş gücü monofaze veya trifaze sayaçlarla ölçülebilir.

Mekaniksel ölçme

Mekanik güç ölçümü büyük bir doğrulukla yapılabilir. Fren kullanılıyorsa dara hesaba katılmalıdır. Şayet dinamo çıkışı kullanılıyorsa dinamonun sürtünme ve rüzgar kayıpları dikkate alınmalıdır. Stroskopik veya dijital takometre metodu kayma veya hızı tespit için kullanılabilir. Stroskopi metodu kullanıldığı zaman stroskopi besleyen güç kaynağı ve motoru besleyen güç kaynağının frekansı aynı olmalıdır.

Hız ölçen aletin ölçme hatası $\pm 1.0 \frac{d}{d}$ 'dan fazla olmamalıdır.

4.1.5. Makine kayıpları ve kayıpları bulmak için yapılan testler

Bu madde asenkron motorun kayıplarının belirtilmesi ve bu kayıpların bulunması için yapılan testlerini açıklar. Bu testlerde bulunan değerlerle motor verimi ve motor performansı bulunacaktır.

Asenkron motor kayıpları;

- 1) Stator I^2R kaybı
- 2) Rotor I^2R kaybı
- 3) Sürtünme ve rüzgar kaybı
- 4) Nüve kaybı
- 5) Kaçak yük kaybı

Diğer özel test ve işlemleri bazı verim test metotlarını destekleyecek yöndedir.

- 6) Fırça sürtünme kaybı
- 7) Sıcaklık testi
- 8) Eşdeğer devre

Stator I^2R kaybı

Üç fazlı motor için stator I^2R kaybı, P_{SIR} watt olarak aşağıdaki eşitlikle gösterilir.

$$P_{SIR}=1,5 \cdot I^2R=3 I^2R_1 \quad (4.4)$$

I =Amper olarak her fazda ölçülen veya hesaplanan akım değeridir.

R =Uygun sıcaklıkta ve doğru gerilimde iki sargı uçlarından ohm olarak ölçülen dirençtir.

R_1 =Her fazın ohm olarak doğru gerilim direncidir.

Sıcaklığa göre direnç düzeltmesi

Test analizlerinin bazısı başka sıcaklıklarda sargı dirençlerinin bilinmesi gerektirmektedir. Sargı direnci R_a , bilinen sıcaklık değeri t_a , başka bir sıcaklıktaki sargı direnci R_b , sargı direnci bulunacak sıcaklık değeri t_b ise farklı sıcaklıklardaki sargı direnci aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunabilir.

$$R_b = \frac{R_a (t_b + k_1)}{t_a + k_1} \quad (4.5)$$

R_a = t_a derecesinde bilinen sargı direnci, ohm.

t_a = R_a sargı direncinin ölçüldüğü zamandaki sıcaklık değeri.

t_b = R_b sargı direncinin bulunması istenen sargı sıcaklık değeri.

R_b = t_b sıcaklığında bulunması istenen sargı direnci.

k_1 =Sabit katsayı, Bakır için 234.5, alüminyum için 225 alınacaktır.

Rotor bakır kaybı (I^2R)

$$\text{Rotor } I^2R \text{ kaybı} = (\text{Ölçülen stator giriş gücü} - \text{stator } I^2R \text{ kaybı} - \text{nüve kaybı}) \quad (4.6)$$

Bütün güç birimleri watt cinsindendir.

Kayma

Kayma hızı d/dk olarak doğrudan stroskobik araçlar ile ölçülebilir veya ölçülen hızdan hesaplanabilir.

$$\text{Kayma hızı} = n_s - n_r \quad (4.7)$$

$$n_s = 120 \frac{f}{p} \quad (4.8)$$

n_s =Senkron hız, d/dk

n_r =Ölçülen hız, d/dk

f=Hat frekansı, hertz

p=Kutup sayısı

$$s = \frac{\text{kayma hızı}}{\text{senkron hız}} \quad (4.9)$$

Sıcak kayma

Kayma doğrudan rotor direnci ile ilgilidir. Sıcak kayma değeri direnç ve sıcaklık değerleri kullanılarak bulunabilir. Bulunacak sıcak kayma değeri verim test metotlarından B, B₁ ve C metotlarında rotor I²R kaybını bulmak için kullanılır

$$s_s = \frac{s_t(t_s + k_1)}{(t_t + k_1)} \quad (4.10)$$

s_s=ts çalışma sıcaklığında bulunacak kayma değeri

s_t=t_t stator sargı sıcaklığında ölçülen kayma değeri

t_s=motor çalışma sıcaklığı

t_t=yük testi sırasında ölçülen stator sargı sıcaklığı

k₁=sabit sayı, Bakır için 234.5, alüminyum için 225 sayıları kullanılacaktır.

Sürtünme ve rüzgar kaybı

Bu kayıplar gerilim ve güç lineer eğrisinden faydalınarak bulunabilir. Test gerilim değerleriyle güç değerlerinin kesiştiği noktalarda, toplam kayıplardan stator I²R kaybı çıkarılarak bulunur.

Nüve kaybı

Nüve kaybı, Ph, her test geriliminde elde edilen sürtünme ve rüzgar kayıplarından elde edilir.

Kaçak yük kaybı

Kaçak yük kaybı toplam kayıpların bir parçasıdır ve direkt, dolaylı veya tahmini olarak hesaplanabilir.

Dolaylı ölçme

Önce toplam kayıplar bulunur daha sonra bu toplam kayıplardan rüzgar ve sürtünme kaybı, nüve kaybı, rotor I^2R kaybı, stator I^2R kaybı çıkarılarak bulunabilir. Bu metot B, B₁, C, C/F verim test metotlarında kullanılır.

Direkt ölçme

Kaçak yük kaybı direkt ölçme metodu verim test metotlarından, E, F, E/F metotlarında kullanılır. Kaçak yük kayıplarının temel frekans ve yüksek frekans bileşenleri bulunur ve bulunan bu bileşenlerin toplamı kaçak yük kayıplarıdır. kaçak yük kayıplarının hesaplanması için; Kaçak yük kaybı temel ve yüksek frekansları üzerindeki bileşenleri birleştirilerek bulunabilir. Kaçak yük kaybı, P_{SL}, watt olarak aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$P_{SL} = P_{SLs} + P_{SLr} \quad (4.11)$$

Burada;

$P_{SLs} = (P_s - \text{stator } I^2R \text{ kaybı})$, watt olarak, temel frekans kaçak yük kaybıdır.

$P_{SLr} = (P_r - P_m) - (P_{rr} - P_{SLs} - \text{stator } I^2R \text{ kaybı})$, watt olarak yüksek frekans kaybıdır.

$P_m = \text{Stator sargı uçlarına gerilim uygulamadan rotoru çevirecek mekaniki güç}$, watt olarak.

$P_r = \text{Stator sargı uçlarına gerilim uygulayarak rotoru çevirecek mekaniki güç}$, watt olarak.

$P_{rr} = \text{Ters yön testinde stator sargılarına uygulanan elektriki giriş gücü}$, watt olarak.

$P_s = \text{Rotor çıkarıldığında statora uygulanan elektriki giriş gücü}$, watt olarak.

Tahmini kaçak yük kaybı

Tahmini kaçak yük kaybı, verim test metotlarından E₁, F₁ ve E₁/F₁ metotlarında kullanılır. Tahmini değerler aşağıdaki tablo kullanılarak yapılır.

Fırça sürtünme kaybı

Rotoru sargılı motorlarda her faz için karbon ve grafit fırçalar için 1,0 volt, metal-

karbon fırçalar için 0,3 volt gerilim düşmesi kabul edilir.

Çizelge 4.2. Kaçak yük kaybı tahmini hesaplama tablosu

Motor Gücü (kW)	Anma yükünün yüzde kaçak yük kaybı
1-90	1,8 %
91-375	1,5%
376-1850	1,2%
1851 ve yukarısı	0,9%

Sıcaklık testi

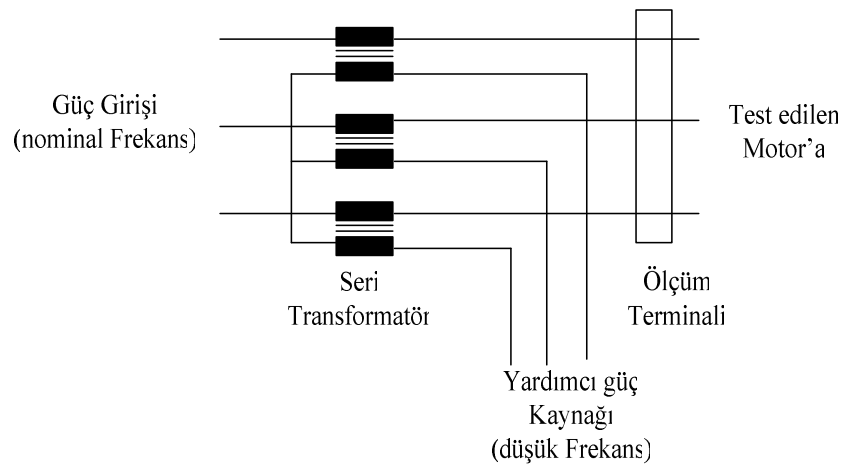
Sıcaklık testi için yükleme metodu aşağıdakilerden biri ile yapılabilir;

- Gerçek yükleme metodu,
- Karışık frekanslı çalıştırma metodu,
- İleri kısa devre eşdeğer metodu.

Gerçek yükleme metodu

Gerçek yükleme metodunda makine, motor veya generatör olarak yüklenir.

Karışık frekanslı çalıştırma metodu



Şekil.3.5. Karışık frekanslı çalıştırma

Bu metotda makine ana güç kaynağı düşük voltajlı ve farklı frekanslı yardımcı güç kaynağı ile bindirilmiş olarak boşta çalıştırılır. faz sıralarına dikkat edilmelidir.

İleri kısa devre eşdeğer metodu

Bu metotda test edilecek motor yardımcı motor tarafından anma hızında çalıştırılır. Bu esnada test edilen motorun terminal uçları düşük voltajlı ayarlı frekanslı kaynağa bağlanır. Genellikle, kaynak frekansı makine anma frekansından %20-%25 daha azdır. Yardımcı motorun akupple edilmiş motor çiftini anma hızında çevirirken motor terminalindeki gerilim motor anma akım değerine kadar ayarlanır. Makine, yükleme metotlarından birine uygun olarak yüklenebilir. Yükleme giriş veya çıkıştan direkt olarak ölçülebilir. Makinenin sıcaklık artışı sürekli tespit edilmelidir. Çift frekanslı bir makine hangi frekans uygunsa o frekansta çalıştırılabilir. Şayet her iki frekans da uygun ise test maksimum sıcaklığı oluşturacak frekans da yapılmalıdır. Test altındaki motor indüksiyon generatör olarak çalışacaktır. Test bitimi sargı direnci ölçülmelidir. Bu değer makinenin nihai sıcaklığı ve sıcaklık artışını bulmada kullanılır. Bu ölçümü yaparken süratle sıcaklık testini bitirmek ve direnç ölçüm aracıyla hemen ölçülmelidir. Sıcaklık hesaplaması aşağıdaki gibidir:

Sargı sıcaklığı sargı direnç değeri kullanılarak aşağıdaki eşitlikten Eş. 4.12 kullanılarak bulunabilir.

$$t_t = \left(\frac{R_f}{R_b} \cdot (t_b + k_1) \right) - k_1 \quad (4.12)$$

Burada;

$t_t = R_t$ ölçüldüğünde, sargının toplam sıcaklığıdır, $^{\circ}C$ olarak,

R_t =Test esnasında ölçülen direnç değeri, ohm olarak,

R_b =Bilinen t_b sıcaklığında önceden ölçülen direncin referans değeri, ohm olarak,

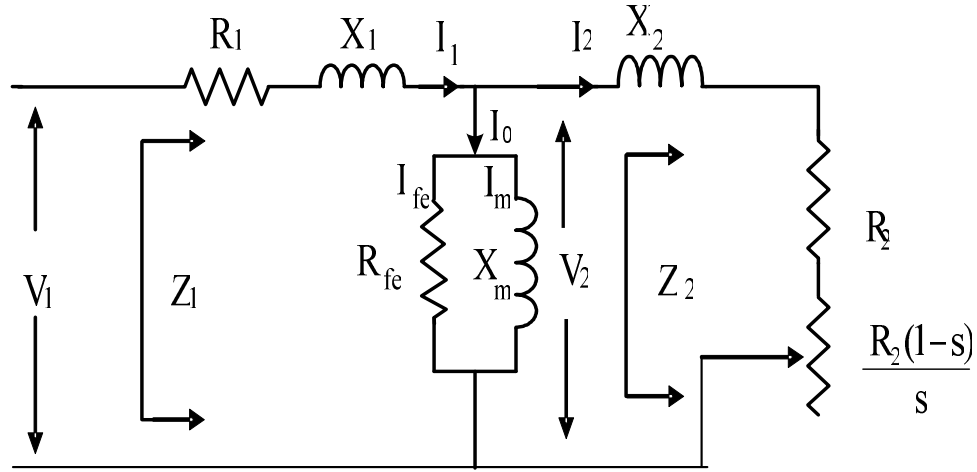
t_b =Referans direnç değeri R_b ölçüldüğünde sargının sıcaklığı, $^{\circ}C$ olarak,

k_1 =Sabit sayı, bakır için 234.5, alüminyum için 225 değeri alınacaktır.

Eşdeğer devre

Verim testleri F ve F_1 metotlarından, bir asenkron motorun çalışma karakteristikleri

eşdeğer devrede hesaplanarak bulunabilir. Bu devre diğer verim test metotlarında kullanılan rotor akımının tespitinde kullanılır.



Şekil 3.6. Eşdeğer devre

V_1 =Faz gerilimi, volt olarak

V_2 =Stator terimlerine göre rotor faz gerilimi, volt olarak

f =Frekans, Hz olarak

I_1 =Hat veya stator akımı, amper olarak

I_2 =Stator terimlerine göre rotor akımı, amper olarak;

I_m =Mıknatıslama akımı, amper olarak

I_{fe} =Nüve kaybı akımı, amper olarak

m =Faz sayısı

R_1 =Stator direnci, ohm olarak

R_2 =Stator terimlerine göre rotor direnci, ohm olarak

R_{fe} =Nüve kayıp direnci, ohm olarak

G_{fe} =Nüve kayıp kondüktansı, siemens olarak

X_1 =Stator kaçak reaktansı, ohm olarak

X_2 =Stator terimlerine göre rotor kaçak reaktansı, ohm olarak

X_m =Mıknatıslama reaktansı, ohm olarak

B_m =Mıknatıslama suseptansı, siemens olarak.

P =Güç, watt olarak

P_h =Nüve kaybı, watt olarak

P_f =Rüzgar ve sürtünme kaybı, watt olarak

Q =Reaktif güç, var olarak

Z =Her fazın empedansı, ohm olarak

Z_2 =Stator terimlerine göre her fazın rotor empedansı, ohm olarak

s =Kayma

Eşdeğer devrede makine parametreleri empedans testi veya yüksüz çalışma testinden elde edilen test dataları kullanılarak tespit edilir. Rotor gerilimi, akımı, direnci ve reaktans değerleri gerçek değildir, stator terimlerine göre ifade edilir. Empedans test dataları aşağıdaki metotlardan biriyle bulunabilir;

1) Metot 1: Üç fazlı kilitli rotor empedansı testi en yüksek akımda ve frekansın %25 değerinde yapılır. Parametrelerin hesaplanması metot 1 işlemlere uygun olarak yapılır.

2) Metot 2: Üç fazlı kilitli rotor empedansı üç frekans değerinde yapılır. Birincisi anma frekansında, ikincisi %50 anma frekansında, üçüncüsü de en fazla %25 anma frekansında ve anma akımında yapılır.

3) Metot 3: Empedans testi istenilen düşük frekans değerlerinde yapılabilir. Bu metotda motor küçük bir yüke bağlanarak ya da bağlanmadan çalıştırılır. Gerilim yaklaşık tam yük kayma değerine kadar azaltılır.

4) Metot 4: Önceki metotlardan hiçbirisi pratik olmadığında bu metot uygulanabilir. Yaklaşık olarak anma akımında ve yük altında, anma frekansında, düşük gerilim altında kilitli rotor empedans testi yapılabilir.

4.1.8. Güç faktörünün bulunması

Dolaylı elde etme

Makine performansı hesaplanırken, makinenin güç faktörü her yük noktasında tespit edilmelidir.

$$PF = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot I} \quad (4.13)$$

Burada;

P=Makinenin watt olarak elektrik giriş gücüdür.

PF=Makine güç faktörüdür.

V=Volt olarak giriş faz – faz gerilimidir.

I=Amper olarak giriş akımıdır.

Güç Faktörünün Doğrudan elde edilmesi

Üç fazlı makinenin giriş gücü iki watt metre metodu ile ölçüldüğünde, güç faktörü, PF, yüzde olarak Eş. 4.14 ile bulunabilir.

$$PF = \frac{100}{\sqrt{1 + 3 \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right)^2}} \quad (4.14)$$

P₁=Büyük okunan değer.

P₂=Küçük okunan değer.

4.1.9. Verimin Bulunması

Verim, Çıkış gücünün toplam giriş gücün oranıdır. Çıkış gücü giriş gücünden kayıpların çıkarılmasıyla elde edilir. Verim şayet çıkış gücü, giriş gücü veya kayıplar biliniyorsa aşağıdaki eşitliklerden Eş. 4.15, Eş. 4.16 ve Eş. 4.17 ile bulunabilir.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Çıkış Gücü}}{\text{Giriş Gücü}} \quad (4.15)$$

$$\text{Verim} = \frac{\text{Giriş Gücü} - \text{Kayıplar}}{\text{Giriş Gücü}} \quad (4.16)$$

$$\text{Verim}\% = \frac{\text{Mekanik Çıkış Gücü}}{\text{Elektrik Giriş Gücü}} \cdot 100 \quad (4.17)$$

Verim test metotları

- a) Metot A : Giriş ve çıkış gücünün doğrudan ölçülmesi.
- b) Metot B : Kaçak yük kaybının dolaylı bulunarak, kayıpların ayrılarak giriş ve çıkış gücünün ölçümü.
- c) Metot B₁ : Öngörülen sıcaklığın ve kaçak yük kaybını dolaylı ölçülmesiyle kayıpların ayrılarak giriş ve çıkış gücünün bulunması.
- d) Metot C : Benzer özellikteki iki motorla dolaylı ölçülen kaçak yük kayıpları ve kayıpların ayrılarak giriş ve çıkış gücünün bulunması.
- e) Metot E : Dolaylı bulunan kaçak yük kayıpları ile kayıpların ayrılarak yük altında elektrik gücünün ölçülmesi.
- f) Metot E₁ : Tahmini kaçak yük kaybı ile kayıpların ayrılması ile yük altında elektrik gücünün ölçülmesi.
- g) Metot F : Kaçak yük kayıplarının doğrudan ölçülmesiyle, eşdeğer devrenin kullanılması.
- h) Metot F₁ : Tahmini kaçak yük kaybı değerinin bulunması ve eşdeğer devrenin kullanılması.
- I) Metot C/F : Dolaylı ölçülmüş kaçak yük kaybı ile metot C’de her yük noktasında eşdeğer devrenin ayarlanması.
- i) Metot E/F : Kaçak yük kaybının direkt ölçülmesiyle metot E’de her yük noktasında eşdeğer devrenin ayarlanması.

Verim test metodu seçimi

- 1 kW’ dan küçük motorlarda, verim test metodu A kullanılır.
- Yatay kullanılacak 1-300 kW arasındaki motorlarda, verim test metodu B kullanılır.
- Dik kullanılacak 1-300 kW arasındaki motorlarda yataklama sistemi müsait ise verim test metodu B kullanılacaktır, şayet yataklama sistemi uygun değil ise verim test metotlarından, E, E₁, F veya F₁ metotlarından biri kullanılabilir.
- Makineler 300 kW’ dan büyük ise verim test metotlarından, B, B₁, C, E, E₁, F, F₁ metotlarından biri kullanılabilir.

4.2. Dolaylı Metot IEC 34 – 2

$$Verim\% = \frac{Elektrik\ Giriş\ Gücü - Kayıyıp}{Elektrik\ Giriş\ Gücü} 100\% \quad (4.18)$$

Bu standard'da ise önce kayıplar bulunur, daha sonra verim hesaplanır. Bu kayıplar yüksüz ve yüklü çalışma deneyleri yapılarak bulunur. Kaçak yük kayıpları yaklaşık olarak tam yükteki giriş gücünün % 5'i bulunarak hesaplanır ($0,005 \cdot P_{gir}$) [15].

Toplam Yük Kayıpları;

- Fren yöntemi ile moment ölçümü
- Kalibre edilmiş makine testi
- Mekanik kaskat bağlantılı çalıştırma testi
- Elektriki sıralı çalıştırma testi

metotları tercih edilerek bulunur [14].

Çizelge 4.3. Farklı test standartlarında elde edilen verim değerleri

hP	JEC 37, Daire Diyagramı	IEC 34-2 Toplam Kayıplardan	IEEE 112, Metot-B
5	88,8	88,3	86,2
10	89,7	89,2	86,9
20	91,9	91,4	90,4
75	93,1	92,7	90,0

4.2.1. Değişmez kayıplar

- a) Demir nüve ve diğer metallerdeki ilave kayıplar.
- b) Sürtünme kayıpları
- c) Rüzgar kayıpları

4.2.2. Yük kayıpları

- a) Primer sargıdaki $I^2 R$ kayıpları
- b) Sekonder sargıdaki $I^2 R$ kayıpları
- c) Fırçalardaki elektriki kayıplar

4.2.3. İlave yük kayıpları

- a) Metal parçalardan başka diğer elamanlarda kaybolan kayıplardır.
- b) Akıya bağlı primer ve sekonder sargıdaki eddy akım kayıplarıdır.

4.2.4. Verimin elde edilmesi

Verim aşağıdaki kayıpların bulunmasıyla elde edilen toplam kayıplardan elde edilir.

Değişmez kayıplar:

Anma geriliminde yüksüz çalışma testi

Motor değişmez kayıpları elde etmek için motor anma gerilim ve frekans değerlerinde çalıştırılır, çekilen güçten primer sargının çektiği $I^2 R$ kayıplar çıkarıldığında, toplam değişmez kayıplar elde edilir.

Kalibre edilmiş makine testi

Kayıpları bulunacak motor daha önceden kayıpları bilinen motorla anma devrinde döndürülür. Kalibre edilen motorun mil gücü ölçülüp kaynaktan çekilen güçten çıkarıldığında toplam kayıpları verir, bu toplam kayıplardan önceden kayıpları bilinen motorun kayıpları çıkarıldığında denenen motorun sürtünme ve rüzgar kayıplarını verir. Değişmez kayıplardan bu kayıplar çıkarıldığında denenen motorun demir kayıpları elde edilir.

Yük Kayıpları

Primer sargıda oluşan $I^2 R$ kaybı doğrudan akım ve ölçülen dirençten hesap edilebilir. Sekonder sargıda oluşan $I^2 R$ kaybı, Kaymaya ve primer devreden sekonder devreye aktarılan elektriki güce bağlıdır. Çekilen güçten primer sargı $I^2 R$ kaybı, nüve kaybı ve kaçak yük kaybı toplamı çıkarılmasıyla hesap edilebilir.

Hesaplanan değerler

Daire diyagramı veya eşdeğer devreden hesaplanan sekonder devre akım değerlerinden rotor kısmına aktarılan güç bulunabilir. Sargılı rotorlu motorlarda fırça ve kömürlerde oluşan gerilim düşümü karbon veya grafit fırçalarda 1.0 volt, olarak

metal-karbon fırçalarda ise 0.3 volt olarak alınmalıdır.

İlave yük kayıpları

Kaçak yük kayıpları primer akımın karesi ile değişirler ve tam yükte anma giriş gücünün % 0.5 'i olarak hesaplanırlar. Bu oran jeneratörlerde tam yükte anma çıkış gücünün % 0.5 'i olarak alınırlar.

Toplam Kayıp Ölçümü

Fren testi

Motor anma hız, gerilim ve akım değerlerinde çalışırken, Verim, çıkış gücünün giriş gücüne bölünmesiyle bulunur.

Mekanik kaskat bağlantı testi

Aynı özellikteki iki makine aynı anma koşullarında çalıştırılır. Kayıpların iki motor tarafından eşit şekilde paylaştığı kabul edilir. Verim toplam kayıpların ve giriş gücünün yarısı alınarak hesaplanır.

Aynı özellikteki iki makinenin elektriki bağlantı testi

Mekanik kaskat bağlantı testinde olduğu gibi aynı özellikte iki motor birbirine akubile edilmişler ve kaynağa paralel olarak bağlanmışlardır. Kayıpların eşit dağıtıldığı kabul edilir. Verim, toplam kayıpların yarısından ve bir motora giriş gücünden hesap edilir[19].

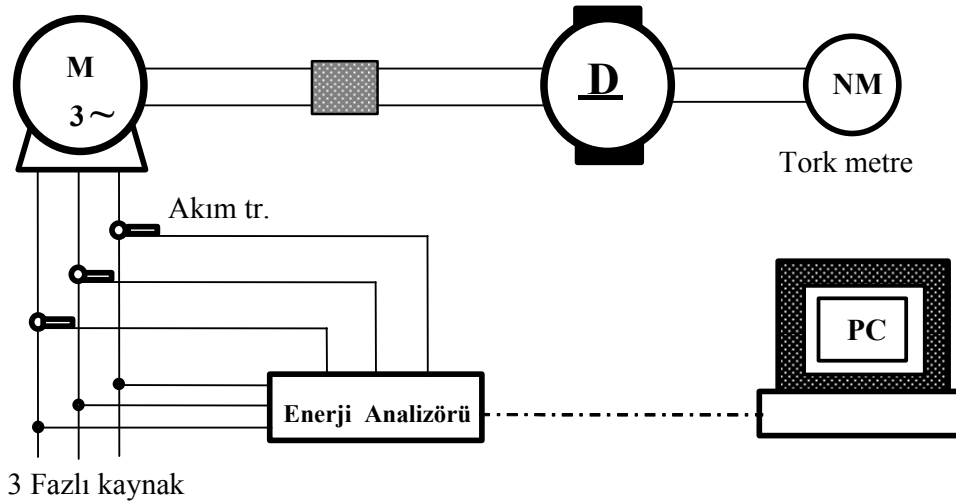
5. IEC 34-2 TEST METOTUYLA ASENKRON MOTOR-GENERATÖR PARAMETRELERİNİN BULUNMASI

5.1. Dolaylı Metotla 4,4 kW 1000 Motor Çalışma Parametrelerinin Bulunması

5.1.1. Deney işlem sırası

3 fazlı 380 volt yıldız bağlı, 4,4/6,6 kW, 1000/1500d/dk değerlerindeki 3 fazlı asenkron motor tel çapı, 1000 devir; 2·0,70 ve 1500 devir, 2·0.75 Adım, seri yıldız olarak sarılarak, stator sargılarına PT 100 Termistör takılarak montajı yapılmıştır. Daha sonra sırasıyla, Faz sargı direnci termometre ile ortam sıcaklığı ölçüldükten sonra motor yüksüz şekilde anma gücünde çalıştırılarak değerler alınmıştır. Daha sonra sırasıyla boşta çalışma deneyi, tam yük deneyi, ısı testi, kilitli rotor testi yapılarak gerekli analiz tabloları çıkarılmıştır. Isı testinde, motor rejime girdiği anda stator sargı ve ortam sıcaklığı değerleri ölçülerek kaydedilerek, Bu değerler dolaylı metot hesaplamalarında kullanılarak kayıplar, güç ve verim bulunur.

5.1.2. Deney test seti



Şekil 5.1. Dolaylı metot deney bağlantı şeması

5.1.3. Soğuk direnç ölçümü

Motor test öncesi dijital ölçü aleti ile stator faz sargı uçlarından ayrı ayrı soğuk dirençleri sırasıyla, $R_{U1-U2} = 2,05$ ohm, $R_{V1-V2} = 2,05$ ohm, $R_{W1-W2} = 2,05$ ohm olarak ölçülen bu değerler, Eş. 5.1 de kullanılarak,

$$R_{mT} = \frac{R_{U1-U2} + R_{V1-V2} + R_{W1-W2}}{3} \quad (5.1)$$

R_{mT} , kablolu sargı direnci;

$$R_{mT} = \frac{2,05 + 2,05 + 2,05}{3} = 2,05 \text{ ohm olarak bulunmuştur.}$$

Çizelge 5.1. Test öncesi motor değerleri 4,4 kW 1000 d/dk

P_n (kW)	U_n (V)	I_n (A)	f (Hz)	n (1/dk)	R (u_1-u_2)	R (v_1-v_2)	R (w_1-w_2)	Ortam $T^{\circ}\text{C}$
4.4	380	11	50	972	2,05	2,05	2,05	18

5.1.4.

Nihai sargı direncinin bulunması

Önce, yüklü çalışma testinde sıcaklık değerleri alınarak stator Δ_t bulunur, daha sonra eşitlik Eş. 5.2 kullanılarak R_{mTn} nihai sargı direnci bulunur.

$$R_{mTn} = R_{mT} \cdot \left(\frac{235 + \text{stator} \Delta_t + t_2}{235 + t_1} \right) \quad (5.2)$$

$$R_{mTn} = 2,05 \cdot \left(\frac{235 + 59 + 21}{235 + 18} \right)$$

$$R_{mTn} = 2.6 \text{ ohm.}$$

Çizelge 5.2. ısı testi sıcaklık değerleri 4,4 kW 1000 d/dk

MOTOR TİPİ 160.4.160						
Saat	Ortam Sıcaklığı °C	Termokupul (ön)	Sıcaklık Artışı °C	PT100 (ön)	PT100 (Arka)	Açıklama
08 ³⁰	18	12			-	1000 d/dk 380 V
09 ³⁰	20	76	52		-	966 d/dk 380 V
10 ⁰⁰	21	82	57		-	963d/dk 380 V
10 ³⁰	21	84	59		-	963 d/dk 380 V

Motor 4.4 kW' da, stator=59 K'da rejime girdi

5.1.5. Rotor sıcaklığının bulunması

İlk ortam sıcaklığı ile motorun rejime girdiği zaman ölçülen ortam sıcaklıkları kullanılarak aşağıdaki eşitlik Eş. 5.3 ile T_n (°C) rotor bulunur.

$$T_n(^{\circ}\text{C}) = \text{Rotor}\Delta t + t_2 \quad (5.3)$$

$$\text{Rotor } \Delta t = \frac{(S_2 - S_1)}{S_1} \cdot (225 + t_2) + (t_1 - t_2) \quad (5.4)$$

$$\text{rotor } \Delta t = (0.321) \cdot (246) + (-3) = 75.966$$

$$T_n(^{\circ}\text{C}) \text{ rotor} = 75.966 + 21 = 97^{\circ}$$

5.1.6. Stator sıcaklığının bulunması

$$T_n(^{\circ}\text{C})_{\text{stator}} = \text{Stator}\Delta t + t_2$$

$$\text{stator}\Delta t = (t_1 + 235) \cdot \left(\frac{R_{m_{tn}}}{R_1}\right) - (t_2 + 235)$$

$$\text{Stator } \Delta t = (18 + 235) \cdot \left(\frac{2,6}{2,05}\right) - (21 + 235)$$

$$\text{Stator } \Delta t = (253) \cdot (1,244) - (256)$$

$$\text{Stator } \Delta t = 314,732 - 256$$

$$\text{Stator } \Delta t = 65^0 \text{ C}$$

$$T_n (^0\text{C}) \text{ stator} = 65 + 21$$

$$T_n (^0\text{C}) \text{ stator} = 86^0\text{C}$$

5.1.7. P_1 , giriş gücünün hesaplanması

Giriş gücü P_1 , aşağıdaki yüklü çalışma sırasında yapılan ölçülen sıcaklık testinde motorun rejime girdiğinde alınan ve Çizelge 5.5’de gösterilen değerlerle aşağıdaki eşitlik Eş. 5.5 kullanılarak bulunur.

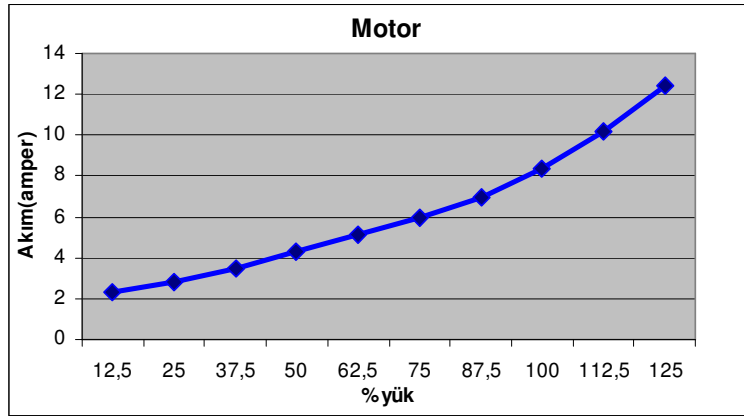
$$P_1 = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \quad (5.5)$$

$$P_1 = 3 \cdot 219,65 \cdot 10,9 \cdot 0,742$$

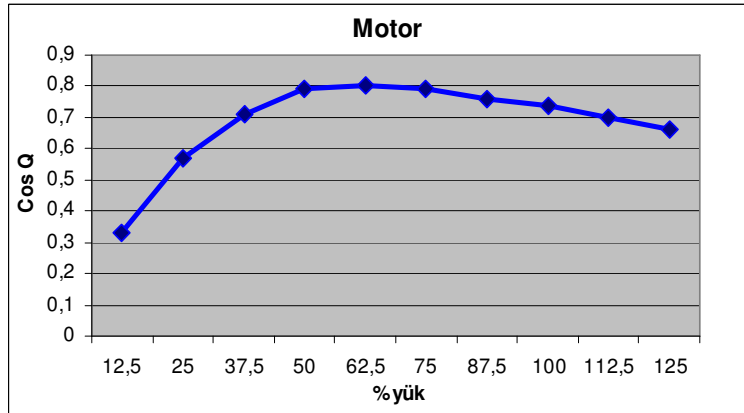
$$P_1 = 5,329 \text{ kW.}$$

Çizelge 5.3. Yüklü çalışma test data tablosu 4,4 kW 1000 d/dk

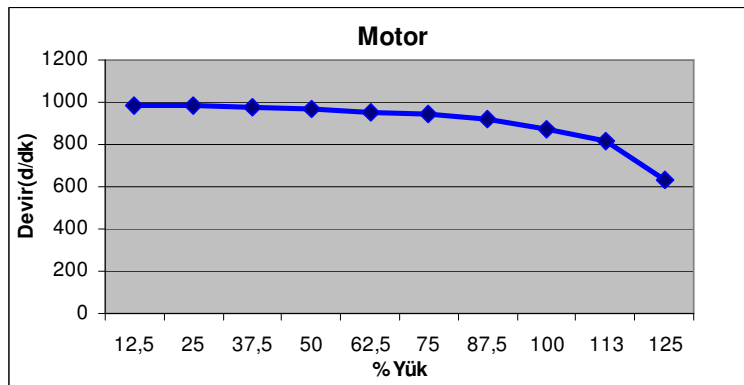
%Yük	V Volt	I Amper	F Hz	n 1/min	S kVA	Pgir kW	Q kVAR	Cos ϕ
12,50	402,0	2,3	50	981	1,53	0,55	1,52	0,33
25,00	402,1	2,8	50	987	1,91	1,09	1,56	0,57
37,50	401,9	3,5	50	977	2,36	1,66	1,67	0,71
50,00	400,5	4,3	50	967	2,91	2,23	1,86	0,79
62,50	400,1	5,1	50	956	3,47	2,76	2,13	0,80
75,00	400,8	6,0	50	944	4,10	3,25	2,45	0,79
87,50	400,5	7,0	50	922	4,81	3,80	2,95	0,76
100,00	400,4	8,4	50	870	5,82	4,45	3,77	0,74
112,50	399,7	10,2	50	820	7,08	5,12	5,14	0,70
125,00	398,0	12,4	50	630	8,52	5,53	6,41	0,66



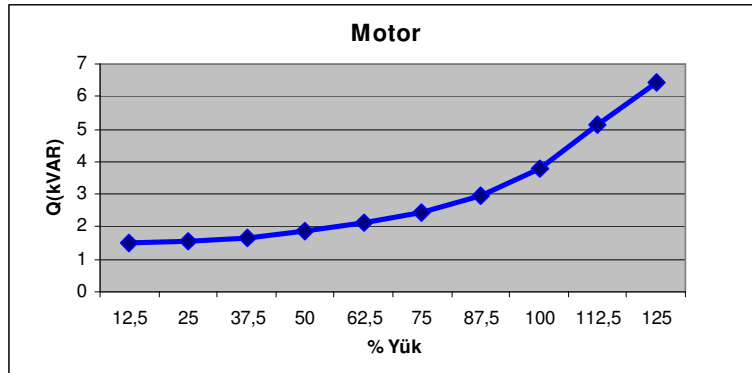
Şekil.5.2. 4,4 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak akımın değişimi



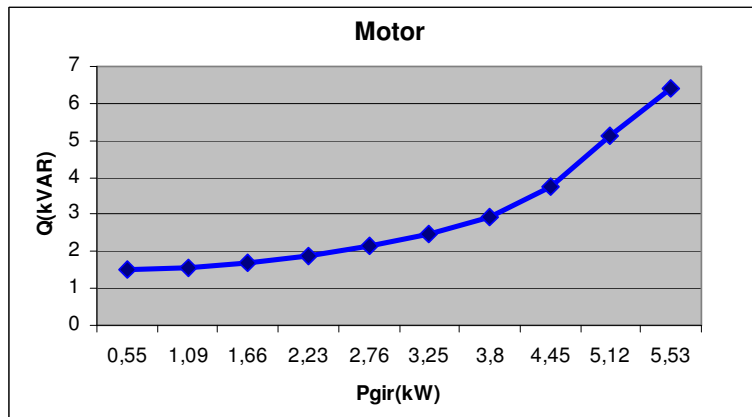
Şekil.5.3. 4,4 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak $\cos\phi$ değişimi



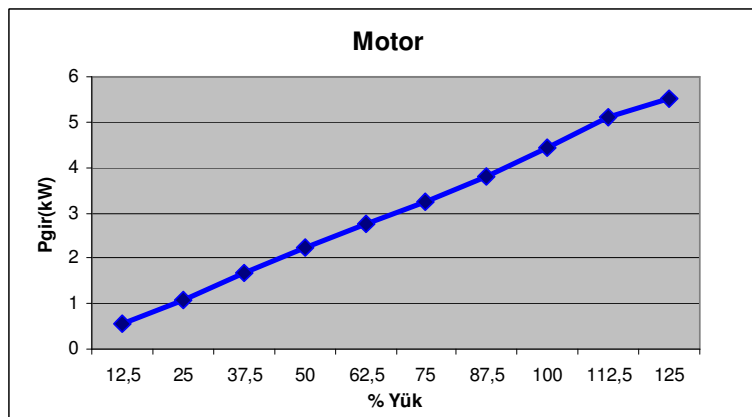
Şekil.5.4. 4,4 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak devir değişimi



Şekil.5.5. 4,4 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak reaktif gücün değişimi



Şekil.5.6. 4,4 kW motor yüklü çalışmada aktif gücü ve reaktif gücün değişimi



Şekil.5.7. 4,4 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak aktif gücün değişimi

$$P_1 = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$P_1 = 3 \cdot 219,65 \cdot 10,9 \cdot 0,742$$

$$P_1 = 5,329 \text{ kW.}$$

Çizelge 5.4. Sıcaklık değerleri 4,4 kW 1000 d/dk

	PT1000	Ortam sıcaklığı	V VOLT	I AMPER	F Hz	n 1/dk	Mn (NM)	Aktif Güç kW	Çıkış gücü kW	Cosφ	Verim %	Kayıplar kW
Soğuk		20	380	11	50	972	4.4	5220	4392	0.723	84.1	828
Sıcak		21	380	10.9	50	963	4.4	5298	4351	0.742	82.1	947

5.1.8. Senkron devrin hesaplanması

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{2p}$$

$$n_s = \frac{60 \cdot 50}{6}$$

$$n_s = 1000 \text{ d / dk}$$

5.1.9. Sıcak kaymanın hesaplanması

$$s(\text{sıcak_kayma}) = \frac{225 + T_n(^{\circ}C)_{Rotor}}{225 + t_1} \cdot \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{225 + 97}{225 + 18} \cdot \frac{1000 - 972}{1000} = 0.037$$

5.1.10. n (sıcak hız) hesaplaması

$$n = n_s - (n_s \cdot s)$$

$$n = 1000 - (1000 \cdot 0,049)$$

$n = 963 \text{ d/dk}$

5.1.11. P_{cu1} , stator bakır kaybının hesaplanması

Stator bakır kaybı, motorun rejime girdiği akım değeri ile nihai çalışma sıcaklığında hesaplanan direnç değeri ile aşağıdaki eşitlikten (5.7) bulunur.

$$P_{cu1} = 3 \frac{I^2 \cdot R_{mTn}}{1000} \quad (5.6)$$

$$P_{cu1} = 3 \frac{(10.9)^2 \cdot 2.6}{1000}$$

$$P_{cu1} = 0,926 \text{ kW}$$

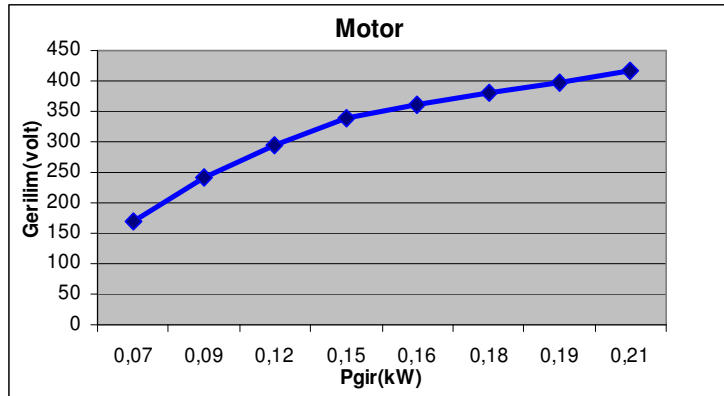
5.1.12. Demir kaybı P_{fe} ’nin hesaplanması

Demir kaybı yüksüz çalışma deney datasından bulunan $P_{CU} - (U/U_n)^2$ veya

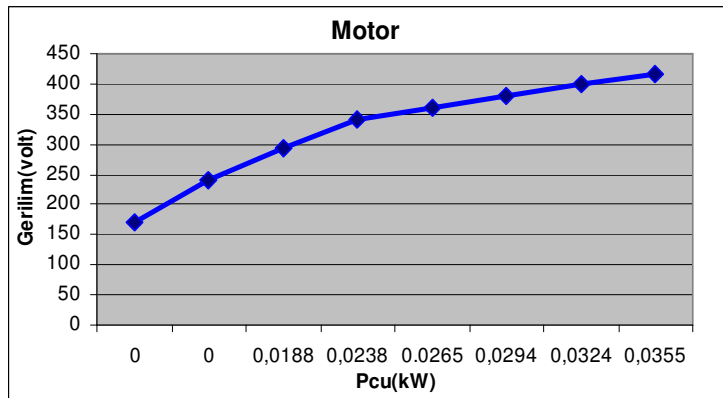
$P_{fe} + P_{mek} - (U/U_n)^2$ eğrileri çizilerek bulunur.

Çizelge 5.5. Yüksüz çalışma tablosu 4.4 kW 1000d/dk

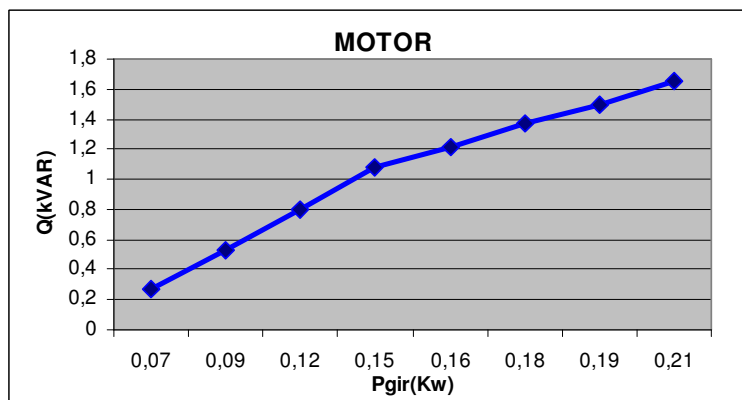
U	$(U/U_n)^2$	I	P	P_{cu}	$P_{fe} + P_{mek}$	Q	S	n	Cos
Volt		(A)3	(kW)	$(3I^2R)$	(kW)	(kVAR)	(kVA)	1/min	φ
169,94	0,2	0,9	0,07	0	0,07	0,27	0,28	997	0,27
240,33	0,4	1,3	0,09	0	0,09	0,53	0,54	999,8	0,17
294,34	0,6	1,6	0,12	0,0188	0,1012	0,8	0,81	999,8	0,14
339,88	0,8	1,8	0,15	0,0238	0,1262	1,08	1,09	999,9	0,13
360,49	0,9	1,9	0,16	0,0265	0,1335	1,22	1,23	999,1	0,13
380,00	1	2	0,18	0,0294	0,1506	1,37	1,38	999,8	0,13
398,54	1,1	2,1	0,19	0,0324	0,1576	1,5	1,51	999,7	0,13
416,27	1,2	2,2	0,21	0,0355	0,1745	1,65	1,67	999,5	0,125



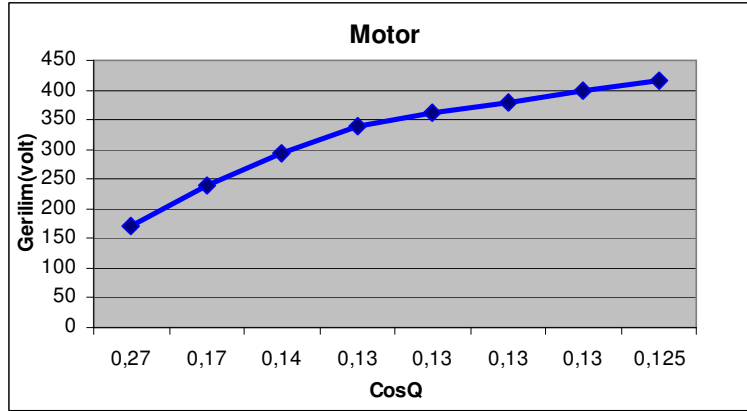
Şekil 5.8. 4,4 kW motor yüksüz çalışmada gerilime bağlı olarak Pgir değişimi



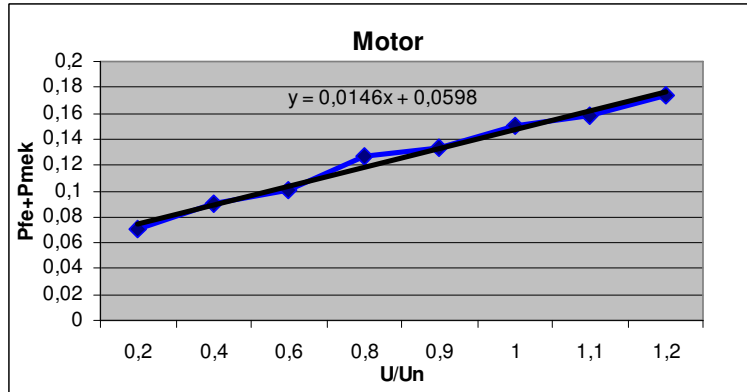
Şekil 5. 9. 4,4 kW motor yüksüz çalışmada gerilime bağlı olarak Pcu değişimi



Şekil 5. 10. 4,4 kW motor yüksüz çalışmada aktif güç – reaktif güç değişimi



Şekil 5. 11. 4,4 kW motor yüksüz çalışmada gerilime bağlı olarak $\cos\phi$ değişimi



Şekil.5.12. 4,4 kW motor yüksüz çalışmada mekanik kayıplar eğrisi

Yukarıdaki mekanik kayıplar eğri fonksiyonundan elde edilen $P_{mek} = 0,060$ kW değeri, boş çalışma test data tablosundan alınan $P_{fe}+P_{mek} = 0,151$ kW toplamından çıkarıldığında $P_{fe}=0,091$ kW değeri bulunur.

5.1.13. Ek yük kayıpları, P_2 ' nin bulunması

Bulunan giriş gücü P_1 , IEC 34-2 standardına göre 0,005 ile çarpılarak bulunur.

$$P_2 = P_1 \cdot 0,005$$

$$P_2 = 5,329 \cdot 0,005$$

$$P_2 = 0,0266 \text{ kW}$$

5.1.14. Toplam stator kaybının hesaplanması

$$P_{\text{stat}} = P_{\text{cu1}} + P_{\text{fe}} + P_2$$

$$P_{\text{stat}} = 0.926 + 0.091 + 0.0266$$

$$P_{\text{stat}} = 1.044 \text{ kW.}$$

5.1.15. Statordan rotora aktarılan gücün hesaplanması

P_1 giriş gücünden P_{stat} toplam kayıpları çıkarılarak P_d , rotora aktarılan güç bulunur.

$$P_d = P_1 - P_{\text{stat}}$$

$$P_d = 5.329 - 1.044$$

$$P_d = 4.325 \text{ kW.}$$

5.1.16. Rotor iletken kaybının hesaplanması

Daha önce bulunan kayma değeri s ile rotora aktarılan P_d gücünün çarpılmasıyla rotor iletken kaybı P_{CU2} bulunur.

$$P_{\text{cu2}} = s \cdot P_d$$

$$P_{\text{cu2}} = 0,037 \cdot 4,325$$

$$P_{\text{cu2}} = 0,160 \text{ kW}$$

5.1.17. Mekanik kayıpların hesaplanması

Deneyde uygulanan her gerilim değerlerine göre ölçülerek kaydedilen değerlerden P_{gir} ve P_{cu} ayrı ayrı hesaplanır, aradaki fark $(P_{\text{fe}} + P_{\text{mek}})$ kayıplarını verecektir. Bundan sonraki işlemde, $(P_{\text{fe}} + P_{\text{mek}}) - (U/U_n)^2$ veya $P_{\text{CU}} - (U/U_n)^2$ eğrilerinin fonksiyonel çözümü yapıldığında bulunan $P_{\text{mek}} = 0,060 \text{ Kw}$ değeri daha sonra toplam $(P_{\text{fe}} + P_{\text{mek}})$ kaybından çıkarıldığında P_{fe} değeri bulunur.

5.1.18. Toplam rotor kaybının hesaplanması

P_{rot} toplam kaybı, rotor iletken kaybı P_{cu2} ile P_{mek} kayıplarının toplamıyla bulunur.

$$P_{rot} = P_{cu2} + P_{mek}$$

$$P_{rot} = 0,160 + 0,060$$

$$P_{rot} = 0,22 \text{ kW.}$$

5.1.19. Toplam motor kaybının hesaplanması

P_{top} stator toplam kaybı P_{stat} , rotor toplam kaybı P_{rot} kayıplarının toplamıyla bulunur.

$$P_{top} = 1,044 + 0,22$$

$$P_{top} = 1,264 \text{ kW.}$$

5.1.20. Çıkış gücünün hesaplanması

$P_{çık}$ çıkış gücü $P_{giriş}$ giriş gücünden P_{top} kayıpları çıkarılarak bulunur.

$$P_{çıkış} = P_{gir} - P_{top}$$

$$P_{çık} = 5,329 - 1,264$$

$$P_{çık} = 4,07 \text{ kW}$$

5.1.21. Verimin hesaplanması

Çıkış gücünün giriş gücüne oranının bulunarak yüzde cinsinden ifade edilebilir.

$$\eta \% = \frac{P_{çıkış} \cdot 100}{P_1}$$

$$\eta \% = \frac{4,07 \cdot 1000}{5,329}$$

$\eta \% = 76$ bulunur.

5.1.22. Güç katsayısının hesaplanması

Giriş gücünün bulunduğu eşitlikten güç katsayısı yalnız bırakılarak bulunur.

$$\cos\phi = \frac{P_1 \cdot 1000}{3 \cdot U \cdot I}$$

$$\cos\phi = \frac{5,329 \cdot 1000}{3 \cdot 219,65 \cdot 10,9}$$

$$\cos\phi = 0,742$$

Çizelge 5. 6. Kilitli rotor test data değerleri 4.4 kW 1000d/dk

MOTOR KİLİTLİ ROTOR DENEYİ 4.4 kW 1000d/dk				
U _k (V)	I _k (A)	P _k (kW)	Q _k (VAR)	Cosφ
76	7,6	0,6	0,831	0,55
94	8,7	0,8	1,162	0,56
105	10,9	1,17	1,587	0,59

Kilitli rotor test datasında okunan P (kW) değeriyle, dolaylı verim hesabında elde edilen P_{stat} kayıp değerinin birbirine çok yakın değerde olduğu görülmektedir. Kilitli rotor testinde elde edilen Mk/Mn ve Ik/In değerleri standartlara uygun olarak kataloglarda belirtilen değerlere uygun olması gerekmektedir.

5.1.23. Dolaylı metot deneyinden elde edilen değerler

- 1- R_{mTn}(ohm) : 2,60
- 2- R_{mT}(ohm) : 2,05
- 3- Tn(°)Rotor : 97⁰
- 4- Tn(°)Stator : 86°

5- P ₁ (kW)	: 5,329
6- No load speed	: 972
7- s	: 0,037
8- Sıcak hız	: 963
9- P _{cu1} (kW)	: 0,926
10- P _{fe} (kW)	: 0,091
11- P ₂ (kW)	: 0,060
12- P _{stat} (kW)	: 1,044
13- P _d (kW)	: 4,325
14- P _{cu2} (kW)	: 0,160
15- P _{mech} (kW)	: 0,060
16- P _{rotor} (kW)	: 0,22
17- P _{tot} (kW)	: 1,264
18- η %	: 76
19- Cos ϕ	: 0,742
20- P _{out} (kW)	: 4,07

5.2. Dolaylı Metotla 6,6 kW Motor Çalışma Parametrelerinin Bulunması

5.2.1. Soğuk direnç ölçümü

Motor test öncesi dijital ölçü aleti ile stator faz sargı uçlarından ayrı ayrı soğuk dirençleri sırasıyla, $R_{U1-U2} = 1.510$ ohm, $R_{V1-V2} = 1.510$ ohm, $R_{W1-W2} = 1.510$ ohm olarak ölçülen bu değerler, Eş. 5.1 de kullanılarak,

$$R_{mT} = \frac{R_{U1-U2} + R_{V1-V2} + R_{W1-W2}}{3}$$

$$R_{mT} = \frac{1.510 + 1.510 + 1.510}{3} = 1.510 \text{ ohm olarak bulunmuştur.}$$

Çizelge 5.7 Test öncesi motor değerleri 6,6 kW 1500 d/dk

P _n (kW)	U _n (V)	I _n (A)	f (Hz)	n (1/dk)	R (u ₁ -u ₂)	R (v ₁ -v ₂)	R (w ₁ -w ₂)	Ortam T ⁰ C
6,6	380	14,6	50	1466	1,510	1,510	1,510	18

5.2.2 R_{mTn}, nihai sargı direncinin bulunması

Önce, yüklü çalışma testinde sıcaklık değerleri alınarak stator Δ_t bulunur, daha sonra eşitlik Eş. 5.2 kullanılarak R_{mTn} nihai sargı direnci bulunur.

$$R_{mTn} = R_{mT'} \cdot \left(\frac{235 + \text{stator}\Delta_t + t_2}{235 + t_1} \right)$$

$$R_{mTn} = 1,510 \cdot \left(\frac{235 + 73 + 21}{235 + 18} \right)$$

$$R_{mTn} = 1,960 \text{ohm.}$$

Çizelge 5.8. ısı testi sıcaklık değerleri 6,6 kW 1500 d/dk

MOTOR TİPİ 160.4.160, 6.6 kW, 1500d/dk						
Saat	Ortam Sıcaklığı °C	Termokupul (ön)	Sıcaklık Artışı °C	PT100 (ön)	PT100 (Arka)	Açıklama
08 ³⁰	18	12			-	1500 d/dk 380 V
09 ³⁰	20	104	65		-	1472 d/dk 380 V
10 ⁰⁰	21	105	71		-	1465d/dk 380 V
10 ³⁰	21	106	73		-	1465 d/dk 380 V

Motor 6.6 kW' da, stator=73 K'da rejime girmiştir.

5.2.3. T_n(°C) rotor 'un bulunması

İlk ortam sıcaklığı ile motorun rejime girdiği zaman ölçülen ortam sıcaklıkları

kullanılarak aşağıdaki eşitlik Eş. 5.3 kullanılarak $T_n (^{\circ}\text{C})$ rotor bulunur.

$$T_n (^{\circ}\text{C}) = \text{Rotor}\Delta t + t_2$$

$$\text{Rotor}\Delta t = \frac{(S_2 - S_1)}{S_1} * (225 + t_2) + (t_1 - t_2)$$

$$\text{Rotor}\Delta t = (0.320).(246) + (-3)$$

$$\text{rotor}\Delta t = 75$$

$$T_n (^{\circ}\text{C}) \text{ rotor} = 75. + 21$$

$$T_n (^{\circ}\text{C}) \text{ rotor} = 96^{\circ}$$

5.2 4. $T_n (^{\circ}\text{C})$ Stator'un bulunması

$$T_n (^{\circ}\text{C})_{\text{stator}} = \text{Stator}\Delta t + t_2$$

$$\text{Stator } \Delta t = (t_1 + 235) \cdot \left(\frac{R_{m_{T_n}}}{R_l} \right) - (t_2 + 235)$$

$$\text{Stator } \Delta t = (18 + 235) \cdot \left(\frac{1.960}{1.510} \right) - (21 + 235)$$

$$\text{Stator } \Delta t = (253).(1.298) - (256)$$

$$\text{Stator } \Delta t = 314.732 - 256$$

$$\text{Stator } \Delta t = 72^{\circ} \text{ CT}_n (^{\circ}\text{C}) \text{ stator} = 72 + 21$$

$$T_n (^{\circ}\text{C})_{\text{stator}} = 93^{\circ}\text{C}$$

5.2 5. Giriş gücünün hesaplanması

Giriş gücü P_1 , aşağıdaki yüklü çalışma sırasında yapılan ölçülen sıcaklık testinde

motorun rejime girdiğinde alınan değerlerle aşağıdaki eşitlik Eş. 5.5 kullanılır.

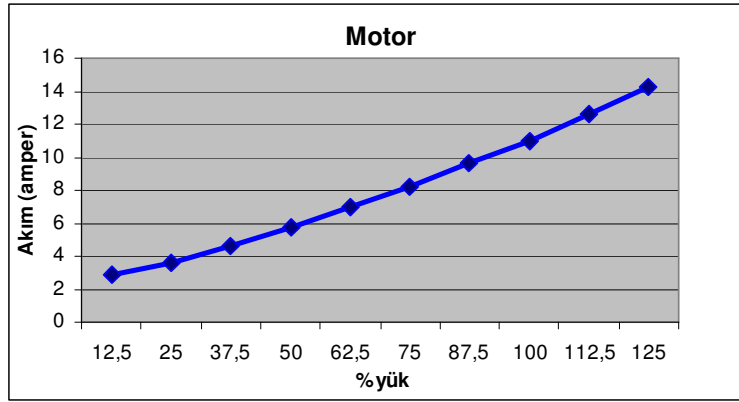
$$P_1 = 3.U.I.Cos\phi$$

$$P_1 = 3.219,65.14,6.0,815$$

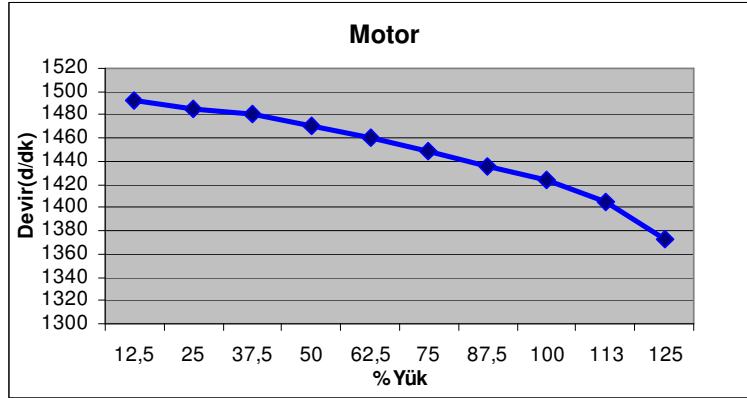
$$P_1 = 7,840.kW$$

Çizelge 5.9. Yüklü çalışma test data tablosu 6.6 kW 1500 d/dk

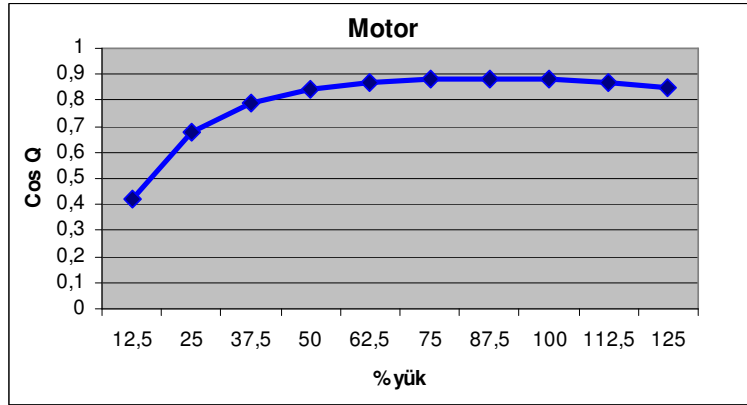
%Yük	V Volt	I Amper	F Hz	n 1/min	S kVA	Pgir kW	Q kVAR	Cos φ
12,50	408,2	2,9	50	1493	1,95	0,83	1,76	0,42
25,00	401,2	3,6	50	1485	2,45	1,67	1,80	0,68
37,50	400,7	4,6	50	1480	3,12	2,48	1,90	0,79
50,00	401,8	5,7	50	1470	3,87	3,26	2,08	0,84
62,50	399,3	7,0	50	1460	4,77	4,15	2,36	0,87
75,00	398,0	8,2	50	1448	5,58	4,88	2,67	0,88
87,50	396,7	9,6	50	1436	6,50	5,73	3,09	0,88
100,00	396,8	11,0	50	1424	7,48	6,56	3,62	0,88
112,50	396,7	12,6	50	1405	8,63	7,48	4,32	0,87
125,00	396,5,0	14,3	50	1373	9,73	8,35	5,17	0,85



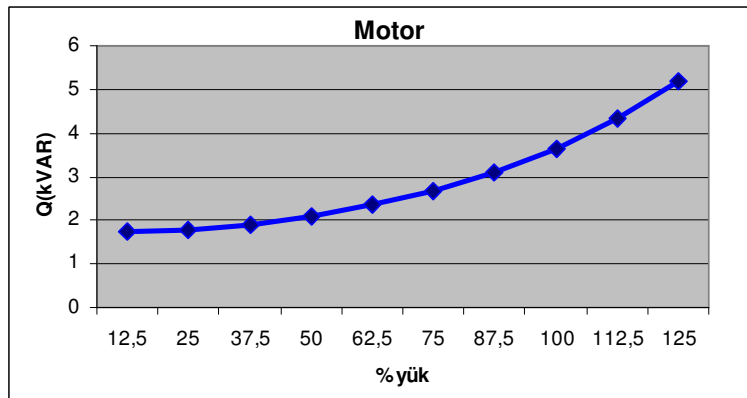
Şekil 5.13. 6,6 Kw motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak akımın değişimi



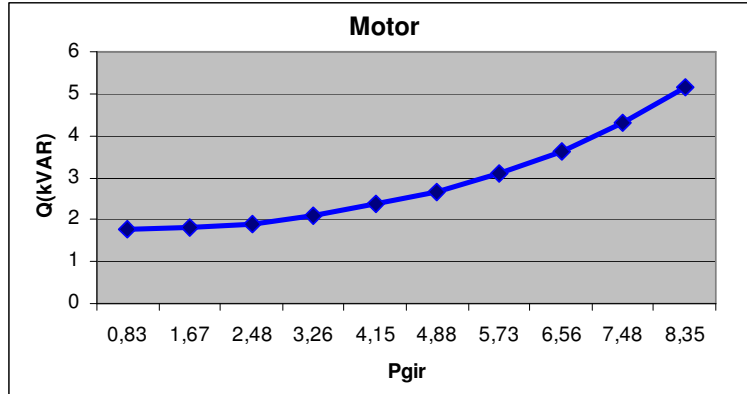
Şekil 5.14. 6,6 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak devirin değişimi



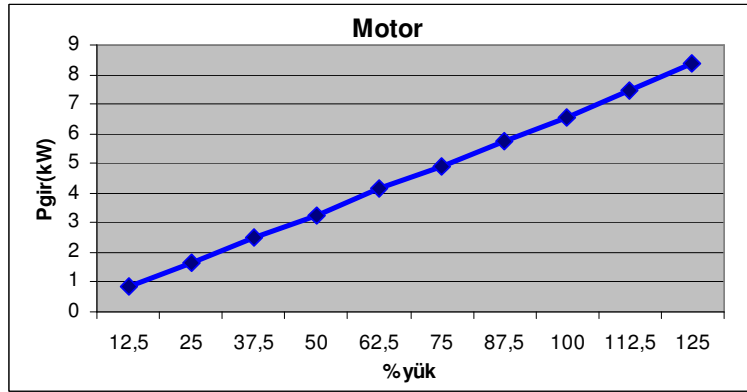
Şekil 5.15. 6,6 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak cosφ değişimi



Şekil 5.16. 6,6 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak reaktif güç değişimi



Şekil 5.17. 6,6 kW motor yüklü çalışmada aktif güç – reaktif değişim eğrisi



Şekil 5.18. 6.6 kW motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak Pgir değişim eğrisi

5.2 6. Senkron devrin hesaplanması

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{2p}$$

$$n_s = \frac{60 \cdot 50}{4} = 1500 \text{ d/dk}$$

5.2.7. Sıcak kaymanın hesaplanması

$$s (\text{sıcak_kayma}) = \frac{225 + T_n (^{\circ}C)_{Rotor}}{225 + t_1} \cdot \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

$$s (\text{sıcak_kayma}) = \frac{225 + 96}{225 + 18} \cdot \frac{1500 - 1472}{1500} = 0,023$$

5.2 8. n (sıcak hız) hesaplaması

$$n = n_s - (n_s \cdot s)$$

$$n = 1500 - (1500 \cdot 0,023) = 1465 \text{ d/dk}$$

5.2.9. Stator bakır kaybının hesaplanması

Stator bakır kaybı, motorun rejime girdiği akım değeri ile nihai çalışma sıcaklığında hesaplanan direnç değeri ile aşağıdaki eşitlik Eş.5.6 'dan bulunur.

$$P_{cu1} = 3 \cdot \frac{I^2 \cdot R_{mTn}}{1000}$$

$$P_{cu1} = 3 \cdot \frac{(14,6)^2 \cdot 1,960}{1500} = 0,835 \text{ kW}$$

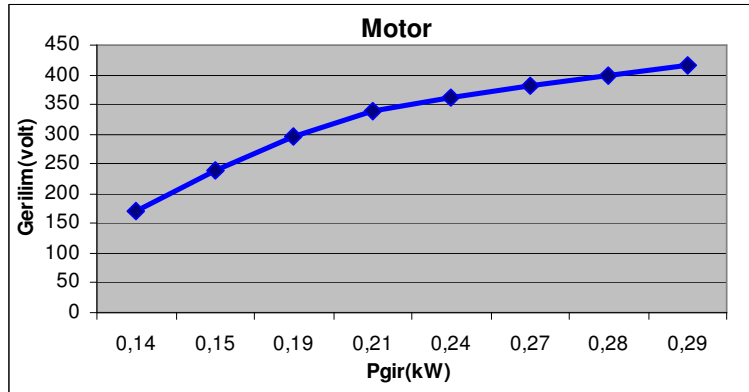
5.2.10. Demir kaybının hesaplanması

Demir kaybı yüksüz çalışma deney datasından bulunan $P_{CU} - (U/U_n)^2$ veya

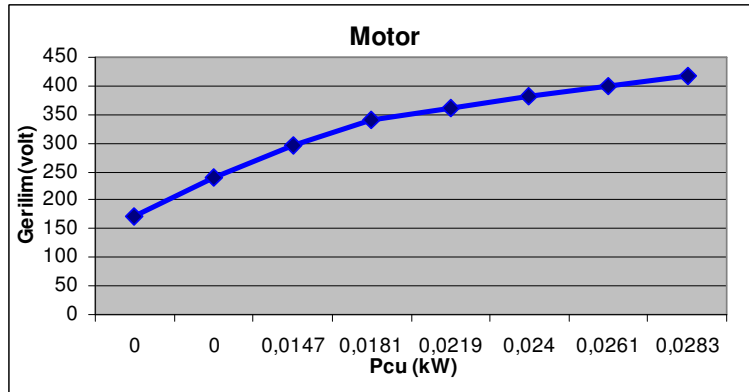
$P_{fe} + P_{mek} - (U/U_n)^2$ eğrileri çizilerek bulunur.

Çizelge 5.10. Yüksüz çalışma test data tablosu 6,6 kW 1500 d/dk

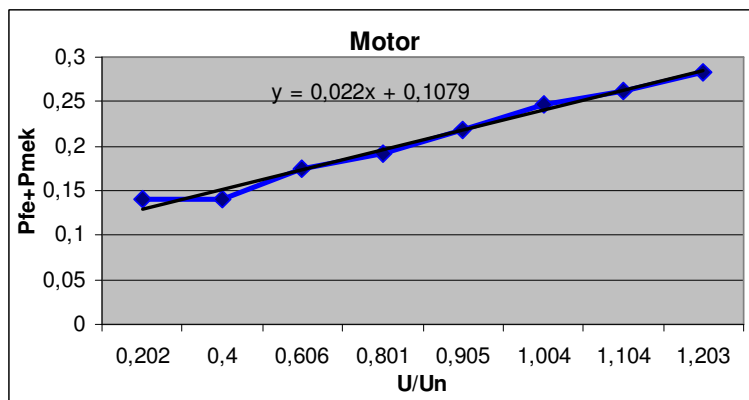
U Volt	$(U/U_n)^2$	I (A)	P (kW)	P_{cu} ($3I^2R$)	$P_{fe} + P_{mek}$ (kW)	Q (kVAR)	S (kVA)	n 1/min	Cos φ
170,8	0,202	1,1	0,14	0,0000	0,14	0,31	0,34	1496	0,42
240,2	0,400	1,5	0,15	0,0000	0,1398	0,62	0,64	1498	0,24
295,8	0,606	1,8	0,19	0,0147	0,1753	0,93	0,95	1500	0,19
340,2	0,801	2,0	0,21	0,0181	0,1919	1,25	1,27	1499	0,17
361,5	0,905	2,2	0,24	0,0219	0,2181	1,41	1,43	1499	0,17
380,7	1,004	2,3	0,27	0,0240	0,246	1,59	1,61	1499	0,17
399,2	1,104	2,4	0,28	0,0261	0,262	1,75	1,77	1499	0,16
416,8	1,203	2,5	0,29	0,0283	0,282	1,91	1,93	1498	0,15



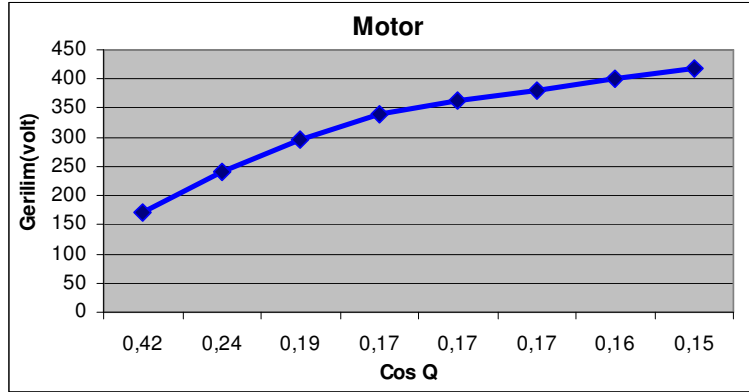
Şekil 5.19. 6.6 kW motor yüksüz çalışmada gerilime bağlı olarak Pgir değişimi



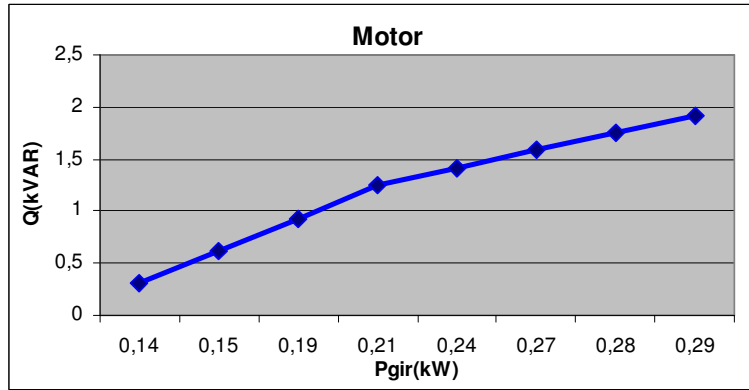
Şekil 5.20. 6.6 kW motor yüksüz çalışmada gerilime bağlı olarak Pcu değişimi



Şekil 5. 21. 6.6 kW motor yüksüz çalışmada mekanik kayıplar eğrisi



Şekil 5.22. 6.6 kW motor yüksüz çalışmada gerilime bağlı olarak Cosφ değişimi



Şekil 5. 23. 6.6 kW motor yüksüz çalışmada aktif güç – reaktif güç değişim eğrisi

Yukarıdaki her iki mekanik kayıplar eğrisinden fonksiyonun çözümünden elde edilen $P_{mek}=0.11$ değeri yukarıdaki boş çalışma data tablosundan alınan $P_{fe}+ P_{mek} = 0.246$ Toplamından çıkarıldığında $P_{fe} = 0.14$. kW değeri bulunur.

5.2.11. Ek yük kayıpları, P_2 ' nin bulunması

Bulunan giriş gücü P_1 , IEC 34-2 standardına göre 0.005 ile çarpılarak bulunur.

$$P_2 = P_1 \cdot 0,005$$

$$P_2 = 7,840 \cdot 0,005$$

$$P_2 = 0,0392 \text{ kW}$$

5.2.12. Toplam stator kaybının hesaplanması

$$P_{\text{stat}} = P_{\text{cu1}} + P_{\text{fe}} + P_2$$

$$P_{\text{stat}} = 0.835 + 0.14 + 0.0392$$

$$P_{\text{stat}} = 1.014 \text{ kW}$$

5.2.13. Statordan rotora aktarılan güç, P_d 'nin hesaplanması

P_1 giriş gücünden P_{stat} toplam kayıpları çıkarılarak P_d , rotora aktarılan güç bulunur.

$$P_d = P_1 - P_{\text{stat}}$$

$$P_d = 7.840 - 1.014$$

$$P_d = 6.826 \text{ kW.}$$

5.2.14. Rotor iletken kaybı, P_{CU2} 'nin hesaplanması

Daha önce bulunan kayma değeri s ile rotora aktarılan P_d gücünün çarpılmasıyla rotor iletken kaybı P_{CU2} bulunur.

$$P_{\text{cu2}} = s \cdot P_d$$

$$P_{\text{cu2}} = 0,023 \cdot 6,826$$

$$P_{\text{cu2}} = 0,156 \text{ kW}$$

5.2.15. Mekanik Kayıpların hesaplanması

P_{mek} kaybı, P_{mek} , demir kaybı P_{fe} gibi boş çalışma test data tablosundan çizilen

$(P_{\text{fe}} + P_{\text{mek}}) - (U/U_n)^2$ veya $P_{\text{CU}} - (U/U_n)^2$ eğrileri çizilerek fonksiyonun çözümünden

$P_{\text{mek}} = 0.11 \text{ kW}$ Olarak bulunur.

5.2.16 Toplam Rotor kaybının hesaplanması

P_{rot} toplam kaybı, rotor iletken kaybı P_{cu2} ile P_{mek} kayıplarının toplamıyla bulunur.

$$P_{rot} = P_{cu2} + P_{mek}$$

$$P_{rot} = 0.159 + 0.11$$

$$P_{rot} = 0.269 \text{ kW.}$$

5.2.17. P_{top} motor kaybının hesaplanması

P_{top} stator toplam kaybı P_{stat} , rotor toplam kaybı P_{rot} kayıplarının toplamıyla bulunur.

$$P_{top} = 1.014 + 0.269$$

$$P_{top} = 1.283 \text{ kW.}$$

5.2.18. $P_{çıkış}$ çıkış gücünün hesaplanması

$P_{çık}$ çıkış gücü $P_{giriş}$ giriş gücünden P_{top} kayıpları çıkarılarak bulunur.

$$P_{çıkış} = P_{gir} - P_{top}$$

$$P_{çık} = 7.840 - 1.283$$

$$P_{çık} = 6.557 \text{ kW}$$

5.2.19. Verimin hesaplanması

Çıkış gücünün giriş gücüne oranının bulunarak yüzde cinsinden ifade edilebilir.

$$\eta\% = \frac{P_{çıkış} \cdot 100}{P_1}$$

$$\eta\% = \frac{6.557 \cdot 1000}{7.840}$$

$\eta \% = 84$ bulunur.

5.2.20. Güç katsayısı, $\cos\phi$ 'nin hesaplanması

Giriş gücünün bulunduğu eşitlikten güç katsayısı yalnız bırakılarak bulunur.

$$\cos\phi = \frac{P_1 \cdot 1000}{3 \cdot U \cdot I}$$

$$\cos\phi = \frac{7.840 \cdot 1000}{3 \cdot 219.65 \cdot 14.6}$$

$$\cos\phi = 0.814$$

Çizelge 5.11. Kilitli rotor test data değerleri 6.6 kW 1500 d/dk

MOTOR KİLİTLİ ROTOR DENEYİ 6.6 kW 1500d/dk				
$U_K(V)$	$I_k(A)$	$P_k(kW)$	$Q_k(VAR)$	$\cos\phi$
56	10.6	0.588	0.844	0.57
67	11	0.754	1.022	0.59
76	14.6	1.182	1.480	0.62

Kilitli rotor test datasında okunan P (kW) değeriyle, dolaylı verim hesabında elde edilen P_{stat} kayıp değerinin birbirine çok yakın değerde olduğu görülmektedir.

5.2.21. Dolaylı metot deneyinden elde edilen değerler

1- $R_{mTn}(ohm)$	: 1.950
2- $R_{mT}(ohm)$	: 1.510
3- $T_n(^{\circ}C)$ Rotor	: 96°
4- $T_n(^{\circ}C)$ Stator	: 93°
5- $P_1(kW)$	: 7.840

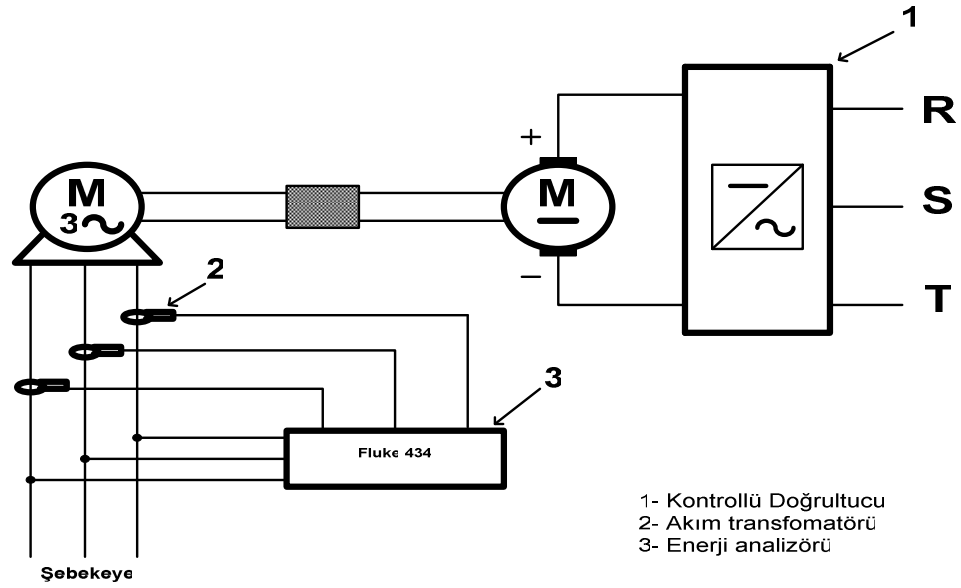
6- Boştaki hız	: 1472
7- s	: 0,023
8- Sıcak hız	: 1465
9- P_{cu1} (kW)	: 0.835
10- P_{fe} (kW)	: 0,14
11- P_2 (kW)	: 0,0392
12- P_{stat} (kW)	: 1.014
13- P_d (kW)	: 6.826
14- P_{cu2} (kW)	: 0,156
15- P_{mek} (kW)	: 0,11
16- P_{rotor} (kW)	: 0,269
17- P_{top} (kW)	: 1.283
18- η %	: 84
19- $\cos\phi$	: 0,814
20- $P_{çık}$ (kW)	: 6.557

5.3. Generatör.çalışma 1000 d/dk ve 1500d/dk Yüklü Çalışma Parametreleri

5.3.1. Deney test seti

5.3.2. Deney işlem sırası

3 fazlı 380 volt yıldız bağlı, 4.4/6.6 kW, 1000/1500d/dk değerlerindeki 3 fazlı asenkron motor tel çapı, 1000 devir;2·0,70 ve 1500 devir,2·0.75 Adım, seri yıldız olarak sarılarak, stator sargı terminal uçları faz sırası dikkate alınarak ve doğru akım motor kontrolü ile senkron devir üstündeki değerlerle yüklenerek çalıştırılıp sırasıyla 1000 d/dk ve 1500 d/dk sargı değerlerine göre veriler elde edilmiştir.

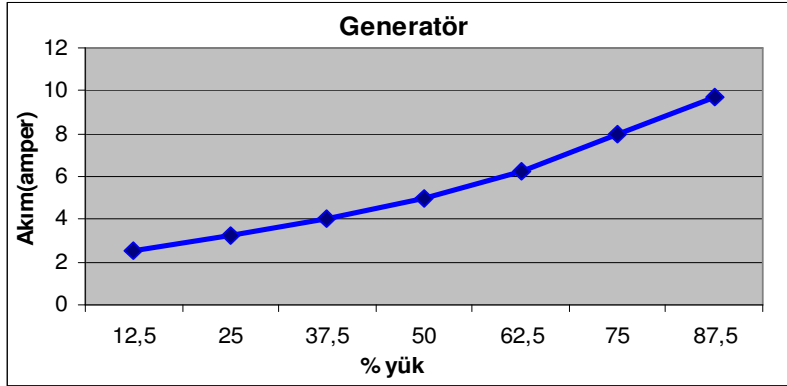


Şekil 5.24. Asenkron generatör deney seti bağlantı şeması

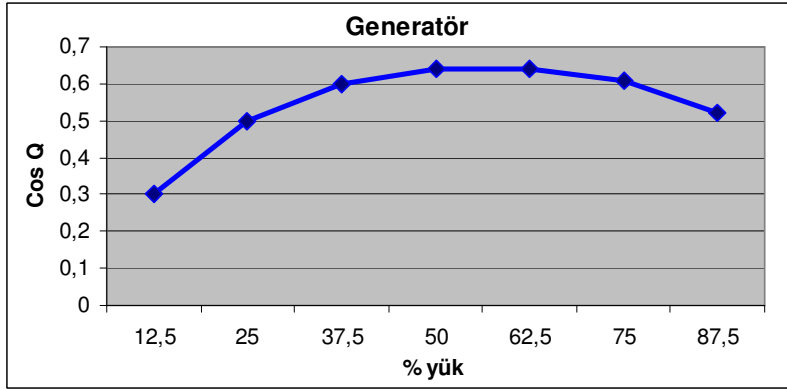
5.3.3. 1000 d/dk generatör yüklü çalışma parametreleri

Çizelge 5.12. Asenkron generatör 1000d/dk yüklü çalışma test data değerleri

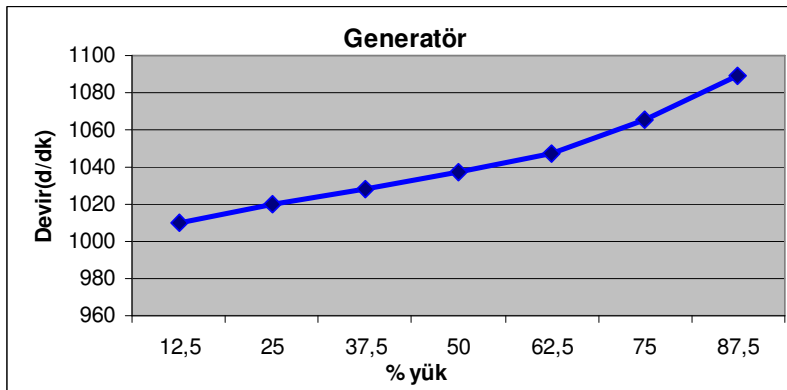
%Yük	V Volt	I Amper	F Hz	n 1/min	S kVA	P _{gir} kW	Q kVAR	Cos φ
12,50	400,3	2,55	50	1010	1,7	0,530	1,6	0,30
25,00	402,1	3,2	50	1020	2,2	1,1	1,9	0,50
37,50	401,0	4,05	50	1028	2,7	1,6	2,3	0,60
50,00	400,6	5,0	50	1037	3,4	2,2	2,6	0,64
62,50	398,1	6,25	50	1047	4,3	2,7	3,3	0,64
75,00	395,8	7,95	50	1065	5,4	3,3	4,3	0,61
87,50	393,8	9,75	50	1089	6,6	3,4	5,6	0,52



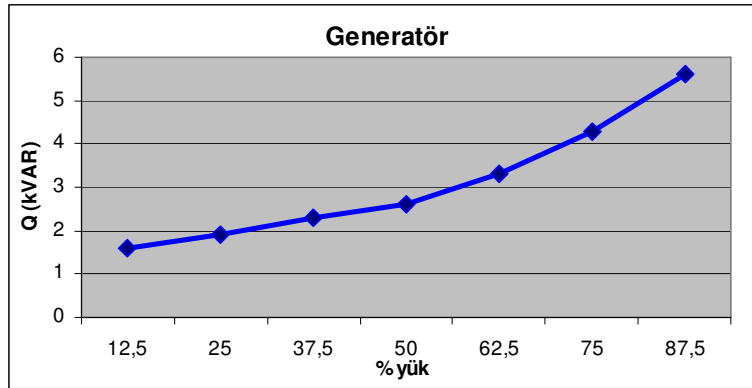
Şekil 5. 25. 4.4 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı akım eğrisi



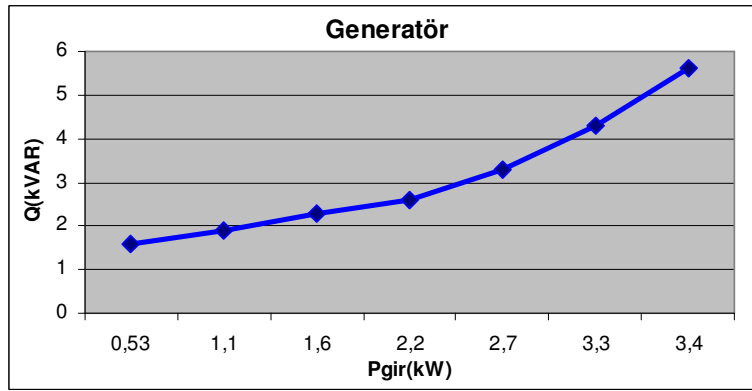
Şekil 5.26. 4.4 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı güç katsayısı eğrisi



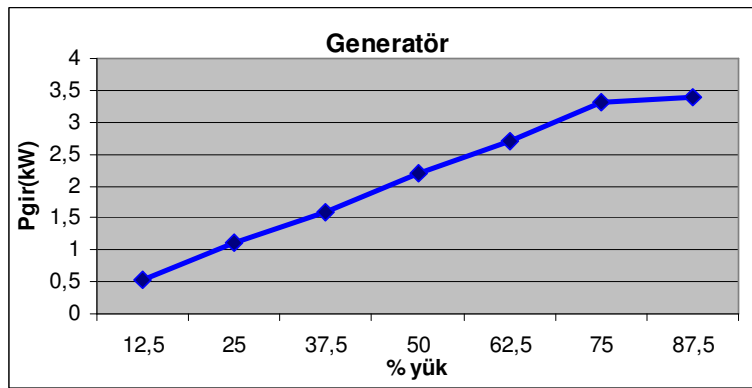
Şekil 5.27. 4.4 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı devir eğrisi



Şekil 5.28. 4.4 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı reaktif güç eğrisi

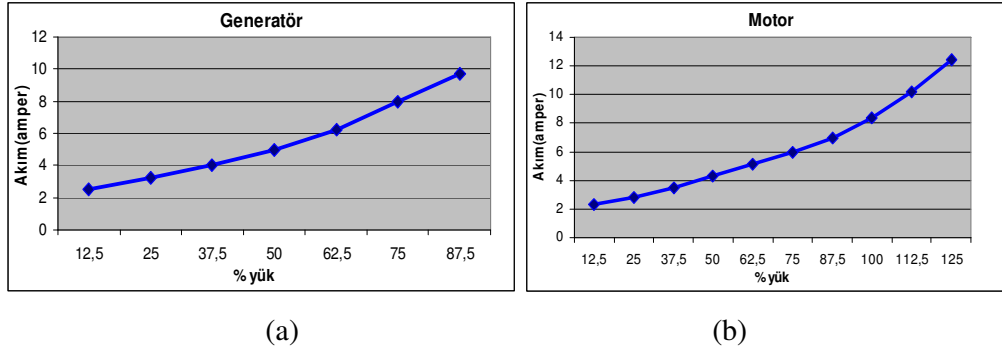


Şekil 5.29. Generatör aktif güç – reaktif güç eğrisi



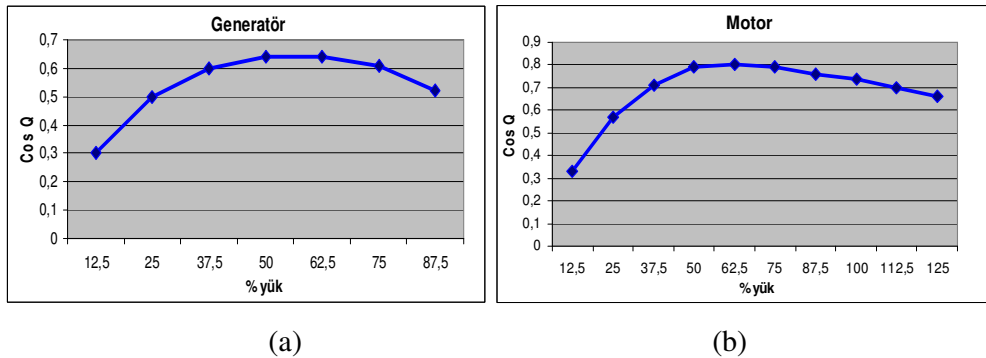
Şekil 5.30. Generatör çalışma yük – Pgir eğrisi

5.3.4. 1000 d/dk generatör – motor çalışma test eğrilerinin karşılaştırılması



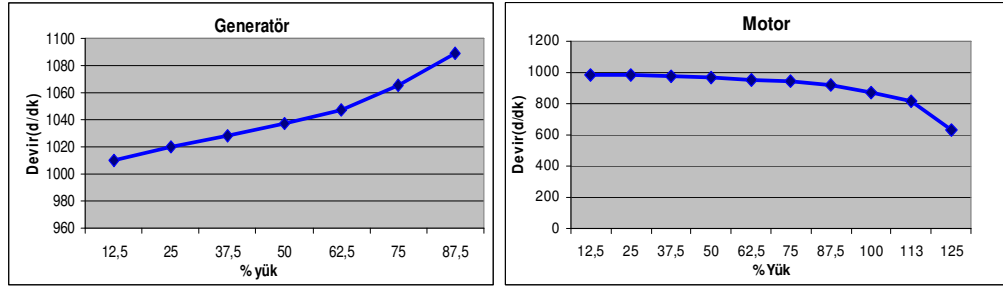
Şekil 5. 31. a) 4.4 kW motorun generatör olarak yüklü çalışmasında yük-akım eğrisi
b) 4.4 kW Motor yüklü çalışmada yüke bağlı olarak akım değişim eğrisi

Şekil 5.31. incelendiğinde; gerek motor çalışma durumunda gerekse generatör çalışmada: Akım yüke bağlı olarak lineer olarak artış göstermektedir. Motor olarak çalışmada % 125 oranında motor yüklenebilmiş ve 12.4 Amper değeri okunurken, generatör çalışmada ise ancak % 87.5 oranında yüklenebilmiş ve 9.75 Amper değeri okunmuştur.



Şekil 5.32. a) 4.4 kW motorun generatör olarak çalışmasında yük- Cosφ eğrisi
b) 4.4 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı olarak Cosφ eğrisi

Şekil 5.32'deki eğriler incelendiğinde; Generatör olarak çalışmada makinenin yüklendikçe güç katsayısının motor olarak çalışmadaki değerlerine göre daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

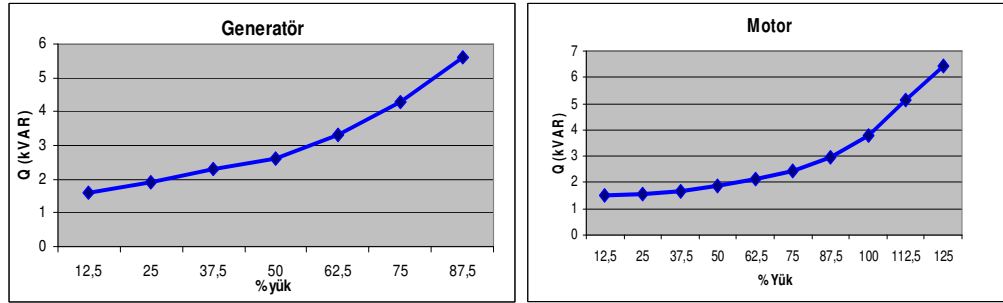


(a)

(b)

Şekil 5.33. a) 4.4 kW motorun generatör olarak çalışmasında yük - devir eğrisi
b) 4.4 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı devir değişim eğrisi

Grafik eğrileri incelendiğinde; Generatör % 87.5 oranında yüklenebilmiş ve yüke bağlı olarak generatör çalışmada senkron devir artmaktadır, motor olarak çalışmada ise; % 125 oranında yükleme yapılabilmiş ancak asenkron devir sayısı kayma oranında düşmüştür.

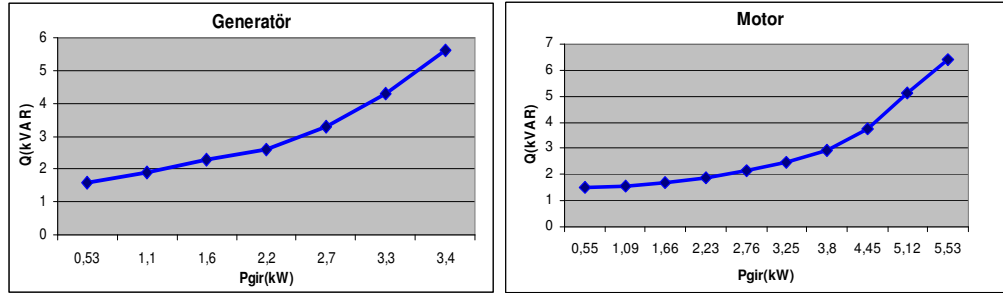


(a)

(b)

Şekil 5.34. a) 4.4 kW motorun generatör olarak çalışmasında yük-reaktif güç eğrisi
b) 4.4 kW motorun yüklü çalışmasında yük-reaktif güç eğrisi

Eğriler incelendiğinde; şekil a)'da generatör çalışmada; % 87.5 oranında maksimum yükleme yapılabilmiş ve bu oranda çektiği reaktif güç miktarı 5.650 kVAR iken, motor olarak çalışmada % 87.5 oranındaki çektiği reaktif güç miktarı: 2.95 kVAR'a eşittir.

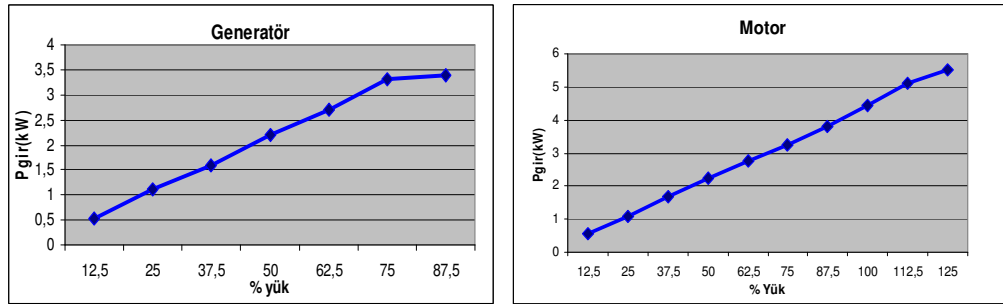


(a)

(b)

Şekil 5.35. a) 4.4 kW motorun generatör çalışmasında aktif güç – reaktif güç eğrisi
b) 4.4 kW motor yüklü çalışmasında aktif güce bağlı reaktif güç eğrisi

Motor olarak çalışmada; aktif gücün dengelenmesi için çekilen reaktif güç değeri aktif güç değerine çok yakındır, ancak generatör çalışmada maksimum yüklü çalışma noktası % 87.5’ değerinde şebekeden çekilen reaktif güç çok fazla artmıştır. Yine her iki eğriden anlaşılacağı üzere generatör çalışmada çekilen reaktif güç değeri motor olarak çalışmada çekilen reaktif güç değerinden her yükleme noktasında yüksektir.



(a)

(b)

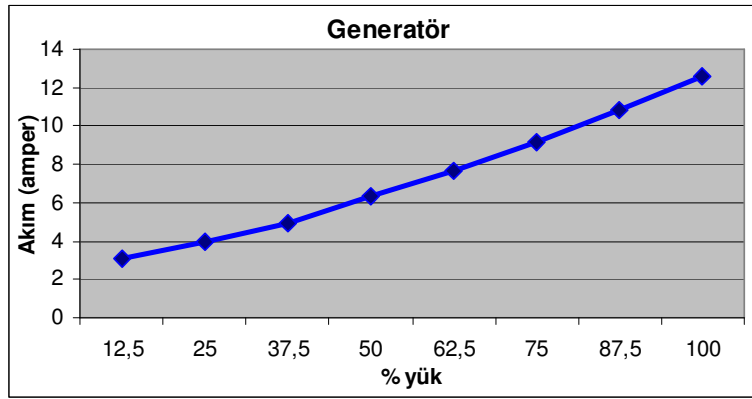
Şekil 5.36. a) 4.4 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı olarak Pgir eğrisi
b) 4.4 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı Pgir değişim eğrisi

Eğrilerden görüldüğü gibi hem generatör çalışmada hem de motor çalışmada aktif güç yükle lineer olarak artmaktadır. Generatör çalışma durumunda % 87.5 yük noktasında generatörün şebekeye verdiği aktif güç yükle orantılı olarak 3.470 kW motor çalışmada ise aynı yük değerinde çektiği güç 3.80 kW değerindedir.

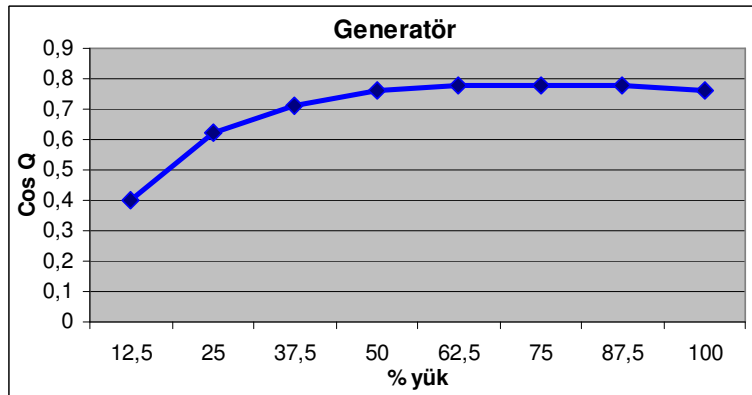
5.3.5. 1500 d/dk generatör yüklü çalışma parametreleri

Çizelge 5.13 Asenkron generatör 1500 d/dk yüklü çalışma test değerleri

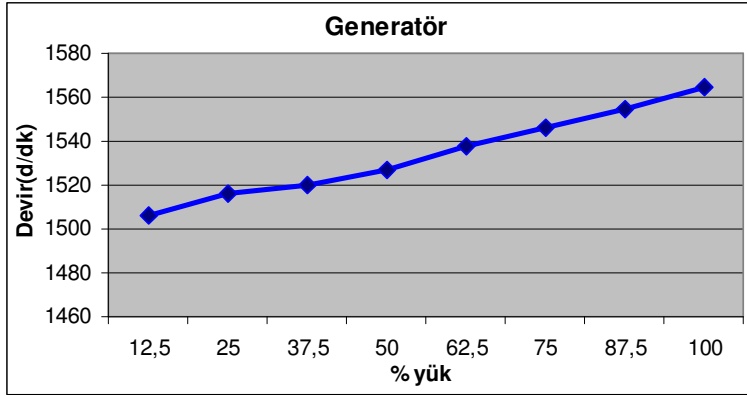
%Yük	V Volt	I Amper	F Hz	n 1/min	S kVA	P _{gir} kW	Q kVAR	Cos φ
12,50	398,8	3,05	50	1506	2,1	0,8	1,9	0,40
25,00	400,1	3,95	50	1516	2,7	1,7	2,1	0,62
37,50	400,5	4,95	50	1520	3,4	2,4	2,4	0,71
50,00	398,3	6,3	50	1527	4,3	3,3	2,8	0,76
62,50	397,7	7,7	50	1538	5,2	4,1	3,3	0,78
75,00	397,4	9,15	50	1546	6,3	4,9	3,9	0,78
87,50	396,5	10,8	50	1555	7,4	5,7	4,6	0,78
100,00	394,8	12,6	50	1565	8,6	6,5	5,5	0,76



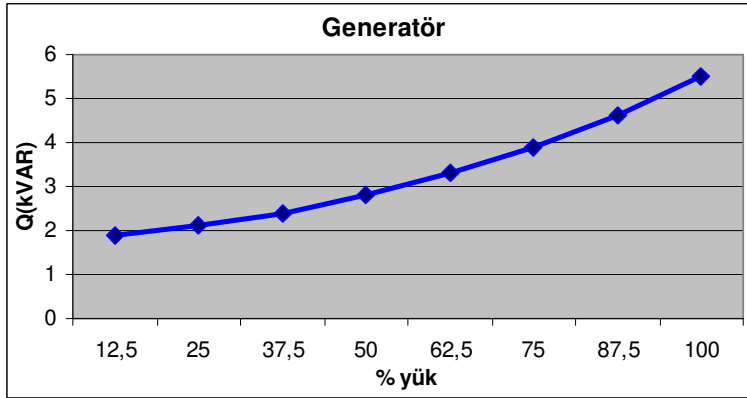
Şekil 5.37. 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yük bağlı akım değişim eğrisi



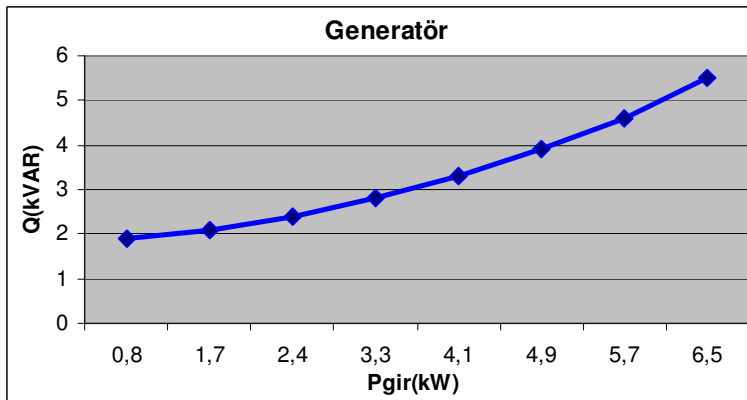
Şekil 5.38. 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı güç katsayısı eğrisi



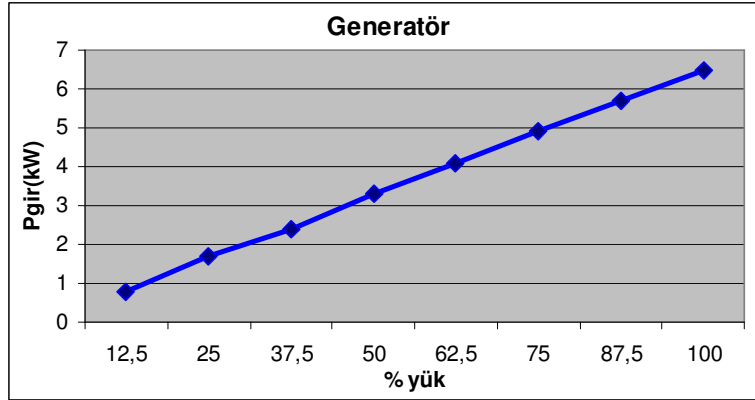
Şekil 5.39. 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı devir değişim eğrisi



Şekil 5.40. 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı reaktif güç eğrisi

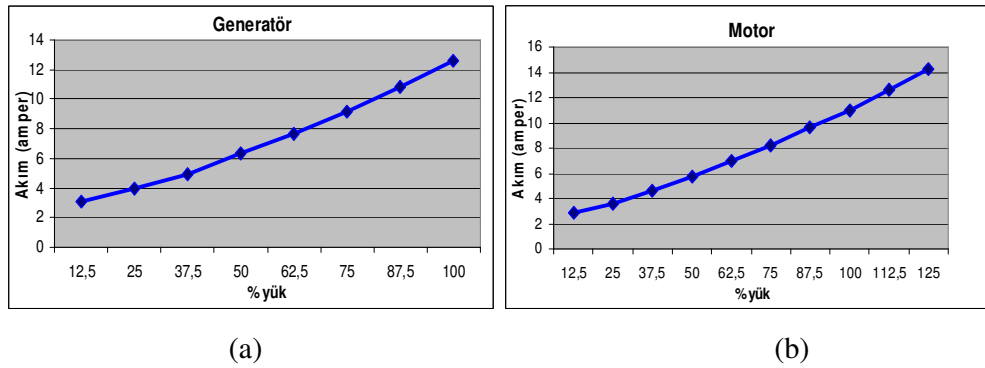


Şekil 5.41. 6.6 kW motorun generatör çalışmasında aktif güce bağlı reaktif güç eğrisi



Şekil 5.42. 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı P_{gir} değişim eğrisi

5.3.6. 1500 d/dk generatör – motor çalışma test eğrilerinin karşılaştırılması

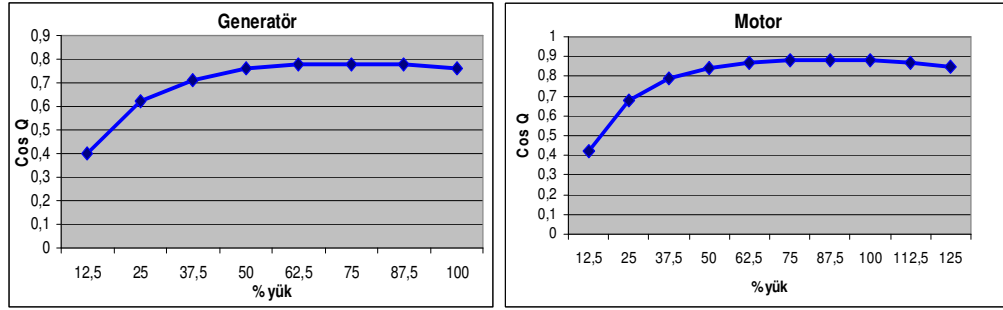


(a)

(b)

Şekil 5.43. a) 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı akım değişim eğrisi
b) 6.6 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı akım değişim eğrisi

Şekil 5.43. incelendiğinde; motor çalışma durumunda akımın lineer olarak artışı generatör çalışma durumundada aynı özelliktedir. Motor çalışma durumunda etiket değerinin % 125 oranında yükleme yapılabilmiş ve 14.3 amper değeri okunmuştur. Aynı motor generatör olarak çalıştırıldığında etiket değerinin ancak % 100 oranında yükleme yapılabilmiş ve 12.6 amper değeri okunmuştur. Akım yüke bağlı olarak lineer olarak artış göstermektedir.

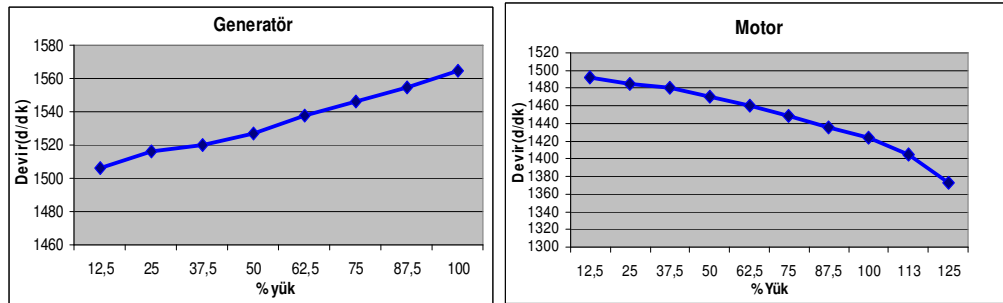


(a)

(b)

Şekil 5.44. a) 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı güç katsayısı eğrisi
b) 6.6 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı güç katsayısı eğrisi

Eğriler incelendiğinde; Generatör olarak çalışmada makinenin yüklendikçe güç katsayısının motor olarak çalışmadaki değerlerine göre daha düşük değerlerde olduğunu göstermektedir. Motor olarak çalışmada, % 100 oranında yükleme yapıldığında okunan güç katsayısı değeri 0.8 iken, Aynı motorun generatör çalışma drumunda % 100 oranında yükleme noktasında okunan güç katsayısı değeri 0.76'dır.

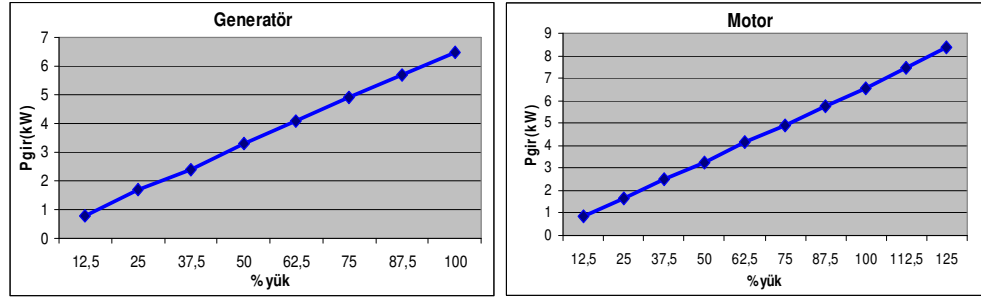


(a)

(b)

Şekil 5.45. a) 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı devir eğrisi
b) 6.6 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı devir değişim eğrisi

Grafik eğrileri incelendiğinde; Generatör çalışmada % 100 oranında yükleme esnasında okunan değer 1565 d/dk iken motor olarak çalışmada % 125 oranında yükleme yapılabilmiş ve 1373 d/dk değeri okunmuştur. Generatör çalışmada, senkron devirin yüke bağlı olarak arttığı görülürken asenkron devirin kayma oranına bağlı olarak düştüğü görülmüştür.

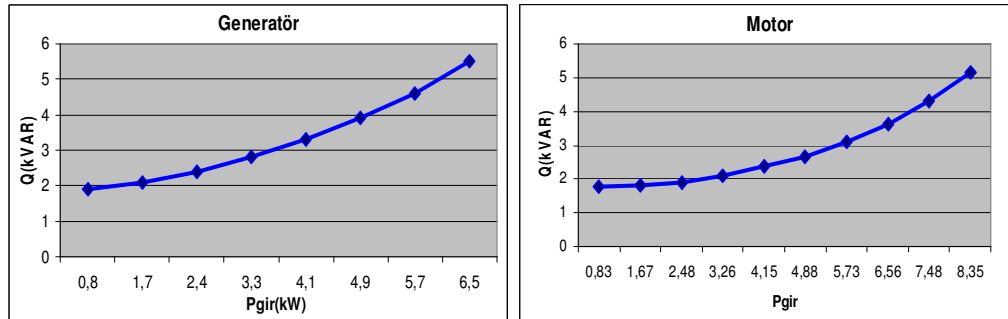


(a)

(b)

Şekil 5.46. a) 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı P_{gir} eğrisi
b) 6.6 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı P_{gir} değişim eğrisi

Şekil 5.46.'dan görüldüğü gibi hem generatör çalışmada hem de motor çalışmada durumunda aktif güç yükle lineer olarak artmaktadır. Generatör çalışmada % 100 yükleme noktasında generatörün şebekeye verdiği aktif güç yükle orantılı olarak 6.540 kW değerindedir. Motor çalışma durumunda ise % 100 yükleme değerinde motorun şebekeden çektiği güç 6.560 kW değerindedir. Görüldüğü gibi aktif güç değerleri birbirine çok yakındır.



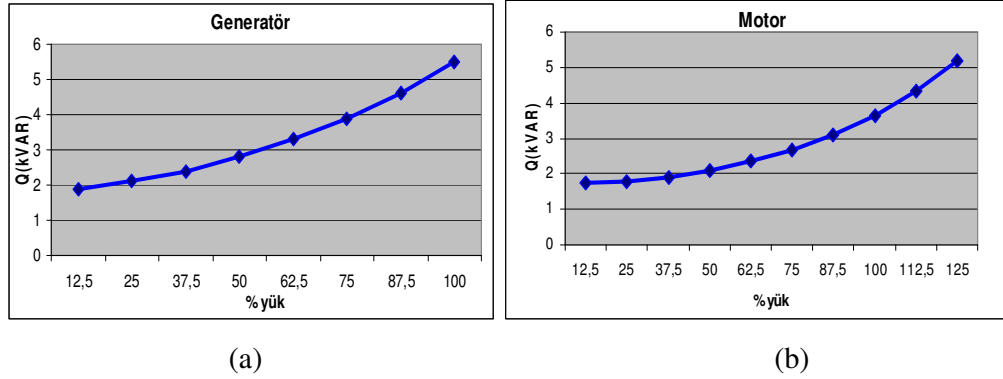
(a)

(b)

Şekil 5.47. a) 6.6 kW motorun generatör çalışmasında aktif güç-reaktif güç eğrisi
b) 6.6 kW motorun yüklü çalışmasında aktif güce bağlı reaktif güç eğrisi

Motor olarak çalışmada; şekil 5.47 b)'de görüldüğü gibi motor olarak çalışmada aktif gücün dengelenmesi için çekilen reaktif güç değeri; aktif güce nazaran azalmaktadır. Motor anma değerinde aktif güç=6.560 kW iken reaktif güç=3.62 kVAR'dır. Generatör çalışmada ise; motor çalışmanın tersine Generatörün şebekeden çektiği

reaktif güç değeri yükleme oranına bağlı olarak artmaktadır. % 100 yükleme değerinde şebekeye verilen aktif güç=6.560 kVAR ve şebekeden çekilen reaktif güç=5.560 kVAR'dır.



Şekil 5.48. a) 6.6 kW motorun generatör çalışmasında yüke bağlı reaktif güç eğrisi
b) 6.6 kW motorun yüklü çalışmasında yüke bağlı reaktif güç eğrisi

Şekil 5.48. 'de eğriler incelendiğinde; Şekil a)'da generatör çalışmada; % 100 oranında çektiği reaktif güç miktarı 5.560 kVAR iken, şekil b)'de motor olarak çalışmada % 100 oranındaki çektiği reaktif güç miktarı: 3.62 kVAR'dır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada; 3 fazlı motor ve generatör test metotları hem ulusal, hem de uluslararası standartlar açısından incelenmiş, Avrupa standart'ı IEC 34-2 3 fazlı asenkron motor test metotlarından dolayı metot uygulaması yapılmıştır. Emtaş marka 160.4.160. tipi 4.4/6.6 kW 1000/1500 d/dk üç fazlı asenkron motorun her iki güç ve devir değerlerine göre yapılan deney testlerinden alınan değerler Motor çalışma parametrelerinin hesaplamasında kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar motor etiket değerleri ile uyumludur. Dolaylı metot, kayıpların ve verimin bulunmasında kullanılan test seti maliyeti açısından ve mekanik kayıpların grafik yöntemi ile kolayca ayrılarak hesaplamaları kolaylaştırması bakımından oldukça tercih edilebilecek bir test metodudur. Aynı etiket değerli asenkron motor gerekli test düzeneği kurularak generatör olarak çalıştırılmış ve aktif güçler ve reaktif güçler açısından deney sonuçlarına göre çizilen grafik eğrilerinin analizi yapılmıştır. Enerji ihtiyacındaki hızlı artış sonucu enerji üreticileri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişler ve bu kaynaklardan rüzgar türbinlerini daha çok üretmeye yönelmişlerdir. Dünyada rüzgar türbini üretici firmaları özellikle asenkron generatörleri türbinlerde kullanmaya başlamışlardır. Bu tercihin başlıca sebepleri; düşük maliyetleri, güvenilirlikleri, bakımlarının kolaylığı, mekanik yapılarının uygunluğu, sürekli geliştirilmeleri ve düşük maliyetlerinin yanı sıra asenkron generatörlerin elektronik devre tasarımlarıyla değişik hızlarda gerilim ve frekans ayarlarının kolayca yapılmasıdır. Yapılan deney sonuçlarında asenkron motor etiket değerleri ile asenkron generatör çalışmada elde edilen parametreler karşılaştırıldığında, güç ve verim açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma; 3 fazlı motor üreticileri ile günümüzde enerji üretimi ile önem kazanan asenkron generatör tasarım ve seçimi için çalışma yapanlara yardımcı olacak içeriktedir. Yüksek kutup sayılı asenkron generatör uygulaması ilerde yapılabilecek bir çalışmadır.

KAYNAKLAR

1. Chapman, J, Stephen., “Electric machinery Fundamentals 3rd ed.”, *The McGraw Hill Companies*, the United States of America, 215 (1999).
2. Sarıoğlu, K., “Elektrik makinelerinin temelleri asenkron motorlar 2. basım.”, *Çağlayan kitapevi*, İstanbul, 1 (1983).
3. Fitzgerald, E, A., Jr, Kingsley, Charles., Umans, D, Stephen., “Electric machinery 9th ed.”, *Mc Graw Hill*, Tokyo, 127 (1992).
4. Altunsaçlı, A., Alacalı, M., “Elektrik makineleri 1. basım.”, *Color Ofset*, İskendurun, 7-10 (2003).
5. Ceylan, H., “Elektrik atelyesi bobinaj 1. basım.”, *Çevik Matbaacılık*, İstanbul, 76 (2000).
6. Korkmaz, Y., “Asenkron motora ait büyüklüklerin bilgisayarda çizilen daire diyagramından tespiti”, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-17 (1993).
7. Gürdal, O., “Elektrik makinelerinin tasarımı, 1. basım.”, *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 99 (2001).
8. Hubert, I, Charles., “The control of Electric machinery 3nd ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey, 134-195 (2002).
9. Gökkaya, M., Oğuz, N., “Alternatif akım makineleri 1. basım.”, *Şenyuva basım sanayi*, Ankara, 84-85 (1974).
10. Çolak, İ., “Asenkron motorlar 1.basım.”, *Nobel yayın dağıtım*, Ankara, 5-35 (2001).
11. Mohan, N., Undeland, M, T., Robbins, P, W., “Güç elektroniği 2.basım.”, *Literatür Yayıncılık Dağıtım*, İstanbul, 428 (2003).
12. Saçkan, A, H., “Elektrik makineleri 1.basım.”, *Birsan yayınevi*, İstanbul, 17-65 (1994).
13. Peşint, M, A., Ateş, H, M., “Elektrik makinelerinin temelleri asenkron motorlar 1.basım.”, *Gazi üniversitesi, basın-yayın yüksekokulu matbaası*, Ankara, 513-514 (1990).
14. Renier, B., Hameyer, K., Belmans, R., “Comparison of standarts for determining efficiency of three phase induction motors”, *IEEE transactions on Energy Conversion*, 14(3): 514-515 (1999).

15. Terzi, K., “Mini hidroelektrik sistemler için gerilim ve frekans kontrol asenkron generatör tasarımı”, Doktora tezi, **Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 53-55 (2000).
- 16.). Hubert, I, Charles, “Electric machines theory operation applications adjustment and control 2nd ed.”, **Pearson Education Inc. Upper Saddle River**, New Jersey of America, 221-227 (2002).
17. Almeida, De, T, A., Fernando, J, T, E, F., Busch, F, J., Angers, P., “Comparative Analysis of IEEE-B and IEC 34-2 Efficiency Testing Standards Using Stray Load Losses in Low-Voltage Three-Phase, Cage Induction Motors.”, **IEEE Transactions On Industry Applications**, 38(2): 608-609 (2002).
18. Electric Machinery Committee., “Standart test procedure for pollyphase induction motors and generators”, **IEEE Std 112**, Newyork, 1-79 (2004).
19. International Electrotechnical Commisison., “Rotating electrical machines”, **IEC 34-2**, Geneve, 1-56 (1972).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BOZKURT, Vedat
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.10.1959 Hatay
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 365 53 40
Faks : 0 (312) 364 39 70
e-mail : vedatbozkurt34@hotmail.com.tr.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Marmara Üniversitesi/ Elektrik Bölümü	1983
Lise	Sultanahmet Endüstri Meslek Lisesi	1977

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1994-2006	Abidinpaşa Endüstri Meslek Lisesi	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Masa tenisi, Bilgisayar teknolojileri, Voleybol, Futbol, Seyahat etmek