

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**DENİZ TAŞITLARINDA KULLANILAN ÜÇ FAZLI ASENKRON
MOTORLARIN ELEKTRİKSEL VE MEKANİK PERFORMANS
TESTLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yılmaz KANBUR

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**ŞUBAT 2024
İSTANBUL**

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**DENİZ TAŞITLARINDA KULLANILAN ÜÇ FAZLI ASENKRON
MOTORLARIN ELEKTRİKSEL VE MEKANİK PERFORMANS
TESTLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yılmaz KANBUR
(211280007)**

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Feriha Erfan KUYUMCU

İstanbul 2024



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Jüri Tez Onay Formu

08.02.2024

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Bu çalışma 08.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği (Tezli Yüksek Lisans) Programı, Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Feriha Erfan KUYUMCU

Danışman

İstanbul Gedik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL

Üye (İmza)

İstanbul Gedik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Koray ERHAN

Üye (İmza)

Marmara Üniversitesi

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Deniz Taşıtlarında Kullanılan Üç Fazlı Asenkron Motorların Elektriksel ve Mekanik Performans Testlerinin İncelenmesi” adlı çalışmanın, hazırlık safhasından sonuçlanmasına kadar yapılan bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve beyan ederim.

Yılmaz KANBUR



ÖNSÖZ

Öncelikle bilgi birikimlerini ve deneyimlerini bizlerle paylaşan değerli hocalarıma ve proje hazırlama süresince bana özellikle yardımcı olan danışmanım olan ve çok değerli hocam, Sn. Prof. Dr. Feriha ERFAN KUYUMCU'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederim. İstanbul Gedik Üniversitesi'ne sunduğu imkânlardan ve eğitimimize olan katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bana bu imkanı sağlayan ve bana inanan aileme de inançlarından dolayı teşekkür ederim.

Şubat 2024

Yılmaz KANBUR

Elektrik-Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SEMBOLLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Asenkron Motorlarda Oluşabilecek Arıza Tipleri.....	2
1.2 Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Elektromanyetik Moment ile Tespiti.....	4
1.3 Hava Aralığı Eksenel Kaçıklığı Arızası ve Rulmanlar	6
2. BÖLÜM.....	9
2.1 Üç Fazlı Asenkron Motorların Yapısı	9
2.2 Statorun Sargı ve Oluk Yapısı.....	9
2.3 Asenkron Motorun Bağlantı Şekilleri	11
2.3.1 Asenkron motorun yıldız ve üçgen bağlantıları	12
2.4 Motorun Üç Fazlı Besleme Sistemleri ve Motor Rotasyonunun Oluşumu.....	13
2.6 Motorun Dönen Manyetik Alan Sonucu Dönüş Operasyonu	17
2.7 Arızasız Asenkron Motorun Model Şeklinin Belirlenmesi.....	21
2.8 İki Kutuplu Asenkron Motorun Dönen Manyetik Alanı	26
2.9 Rotor Oluk Yapıları.....	29
2.10 Rotoru Bilezikli Asenkron Motor	32
2.11 İndüksiyon Motorun Teknik Matematiksel Modeli	34
2.12 Asenkron Motorun Matematiksel Modeli	36
2.13 Motorun Dönüş Sırasında Geri Kayması	43
2.14 Üç Fazlı Asenkron Motorda Yol Verme Yöntemleri	46
3. BÖLÜM.....	48
3.1 Rulmanlar ve Planlanmış Rutin Motor Bakımı	48
3.2 Sargıların Temizlenmesi ve Kurutulması.....	53
3.3 Kestirimci Bakım Analizi.....	53
3.4 Motorlarda Kullanılan Yardımcı Hesaplama Formülleri	55
3.5 Motorlarda Arıza Durumlarının İzlenmesi ve Tespitlerinin Yapılması	56
3.6 Asenkron Motorlarda Oluşan Arıza Bilgileri.....	57
3.7 Mil Yataklama Eksenel Arızaları	59
3.8 Gemilerde Kullanılan Balast Pompası Motoru	60
3.9 Asenkron Motorda Oluşan Gerilim Dalgalanmaları	61
3.10 ASM Rotor Arızaları.....	62
3.11 Asenkron Motorun Stator Arızaları.....	68
3.11.1 Isıl nedenler	70
3.11.2 Elektriksel nedenler	71
3.11.3 Gövdeye kaçak durumları.....	72

3.11.4 Mekaniksel oluşan nedenler	73
3.11.5 Çevresel etkiler	74
3.12 Diğer Arızalar	75
3.13 Asenkron Motorun Arıza Tespitinde Kullanılan Yöntemler.....	75
3.14 Mil Eksen Kaçıklığının Nedenleri.....	76
3.15 Mekanik Güç Aktarımında Kullanılan Elemanlar ve Kaplinlerin Önemi.....	77
3.16 Asenkron Motor Sargılarının Kontrolünün Yapılması.....	78
3.17 Asenkron Motorun Sağlık Test Ölçümlerinin Yapılması	79
3.18. Uluslar arası titreşim standardı IEC 60034-14.....	87
3.18.1 Titreşim büyüklüğü	89
3.18.2 Bağlı şaft titreşimi	90
3.18.3 Ölçüm ekipmanı	90
3.18.4 Motor titreşim test limitleri.....	90
3.18.5 Yüzer elektrik santrali gemi motorları listesi	91
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	95
Ek-1: Yüzer Elektrik Santrali Gemi Motorları Listesi	95
ÖZGEÇMİŞ.....	100

SEMBOLLER

A	: Öteleme Parametresi
B	: Kaydırma Parametresi
B	: Vizkoz Sürtünme Katsayısı (N/rad/s)
C_k	: Harmoniklerin Ağırlığı
$\square\square$: Veri Sayısı
D_c	: Rulman Dış Çapı-mm
D_b	: Bilya Çapı-mm
e	: Ağ Çıkışının Veri Çıkışına Göre Sapma Değeri
f_a	: Aktivasyon Fonksiyonu
f_b	: Rotor Çubuk Kırığı Arızası Frekans Bileşeni - Hz
f_{bi}	: Bilya Arızası Frekans Bileşeni -Hz
f_{ecc}	: Eksenden Kaçıklık Arızası Frekans Bileşeni – Hz
f_{db}	: Dış Bilezik Arızası Frekans Bileşeni – Hz
f_{ib}	: İç Bilezik Arızası Frekans Bileşeni – Hz
f_{ka}	: Kafes Arızası Frekans Bileşeni – Hz
f_r	: Rotor Frekansı – Hz
f_v	: Titreşim Frekansı Karakteristiği – Hz
F_1	: Çerçeve Enerjisi
F_2	: Maksimumlar
F_3	: Basıklık
F_4	: Çarpıklık
$g(t)$: Ana Dalgacık
i_1	: Dış Dünyadan Nerona Yapılan Giriş
i_{as}, i_{bs}, i_{cs}	: Stator Faz Sargı Akımları - A
i_{r0}	: Rotor Akımı Sıfır Bileşeni – Hz
$i_{L(t)}$: Faz Akımı -A
J	: Eylemsizlik Momenti (kg-m ²)
K	: Ayrıklaştırma Katsayısı
L_s	: Statorun Her Bir Faz Sargısının Endüktansı (H)
L_r	: Rotor Çevre Endüktansı (H)
$L_{s\sigma}$: Stator Kaçak Endüktansı Bileşeni
$L'_{r\sigma}$: Rotor Kaçak Endüktans Bileşeni
M	: Rotor Çubuk Sayısı
M_{ss}	: Stator Faz Sargıları Arası Karşıt Endüktansı (H)
M_{rr}	: Rotor Çubukları Arası Karşıt Endüktans (H)
M_e	: Elektromanyetik Moment (Nm)
n_d	: Eksenden Kaçıklık Derecesi
n_w	: Stator Zaman Harmoniklerinin Derecesi
n_b	: Bilya Sayısı
P_j^*	: Olasılık Yoğunluğu
P(t)	: Ani Güç (W)

P	: Kutup Çifti Sayısı
R_s	: Stator Her Bir Faz Sargısı Omik Direnci (Ω)
R_ζ	: Rotorun Her Bir Çubuğunun Direnci (Ω)
rms	: Etkin Değer
S	: Segment Sayısı
s	: Kayma
S_{ij}	: j. Motor Akım Segmentinin i. Aralığındaki Genlik Değeri Sayısı
T	: Periyot – sn
V_{min}	: Sinyalin Minimum Genlik Değeri
V_{max}	: Sinyalin Maksimum Genlik Değeri
V_{as}, V_{bs}, V_{cs}	: Stator Sargılarına Uygulanan Faz Gerilimleri – V
V_{s0}	: Stator Geriliminin Sıfır Bileşeni
V_{s+}	: Stator Geriliminin Pozitif Bileşeni
V_{s-}	: Stator Geriliminin Negatif Bileşeni
θ	: Açısal Rotor Konumu (rad)
ψ_r	: Rotor Akısı (Wb)
ψ_s	: Stator Akısı (Wb)
β	: Bilya Temas Açısı (Rad)
σ	: Standart Sapma
σ^2	: Varyans
ω	: Açısal Hız (rad/sn)
x(t)	: Sinyal

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: FDIS Belgeleri Kartı	88
Çizelge 3.2: IEC-60034-14 Normu Motor Titreşim Limitleri.....	91



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Elektrik Motor Arızalarının Dağılımı	4
Şekil 1.2: Asenkron Motorlarda Oluşan Arıza Modelleri	4
Şekil 1.3: Rotorun Eksenden Çıkma Şekilleri	6
Şekil 2.1: Statorun İç Yapısı	10
Şekil 2.2: Üç Fazlı Asenkron Motorun Stator ve Rotor Sargıları	10
Şekil 2.3: Ağzı Açık Tipte Tasarlanan Stator Oluk Yapıları	10
Şekil 2.4: Ağzı Yarı Açık ve Tam Açık Tipte Stator Oluk Yapıları	10
Şekil 2.5: Kapalı Tip Stator Oluk Yapıları	11
Şekil 2.6: Bir Motorun Etiket Bilgisi Örneği	11
Şekil 2.7: Asenkron Motorun Yıldız Bağlantı Şeması	12
Şekil 2.8: Asenkron Motorun Üçgen Bağlantı Şeması	13
Şekil 2.9: Manyetik Ortamda Akım Taşıyan Bir Tel Üzerinde Üretilen Kuvvet ve Alan Çizgileri	14
Şekil 2.10: Gerilimin Sinüs İfadesi Değişimi - $x(t)$	16
Şekil 2.11: Elektrik Sistemlerinde 3 Fazın Zamana Göre Akış Grafiği	17
Şekil 2.12: Motor İçindeki Sargıların Birbirleri Arasında 120° Yerleşimi	17
Şekil 2.13: Motor İçindeki Sargıların Manyetik Akı Dağılımı Durumu ve 30° Göre Değerleri	18
Şekil 2.14: Motor İçindeki Sargıların Manyetik Akı Dağılımı Durumu ve 60° 'ye Göre Değerleri	19
Şekil 2.15: Motor İçindeki Sargıların Manyetik Akı Dağılımı Durumu ve 90° 'ye Göre Değerleri	20
Şekil 2.16: Motor İçindeki Sargıların Magnetik Akı Dağılımı Durumu ve 120° 'ye Göre Değerleri	21
Şekil 2.17: İki Kutuplu Bir Asenkron Motorun Dönen Manyetik Alanı (Radyan) ...	26
Şekil 2.18: Asenkron Motorun Üç Fazlı Stator Akım ve Gerilim Fazörleri	29
Şekil 2.19: Rotorların Oluk Yapılarındaki İmalat Örnekleri	30
Şekil 2.20: Sincap Kafesli Rotorun Görüntüsü	31
Şekil 2.21: Motorun İç Yapısı ve Model Kesiti	31
Şekil 2.22: Rotoru Bilezikli Asenkron Motor	32
Şekil 2.23: Ferrari ve Tesla Motor Yapıları	35
Şekil 2.24: Üç fazlı Sincap Kafesli Motorun Matematik Model Devresi	36
Şekil 2.25: Asenkron Motorun Güç Karakteristik Grafiği	43
Şekil 2.26: Sincap Kafesli Asenkron Motorun Çalışma Karakteristiği Grafiği	45
Şekil 3.1: Motor Şaft Rulman Kesiti	48
Şekil 3.2: Asenkron Motorun Tasarım Parçaları	57
Şekil 3.3: Milde Kullanılan Ezilmiş Rulman Görüntüsü, (Motor Etiket: 55kW/440V/60Hz) [Desan Shipyard]	60
Şekil 3.4: Asenkron Makinanın Hata Nedenleri Durumlarının Dağılımı Grafiği	63
Şekil 3.5: Matkapla Delinerek Oluşturulmuş Rotor Arızaları	65
Şekil 3.6: Motorda Stator Yanıklarına İlişkin Görseller	69

Şekil 3.7: Motorda Arıza Nedenleri	69
Şekil 3.8: Stator Arızasının Farklı Tipleri Şeması	70
Şekil 3.9: a) Parellel Yapı Bozulması b) Açısal Kayma c) Doğru x-Line Alma İşlemi	78
Şekil 3.10: Asenkron Motorun Klemens Kuplajı Sökülmüş – [Desan Tersanesi]	79
Şekil 3.11: Meğer Ölçümü Kontrolü – [Desan Tersanesi]	79
Şekil 3.12: Motorun Rulmanının Söküldüğü Bir Görüntü, [Desan Tersanesi]	80
Şekil 3.13: Motorun Sargı ve Gövde Arası Meğer Testi-[Desan Tersanesi].....	80
Şekil 3.14: Motor ve Topraklanmış Test Sehpası – [Desan Tersanesi].....	81
Şekil 3.15: 400V-50Hz/440V-60Hz Scada Dokunmatik Sürücü Kontrol Paneli- [Desan Tersanesi]	81
Şekil 3.16: 17 UNI-T UT312 Titreşim Test Ölçüm Cihazı-[Desan Tersanesi].....	82
Şekil 3.17: Dijital Takometre Ölçüm Cihazı-[Desan Tersanesi].....	82
Şekil 3.18: Motora 60 Hz Frekans Uygulanması-[Desan Tersanesi]	83
Şekil 3.19: Motora 60 Hz Frekans /1200 rpm/min – [Desan Tersanesi]	83
Şekil 3.20: Fluke Termal Kamera ile Gövde Isınma Testi -[Desan Tersanesi].....	84
Şekil 3.21: Fluke Termal Kamera ile Rulman Isınma Testi -[Desan Tersanesi].....	84
Şekil 3.22: FDİS Belgeleri Kartı	85
Şekil 3.23: IEC-60034-14 Normu Motor Titreşim Limitleri.....	90
Şekil 3.24: Elektrik Santrali Gemisindeki Kullanılan Motor Listesi.....	98

DENİZ TAŞITLARINDA KULLANILAN ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORLARIN ELEKTRİKSEL VE MEKANİK PERFORMANS TESTLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel tahrik alanında yaygın olarak kullanılan asenkron motorlarda meydana gelen arızaların önemi vurgulanmış ve bu arızaların önceden tespiti için geliştirilmiş çeşitli mekanizma yöntemleri ele alınmıştır. Asenkron motorların, yük, gerilim, akım ve frekans değişimlerine karşı dayanıklılığı ve yüksek verimliliği, endüstriyel uygulamalarda tercih edilme nedenlerinden biridir. Bu nedenle, bu makinelerde meydana gelebilecek hataların erken tespiti, sistemlerin uzun süre kapalı kalmaması, sağlık ve güvenlik sorunlarının önlenmesi, işgücü ve maddi kayıpların azaltılması açısından kritik bir öneme sahiptir.

Özellikle, asenkron motorlardaki teknik arızalar araştırılmış ve stator sargı, rotor çubukları, rulman-şaft mekanik hatalar gibi sık karşılaşılan sorunlara odaklanılmıştır. Stator sargı hataları genellikle sargılar arası kısa devre ile başlar ve zamanla daha ciddi sorunlara, örneğin faz, faz-faz veya faz-nötr arası kısa devre ve izolasyon arızasına yol açabilir. Bu nedenle, stator sargı hatalarının gerçek zamanlı erken tespiti veya tahmini, potansiyel zararların en aza indirilmesi için kritik bir öneme sahiptir.

Çalışma, asenkron motorlardaki arızaların tespiti için kullanılan çeşitli teknikleri ve yöntemleri detaylı bir şekilde incelemekte, bu sayede endüstriyel tesislerde makine güvenilirliğini artırmak ve operasyonel verimliliği optimize etmek amacını taşımaktadır.

Deniz taşıtlarında kullanılan 440V/60Hz gerilimle beslenen üç fazlı asenkron motorlarda oluşan sargı, kısa devre, mekanik arızalarının analizi ve ortaya çıkartılmasına yönelik teknik analiz ve uygulamalı çalışmalar yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Asenkron motorlar, Stator sargısı, Rotor çubuğu kırılma hataları, Rotor eksen kaçıklığı, Elektrik ve mekanik arızaların analizi*

INVESTIGATION OF ELECTRICAL AND MECHANICAL PERFORMANCE TESTING OF THREE-PHASE INDUCTION MOTORS IN MARINE VEHICLES

ABSTRACT

In this study, the importance of faults occurring in asynchronous motors common used in the industrial drive sector has been emphasized, and various mechanisms a method developed for the early detection of these faults have been discussed. The

Asynchronous motors to changes in load, voltage, current, and frequency, as well as their high efficiency, makes them preferred in industrial applications. Therefore, the early detection of faults that may occur in these machines is crucial to prevent systems from being offline for an extended period, to mitigate health and safety issues, and to reduce labor and material losses.

Particularly, technical faults in asynchronous motors have been investigated, focusing on common issues such as stator winding faults, rotor bar faults, and bearing-shaft mechanical faults. Stator winding faults typically begin with inter-turn short circuits and can lead to more serious problems over time, such as phase-to-phase or phase-to-neutral short circuits and insulation faults. Therefore, real-time early detection or prediction of stator winding faults is critical to minimizing potential damages.

The study extensively examines various techniques and methods used for the detection of faults in asynchronous motors, aiming to increase machine reliability and optimize operational efficiency in industrial facilities.

Technical analysis and applied studies are conducted for the analysis and identification of winding, short circuit, and mechanical faults in three-phase asynchronous motors powered by 440V/60Hz voltage used in marine vessels.

Keywords: *Asynchronous motors, Stator winding, Rotor bar breakage faults, Rotor axis misalignment, Analysis of electrical and mechanical faults.*

1. GİRİŞ

Üç fazlı makinalar, motor işletmesinde ve sanayi tesislerinde, fabrikalarda en çok kullanılan elektrik makineleridir. Nikola Tesla ilk asenkron motor modelini 1887 yılında tasarlamıştır. Asenkron motor patentini, 1887 yılında, (US 381968 patentini) almıştır. 1888'da Galileo Ferraris' de, çok fazlı alternatif akım motorların temel çalışma ilkelerini detaylandırarak Royal Academy of Science of Turin 'de araştırmalarını ve makalelerini yayınlamıştır. Bu gelişmelerden bir yıl sonra ise Mikhail Dolivo - Dobrovolsky sincap kafesli asenkron motoru ve ayrıca ilk üç fazlı transformatörü icat etmiştir. 1889'da Mikhail Osipovich Dolivo Dobrovolsky tarafından ilk sincap kafesli motor ve ilk 3 fazlı transformatör yapılmıştır.[1]

Elektrik makineleri 1900 yıllarından sonra endüstri ve fabrikalarda sürekli sistem iş ekipmanı olarak çalıştırılmaya başlandı. Teknik anlamda bu motorların diğer ismi de asenkron motoru olarak da tanımlanır. 3 fazlı motorlar iş ekipmanları olarak genelde su pompaları, jeneratörler ve vinçlerde kullanılırlar. 3 fazlı elektrikli makineleri yapısal anlamda, sincap kafesli ve rotoru bilezikli olmak üzere iki çeşittir. Bu makinelerin yapısında rotor, shaft, stator, rulmanlar ve kabuktan oluşmaktadır. Bu makinaların güçlü yapısı ele alındığında çok sağlam yapıda imal edilmekte bununla birlikte kullanıcıya güvenlik ve güç katmaktadır. Bu sayede motorun teknik bakım zamanları uzamakta ve bakım masrafları azalmaktadır. Bu sayede elektrik mühendisleri ve son kullanıcılar için seçim olarak ilk sıradadır. Bu motorlar 1 KW ile yaklaşık 5 Mega Watt arasında değişik güçlerde üretilebilmektedir. Her türlü ortamda çalışabilen ve koruma sınıflarına göre imal edilebilen asenkron makineler endüstrinin her alanında, kara ve deniz taşıtlarında kullanılabilir. Asenkron motorlar, dirençli ve sağlam yapılarına rağmen, diğer mekanik sistemlerde olduğu gibi kaçınılmaz olan ve zamanla oluşan teknik ve fiziksel aksaklıklara, arıza durumlarına maruz kalabilirler.

3 fazlı asenkron motor tip ve modellerine göre geniş kullanım sahası olmakta olup bu motorları seçerken yer, tip, mahal ve çalışma durumuna göre ekipman seçimi yapılmakta olup, aynı zamanda bu motorların iş güvenlik anlamında son kullanıcının

daha az teknik servis bakım maliyetleri oluşturması nedeniyle daha çok kullanılmaktadır.

Endüstride ve sanayide bu motorların kullanılması sebebiyle de yıllar boyu sürekli bu arızaların nedenleri bilimsel ilkelerle birlikte araştırılmaya çalışılmış ve bununla birlikte sürekli teknik kestirimci bakım çalışmaları ve deneyler, çalışmalar sürekli devam etmiştir.

1.1 Asenkron Motorlarda Oluşabilecek Arıza Tipleri

Endüstride en yaygın kullanılan elektrik makineleri Asenkron Motorlardır. Sanayileşmiş bir ülkede, motorlar genellikle o ülkenin toplam enerji üretim kapasitesinin en az % 50' si ile % 60' ını tüketebilirler. Motorlardaki arızaları teşhis etmek için motorun ektiğı akımın analizlerinin endüstriyel uygulamalarına odaklanılmaktadır. Asenkron motorlardaki akım analizlerinin yapılmasıyla birlikte motor sorunlarının teşhisine yönelik çevrimiçi bir izleme tekniğidir. Güvenirliliğe dayalı bakım ve duruma dayalı bakım stratejileri artık endüstri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok operatör tarafından kondisyon bazlı bakım stratejileri paralel olarak kullanılmaktadır. Geleneksel planlı kestirimci bakım şemaları, motorlardaki beklenmedik arızaları ve işlerin kesinti sürelerini azaltabilir. Böylece işletme bakım maliyetleri daha da düşer. Elektriğın işleyişi ve güvenli olmayan durumlar da böylece ortadan kalkar. Asenkron makinalarını, senkron makinalardan ayıran en büyük özellik, senkron dönme hızında çalıştırılmaz ve motor işletmesinde nominal hız senkron hızın altında belirli bir kayma değeriinde çalışırlar. Motorun nominal hızı motor işletmesinde çalışmada kaymanın sifıra yakın değeriinde olup, bu değeri senkron hızdan küçüktür.

Genel Arıza Durum Tespitlerinin Oranları:

- Statorla ilgili: %38
- Rotorla ilgili: %10
- Rulmanla ilgili: %40
- Diğeri: %12

Geçtiğimiz 15 yıl boyunca, asenkron motorlar için yeni durum izleme tekniklerinin geliştirilmesine yönelik önemli miktarda araştırma yapılmıştır. [2]-[3]

Motor akım analizlerinin şunları yapabileceğini doğrulayan endüstriyel geçmişleri şu şekildedir.

- a. Kırık rotor çubukları gibi sorunları,
- b. Stator sargılarında kısa devreler,
- c. Üç fazlı asenkron motorda hava boşluğu eksantrikliği teşhis etmektir.

Kırık rotor çubuklarıyla çalışan üç fazlı asenkron motorun tam teorik analizi [4] bulunabilir. Üç fazlı dengeli bir elektrik güç kaynağından doğrudan beslenen üç fazlı bir asenkron motorun, senkron bir hızda ileri yönde radyan olarak dönen bir elektromanyetik kuvvetin üreteceği alan ve tam simetri mevcutsa geriye doğru dönen bir alan olmayacağı iyi bilinmektedir. Besleme veya stator sargı empedanslarındaki herhangi bir asimetri durumu, stator sargısından geriye doğru dönen bir alanın ortaya çıkmasına neden olacaktır. Stator sargısına uygulanan döner manyetik alan etkisiyle rotorda endüklenen EMK'nın rotor sargısında yarattığı gerilimin frekansı, kayma frekansındadır ($f_2 = S \times f_1$).

Kurulumun beklenmedik bir rotor arızası kısa sürede genel bir kesintiye neden olacaktır. Bu nedenlerden dolayı, bu tür kusurların erken tespiti, kayda değer sayıda araştırmacılar için önemli bir konu olmuştur. [5] numaralı yayında, rotor ve stator arızaları altındaki asenkron motorlar için, alternatif yollardan birisi olan akım sinyalindeki harmonik bileşenler dikkate alınarak bir arıza teşhis tekniği gerçekleştirilmektedir. Bu teşhis yöntemi MCSA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Akım spektrumunun yan bant bileşenleri, rotor kusurlarını kanıtlamak için çıkarılır ve analiz edilir. Referans [6]'da, MCSA yöntemini kullanan asenkron makinelerinde spektrumlardan BRB frekanslarını tespit etmek için bir teknik sunulmaktadır ve bozulan rotor çubuklarının simülasyon ve deneysel sonuçları tartışılmıştır. Bu sonuçlar, akım analizinin spektrumu için kullanılan algoritmanın, arızalı rotor çubuklarının erken tespiti için yeterli olduğunu kanıtlamaktadır. [7] numaralı yayında ise, BRB (Broken Rotor Bar) arızasını belirlemek için rotor hızı ve stator akımı dalgalanmaları kullanılarak kablosuz sensöre dayalı yeni bir strateji geliştirilmekte ve bu metodolojinin sonuçları elde edilmekte ve tartışılmaktadır. Bulgular, kusurlu ve sağlıklı bir asenkron motoru arasındaki doğru ayrımın yapılabilmesi ve dolayısıyla arızaların ciddiyetinin özellikle değerlendirilmesi açısından diğer geleneksel tekniklere kıyasla birçok avantajı ortaya koymaktadır.

1.2 Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Elektromanyetik Moment ile Tespiti

Bu motorların arızalanmaları sonucunda üretimi ve çalışmaları önemli ölçüde düşürmesi nedeniyle, sanayi ve endüstri tesislerinde iş kaybı ve zararlar meydana getirmektedir. [8] Bu tip 3 fazlı indüksiyon motorlarının teknik arıza bakım nedenin kaynağı olarak ise 4 madde kalemin öne çıktığını görebiliriz. Burada arıza tiplerinin nedenlerini ve yüzdelik oranlarını görebiliriz.[9]

	IEEE-IAS (%)	EPRI (%)
Rulman Arızaları	44	41
Sargı Arızaları	26	36
Rotor Arızaları	8	9
Diğer Arızalar	22	14

Şekil 1.1: Elektrik Motor Arızalarının Dağılımı [9]

İndüksiyon motorlardaki problemlerin kaynaklarını sırayla şekil olarak göstermek istediğimizde, şekil 1.2' deki gibi aşağıdaki çerçevede gruplayıp isimlendirebiliriz.



Şekil 1.2: Asenkron Motorlarda Oluşan Arıza Modelleri [9]

3 fazlı asenkron motorlarda yıllar boyunca çok az bir değişim yapılabilmektedir. [10] Ancak bu tür motorlar sanayide ve endüstride oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Motorlar çalıştırılmaya başlandıktan sonra ortam ve yük kaynaklı sebepler dahilinde arıza problemleri elbette oluşmaya başlamaktadır. [11]

Bunlar:

- Motorun çalışması ile birlikte motorun ısınması sebebiyle oluşan kayıplar ve çubuklardaki gözenek aralıklarıdır.
- Dengesiz oluşan elektromanyetik alan çekimleri ve bundan dolayı oluşan gürültü ve titreşim hareketleri,
- Motoru üreten fabrika kaynaklı hasarlar ve hatalar,
- Motorun şaft kısmındaki oluşturulan moment ve karşı uygulanan yük tepkileriyle ve buna bağlı dönme esnasındaki problemler,
- Motor mahalinde bulunan ıslaklık, nem, yabancı kimyasallar, kirlilik gibi ortam şartlarından kaynaklı problemler,

Motordaki elektrik akımlarının analizi; rotor çubukları kırığı arızaları ve bununla birlikte mekanik arıza problemleri, yıllardır bilgisayar analizleri ve görsel analizler ile birlikte tespit için kullanılmaktadır [12].

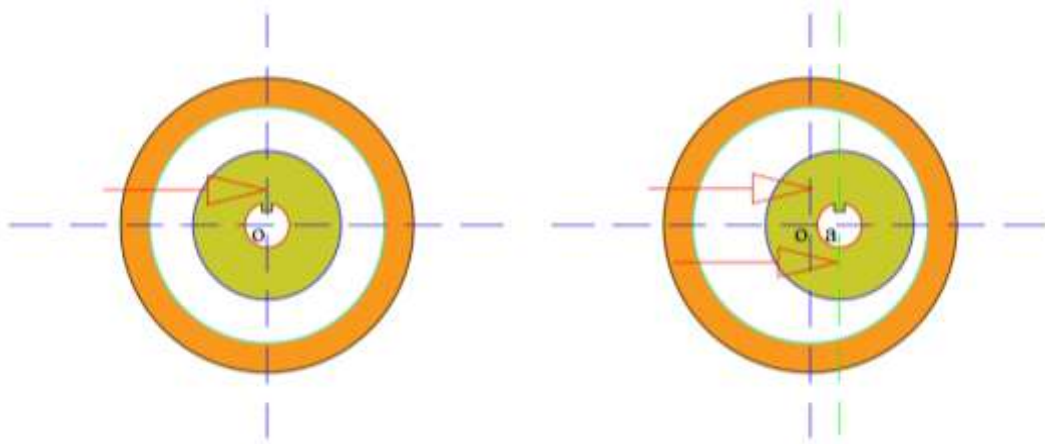
Fakat bu yöntemle oluşan problemlerin nedenlerini ve seviyelerini tam olarak anlaşılması biraz zordur [13]. Bu sebeple araştırmacılar ve analistler endüktör elektrik akım analizleri sayesinde park dönüşümleri ve aktif gücün kontrol edilerek izlenmesi sayesinde elektrik motorlarının tork kontrol sistemlerini tetkik ve analiz etme yöntemlerini ve başka yöntemleri geliştirmeye devam etmektedirler. 3 fazlı motorlarda manyetik tork sinyalleri ve motor akıları , endüvi ve endüktör elektrik akımları ile ilgili bilgiler olması nedenleriyle simetrik olmayan çalışma koşullarından çok fazlasıyla etkilenmektedir. Endüvi arıza ve problemleri oluşan bir motorda oluşan dengesizlik endüvinin döner alanında pozitif ve negatif vektör bileşenlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [14]. Endüvinin manyetik döner alanında oluşan negatif yöndeki vektör bileşenin endüktör döner manyetik alanıyla karşılaşması sonucunda etkileşime girip bunun sonucunda elektromanyetik tork (moment) spektrumunda geri kaymaya sebep olur.

1.3 Hava Aralığı Eksenel Kaçıklığı Arızası ve Rulmanlar

Motorun endüvi (rotor) kısmının eksenenden kaçması sebebiyle hatalar; endüktör ve endüvi arasındaki mesafelerin dengeli olmamasından kaynaklı nedenlerden dolayı oluşan fiziksel yapı arızalarıdır. Motor üreticileri tarafından verilen eksenel kaçıklık aralığı % 4-% 10' dur. Ancak 3 fazlı indüksiyon motorlarda oluşan titreşim ve gürültü değerlerini en küçük seviyelerde sınırlandırabilmek için eksenenden kaçma problemlerinin kaçıklık değerlerini oldukça minimum değerlere indirmeye çalışılmalıdır. Motorun iç yapısındaki rotor ve stator arasındaki fiziksel dengesizlik bozulma durumu oranı büyüdükçe , rotor problemi nedeniyle stator ve dış kabuğa çarpmasıyla birlikte sürtünme durumları ortaya çıkarak motorun sargılarında yanmasına neden olur. Bu problemleri oluşturan asıl nedenler aşağıda açıklanmıştır[15].

- Asenkron motorun şaftının eğilmesi,
- Asenkron motorun bağlantı kaplinlerinin doğru olarak karşılıklı bağlanmaması ve line işleminin doğru yapılmaması,
- Rulmanların yükten dolayı dağılması, yıpranıp eskimesi, kırılması nedeni olabilir.

Rotor ve stator dengesizliği nedenleri dinamik ve statik olmak üzere iki çeşittir.



a) Rotor Normal Fiziksel Pozisyonu

b) Rotorun Anormal Pozisyonu

Şekil 1.3: Rotorun Eksenenden Çıkma Şekilleri

Statik şaft (mil) eksenenden kaçıklık: Rotorun kendi ekseninden çıkmasıyla birlikte, fiziksel olarak dönüş ekseninden çıkması durumundaki oluşan arıza nedeni ,oluşan bu arızaya statik eksen kaçığı arızası denir. Motoru yatay pozisyonunda

düşündüğümüzde x eksenindeki paralel pozisyonlanması ve aynı zamanda bu eksen etrafındaki dönüş durumu birbirine paralel olması gerekmektedir. Bu paralellik bozulması durumunda bu arızaların oluşması kaçınılmazdır. Dolayısıyla bu durumda aksenal kaçıklık hataları oluşur. Şekil 1.3' de motorun iç yapısındaki endivi ve endüktörün normal fiziksel pozisyonlanması, diğer resimde endüvinin oluşan hata sebebiyle x ekseninin merkezinden kaçtığı görülmektedir [16].

Dinamik şaft (mil) kaçıklık problemi, motorda meydana gelen bir arıza türüdür. Bu arızada, stator merkezi ile dönüş merkezi aynı yerdedir. Ancak, rotorun x eksenini ile dönüş eksenini birbiriyle çakışık değildir. Bu durumda rotorun dönmesiyle birlikte rotoru takip eden bir hava sirkülasyon boşluğu oluşur. Rotor milinin eğik olması, rulman aşınması veya mekanik rezonans gibi faktörlerden dolayı bu arıza meydana gelebilir.

Bu çalışmanın amacı, bu tür arızaların motor akımı işaretlerinin izlenerek tespit edilebileceğini göstermektir. Statik eksenden kaynaklanan bir arıza durumunda, rotor yarıklarının neden olduğu titreşimlerin değişimi incelenerek arıza tespit edilebilir. Dinamik eksenden kaynaklanan bir arıza durumunda ise akım ve titreşim sinyallerinin frekans birleşenlerindeki değişiklikler incelenerek arıza tespit edilebilir.

Ayrıca, araştırmacılar, asimetriklikten kaynaklanan frekans değişikliğini hesaplayabilmek için Eşitlik 1.1'de verilen bir yöntem sunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, dinamik şaft (mil) kaçıklık probleminin motor akım işaretlerine bakılarak tespit edilebileceğini göstermektedir. Bu bilgi, motor arızalarının erken tespit edilmesi ve önlenmesi açısından önemli bir adım olabilir [17].

$$f_{ecc} = f_s [(kQ_2 \pm n_d) \frac{(1-s)}{p} \pm n_w] \quad (1.1)$$

$$f_s, Q_2, n_d = 0, n_d = 1, 2, 3 \dots, s, p, k, n_w \quad (1.2)$$

Yukarıdaki denklemler, "f.ecc" olarak tanımlanan eksenden kaçıklık arızası, "fs" olarak adlandırılan besleme frekansı, "m" olarak ifade edilen rotor çubuğu sayısı, "nd" olarak tanımlanan statik ve dinamik eksenden kaçıklık derecesi, "s" olarak adlandırılan kayma, "P" olarak ifade edilen çift kutup sayısı, "θ" olarak tanımlanan açısız rotor konumu (radyan), "k" olarak adlandırılan sabit sayıyı ve motoru besleyen

güç kaynağından oluşan "nw" stator zaman harmoniğinin. derecesini ($\pm 1, \pm 2, \pm 3,$ vb.) temsil eder. Bu denklemler, rotorun statik (dönme hareketi) ve dinamik (dönme hareketi sırasında oluşan salınımlı dönmesi) eksenden kaynaklanan akımda yan bantların oluştuğunu.ve bu yan bant frekanslarının akım spektrumunda Eşitlik 1.2 ve 1.3'le hesaplanabileceğini göstermektedir.

$$f_{ecc,i} = f_s \left[1 \pm k \frac{(1 - S)}{P} \right] \quad (1.3)$$

Sinüsoidal kaynak tarafından beslenen harmonikler, etkileşimleri sonucunda yeni harmoniklerin oluşmasına neden olur. Bu etkileşim, güç ve moment spektrumunda yeni frekanslara sahip harmoniklerin ortaya çıkmasına neden olur. Bu yeni harmoniklerin frekansı ise Eşitlik 1.4 ile hesaplanır.

$$f_{ecc,p} = f_s k \frac{(1 - S)}{P} \quad (1.4)$$

Mildeki eksenel kaçıklık arızasının tespiti için kullanılan akım sinyalleri üzerine dayalı yöntemlerden biri, park vektörü yöntemidir. Bu yöntemde, sağlam bir makine için oluşturulan vektörün çember şeklinde bir görüntüsü bulunmaktadır. Ancak makinede arıza belirtileri ortaya çıkmaya başladığı zaman, vektörün şekli, arızanın derecesine bağlı olarak motorun kutuplarından basarak bozulmuş bir hal alır. Araştırmacılar, eksenel kaçıklık arızasının akım ve gerilim spektrumu üzerindeki etkisini spektrum, akım-yüzey ve gerilim-yüzey grafiklerinde göstermektedir. Arıza, spektrum grafiklerinde rotor frekansının katlarına denk gelen yan bantlar oluşturur.

Eksenel kaçıklık arızasının motor akımı ve moment sinyali üzerindeki etkisi de analiz edilmektedir. Araştırmacılar, akım ve moment sinyalleri üzerine uygulanan Kohorens yöntemi gibi yöntemlerle, arızalı duruma ait özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Bu şekilde, eksenel kaçıklık arızasının motorun akım ve moment karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmektedir.

Dolayısıyla, eksenel kaçıklık arızasının tespiti için akım sinyallerinin izlenmesi ve analiz edilmesi temel bir yöntemdir. Park vektörü yöntemi ve diğer spektrum analizi yöntemleri, arızanın varlığını tespit etmek ve analiz etmek için kullanılan etkili araçlardır [18].

2. BÖLÜM

2.1 Üç Fazlı Asenkron Motorların Yapısı

Üç fazlı asenkron motorlar, içinden akım geçen bir iletkende meydana gelen elektro manyetik kuvvet prensibi kullanılarak çalışır. Basit yapısı, ucuz maliyeti ve düşük bakım gerektirmesi nedeniyle endüstride en yaygın kullanılan endüstriyel tahrik makinalarıdır. Asenkron motorlar genellikle, bir sabit kısım olan stator ve içinde dönen bir rotor olmak üzere iki bölümden oluşur. Stator, asenkron motorun sabit kısmıdır, rotor ise dönen kısmıdır. Asenkron motorlar, rotorun yapısına bağlı olarak rotoru sargılı bilezikli ve kısa devreli sincap kafesli rotor olarak sınıflandırılır.

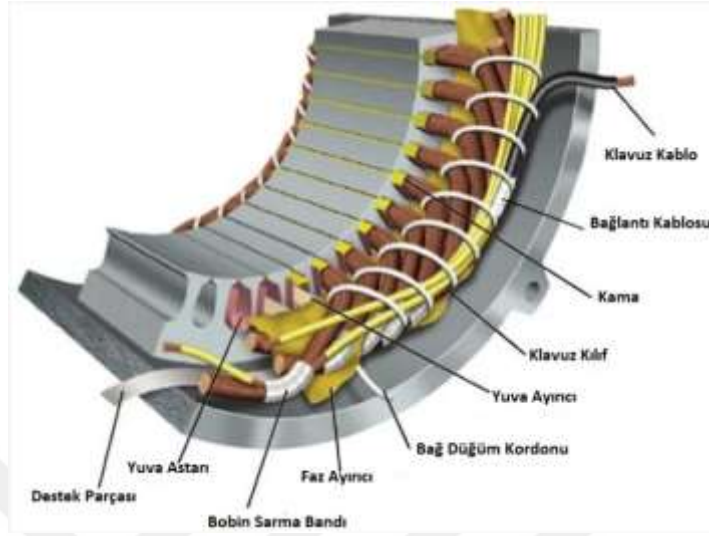
Ayrıca ön ve arka kapaklar, yataklar ve havalandırma parçaları da bulunur. Stator, asenkron motorlarda döner manyetik alanın oluştuğu bölgedir. Hem stator hem de rotor kısımlarında oluklu silisli saçlar kullanılarak tasarlanır ve statorun dışına saç, demir veya döküm karkas gövde yerleştirilir. Üç faz sargılar, oluklara 120°'lik fiziksel elektriksel açıyla simetrik bir şekilde yerleştirilir. Her fazın grup sargı uçları, gövdeye monte edilmiş klemens kutusuna çıkartılır.

Bilezikli asenkron motorun dönme momenti, stator ve rotorun dönen alanda oluşturdukları magnetik akılara bağlıdır. Manyetik akılar, sargılardan geçen akımlarla doğru orantılı olduklarından, dönme momentinin motor akımıyla ilişkili olduğu görülür. Bilezikli asenkron motorun avantajı, ek dirençler kullanarak kalkış akımının istenilen seviyeye düşürülebilmesidir, bu sayede kalkış ve frenleme momenti artırılabilir.

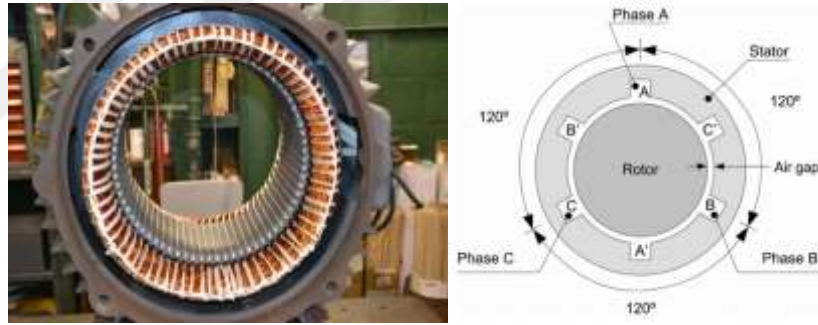
2.2 Statorun Sargı ve Oluk Yapısı

Stator, asenkron motorların sabit kısmıdır ve statora yerleştirilen 3 fazlı bobinler enerjilendirildiğinde döner manyetik alan oluşturur, bu alan rotor sargılarını ve rotor magnetik devresini içine alır. Üç fazlı asenkron motorların statorunda 120 derece faz farkı olan üç fazlı alternatif akım sargıları bulunmaktadır. Sargıların yerleştirilmesine ilişkin kesit şeması Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Faz sargıları aralarında sırası ile 120° 'şer derecelik faz farkı oluşur. Stator olukları, motor gücü ve oluk yapılarına göre çeşitli şekillerde tasarlanır. Bazı durumlarda stator manyetik nüvesi gövde olarak da kullanılmaktadır.



Şekil 2.1: Statorun İç Yapısı [18]



Şekil 2.2: Üç Fazlı Asenkron Motorun Stator ve Rotor Sargıları [18]

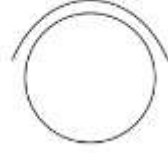


Şekil 2.3: Ağzı Açık Tipte Tasarlanan Stator Oluk Yapıları [18]

Ağzı açık oluk tasarımları büyük güçlü motorlarda sadece stator kısmında kullanılmaktadır.



Şekil 2.4: Ağzı Yarı Açık ve Tam Açık Tipte Stator Oluk Yapıları [18]



Şekil 2.5: Kapalı Tip Stator Oluk Yapıları [18]

2.3 Asenkron Motorun Bağlantı Şekilleri

Üç fazlı asenkron motorların stator bobinlerinin sargı bağlantı uçları, motor klemens kutusunda her faz gurubu ayrıştırılarak ortaya çıkartılır. Bu bağlantılar, stator sargılarında yapılmaktadır. Sargı uçları; Birinci faz için U – X, İkinci faz için V – Y ve Üçüncü faz için ise W – Z şeklinde tanımlanır.

Üç fazlı asenkron motorların sargıları yıldız (Star) veya üçgen (Delta) devre olarak bağlanabilir. Bu bağlantı tiplerinin seçimi, motorun çalışma özelliklerine ve gereksinimlere göre belirlenir.

Üç fazlı motorlarda üçgen devre bağlı sistemlerde , yıldız devre bağlanan motorlara göre üç kat daha güçlü moment sistemi oluşturur. Yıldız devrede, faz akımları daha düşük olduğu için motor daha düşük güç çeker ve daha az ısınır. Üçgen devre ise daha yüksek dönme momentine sahip olmasına rağmen, faz akımları daha yüksek olduğu için daha fazla güç çeker ve daha çok ısınır.

Motorların yıldız veya üçgen bağlanma koşulu, şebeke gerilimi ve motorun teknik özelliklerine göre belirlenir. Bu bilgiler genellikle motorun üzerindeki etikette belirtilir. Motoru doğru şekilde bağlamak için bu etiketi dikkate almak önemlidir.

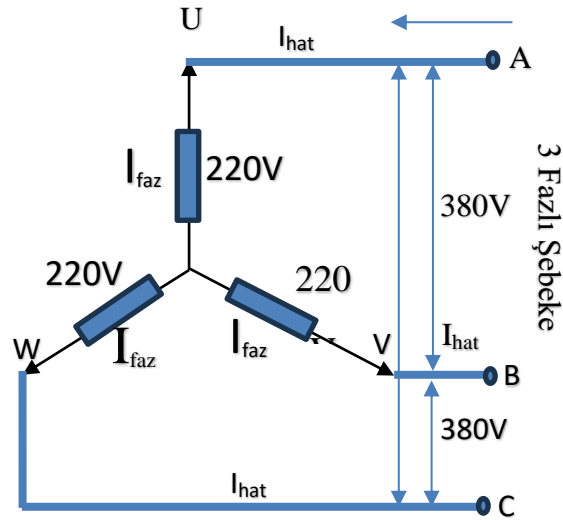
Asenkron motorların sargı bağlantılarının doğru bir şekilde yapılması, motorun düzgün çalışması ve uzun ömürlü olması için önemlidir. Yanlış bağlantılar, motorun performansını olumsuz etkileyebilir ve hatta zarar görmesine neden olabilir. Bu nedenle, motorun bağlantılarının uzmanlar tarafından yapılması veya talimatlara uygun şekilde yapılması önerilir.



Şekil 2.6: Bir Motorun Etiket Bilgisi Örneği

- 3~MOT : Tipi Modeli – 3 fazlı asenkron motor ,
- Üçgen: Üçgen bağlantıda, 380V, AC çalışabilir,
- Yıldız: Yıldız bağlantıda , 220 V, AC çalışabilir,
- 6,4/3,7A : Üçgen / Yıldız modlarda motorun çektiği akımları,
- IP55 : Koruma sınıfı,
- Ins. CL. : İzolasyon sınıfı,
- 1,5 kW : Aktif Çıkış Gücü,
- Cos \emptyset : 0,8, Güç Faktörü,
- 1390 rev/ min : (devir/dakika),
- B3 : İnşa Tipi

2.3.1 Asenkron motorun yıldız ve üçgen bağlantıları



Şekil 2.7: Asenkron Motorun Yıldız Bağlantı Şeması

A-B-C : Faz İsim Bilgileri,

U: Şebeke Gerilimi,

U_f : Motorun Faz Sargısı Gerilimi,

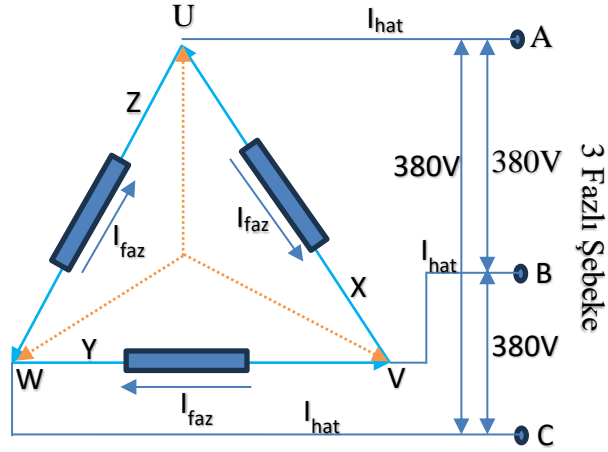
I_h : Şebeke Hat Akımı,

I_f : Motorun Faz Akımları ,

$$U:\sqrt{3}*U_f \quad U_f = U/\sqrt{3} = 0,58*U$$

$$I_{hat}=I_{faz}$$

$$U=380 \text{ V AC ise } U_f = 380 * 0,58 = 220 \text{ V AC}$$



Şekil 2.8: Asenkron Motorun Üçgen Bağlantı Şeması

A-B-C : Faz İsim Bilgileri,

U: Şebeke Gerilimi,

U_f : Motorun Faz Sargısı Gerilimi,

I_h : Şebeke Hat Akımı,

I_f : Motorun Faz Akımları,

$$U = U_f \quad I_f = I_{hat} / \sqrt{3} = 0,58 * I$$

$$I_{hat} = \sqrt{3} * I_{faz}$$

$$U = 380 \text{ V AC ise } U_f = U = 380$$

2.4 Motorun Üç Fazlı Besleme Sistemleri ve Motor Rotasyonunun Oluşumu

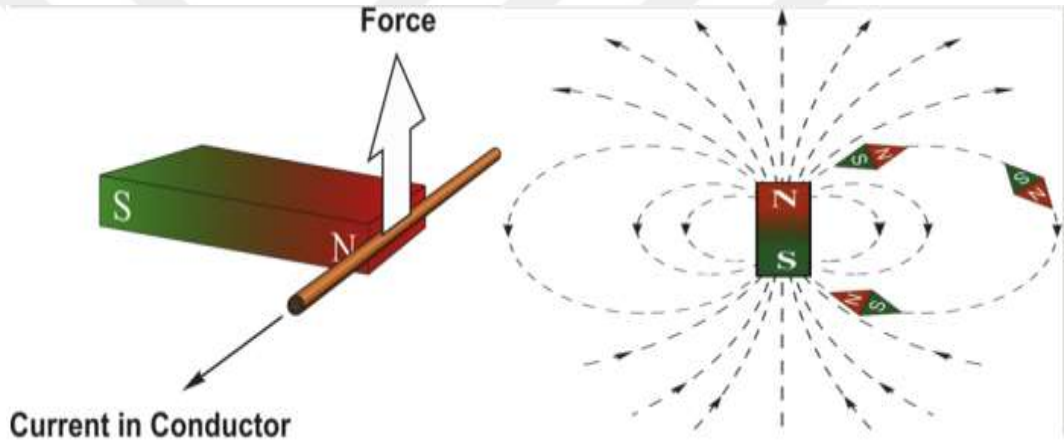
Manyetik alan etkisinde olan bir iletken, bir kuvvete maruz kalır. Şekil 2.9'da, bu kuvvetin büyüklüğünün, iletken içinden geçen akıma ve manyetik alanın gücüne bağlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, manyetik alan iletkenle dik olduğunda kuvvetin en yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, bu mekanizmadan en iyi şekilde yararlanabilmek için, güçlü bir manyetik alanın oluşturulması ve mümkün olduğunca çok akım taşıyan birçok iletkenin bu manyetik alana maruz kalması gerekmektedir.

Manyetik alanın gücü, manyetik bir kaynak tarafından oluşturulan manyetik alan yoğunluğu ile belirlenir. Bu nedenle, daha güçlü bir manyetik alan elde etmek için,

manyetik bir kaynağın kullanılması ve bu kaynağın manyetik alan yoğunluğunun artırılması önemlidir.

Akım taşıyan bir iletkenin sayısı da çok önemlidir çünkü her bir iletken manyetik alanla etkileşime geçer ve kuvvetin büyüklüğü doğrudan akımların toplamına bağlıdır. Bu nedenle, mümkün olduğunca fazla akım taşıyan birçok iletken kullanarak, daha büyük bir kuvvet elde etmek mümkün olacaktır.

Bu mekanizmadan en iyi şekilde yararlanabilmek için, manyetik alanın güçlü olduğu bir ortamda, mümkün olduğunca çok sayıda akım taşıyan iletkenin bulunması gerekmektedir. Dolayısıyla, kuvvetin maksimum olduğu manyetik alanın dik olduğu yönde iletkenleri yerleştirmek önemlidir. Bu şekilde, mekanizmadan en yüksek verimi elde etmek ve istenen kuvveti sağlamak mümkün olacaktır.



Şekil 2.9: Manyetik Ortamda Akım Taşıyan Bir Tel Üzerinde Üretilen Kuvvet ve Alan Çizgileri

Manyetik alan, izole bir bölge içerisine yerleştirildiğinde, kuzey kutbuna etki eden bir mıknatıs, alanı oluşturan manyetik kuvvetlerden etkilenir. Bu kuvvetler, kuzey kutbundan itici bir kuvvet ve güney kutbundan çekici bir kuvvet şeklinde ortaya çıkar. Eğer izole birim olan kuzey kutbu serbestçe hareket ediyorsa, manyetik alandaki bu kuvvetler nedeniyle belirli bir yol boyunca hareket eder.

Aynı izole bölümü, kuzey kutbuna farklı mesafelere yerleştirdiğimizde, manyetik alan çizgileri farklı bir seyahat yolu izleyebilir. Bu çizgiler, kuzey kutbundan başlayarak güney kutbuna doğru izlenen manyetik alan yoluna kuvvet çizgileri denir.

Manyetik alanda sonsuz sayıda noktaya izole birim yerleştirilebileceğinden, bu alanda sonsuz sayıda kuvvet çizgisi bulunabilir. Ancak, bu sayısız kuvvet çizgisini görselleştirmek bilimsel hesaplamalar için pratik değildir. Bir alandaki toplam

manyetik akı, alanın içerdiği kuvvet çizgileri sayısını ifade eder. Bu değer, farklı manyetik hesaplamalar ve özelliklerin açıklanması için kullanılır. Bir alanda ϕ (weber) akısı varsa, bu, alanın toplam ϕ sayıda kuvvet çizgisine sahip olduğu anlamına gelir. Bu sadece farklı manyetik hesaplamalar ve farklı manyetik özellikleri açıklamak için kullanılır.

Manyetik akının özellikleri, bir manyetik alanın temel özelliklerini ifade eder. Bu özellikler şu şekildedir:

Manyetik Akının Özellikleri:

1. Her Manyetik Akı Hattı Kapalı Döngüdür:

Manyetik akı çizgileri kapalı döngüler oluşturur, bir başlangıç noktasından hareket eder ve aynı noktaya geri döner.

2. Manyetik Akı Çizgilerinin Yolu:

Her bir manyetik akı çizgisi, bir mıknatısın kuzey kutbundan başlayarak alan içinde güney kutbuna doğru ilerler, ardından mıknatısın gövdesinde güney kutbundan kuzey kutbuna geri döner.

3. Akı Çizgilerinin Kesilmezliği:

Hiçbir iki manyetik akı çizgisi birbirini kesmez; her çizgi belirli bir alanda bir kez geçer.

4. Birbirini İten Kuvvet Çizgileri

Benzer manyetik kuvvet çizgileri yan yana hareket eder, ancak birbirlerini iterek ayrılırlar.

5. Kuvvet Çizgilerinin Esnekliği:

Manyetik kuvvet çizgileri, elastik bir ip gibi gerilebilir; bu, mıknatısın konumunun değişmesi durumunda çizgilerin esnek bir şekilde yeniden düzenlenebileceği anlamına gelir.

Tesla (T): Manyetik alanın birimini temsil eder. 1 Tesla, bir metrekairelik bir alana 1 Newton kuvvetinde eşit manyetik akı yoğunluğuna karşılık gelir. Kısacası, birim yüzey başına düşen manyetik alanın şiddetini ifade eder.

Manyetik alana dik birim alan yüzeyinden geçen manyetik kuvvet çizgilerinin sayısına manyetik akı yoğunluğu denir. Eğer toplam ϕ Weber akısı, A (m^2) alanlı bir

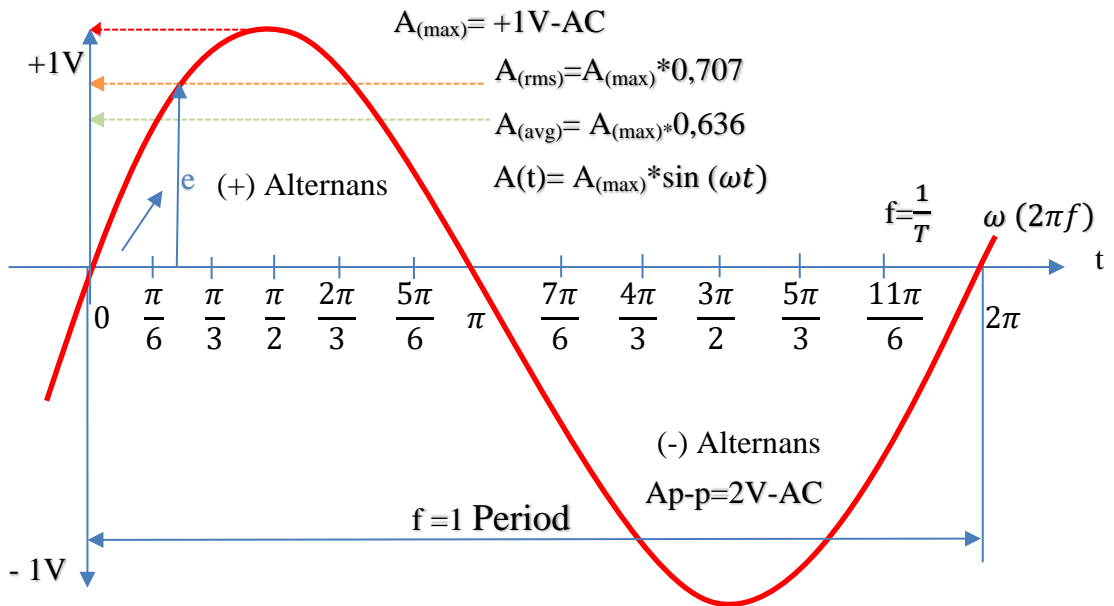
yüzeye dik olarak geçiyorsa, alanın manyetik akı yoğunluğu aşağıdaki gibi ifade edilir:

Bu denklem, manyetik akı yoğunluğunu belirtir, burada B manyetik akı yoğunluğunu, Φ manyetik akı miktarını ve A alanı temsil eder.

$$B = \frac{\Phi}{A} \left(\frac{W_b}{m^2} \right) \quad (2.1)$$

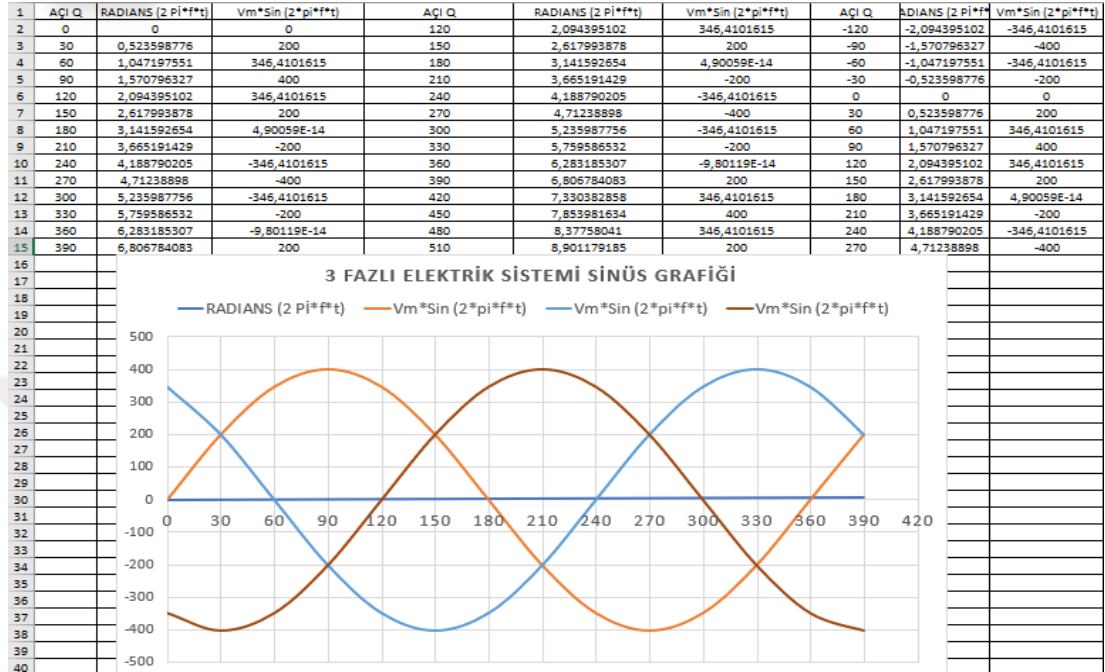
I(A) akımı bir bobinden geçtiğinde, bu bobinde iki kutuplu (kuzey ve güney) bir manyetik alan oluşur. Üretilen manyetik alan H, akım I ile orantılıdır. Manyetik alan H sinüzoidal bir uzaysal dağılım özelliğine sahiptir ve her 180° yarım periyotta polariteyi tam tersine çevirir. Böylece, üç fazlı stator akımı IA, IB ve IC stator sargılarına uygulandığında HA, HB ve HC olmak üzere üç manyetik alan üretilir.

Üç fazlı stator akımlarının 120°'lik faz kayması, üç manyetik alan (HA, HB ve HC) üzerinde 120°'lik bir faz kayması sağlar. Bu manyetik akıların yolu rotor ve stator laminasyonlarından geçer. Her zaman anında ortaya çıkan manyetik alan, o spesifik zaman anında HA, HB ve HC manyetik alanlarının toplamına eşdeğerdir. Ortaya çıkan bileşke manyetik alan, Şekil 2.10'te gösterildiği gibi döner. Şekil 2.10'de gösterilen üç fazlı stator sargı akımlarının (t)'ye bağlı değişimleri, faz akımı A'nın tepe değerine bağlı olarak maksimum bir HA manyetik alanı ve faz akımının yarısına eşit genliğe sahip bir HB ve HC manyetik alanı maksimum değer üretir.



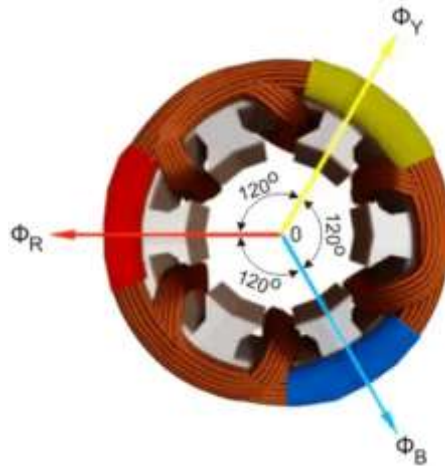
Şekil 2.10: Gerilimin Sinüs İfadesi Değişimi - x(t)

“e” Burada ortaya çıkan manyetik alan HA yönüne sahiptir. Benzer şekilde, bu aynı işlem iki ile altı arasındaki diğer zaman anları için tekrarlanır ve sabit tepe genliğine sahip eşzamanlı olarak dönen bir manyetik alan elde edilir. Aşağıdaki Şekil 2.11’de Faz açıları 120° olarak Microsoft Excel’ de hazırlanmıştır.



Şekil 2.11: Elektrik Sistemlerinde 3 Fazın Zamana Göre Akış Grafiği

2.6 Motorun Dönen Manyetik Alan Sonucu Dönüş Operasyonu



Şekil 2.12: Motor İçindeki Sargıların Birbirleri Arasında 120° Yerleşimi

Her ne kadar vektörel olarak üç akım dengeli ve üç fazlı sistem herhangi bir anda sıfırdır, ancak akımlar tarafından üretilen manyetik alanların sonucu sıfır değildir. Zamana göre dönen manyetik alan sıfır olmayan bir değere sahip olacaktır.

Üç fazlı bir sistemde üretilen manyetik alan akısı aşağıda verilen denklemlerle temsil edilebilir. Aşağıdaki işlemler Şekil 2.12 ' ye göre şekillenmiştir.

Burada Φ_R : Kırmızı Ani Akı, Φ_B : Faz Sarımsı , Φ_m : Akı dalgasının genliği, Bu, akı akımla eş fazlı olduğundan, üç fazlı bir sistem olan,

Şekil 2.4' deki gibi bir temsili grafik oluşturur.

$$\begin{aligned}\Phi_R &= \Phi_m \sin (\omega t) \\ \Phi_Y &= \Phi_m \sin (\omega t - 120) \\ \Phi_B &= \Phi_m \sin (\omega t - 240)\end{aligned}\quad (2.2)$$

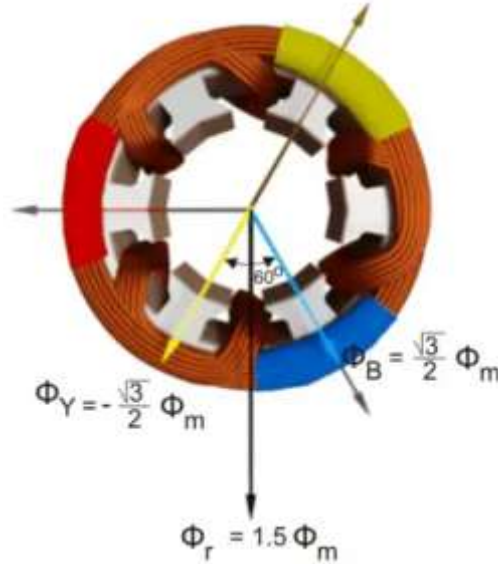
A fazına göre denklem yazılırsa, t=0 anında

B fazına göre denklem yazılırsa

$$\Phi_A = \Phi_m \sin (0) = 0 \text{ olur.} \quad (2.3)$$

$$\Phi_Y = \Phi_m \sin (0 - 120) = \Phi_m \sin(-120) = \Phi_m \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = -0.866\Phi_m \quad (2.4)$$

$$\Phi_B = \Phi_m \sin (0 - 240) = \Phi_m \sin(-240) = \Phi_m \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 0.866\Phi_m \quad (2.5)$$



Şekil 2.13: Motor İçindeki Sargıların Manyetik Akı Dağılımı Durumu ve 30° Göre Değerleri

Akı dağılımlarının yukarıdaki grafiğin gösteriminde, radyan $\omega t = \pi / 6$ veya 30° olan noktası ele alınır, burada $\Phi_{değeri}$ R olduğu,

$$\phi_R = \phi_m \sin (30) = \frac{1}{2} \phi_m \quad (2.6)$$

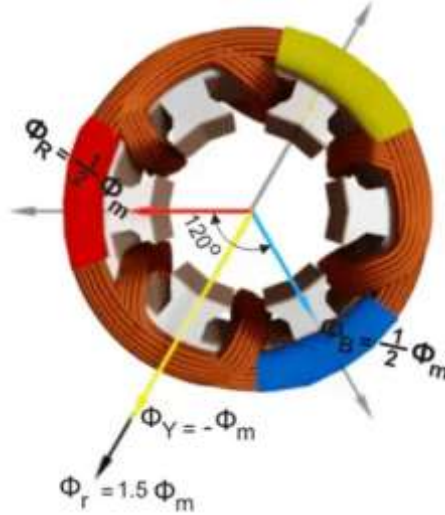
Aynı noktada, $\phi_{değeri}$ ' Y olduğu ,

Aynı noktada , $\phi_{değeri}$ ' B olduğu,

$$\phi_Y = \phi_m \sin (30 - 120) = \phi_m \sin(-90) = -\phi_m \quad (2.7)$$

$$\phi_B = \phi_m \sin (30 - 240) = \phi_m \sin(-210) = \frac{1}{2} \phi_m \quad (2.8)$$

Bu akıların o andaki sonucu (ϕ_r), aşağıdaki şekilde gösterilen $1,5\phi_m$ şeklindedir. Burada akı vektörünün değeri değişmeden saat yönünde 30° daha döndürüldüğü açıktır.



Şekil 2.14: Motor İçindeki Sargıların Manyetik Akı Dağılımı Durumu ve 60° 'ye Göre Değerleri

Manyetik alan akısı dalgalarının yukarıdaki grafiğin gösteriminde, radyan , $\omega t = \pi / 3$ veya 60° olan noktasını ele alacağız. Burada $\phi_{değeri}$ ' R olduğu,

$$\phi_R = \phi_m \sin (60) = \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m = 0.866\phi_m \quad (2.9)$$

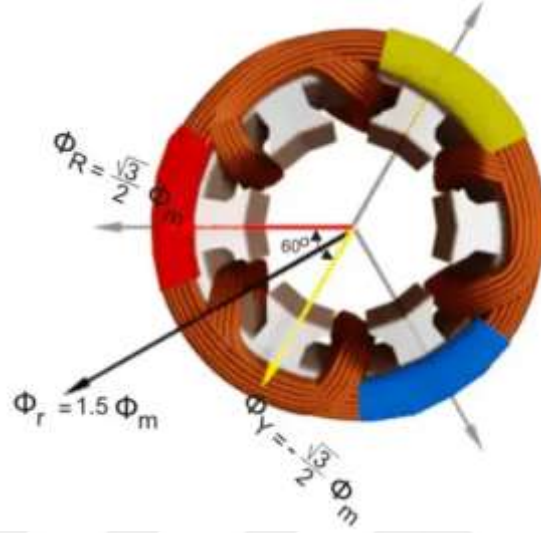
Burada $\phi_{değeri}$ ' B olduğu ,

Burada $\phi_{değeri}$ ' B olduğu,

$$\phi_B = \phi_m \sin (60 - 120) = \phi_m \sin(-60) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m = -0.866\phi_m \quad (2.10)$$

$$\Phi_B = \Phi_m \sin (60 - 240) = \Phi_m \sin(-180) = 0 \quad (2.11)$$

Bu akıların o andaki sonucu (Φ_A), aşağıdaki şekilde gösterilen $1,5\Phi_m$ 'dir. Burada ortaya çıkan akı vektörünün değeri değişmeden saat yönünde 30° daha döndürüldüğü görülmektedir..



Şekil 2.15: Motor İçindeki Sargıların Manyetik Akı Dağılımı Durumu ve 90° 'ye Göre Değerleri

Bu şekilde manyetik akı dalgasının 3. Noktası olan 90° lik durumu incelenmektedir.

Şimdi, manyetik akı dalgalarının yukarıdaki grafiğin gösteriminde, $\omega t = \pi / 2$ veya 90° olan noktasını ele alacağız.

Burada Φ_A 'nin değeri,

$$\Phi_A = \Phi_m \sin (90) = \Phi_m \quad (2.12)$$

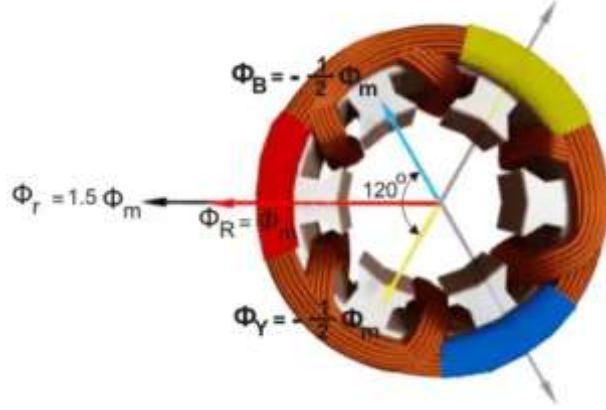
Aynı noktada B fazının değeri,

Aynı noktada C fazının değeri,

$$\Phi_B = \Phi_m \sin (90 - 120) = \Phi_m \sin(-90) = -\frac{1}{2} \Phi_m \quad (2.13)$$

$$\Phi_C = \Phi_m \sin (90 - 240) = \Phi_m \sin(-150) = -\frac{1}{2} \Phi_m \quad (2.14)$$

Bu akıların o andaki sonucu (Φ_A), aşağıdaki şekilde gösterilen $1,5\Phi_m$ 'dir. Burada akı vektörünün değeri değişmeden saat yönünde 30° daha döndürüldüğü aşikârdır.



Şekil 2.16: Motor İçindeki Sargıların Magnetik Akı Dağılımı Durumu ve 120° 'ye Göre Değerleri

Bu şekilde üç fazlı stator sargısına uygulanan dengeli besleme nedeniyle dönen bir manyetik alan oluştuğu açıklanabilir.

2.7 Arızasız Asenkron Motorun Model Şeklinin Belirlenmesi

Günümüzde endüstride yaygın olarak kullanılan motorlar arasında asenkron motorlar %90'lık bir oranla en çok tercih edilenlerdir [20]. Tercih edilmelerinin nedenleri arasında ucuz olmaları, fırça ve kolektör gibi parçalara ihtiyaç duymamaları ve arızaya yatkın olmamaları gibi bazı nedenlere dayandırmaktadır. Asenkron makinelerde hız sabittir ve güç, sadece kademeli olarak ayarlanabilir şekilde az da olsa değişir. Zamanımızda yarı iletken güç elektroniği ve mikro-elektronik alanındaki gelişmeler, asenkron motorların kontrolünü daha etkili hale getirmiş ve bu motorların kullanımını artırmıştır. Bununla birlikte, asenkron motorların önemli bir dezavantajı, şebekeden reaktif akım geçmemesidir, bu da güç faktörünün azalmasına neden olmaktadır. Bir diğer zayıf yönü ise asenkron motorların başlangıçta yüksek başlangıç akımlarına sahip olmasıdır. Alternatif akım motorlarında stator sargıları tarafından oluşturulan manyetik alan, dönen bir alan olup, bu özellik asenkron motorlarda farklıdır. Asenkron motorlarda stator sargıları tarafından oluşturulan dönen manyetik alanın hızı, besleme şebekesinin frekansına bağlı olarak belirlenir ve bu durumu (n_1) olarak ifade eder.

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2.15)$$

f: şebeke frekansı, p: çift kutup sayısı, n_1 ifadesine motorun senkron hızı denir.

Rotorda indüklenen elektromotor kuvveti (e_{mk}) aşağıdaki formül ile ifade edilir:

Rotorda oluşturulan EMK kuvveti;

$$e = V \cdot B \cdot I \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir. $V \perp B \perp I$, olduğuna göre,

$$e = V \cdot B \cdot I \quad (2.17)$$

Bu denklemde, V rotorun hızını, B statorun hava aralığındaki döner alanın manyetik akı yoğunluğunu ve I bir rotor iletkeninden geçen akımı temsil eder. Bu arada endüktör sargılarına gerilim uygulandığı zaman Biot-Savart yasasına göre uygulanan kuvveti temsil eden bir döndürme torku elde edilir.

$$F = B \cdot l \cdot I \quad (2.18)$$

B : stator hava aralığında oluşan döner alanın manyetik akı yoğunluğu, I_1 : bir rotor iletgeninden geçen akım.

Burada, "l" rotor çubuklarının uzunluğunu temsil eder.

İndüksiyon motorun rotorda ürettiği moment, yükün oluşturduğu momenti, ters yönde oluşan sürtünme ve yine ters yönde oluşan rüzgar momentini ve atalet momentini dönüş esnasında yenebilmesi gereklidir. Asenkron motorun oluşturduğu dönen manyetik alan hareketi, rotoru döner alana doğru harekete geçirerek yaklaştırmaya çalışır. Boş çalışmada rotor, senkron hıza yakın bir hızda döner. Fakat bu arada motorun yüklenmesiyle birlikte rotor hızı ile elektromanyetik dönen alan hızı farkı giderek açılır ve artar.

Bu tip üç fazlı indüksiyon motorlarda çalışma sistemi ve prensibi gereği asla rotorun hızı, statordaki elektromanyetik radyan dönüş açısal hızına yetişemez. Rotor, dönen elektromanyetik kuvvet alanının etkisiyle birlikte döner, ancak endüvinin hızı "n" olarak adlandırılır. Bu nedenle, " $V = n_1 - n = n_2$ " eşitliği geçerlidir. Bu durumda, endüvinin dakikadaki hızı "n" ile endüktörün dakikadaki hızı ise "n1" arasında " $n_1 > n$ " ilişkisi vardır.

Bu parametrik değer durumları asenkron motorun temel endükleme prensibini açıklar. Diğer bir " $n_1 = n$ " durumu asla oluşması beklenilmez, çünkü bu durumda endükleme kuvveti oluşmamış olur. Statorun döndürme momenti düşer ve rotor akımları sıfıra iner. Stator elektromanyetik dönen kuvvet alanı hızı ile rotorun dakikadaki dönüş hızının arasındaki matematiksel farka " kayma hızı " denir. Kayma, makinenin incelenmesinde çok önemli bir büyüklük olduğu aşikardır.

$$T_{load} = F \frac{D}{2} \quad T_{ind} = T_{load} + T_{F\&W} + J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (2.19)$$

$$S = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad \%S = \% \frac{n_1 - n}{n_1} * 100 \quad (2.20)$$

Endüvide oluşturulan emk kuvvetinin frekansı ,

$$f_2 = \frac{p * n_2}{60} = \frac{p(n - n_1)}{60} = \frac{p * n_1}{60} * \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (2.21)$$

$$f_2 = f_1 * \frac{n_1 - n}{n_1} , \quad f_2 = S * f_1 \quad (2.22)$$

Stator denklemi:

$$V_s - (R_s + jX_s)I_s = 0 \quad (2.23)$$

Rotor denklemi:

$$V_r - (R_r + jX_r)I_r = -s\omega_m(\lambda_r / (2\pi f)) \quad (2.24)$$

Burada;

V_s: Stator gerilimi

R_s: Stator direnci

X_s: Stator reaktansı

I_s: Stator akımı

V_r: Rotor gerilimi

R_r: Rotor direnci

X_r: Rotor reaktansı

I_r: Rotor akımı

s: Kayma

ω_m: Rotorun mekanik açısal hızı (radyan/s)

λ_r: Rotorun indükleyici manyetik alanı

S = 0 olduğunda kayma sıfır olur (s = 0). Bu durumda rotor denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_r - (R_r + jX_r)I_r = 0 \quad (2.25)$$

Çünkü kayma sıfır olduğunda, rotorun indükleyici manyetik alanı da sıfır olur. ($\lambda_r = 0$) ve rotor denklemleri bu durumda sadece direnç ve reaktans ile ifade edilir.

Endüvide herhangi bir indükleme olmazsa ($\lambda_r = 0$), endüvide akım oluşmaz, sıfır olur ($I_r = 0$). Böylece rotorun akımı sıfır olduğundan herhangi bir dönüş kuvveti oluşmamış olur ve endüvi hareket etmez, dönmez.

burada $d = \frac{p}{d}$ 'dir. Daha açık ifade edersek,

$$\begin{aligned} V_{as} &= r_s i_{as} + \frac{d\lambda_{as}}{dt} \quad V, \quad V_{ar} = r_r i_{ar} + \frac{d\lambda_{ar}}{dt} \quad V \\ V_{bs} &= r_s i_{bs} + \frac{d\lambda_{bs}}{dt} \quad V, \quad V_{br} = r_r i_{br} + \frac{d\lambda_{br}}{dt} \quad V \\ V_{cs} &= r_s i_{cs} + \frac{d\lambda_{cs}}{dt} \quad V, \quad V_{cr} = r_r i_{cr} + \frac{d\lambda_{cr}}{dt} \quad V \end{aligned} \quad (2.26)$$

Motorun manyetik akı ifadeleri eşitlikleri aşağıda belirtilmiştir.

Burada ki ifadelerin matris eşitliklerini, sarım, akım ve indüktansları cinsinden ifade ettiğimizde şu şekilde yazılabiliriz,

$$\begin{bmatrix} \lambda_s^{abc} \\ \lambda_r^{abc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss}^{abc} & L_{sr}^{abc} \\ L_{rs}^{abc} & L_{rr}^{abc} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \begin{bmatrix} i_s^{abc} \\ i_r^{abc} \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

$$\lambda_s^{abc} = \begin{bmatrix} \lambda_{as} \\ \lambda_{bs} \\ \lambda_{cs} \end{bmatrix}, \lambda_r^{abc} = \begin{bmatrix} \lambda_{ar} \\ \lambda_{br} \\ \lambda_{cr} \end{bmatrix}, i_s^{abc} = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix}, i_r^{abc} = \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

(2.29-2.30) eşitliklerin yazılı olduğu denklem ifadelerinde, endüktör-endüktör arası ve endüvi-endüvi arası sarımlarının endüktans bobin (Henry) değerlerini şöyle ifade edebiliriz.

$$\begin{aligned} L_{ls} &= N_s^2 * P_g * l_s, \quad L_{lr} = N_s^2 * P_g * l_r, \quad L_{sr} = \sqrt{L_{ss}} * L_{rr} \\ L_{rr} &= N_r^2 * P_g * l_{rr}, \quad L_{ss} = N_s^2 * P_g * l_{ss}, \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$L_{rm} = N_s * N_r * P_g * l_{rm}, \quad L_{sm} = N_s * N_r * P_g * l_{sm}$$

$$L_{ss}^{abc} = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_{ss} & L_{sm} & L_{sm} \\ L_{sm} & L_{ls} + L_{ss} & L_{sm} \\ L_{sm} & L_{sm} & L_{ls} + L_{ss} \end{bmatrix} H \quad (2.30)$$

$$L_{rr}^{abc} = \begin{bmatrix} L_{lr} + L_{ss} & L_{rm} & L_{rm} \\ L_{rm} & L_{lr} + L_{rr} & L_{rm} \\ L_{rm} & L_{rm} & L_{lr} + L_{ms} \end{bmatrix} H$$

$$L_{sr}^{abc} = [L_{rs}^{abc}]^t = L_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \cos \left(\theta_r + \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta_r - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta_r - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \theta_r & \cos \left(\theta_r + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \cos \left(\theta_r + \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta_r - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \theta_r \end{bmatrix}$$

Endüvi - Endüktör arası ortak indüktansların, rotor ile arasındaki açı değerlerine göre açıklanabilir.

Bu durumda, aşağıda belirtilen indüktanslar kullanılabilir:

Aşağıdaki terimler motorun geometrik özellikleri ve sarım yapılarına bağlı olan uzunluk ve konfigürasyon parametrelerini temsil eder. Bu ifadeler, demir kayıpları dikkate alınmadan stator ve rotor sarım sayıları ile hava aralığı manyetik iletkenliği arasındaki ilişkiyi gösterir.

- L_{ls} : Stator sarım kaçak indüktansı her bir faz için
- L_{lr} : Rotor sarım kaçak indüktansı her bir rotor sarımı başına
- L_{ss} : Stator sarımının kendisine ait self indüktansı
- L_{rr} : Rotor sarımının kendisine ait self indüktansı
- L_{sm} : Stator sarımları arasındaki karşılıklı indüktans
- L_{rm} : Rotor sarımları arası karşılıklı indüktans
- L_{sr} : Stator-rotor arası karşılıklı indüktansın tepe değeri

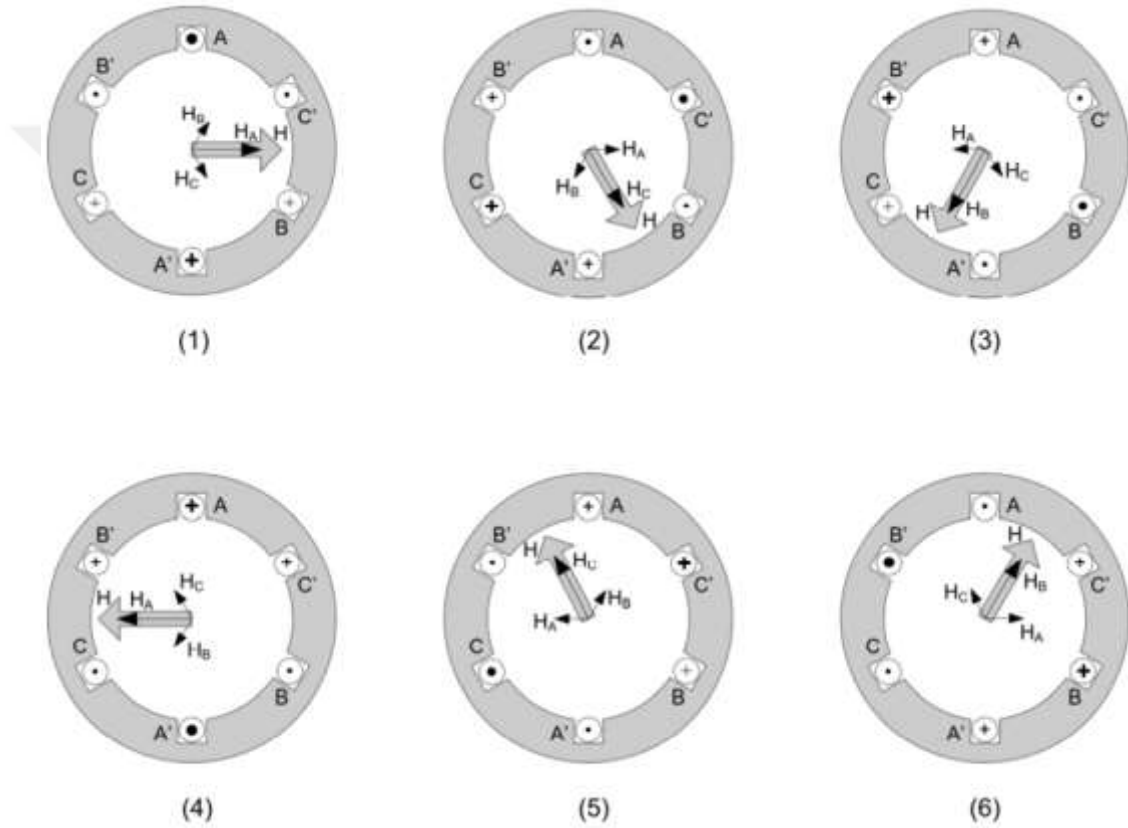
Demir kayıpları göz ardı edildiğinde, yukarıda belirtilen indüktansları endüktör ve endüvi sarım sayıları (N_s ve N_r) ile hava boşluğundaki elektromanyetik iletkenliği (P_g) cinsinden ifade edebiliriz. Bu durumda, belirli indüktanslar şu şekilde ifade edilir:

Üç fazlı indüksiyon motorlarda, her sarım için 6 adet birinci derece diferansiyel eşitsizlik denklemlerle birlikte karakterize edilebilir. Belirtilen bu denklemler motorun sargı bobinlerinin sarımları nedeniyle fizik-matematik olarak birbirine bağlıdır. Motorun stator ve rotoru kuplaj terimleriyle birlikte, rotor pozisyonuna

bağlı matematiksel fonksiyonlar olarak tanımlanırlar. Böylece rotor döndükçe bu ifadeler zamana bağlı olarak değişmektedirler.

Matematiksel dönüşümler, özellikle dq ve $\alpha\beta$ dönüşümleri, yukarıdaki asenkron makine modelinin geçici rejim çözümünün hesaplanmasını kolaylaştırır. Bu dönüşüm sayesinde, zamana bağlı olarak değişen indüktanslar, sabit indüktanslı diferansiyel denklemlere dönüştürülerek analizi daha erişilebilir hale getirilir.

2.8 İki Kutuplu Asenkron Motorun Dönen Manyetik Alanı



Şekil 2.17: İki Kutuplu Bir Asenkron Motorun Dönen Manyetik Alanı (Radyan)[21]

Kalın noktalar ve kalın artı işaretleri, zirve anları sırasındaki faz akımlarını temsil eder. Normal noktalar ve artı işaretleri, tepe değerinin yarısına eşit genliğe sahip faz akımlarını temsil eder.

Bu durumda, stator sargılarına uygulanan üç fazlı akımlar tarafından üretilen döner manyetik alan, statordan çıkan manyetik akı rotor çubuklarını keserken, rotor çubuklarında bir gerilim endüklenir.

Bu sayede kısa devre olan rotor iletkenlerinde üretilen akımlar, rotor üzerinde statora göre zıt kutuplu bir manyetik alan oluşturur. Zıt kutuplar birbirini

çektüğinden, rotor, statorun dönen manyetik alanını takip ederek, rotorun, statorun dönen manyetik alanından biraz daha yavaş dönmesine neden olur.

Statorun dönen alanları ile rotor çubukları arasındaki dönme hızındaki bu farka kayma hızı adı verilir. Gerekli momenti üretmek için, kısa devre olan rotor çubuklarının küçük direnci nedeniyle gerekli rotor akımını üretmek için yalnızca küçük bir kayma hızı gerekir.

Faz gerilimleri de 120° veya $2\pi/3$ rad değerine kadar faz kaydırılır. Faz gerilimi V_a referans olarak dikkate alındığında, üç faz akım ve gerilim değerleri aşağıdaki şekilde tanımlanır. [21]

$$i_a = I_m \cos(\omega t - \varphi) \quad (2.32)$$

$$i_b = I_m \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.33)$$

$$i_c = I_m \cos\left(\omega t - \varphi + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.34)$$

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (2.35)$$

Burada i_a , A fazındaki akımı, i_b , B fazındaki akımı, i_c ise C fazındaki akımı temsil etmektedir. I_m , her faz akımının tepe temel frekans değeridir, ω (rad/s) cinsinden temel elektriksel açısal frekanstır, φ rad cinsinden gecikme güç faktörü açısıdır ve t zaman (s) olarak ifade edilmektedir. Faz akımlarındaki 120° 'lik simetrik faz kayması nedeniyle üç faz akımlarının toplamı, 2.32'de verildiği gibi sıfırdır.

Faz gerilimleri de 120° veya $2\pi/3$ radyan değerine kadar faz kaydırılır. Faz gerilimi v_a referans olarak dikkate alındığında, üç faz gerilimleri (2.36) olarak tanımlanır.

$$v_a = v_m \cos(\omega t) \quad (2.36)$$

$$v_b = V_m \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.37)$$

$$v_c = V_m \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) = V_m \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (2.38)$$

Burada v_a , A fazı potansiyel voltaj gerilimi, v_b , B fazı potansiyel voltaj gerilimi, v_c , C fazı voltaj gerilimi ve v_m , faz geriliminin nominal frekans değeridir. Polar formda gösterimi ile üç fazlı gerilimler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{V}_a = V_m \angle 0^\circ \quad (2.39)$$

$$\bar{V}_b = V_m \angle -120^\circ = V_m \angle -2\pi/3 \quad (2.40)$$

$$\bar{V}_c = V_m \angle -240^\circ = V_m \angle -4\pi/3 \quad (2.41)$$

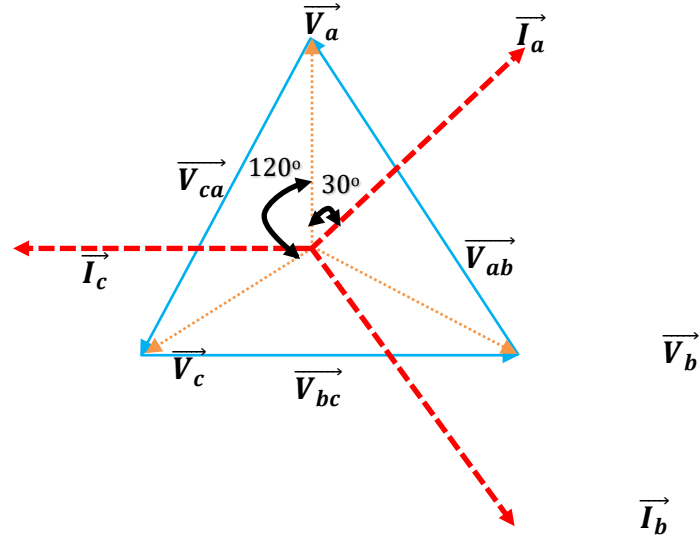
$$v_a + v_b + v_c = 0 \quad (2.42)$$

Yine faz gerilimlerindeki 120° 'lik simetrik faz kaymaları nedeniyle üç faz gerilimlerinin toplamı (2.42) ile verildiği gibi sıfırdır.

Üç fazlı gerilim sistemi, faz gerilimi (v_p) veya hat gerilimi (v_l) cinsinden tanımlanır. v_p ve v_l arasındaki ilişki (2.43)'de tanımlanmaktadır.

$$v_l = v_p * \sqrt{3} \quad (2.43)$$

Üç fazlı gerilim sistemi bir asenkron motora uygulandığında, faz akımları, sınıflar için 30° değerine yakın görünen güç faktörü açısı ϕ kadar faz gerilimlerinden gecikme yönünde faz kaydırılır. Burada V_{ab} , V_{bc} ve V_{ca} hatlar arası gerilimlerdir ve V_a , V_b ve V_c faz gerilimleridir.



Şekil 2.18: Asenkron Motorun Üç Fazlı Stator Akım ve Gerilim Fazörleri

Bu durumda V_{ab} , V_{bc} ve V_{ca} aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.

$$\bar{V}_{ab} = \bar{V}_a - \bar{V}_b \quad (2.44)$$

$$\bar{V}_{bc} = \bar{V}_b - \bar{V}_c \quad (2.45)$$

$$\bar{V}_{ca} = \bar{V}_c - \bar{V}_a \quad (2.46)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} [V_m \cos(\omega t)]^2 d(\omega t)} \quad (2.47)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} V_m^2 \left[\frac{1}{2} (\omega t - \sin(\omega t) \cos(\omega t)) \right]_0^{\pi}} \quad (2.48)$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.49)$$

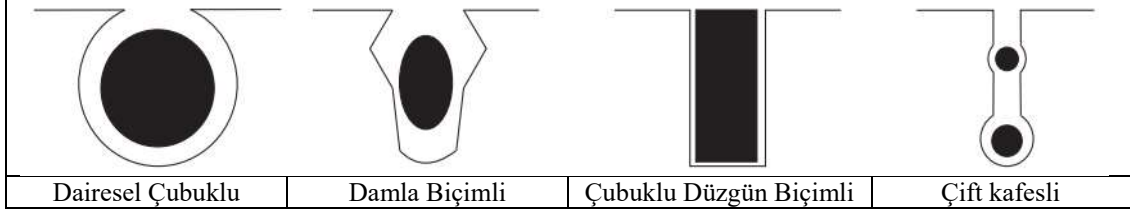
2.9 Rotor Oluk Yapıları

Asenkron makineler, genellikle kısa devre rotor yapısına sahip olup, iki ana türde bulunmaktadır: Sincap kafesli rotor ve rotoru sargılı (bilezikli) rotor. İndüksiyon

motorun rotorunun manyetik nüvesi (elektromanyetik yönelendirme malzemesi), stator gibi oluklu sac paketlerini, mil üzerine preslenerek oluşturulmaktadır. Sincap kafesli asenkron motorların rotorları, oluklara yerleştirilmiş alüminyum veya bakır iletken çubuklardan oluşur. Alınları, kısa devre halkaları ile birbirine bağlı alüminyumdan dökülmüş bir yapıya sahiptir. Oluklardaki çubuklar ve kısa devre halkaları, rotor sargılarını oluşturarak bir kafes yapısını meydana getirir.

Rotor oluklarındaki çubukların eğimli olarak tasarlanması, motorun ilk kalkışını yumuşatır ve rahat kalkınma ve duruş sergilemesini sağlar. Kısa devre halkaları genellikle motorun soğutulması için kullanılan havalandırma kanatları ile birlikte bulunur. Rotor olukları ve içerideki iletken çubuklar/barlar, motorun momenti, kalkınma momenti ve genel performans özelliklerini doğrudan etkileyen önemli tasarım unsurlarıdır.

Bu yapı, sincap kafesli rotorlu asenkron motorların güvenilirliğini, düşük maliyetini ve düşük bakım ihtiyacını sağlamak adına tercih edilen bir tasarım örneğidir. Bu rotor tipi, geniş bir uygulama yelpazesi içinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve motorun başlangıç ve durma süreçlerinde etkili bir performans sergilemektedir.



Şekil 2.19: Rotorların Oluk Yapılarındaki İmalat Örnekleri

Yuvarlak ve damla biçimli rotor oluk yapıları küçük güçlü makinalarda kullanılmaktadır. Kalkış momenti normal ve kalkış akımı nispeten küçük makinalarda tercih edilmektedir.

Düz biçimli rotor oluk yapısı: Aktif gücü KW değeri yüksek olan motorlarda çoğunlukla statorda kullanılır. Bu arada motor ilk kalkınma akımları ve momenti yüksek ve kalkış akımında oldukça düşüktür.

Çift kafesli rotor oluk yapısı: Kalkış momenti çok yüksek, kalkış ve nominal akım oranları iyi olan makinalarda kullanılır.

Motorun rotor kısmı daha önce de ifade edildiği gibi, dönen kısımdır ve motorun yekpare milinin üzerine monte edilmektedir. Hava aralığına yakın açılan oluklara yerleştirilen sargı tipi, rotorun yapısına göre değişiklik göstermektedir. Rotorlar için

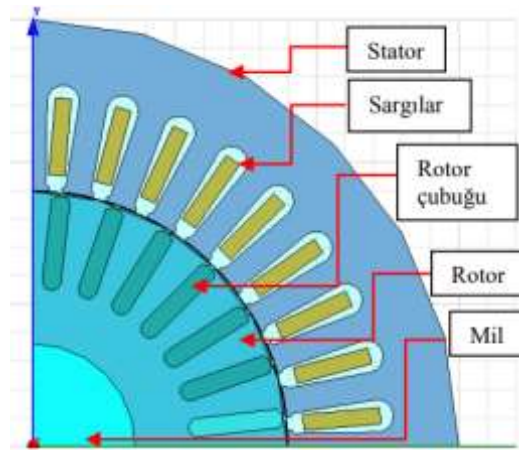
en yaygın kullanılan ve işçilik maliyeti bakımından oldukça ekonomik olan yapı sincap kafesli rotora sahip motorlardır ve rotor yüzeyine açılan oluklara gömülü olarak alüminyum veya bakır iletken çubuk ya da bardan oluşur ve kısa devre halkası ile iletken çubuklar kafes haline getirilir.

Bu iki parça arasında motor verimliliğinde önemli rol oynayan ve hareketli kısım rotor ile duran kısım stator arasında hava boşluğu bulunmaktadır. Hava aralığı çok büyükse, manyetik alanda oluşan manyetik direnç kaybı motor verimini düşürür ve çok küçükse mekanik sorunlar ve gürültü oluşabilir.



Şekil 2.20: Sincap Kafesli Rotorun Görüntüsü

Rotor sargısında gerilimin endüklenebilmesi için, rotorun dönüş hızı statorun dönen manyetik alanın hızından daha düşük olması gerekir. Aksi takdirde manyetik alan hızı ile rotor mekanik hızı birbirine eşitlenirse, manyetik alan çizgileri rotor iletkenlerini kesemez, bu nedenle rotor sargısında gerilim endüklenebilir, kısa devre rotor sargısından gerilim olmadığı için akım geçmez ve dolayısı ile rotorda dönme kuvveti üretilemez. Endüvi (rotor) elektromanyetik alan hızı ile endüktör (stator) hızı arasındaki hız farkının nominal hıza oranı yüzde olarak kayma şeklinde ifade edilir. Bu durum aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 2.21: Motorun İç Yapısı ve Model Kesiti

2.10 Rotoru Bilezikli Asenkron Motor

İndüksiyon motorlar endüvi ve endüktör olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Stator, motorun iç kısmındaki sabit duran sargıların olduğu bölümüdür, rotor ise statorun oluşturduğu emk kuvvet ile manyetik gücün etkisinde dönen bölümüdür. Asenkron motorların rotoru genellikle kısa devreli rotor (sincap kafesli rotor) veya rotoru sargılı (Rotoru Bilezikli-Fırçalı Tip) olarak iki türde olabilir. Asenkron motorlar, rotorun yapısına göre bilezikli ve kafesli asenkron motor olarak sınıflandırılır. Rotoru bilezikli asenkron motor ve standart sincap kafesli asenkron motorlar statorları genellikle temelde birbirlerine benzer şekilde imalatları yapılır.

Asenkron motorun endüktörü, genellikle gövde, stator sac paketleri ve stator sargılarından oluşur. Rotoru bilezikli asenkron motorun rotoru ise stator içinde yataklanmıştır. Rotor mili üzerinde, rotor sac paketi ve döner bilezikler bulunmaktadır. Rotor sac paketi üzerinde açılmış oluklara rotor sargıları yerleştirilmiştir.



Şekil 2.22: Rotoru Bilezikli Asenkron Motor

Çoğu rotor, genellikle üç adet sargı içerir ve bu sargılar genellikle yıldız veya bazen üçgen bağlantıya sahiptir. Bazı durumlarda ise rotordaki iki faz sargıya rastlanabilir. Bu tür sargılar genellikle motor içinde V-devresi şeklinde bağlanır ve çift veya üç sargılı olsalar da sargı uçları, rotor üzerinde bulunan döner bileziklere bağlanır. Elektrik akım devresi ile döner bilezikler arasındaki bağlantı, genellikle kömür fırçaların desteğiyle sağlanır.

Bilezikli asenkron motorun avantajları arasında kalkış akımının dirençler kullanılarak istenilen düzeyde azaltılabilmesi ve kalkış ile frenleme momentinin arttırılabilmesi bulunmaktadır. Şebekelerin güçlenmesi ile kalkış akımını sınırlamanın önemi azalmış olabilir, ancak yüksek kalkış momenti ve uzun kalkış süresi gerektiren bazı uygulamalarda bilezikli asenkron motorun tercih edilmesi gerekebilir. Bilezikli asenkron motorun döndürme momenti, stator ve rotorda oluşan

döner alanların magnetik akılarına bağlıdır. Magnetik akılar, sargılardan çekilen akımlarla doğru orantılı olduklarından, döndürme momentinin motorun akım çekisine bağlı olduğu sonucuna varılabilir. Döner bilezikler kısa devre edildiğinde, rotor akım devresinde rotor sargılarının tepki direnci (endüktansı) önemli ölçüde etkilidir.

Endüktif direnç durumunda, endüvide oluşan gerilim kuvveti gerilimi ile endüktör akımı arasındaki faz farkı 90° derecedir. Bu faz farkı, endüvi elektromanyetik alanı 90 derece kaydırmakla birlikte, endüvi ve endüktör aynı cinsten kutupları karşı karşıya getirirler. Bu durumda, yalnızca rotor mili yönünde etki eden bir kuvvet ortaya çıkar ve rotorun dönmesi durur. Ancak, bu oluşumlar sadece bir varsayımdır ve sargıların sadece tepki direnci göz önüne alınarak anlık durumu göz önünde bulundurulmuştur.

Gerçekte, bobin sargıların etkin direncinin her zaman küçük olması nedeniyle faz farkı 90° dereceden her zaman küçüktür. Dolayısıyla endüvi asla durmaz, ancak döndürme prosesi işleminde oluşan moment en düşük değerine ulaşmaktadır. Endüvi manyetik alan etkisiyle döndüğünde, endüvide oluşan akımının frekans değeri git gide azalmaya başlar. Rotor sargısının tepki direnci düşmeye başlar, etkin dirençte herhangi bir değişiklik olmaz. Faz farkının küçülmesiyle birlikte, motor kutuplarının rotor kutuplarına uyguladığı döndürme momenti artar. Faz farkı küçüldükçe, döndürme momenti büyür; bu duruma karşın endüklenen gerilim ağır basarsa, döndürme momenti azalır.

Günümüzde kullanılan asenkron motor standartlarına göre, motoru sükunet durumundan çıkarmak için gerekli olan moment, ilk dondurma momenti, en büyük döndürme momenti ve devrilme momenti olarak tanımlanır. Motorun anma devri sırasında milinden uygulayacağı döndürme momentine anma momenti denir.

Motorun devrilme momenti, anma momentinin minimum $1,6$ katı olmalıdır. Belirli motor tiplerinde, motorun ilk kalkınma devri ile birlikte dönme momenti ikinci kez düşer. Bu durumda, motorun yol almaya başladıktan sonraki en düşük momente "geçit momenti" denir. Rotor akım devresine yol verme dirençleri bağlandığında, rotor devresinin etkin direnci artar, bu da akım ile gerilim arasındaki faz farkının küçük tutulmasına neden olur.

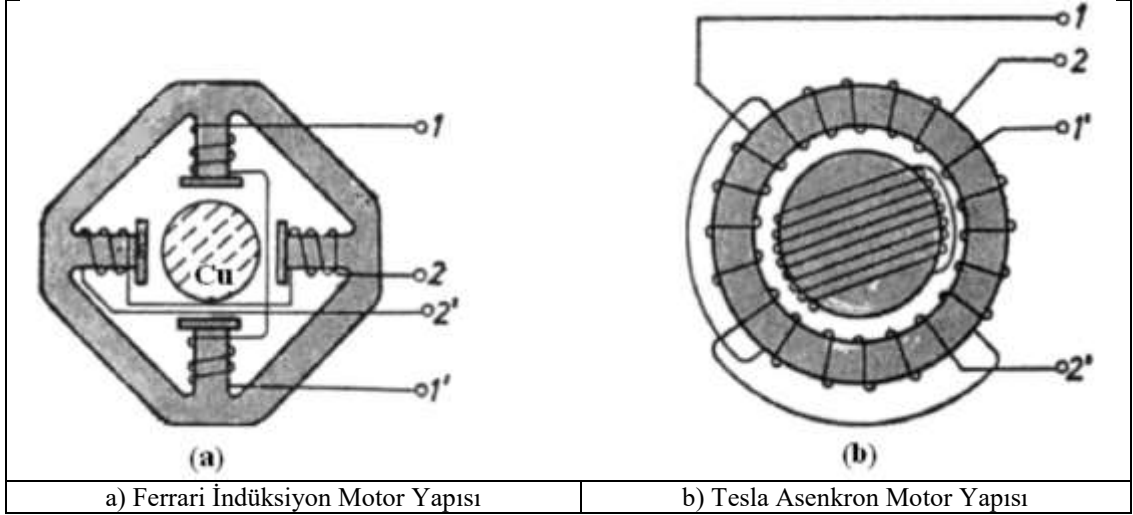
Bu durumun sonucunda, çok düşük devir sayılarında döndürme momenti büyük olur. Ancak devir sayısı arttıkça, rotadan geçen akım şiddeti önemli ölçüde azalır. Bilezikli asenkron motorlarda, kömür fırçalar üzerinden geçen rotor akımı nedeniyle güç kayıpları meydana gelir. Ayrıca, kömür fırçaları ve döner bilezikler sürekli olarak aşınır. 20 kW gücün üzerindeki motorlarda genellikle fırça kaldırma sustaları bulunur. Çok yüksek devirlerde, döner bilezikler arasında sıkışarak kısa devreler ortaya çıkabilir. Bu durumlarda fırça kaldırma sustaları devreye girerek fırçaları döner bileziklerden ayırır.

Yol verme dirençlerinden geçen akımın neden olduğu ısı kayıpları istenmeyen bir durumdur. Dirençlerin yerine bobinlerin yol verme devresinde kullanılması daha büyük sorunlara yol açabilir çünkü bobinlerdeki endüktans nedeniyle oluşan faz farkı, motorun genel faz farkını büyütür ve bu da yol alma momentinin düşmesine neden olur. Bu nedenle, sakıncalarına rağmen dirençlerin kullanılması zorunlu hale gelir.

Bilezikli asenkron motorların kalkış akımları nominal akımlarından çok büyük olmadığından, bu motorlar özellikle büyük su pompaları, tas kırma makineleri ve büyük takım tezgahları gibi yüksek güç gereksinimine sahip makinelerin işletmesinde tercih edilir. Bilezikli rotorun ilk döndürme momenti çok büyük olduğundan, sürekli olarak büyük yükler altında çalışan makinelerin kuvvet üreten kesimlerinde, örneğin büyük vinçlerde, bu motorlar kullanılmaktadır. Ayrıca, devir sayıları ayarlanabilir olduğundan, kreyn ve ayarlı makine tezgahları gibi uygulamalarda sıkça tercih edilirler.

2.11 İndüksiyon Motorun Teknik Matematiksel Modeli

3 fazlı indüksiyon motorlar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektromekanik enerji dönüştürücü makinelerdir. ASM'nin temelinde Maxwell denklemleri ve Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon kanunları vardır. İlk patent sahipleri olarak, 1885 yılında Galileo Ferraris ve 1886 yılında Nikola Tesla bu teknolojiyi geliştirmişlerdir. Dünya'da ilk üretilen asenkron motorlarının ilk görünüş kesitleri.Şekil 2.23. Tesla ile Ferraris'in tasarladığı asenkron motorlar.



Şekil 2.23: Ferrari ve Tesla Motor Yapıları [1]

Motorun matematik olarak model tiplendirmesi, motorun realitedeki anlık davranışlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bir sistemin matematiksel modeli, sistemin fiziksel davranışlarını benzetmek ve olası arızaları analiz etmek için önemlidir. Asenkron motorun kararlı ve geçici rejimdeki tepkileri matematiksel ifadelerle tanımlanabilir. Bu matematiksel ifadeler genellikle lineer olmayan ve zamanla birlikte değişen diferansiyel eşitlikler ile ifade edilir. Ancak, bu tür modellemenin çözümlerini bulmak karmaşık ve oldukça zordur. Bu nedenle, indüksiyon motorun matematiksel tiplene modeli genellikle uzay vektörleri ile ifade edilir. Bu model, elektriksel yönde için Newton-Kirchhoff yasaları, mekaniksel yön için ise enerji korunumu yasalarından faydalanılarak elde edilir. Fiziksel sistemlerin modellendirmeleri sırasında, sistemlerin karmaşık durum hallerini sınırlandırmak ve bazı genel kuralları belirlemek amacıyla belirli varsayımlar yapılarak bu kontrol sağlanır. Aynı şekilde, asenkron motorun matematiksel modelini oluştururken de belirli yöntemler ve varsayımlar kullanılmaktadır.[22]

- Motorda rotor ve stator arası hava boşlukları muntazam geometrik yapıda olmalıdır,
- Manyetik akı yoğunluğu devresi, ideal koşullar altında çalışmakta ve nüvesi doyuma ulaşmadan lineer kısım bölgesinde faaliyet göstermektedir.
- Hava boşluklarının olduğu bölgede akı yoğunluğu, yüzeye 90° 'lik bir açıyla dik bir şekilde yönlendirilmektedir.
- Akım yığılması, fuko kaybı ve histeresiz kayıplar gibi durumlar sistemin hesaplamalarında iptal edilmiştir.

(2.50), (2.51), (2.52) , (2.53), (2.54) 'de verilmiştir [23].

$$R_s = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad (2.50)$$

$$R_s = \begin{bmatrix} L_s & M_{ss} & M_{ss} \\ M_{ss} & L_s & M_{ss} \\ M_{ss} & M_{ss} & L_s \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad (2.51)$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} 2(R_{h+R_c}) & -R_c & 0 \dots & 0 \dots & -R_c \\ -R_c & 2(R_{h+R_c}) & -R_c & 0 \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -R_c & 0 & 0 \dots & R_c & 2(R_{h+R_c}) \end{bmatrix}_{(m \times m)} \quad (2.52)$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_{rr} & \dots & \dots & M_{rr} \\ M_{rr} & L_r & \dots & \dots & M_{rr} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{rr} & \dots & \dots & \dots & L_r \end{bmatrix}_{(m \times m)} \quad (2.53)$$

Bu bağlamda, M_{ss} , stator faz sargıları arasındaki karşılıklı endüktansı, M_{rr} ise endüvi çubuklarının arasındaki karşılıklı bobinsel indüktans (L) durumu ifade etmektedir. Asenkron motorun “ θ ” radyan açısal konumuna bağlı, endüktör faz sargıları ile rotor çubukları arasındaki ortak endüktans bobini olan M_s, r 'nin $p > 1$ için matrisi.

$$\begin{aligned} & M_{s,r}(\theta) \\ & = M_m \\ & * \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(p\theta + \frac{2\pi}{m}) & \dots & \cos(p\theta + \frac{2(m-1)\pi}{m}) \\ \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{m}) & \dots & \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3} + \frac{2(m-1)\pi}{m}) \\ \cos(p\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(p\theta + \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{m}) & \dots & \cos(p\theta + \frac{2\pi}{3} + \frac{2(m-1)\pi}{m}) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.54)$$

Şekildeki matris ifadeleri, açısal konumu temsil eden $p\theta$ ile açıklanmaktadır. Endüvi çubukları ile endüktör faz bobinleri arasındaki karşılıklı ortak endüktans, karşıt tersi olarak denklem (2.55)'te gösterilmiştir.

$$[M_{r,s}(\theta)] = [M_{s,r}(\theta)]^T \quad (2.55)$$

Endüvi ve endüktör bobin endüktanslarının bir araya gelmesi nedeniyle oluşan açısız konuma (anlık radyan durumu) , toplam endüktans matrisi açıklaması aşağıdaki gibidir.

$$[L_{s,r}(\theta)] = \begin{bmatrix} [L_s] & [M_{s,r}(\theta)] \\ [M_{s,r}(\theta)] & [L_r] \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

Endüvi ve endüktör elektriksel devrelerine ilişkin potansiyel gerilim ve elektrik akımı matrisler şeklinde denklem (2.57)'de verilmiştir.

$$I_s = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix}; V_s = \begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix}; V_r = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}; I_r = \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ \vdots \\ i_{rm} \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

Endüktörde oluşan manyetik akı ψ_s , Endüvide oluşan manyetik akı ψ_r faz akı vektörlerine bağlı olduğundan aşağıdaki gibi gösterilebilir..

$$\psi_s = \begin{bmatrix} \psi_{as} \\ \psi_{bs} \\ \psi_{cs} \end{bmatrix}; \psi_r = \begin{bmatrix} \psi_{r1} \\ \psi_{r2} \\ \vdots \\ \psi_{rm} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

A,B,C faz bobinlerinin endüktansları, endüvi ve endüktör akımları, endüktör faz sargıları ile endüvi çubukları arasındaki ortak bobinlerin indüktanslarına bağlı olarak stator akı vektörünün matematiksel ifadesi, (2.59) denkleminde bulunmaktadır. Bu denklem, elektromekanik sistemin karmaşık dinamiklerini anlamamıza yardımcı olan temel bir bağlantıyı sağlar. Ayrıca, rotorun sargı endüktansları, rotor sargısı akımı ve rotor çubukları ile stator faz sargıları arasındaki ortak endüktanslara bağlı olarak belirtilen rotor manyetik akı vektörünü açıklar. Bu iki denklem, elektromekanik enerji dönüşüm süreçlerini karakterize ederken, sistemin dinamik yapısını anlamamıza ve optimize etmemize olanak tanır.

Rotor manyetik akı vektörü, (2.60)'da ifade edilmiştir.

$$[\psi_s] = [L_s][I_s] + [M_{s,r}(\theta)][I_r] \quad (2.59)$$

$$[\psi_r] = [L_r][I_r] + [M_{r,s}(\theta)][I_s] \quad (2.60)$$

Motorların endüvi ve endüktör kısımlarının oluşturduğu devrelerin matematik denklemleri, (2.61) ve (2.62)'te gösterilmiştir.

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt} [[\psi_s] = [R_s][L_s] + \frac{d}{dt} \{ [L_s][I_s] + [M_{s,r}(\theta)][I_r] \} \quad (2.61)$$

$$[0] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt} [[\psi_r] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt} \{ [L_r][I_r] + [M_{r,s}(\theta)][I_s] \} \quad (2.62)$$

Asenkron motorun dönüş hareketinin denklemi,

$$M_e = \frac{1}{2} [[I_s]^T][I_r]^T + \frac{\partial}{\partial \theta} [L_{s,r}(\theta)] \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} \quad (2.63)$$

şeklinindedir. Bu bağlamda, J motor miline indirgenmiş toplam eylemsizlik momentini, B Asenkron motorlardaki toplam viskoz sürtünme katsayısı, motorun mekanik sistemine uygulanan dış kuvvetlerin neden olduğu sürtünme kayıplarını temsil eden bir parametredir. Bu katsayı, genellikle B ile gösterilir ve motorun mekanik sistemine ait eylemsizlik momentinin bir fonksiyonudur.

Modelin lineer olmadığı durumda, karşıt endüklem katsayısının dönme açısı θ 'ya bağlı olması, motorun matematiksel denklemlerinin zaman içinde değişen bir durumu ifade etmektedir. Bu durum, motorun dinamik sistem içindeki karmaşık etkileşimlerini ve non-lineer davranışlarını yansıtarak, dönme açısı θ 'ya bağlı olarak değişen denklem setlerini ortaya koymaktadır. Bu özellik, motorun zamanla değişen koşullara bağlı olarak farklı davranışlar sergileyebileceği anlamına gelir ve sistemin daha karmaşık bir dinamik yapısını gösterir.

Bu durumu, katsayıları zaman içinde sabit kalan bir denklem haline getirerek basitleştirmek amacıyla çeşitli dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır, özellikle Fortescue'nun simetrik bileşenler yöntemi bu bağlamda önem arz etmektedir.

Motor dinamiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve matematiksel açıklamaların netleştirilmesi için, bu çalışmada kullanılan terimlerin bazılarını daha ayrıntılı bir şekilde ele alabiliriz. Eylemsizlik momenti (J), bir cismin dönme direncini temsil eder ve motor milinin eylemsizlik momenti, dönen bir cismin kinematik özelliklerini ifade eder. Viskoz sürtünme katsayısı (B), motorun hızına bağlı olarak oluşan sürtünmeyi ifade eder ve bu katsayı, hareketin hızına karşı olan direnci belirtir.

Modelin lineer olmaması, motor dinamiklerinin karmaşıklığını gösterir ve bu durum, motorun çalışma koşulları ve çeşitli dış etmenlerle etkileşim içinde olduğunu gösterir. Ayrıca, karşıt endüklem katsayısının dönme açısı θ 'ya bağlı olması,

motorun içsel özelliklerinin karmaşıklığını vurgular ve denklemlerinin zamanla değişen bir doğaya sahip olduğunu gösterir.

Zaman içinde değişen durumu daha iyi anlayabilmek adına, bu çalışmada kullanılan denklemleri sabit katsayılara sahip denklemlere dönüştürmek amacıyla çeşitli dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Fortescue'nun simetrik bileşenler yöntemi, bu dönüşüm sürecinde etkili bir araç olarak kullanılmıştır.

Burada ele alınan konular, motor dinamiklerini anlamak ve matematiksel modellerini oluşturmak açısından önemlidir. Kullanılan terimlerin ayrıntılı bir şekilde ele alınması ve dönüşüm yöntemlerinin etkili bir şekilde kullanılması, motor sistemlerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Bu sistem özellikle 3 fazlı sistemlerde kullanılmaktadır. Bu noktada, endüvi denklemlerinin dönüşümünde simetrik bileşenlerinin matrisi olarak $[\Gamma_r]$, aynı şekilde endüktör denklemlerinin dönüşümünde ise $[\Gamma_s]$ matrisi kullanılır [23].

$$[\Gamma_s] = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}_{(3 \times 3)} ; [\Gamma_r] = \frac{1}{\sqrt{m}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & b & \dots & b^{(m-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & b^{(m-1)} & \dots & b^{(m-1)} \end{bmatrix}_{(m \times n)} \quad (2.64)$$

Burada, $a = e^{j \frac{2\pi}{3}}$, $b = e^{j \frac{2\pi}{m}}$, $b^{-1} = b^{m-1}$, $b^{(m-1)^2} = b$

Bu bağlamda, m rotorun faz sayısını temsil etmektedir. Dönüşüm matrisleri kullanılarak elde edilen dönüştürülmüş stator akımı ve gerilimi ile ilgili daha bilimsel bir ifade sunabiliriz.

Dönüşüm matrisleri, stator akımını ve gerilimini karmaşık düzlemde alınan fazörlerle temsil etmek için kullanılmıştır. Bu, matematiksel açıklamaların netleştirilmesine ve analizin daha anlaşılır hale getirilmesine yardımcı olur.

Bu dönüşüm matrislerinin uygulanması sonucunda elde edilen dönüştürülmüş stator akımı ve gerilimi şu şekildedir.

Bu matematiksel ifadeler, stator akımı ve gerilimini analiz etmek için kullanılan temel araçlardan biridir. Ayrıca, bu ifadelerin motor dinamiklerini anlamak ve modellemek açısından önemli bir rol oynadığını söyleyebiliriz.

ifadeleri ve dönüştürülmüş rotor akım ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$[V_s]_{0,+,-} = [\hat{\Gamma}_s][V_s] ; [I_s]_{0,+,-} = [\hat{\Gamma}_s][I_s] ; [I_r]_{0,+,-} = [\hat{\Gamma}_R][I_r] \quad (2.65)$$

Akım ve gerilim ifadelerinin aşağıdaki gibi yazılabilir.(2.63)

$$[V_s]_{0,+,-} = \begin{bmatrix} V_{s0} \\ V_{s+} \\ V_{s-} \end{bmatrix}; [I_s]_{0,+,-} = \begin{bmatrix} i_{s0} \\ i_{s+} \\ i_{s-} \end{bmatrix}; [I_r]_{0,+,-} = \begin{bmatrix} i_{r0} \\ i_{r1} \\ \vdots \\ i_{rm-1} \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

Burada, V_{s0} : stator gerilimi sıfır bileşeni . Elektriksel sistemde bu bileşen genellikle aktif gücü temsil eder.

V_{s+} : Stator geriliminin pozitif bileşeni. Bu bileşen genellikle reaktif gücü temsil eder ve stator akımının indüklenen manyetik alanla arasındaki faz açısını belirler.

V_{s-} : Stator geriliminin negatif bileşeni. Bu bileşen, stator geriliminin negatif yönündeki etkileri temsil eder.

Bu semboller, elektromekanik sistemlerin matematiksel modellerinde ve analizlerinde kullanılan genel sembollerdir. Elektrik mühendisliği ve güç sistemleri alanında, bu sembollerle ifade edilen büyüklükler genellikle fazör notasyonu kullanılarak gösterilir.

, $i_{r0}, i_{r1} \dots i_{rm-1}$ rotordaki akımlar sırasıyla sıfır, birinci ve m-1. Bileşenleri ile gösterilmektedir. Dönüşüm matrislerinin matematik ifadeleri (2.67), (2.68) ve (2.69)'e ile birlikte kullanıldığında aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$[V_s]_{0,+,-} = [\hat{\Gamma}_s][R_s][\hat{\Gamma}_s]^{-1}[I_s]_{0,+,-} + [\hat{\Gamma}_s] \frac{d}{dt} \{ [L_s][\hat{\Gamma}_s]^{-1}[I_s]_{0,+,-} + [M_{s,r}(\theta)] [\hat{\Gamma}_R]^{-1}[I_r]_{0,+,-} \} \quad (2.67)$$

$$[0] = [\hat{\Gamma}_R][R_r][\hat{\Gamma}_R]^{-1}[I_r]_{0,+,-} + [\hat{\Gamma}_s] \frac{d}{dt} \{ [L_r][\hat{\Gamma}_R]^{-1}[I_r]_{0,+,-} + [M_{s,r}(\theta)] [\hat{\Gamma}_s]^{-1}[I_s]_{0,+,-} \} \quad (2.68)$$

$$[M_e] = \frac{1}{2} [[I_s]_{0,+,-}^{*T} [\hat{\Gamma}_s]^{-1} ; [I_r]_{0,+,-}^{*T} [\hat{\Gamma}_R]^{-1*}] \frac{\partial}{\partial \theta} \{ [M_{s,r}(\theta)] \}$$

$$\begin{bmatrix} [\hat{\Gamma}_s]^{-1} & [I_s]_{0,+,-} \\ [\hat{\Gamma}_R]^{-1} & [I_r]_{0,+,-} \end{bmatrix} = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \frac{d}{dt} \quad (2.69)$$

Bu işlemler yeniden düzenlenerek, denklem (2.70) ve (2.71)' de verilen

motorun dönüştürülmüş modeli elde edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{s+} \\ V_{s-} \\ V_0 \\ V_0 \\ i_{s+} \\ i_{s-} \\ i_{r+} \\ i_{r-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{s+} & 0 & \frac{\sqrt{3m}}{2} M_m e^{jp\theta} & 0 \\ 0 & L_{s-} & 0 & \frac{\sqrt{3m}}{2} M_m e^{-jp\theta} \\ \frac{\sqrt{3m}}{2} M_m e^{jp\theta} & 0 & L_{r+} & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{3m}}{2} M_m e^{-jp\theta} & 0 & L_{r-} \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{s+} \\ i_{s-} \\ i_{r+} \\ i_{r-} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 90 & 0 & \frac{jp\sqrt{3m}}{2} M_m e^{jp\theta} & 0 \\ 0 & L_{s-} & 0 & \frac{jp\sqrt{3m}}{2} M_m e^{jp\theta} \\ \frac{\sqrt{3m}}{2} M_m e^{-jp\theta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{j\sqrt{3m}}{2} M_m e^{jp\theta} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s+} \\ i_{s-} \\ i_{r+} \\ i_{r-} \end{bmatrix} \quad (2.70)$$

$$M_e = \frac{\sqrt{3m}}{2} M_m [(i_{s+} i_{r+} + i_{r-} i_{s-}) e^{jp\theta} - (i_{s-} i_{r-} + i_{r+} i_{s+}) e^{-jp\theta}] \quad (2.71)$$

Verilen formül, asenkron motorlarda meydana gelen momentin (Me) matematiksel ifadesini temsil eder. Bu formül, motorun elektromanyetik momentini, stator ve rotor akımları arasındaki etkileşimden kaynaklanan terimlerle açıklar.

İşte formülde bulunan terimlerin açıklamaları:

- Me: Elektromanyetik moment.
- m : Motor Faz sayısı.
- Mm : Makara momenti.
- is+, is- : Sırasıyla stator akımının pozitif ve negatif bileşenleri.
- ir+, ir-: Sırasıyla rotor akımının pozitif ve negatif bileşenleri.

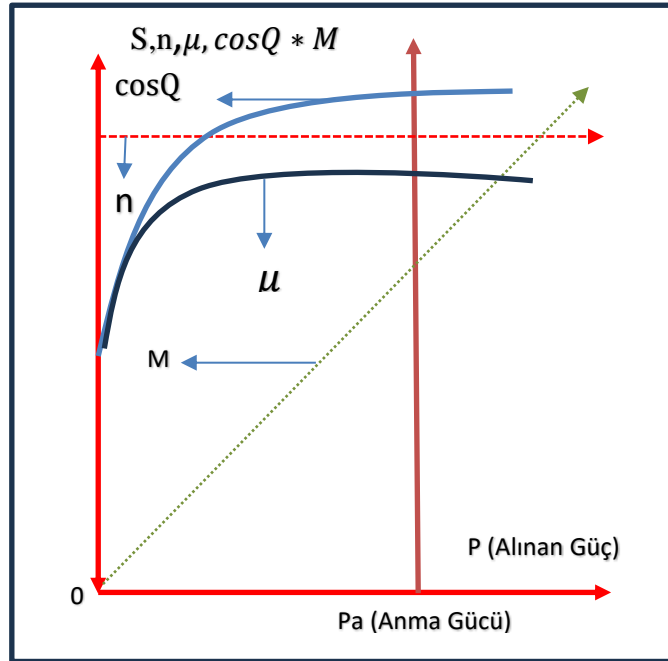
- $e^{-jp\theta}$: Faz açısı ile ilişkilendirilmiş karmaşık bir üstel fonksiyon, euler formülünde yardımcı bir açılım çözümlerde kolaylık sağlayacaktır.

2.13 Motorun Dönüş Sırasında Geri Kayması

İndüksiyon motorun çalışma şekline, sistemine göre, rotorun dönüş sayısı, senkron dönüş sayısına ulaşamaz ve dolayısıyla senkron hızından daha az bir rotasyonel dönüş hızı devir/dakika olarak dönmeye devam eder. Motorun rotorundaki manyetik dönüş kayması, motorun çalışma sisteminin özelliklerini betimleyen bir büyüklüktür. Buradaki çalışma şekli aşağıda olduğu gibi ifade elmektedir.

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} * 100 \quad (2.72)$$

$$P_{kW} = \frac{P_{kW}}{n_r} * 975 \quad P = \sqrt{3} * U * I * \cos\phi \quad (2.73)$$



Şekil 2.25: Asenkron Motorun Güç Karakteristik Grafiği [8]

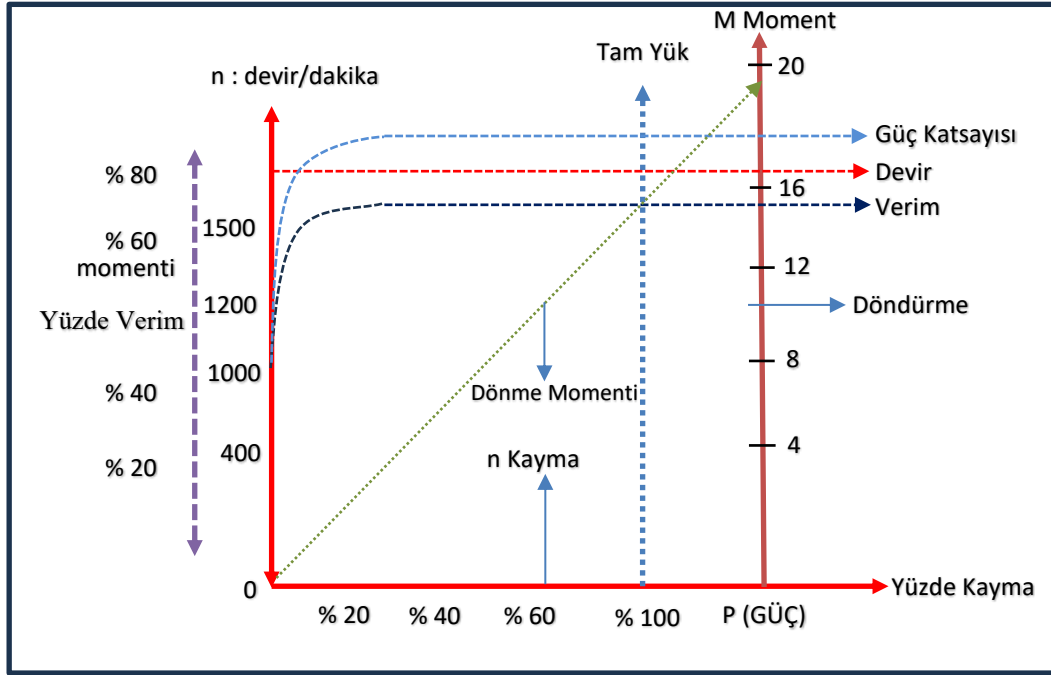
Burada, n_s indüksiyon motorun senkron hızı, n_r rotor dönme hızını, s ise motor dönüşündeki kaymayı göstermektedir. Belirtilen motorun kayma ile ilgili denklemlerden görüldüğü gibi, rotor hareketsiz durduğunda $n_r=0$, $s=1$ olur. Burdaki temel durum transformatör şeklinde çalışmayı belirtmektedir. Teoride motorun, rotor

senkron hızında rotasyonel dönmesi durumunda $n_s = n_r$ olacağından $s = 0$ olur. Bu belirtilen ifade teoride bu şekilde ifade edilmektedir. Dolayısıyla indüksiyon motorda rotorun dönme hızı asla senkron şeklinde belirtilen hıza ulaşamaz. Asenkron motor dışarıdan bir mekanik enerji ile döndürüldüğünde bu durumda $n_r > n_s$ olacağından $s < 0$ olur. Böyle bir fiziksel ters rotasyonel dönüş sebebi ile jeneratör makine olarak çalışmaya başlayacaktır. $n_r < 0$ olursa, rotor döner alana karşı ters döner ve $s > 1$ olur. Bu durum fren çalışma olarak tanımlanmaktadır. $1 > s > 0$ durumunda ise asenkron makina motor olarak çalışmaktadır.

Üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlar, boşta çalışma ve tam yükte çalışma durumlarında genellikle nispeten sabit bir hızda işlerler. Rotorun düşük empedansı (bakır-alüminyum çubuklar) nedeniyle küçük bir hız değişikliği, rotor akımının artmasına yol açar ve bu, gerekli dönme momentini oluşturarak yükü karşılar. Teorideki ifadelerde, boşta çalışma sırasında kayma değeri sıfırdır, tam yükte ise %2 ile %5 arasında değişimler gösterildiği ifade edilmektedir. Ancak belirtilen bu kaymalar olsa bile motorun rotor kısmı ölçümler sonucunda, dakikada sürekli aynı değerde ölçüm yapıldığı gözlemlenir.

Asenkron motorlardaki verim, genellikle küçük güç seviyelerinde düşüktür. Ancak, yük arttıkça verim de artar ve yükün %75 - %100 arasında değişmesiyle birlikte en üst seviye (maksimum) değerine ulaşır. Bu durum, motorun nominal yükte en verimli çalıştığı noktayı temsil eder. Asenkron motorların verim karakteristiği, özellikle yük değişimine bağlı olarak değişebilir ve bu karakteristik, motorun belirli çalışma koşullarına göre optimize edilmesini gerektirebilir.

Asenkron motorların bu özellikleri, enerji verimliliği ve motor performansı açısından incelenmeye değer önemli konulardır. Bu sistemlerin karmaşıklığını ve etkileşimlerini anlamak, tasarım ve işletme aşamalarında önemlidir.



Şekil 2.26: Sincap Kafesli Asenkron Motorun Çalışma Karakteristiği Grafiği [8]

Asenkron motorların çalışma sırasında ortaya çıkan bu kayıplar, boştaki çalışma kayıpları ve (cu) bakır kayıpları olarak iki temel kategoride incelenir. Bu kayıplar, motorun enerji verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İşte bu kayıpların ayrıntılı açıklaması:

Aşağıdaki sabit kayıplar, bütün yükler altında sabit bir değere sahiptirler.

Sürtünme Kayıpları: Motorun mekanik bileşenleri arasındaki sürtünmeden kaynaklanan enerji kayıplarıdır.

Hava Kayıpları: Havanın direncinden kaynaklanan enerji kayıplarıdır.

Demir kayıpları: Motorun manyetik çekirdeğinin doyması ve doymamış durumdaki manyetik alanların yaratılması sırasında ortaya çıkan enerji kayıplarıdır.

Bakır Kayıpları: Motor sargılarından geçen akımın, sargı direnci ile ilişkili olarak oluşan enerji kayıplarıdır. $P_{cu} = I^2 * R$ formülü ile ifade edilir. Bu kayıplar, sargılardan geçen akımın karesiyle orantılıdır ve bu akım arttıkça bakır kayıpları da karesel olarak artar.

Küçük yüklerde, giriş gücünün büyük bir kısmını sabit kayıplar oluşturduğu için verim düşer. Tam yükte ise sabit kayıplar, giriş gücünün küçük bir kısmını oluşturduğundan motor verimi artar. Ancak, yük motorun nominal değerini aştığında bakır kayıpları hızla artarak verimi düşürür.

Bu tanım, motorun çalışma koşullarına göre optimize edilebilecek bir performans ölçüsü sunar. Verim analizi, motorun belirli bir uygulama veya iş yükü altında nasıl performans gösterdiğini anlamak açısından önemlidir.

Asenkron makinelerde verim genellikle şu şekilde tanımlanır:

$$\eta = \frac{\text{Çıkış Gücü}}{\text{Giriş Gücü}} * 100 \text{ veya} \quad (2.74)$$
$$\eta = \frac{\text{Giriş Gücü} - (\text{Sabit Kayıp} + \text{Bakır Kaybı})}{\text{Giriş Gücü}} * 100$$

Asenkron motorlarda nominal değerlerdeki çalışmada stator kayma değeri küçük ve hız regülasyonu ise oldukça iyidir.

2.14 Üç Fazlı Asenkron Motorda Yol Verme Yöntemleri

Rotoru kısa devre edilmiş bir asenkron motor, başlangıç anında sekonderi kısa devre edilmiş bir transformatör gibi davranırlar, bu da kalkınma anında akım çekimlerinin nominal değerlerinin önemli ölçüde , 4-5 kat üzerinde olmasına neden olur. Bu durum, şebeke üzerinde geçici 8-10 sn. akım dalgalanmaları ve gerilim düşüşlerine yol açarak, aynı şebekede beslenen diğer elemanlarda etkilenmelere sebep olur.

Motorlar kalkınma anında yüksek akım çekerler, ancak bu durumdaki yüksek akım çekimleri genellikle çok kısa süreli olup, motor sargılarına asla zarar vermezler. Motorlar, kısa bir süre içinde normal devrine ulaşır ve bu süreçte çekilen yüksek akım, zamanla birlikte 8-10 sn sonra nominal değerlere ulaşır.

Asenkron motorlara yol verme metotları:

1. Direkt Yol Verme
 - 5,5 kW ve daha küçük güçteki motorlar için uygundur.
2. Düşük Gerilimle Yol Verme

5 kW'tan büyük güçlü motorlar için çeşitli yöntemlerle uygulanır:

- a. Seri dirençle ile yol verme,
 - b. Seri reaktansla ile yol verme,
 - c. Oto transformatörleri ile yol verme,
 - d. Yıldız-üçgen mekanik şalterlerle yol verme,
3. Evirici Kullanarak Yol Verme

- Frekans değiştirerek yol vericilerle uygulanır.

4. Soft-Starter Yol Vericiler

Soft starter yol verici cihazlar, motora yumuşak bir kalkış başlangıcı sağlamak için kullanılır ve günümüzde A.C. Motor soft güç elektroniği kontrolcleriyle entegre edilmektedir.

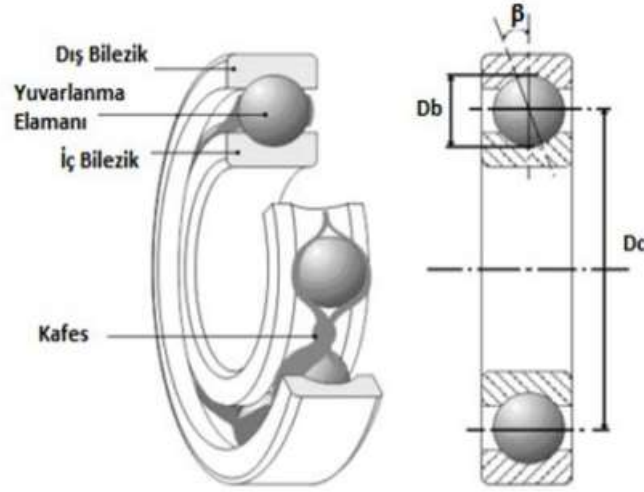
Günümüzde daha çok gemilerde ve sanayi tesislerinde akıllı frekans invertörleri (FVD) motorların sürücüsü olarak daha çok kullanılmaktadır. Burada asenkron motorun etiket değerlerini motor sürücüsü olarak kullanılacak olan frekans konvertörünün kendi lcd arayüzü içerisinden tuş takımı vasıtasıyla , nominal akım, gerilim, motorun gücü kW değeri, devir/dakika , frekans, gibi motorun elektriksel parametreleri , frekans konvertörünün arayüz ekranından yazılabilir.

Asenkron motorun yük altında ve boştaki çalışma değerleri için, güç (P) ile, moment (M), devir (n), verim (η), kayma (S), gç katsayısı ($\cos\phi$) ve akım-moment gibi ilişkileri karşılaştırma yapmak mümkündür. Asenkron motorlarda yk altındayken devir sayısı azalır, ancak motorun çektiği akım çoğalır. Motorun tam yükteki devir sayısı doğrusal olarak düşer. Asenkron motorun güç katsayısı boştayken küçük olup, motor yükü arttıkça reaktif güç büyür. İndüksiyon motorun rotorunun kayması da motor yüklendikçe belirli bir seviyeye kadar artmaya devam eder. Asenkron motorlarda verim yükün artışıyla birlikte artar, 1/3 yükten sonra tam yüke kadar verim artışının yüksek olduğu dikkat çekmeye başlar. İndüksiyon motorun dönme momenti de motordan alınan aktif gle birlikte doğru orantılı olarak artmaya başlar, bu artış motorun devrilme momentine kadar devam eder.

3. BÖLÜM

3.1 Rulmanlar ve Planlanmış Rutin Motor Bakımı

Rulmanlar, motorların kritik parçalarından biridir ve genellikle iç ve dış bilezikler, makara ve bilyelerden oluşan bir yapıya sahiptir. Rulman, minimum sürtünme ile dönme hareketini gerçekleştiren önemli bir elemandır ve kafes, dış bilezik, iç bilezik ve yuvarlanma elemanları gibi temel bileşenleri içerir. Şekil 3.1'te, bir motor şaftındaki rulman kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Motor Şaft Rulman Kesiti [24]

Rulmanlar, mimarisinde aksenal ve radyal yükler olmak üzere iki tip yüke maruz kalırlar. Kullanım alanlarına bağlı olarak rulmanların maruz kalacağı yük türü değişebilir. Asenkron motorları ve makaralı sistemlerde radyal yüke maruz kalan rulmanlar, özellikle iki makarayı birbirine bağlayan kayışın gerginliğinden kaynaklanan yüke maruz kalır. Bu durumda, rulman tamamen aksenal yönde yük alır. Örneğin, otomobil tekerleklerinde kullanılan rulmanlar, hem aksenal hem de radyal yüklere maruz kalabilirler, her iki yükü de karşılamak zorundadırlar.

Radyal yük, bir cismin merkezinden uzaklaşan veya merkeze doğru yönlendirilen dış kuvvetlerin neden olduğu yük veya kuvveti ifade eder. Bir nesnenin aksenine dik olarak uygulanan kuvvet olarak düşünülebilir. Aksenal yük, nesnenin akseni boyunca

hareketine neden olan kuvveti temsil ederken, radyal yük, eksene dik olan yükü temsil eder.

Asenkron motorlarda radyal yük, genellikle motorun şaftının dönme hareketi sırasında motorun rulmanlarına etki eden kuvvetler olarak ortaya çıkar. Radyal yük, motorun dönme hareketine karşı direnci dengelemek veya taşımak için rulmanlar aracılığıyla desteklenir. Motorun çalışma koşullarına bağlı olarak, radyal yükler farklı yönlere ve büyüklüklere sahip olabilir. Rulmanlar, bu tür yükleri üstünde sönmeyecek bir şekilde tasarlanır ve motorun miline yerleştirilir.

Rulmanlar, makine sektöründe ve diğer sektörlerde gürültüyü azaltma, absorbe etme ve sızdırmazlık sağlama amacıyla plastik kafesli tasarımlarında üretilmektedir.

Ancak asenkron motor millerinde genelde, plastik kapaklar genellikle iyi bir sızdırmazlık özelliği sunmadığından, özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında metal kapaklı rulmanlar tercih edilmektedir. Standart plastik kapaklı rulmanlarda, plastik malzeme genellikle nitril kauçuktan üretilir. Plastik kapak, iç bileziğin üst kısmına temas eder ve etkili bir sızdırmazlık sağlar; metal kapak ise bu özelliği sunmaz. Oynak bilyalı veya oynak makaralı rulmanlar, aksel açıklığının bulunduğu yerlerde kullanılır.

Rulmanlar, sadece ortamdaki veya çalışma sırasındaki sıcaklıktan etkilenmekle kalmaz, aynı zamanda takıldığı milin sıcaklığını da absorbe eder. Rulmanın çalışma sıcaklığı, başlangıçta yuvarlanma elemanlarının sürtünmeden kaynaklanan ısı etkileriyle belirlenir. Sızdırmazlık elemanına sahip rulmanlarda sürtünme daha fazla olabilir. Tasarım aşamasında, milin ısı genleşmesinden kaynaklanan boy uzaması göz önüne alınmalı ve rulmanın buna göre yerleştirilmesi sağlanmalıdır.

Rulmanlarla ilgili ölçümlerde belirtilen Db (yuvarlanan bilye çapı), Dc (misketler arası dikeydeki mesafe) ve β (temas açısı), rulmanın geometrik özelliklerini tanımlar. Elektrik motorlarındaki rulmanların yalnızca %34'ünün ömrünü tamamladığı, geri kalanlarının ise çeşitli arızalar nedeniyle değiştirildiği belirlenmiştir. Bu arızalar genellikle rulmanın her iki bileziği, kafesi veya yuvarlanma elemanını içerebilir. Bu durum, gerekli bakımların yapılmaması veya önleyici tedbirlerin alınmamasından kaynaklanabilir. Ayrıca, yanlış kullanım veya hatalı montaj gibi etkenler de motorlarda mekanik arızalara neden olabilir. Motor millerine bağlanan rulmanın hasar durumlarının tespit edilmesi için dört ana hasar frekans durumu vardır. [24]

$$F_{kafes} = \frac{1}{2} F_r \left(1 - \frac{Db \cos\beta}{Dc}\right) \quad (3.1)$$

$$F_{dis} = \frac{n}{2} F_r \left(1 - \frac{Db \cos\beta}{Dc}\right) \quad (3.2)$$

$$F_{iç} = \frac{n}{2} F_r \left(1 + \frac{Db \cos\beta}{Dc}\right) \quad (3.3)$$

$$F_{bilaye} = \frac{Dc}{Db} F_r \left(1 - \left(\frac{Db \cos\beta}{Dc}\right)^2\right) \quad (3.4)$$

Düzenli olarak gerçekleştirilen özel bir bakım planı, motor sorunlarının ve arızalarının önlenmesinde birincil faktördür. Sorunlar ortaya çıktığında ve sistemin kapatılması kaçınılmaz olduğunda, mantıksal, adım adım sorun giderme yöntemi zamandan ve paradan tasarruf sağlayabilir. Tüm elektrik motorlarında en azından motor üreticisinin belirttiği bakım planına uyulmalıdır. Gereken ilave bakım dikkat süresi ve yedek parçaların, hatta yedek motorların stoklanması, büyük ölçüde motorun önemine, maliyetine ve karmaşıklığına bağlıdır. Örneğin, bir sistemin sürekli çalışması için mutlaka hayati önem taşımayan, küçük, normal stoklu, düşük beygir gücünde, düşük maliyetli standart bir motor, bu kadar katı bir bakım programı gerektirmeyebilir. Yedek parçalar kolaylıkla temin edilebilir ve stoklanabilir. Bazı durumlarda, yoğun onarımlara devam etmek yerine motorun tamamını değiştirmek daha az maliyetli olabilir. Öte yandan, tüm üretim sürecinin bağlı olduğu yüksek maliyetli özel bir motor, daha fazla özen ve bakım gerektirecektir. Yedek parçalar kolaylıkla bulunamayabilir veya uygun maliyetli olmayabilir.

Planlı rutin muayene ve servis, motor sorunlarını en aza indirecektir. Rutin servisin sıklığı uygulamaya bağlıdır. Genellikle motorları dahil etmek yeterlidir. Tahrik edilen bir makinenin veya genel tesis ekipmanının bakım programında bir arızanın sağlık veya güvenlik sorunlarına, ciddi üretim kaybına, ekipman hasarına veya diğer ciddi kayıplara neden olması durumunda daha sık bir bakım programı benimsenmelidir.

Bakım programını planlamak ve belgelemek önemlidir. Buna muayene tarihi, muayene edilen öğeler, gerçekleştirilen servis ve genel motor durumu gibi verilerin kaydedilmesi için hazırlanmış formlar da dahildir. Bu kayıtlar, bir uygulamadaki belirli sorunların belirlenmesine ve arızaların ve üretim kayıplarının önlenmesine yardımcı olabilir. Rutin muayene ve servis genellikle motorların bağlantısını

kesmeden veya parçalarına ayırmadan yapılabilir. Denetimde aşağıdakilerden her biri dikkate alınmalıdır.

Motorun iç parçaları, motor dönmediğinde bile hat potansiyelinde olabilir. Herhangi bir işlem yapmadan önce, herhangi bir dahili parçaya temasla sonuçlanabilecek bir bakım durumunda, motordan gelen tüm gücün kesildiğinden emin olunmalıdır. Rektifiye güç üniteleri kullanan motorlarda tüm AC hat bağlantılarının kesilmesi gereklidir. Dönen güç üniteleri kullanan motorlarda tüm DC ve AC hat ve saha bağlantılarının ayrılması gereklidir.

Gres yağları sürtünme önleyici olarak rulmanların üzerinde kullanılmaktadır. Rulmanların yalnızca planlandığı tarihlerde yağlanması gereklidir, aşırı yağlama yapılmamalıdır. Aşırı gres, çalkalama nedeniyle ısı oluşturur ve yataklara zarar verebilir. Yağlama sıklığı ve miktarları için üreticinin tavsiyelerine uyulması gereklidir. Yağlamadan önce yağlama ekipmanının ve bağlantı parçalarının iyice temizlenmesi gereklidir. Yağlama sırasında rulmanlara giren kir, muhtemelen yağlama eksikliğinden daha fazla rulman arızasına neden olur. Yalnızca temiz kaplardan alınmış temiz, taze gres kullanılması ve kirlenmeyi önleyecek şekilde dozajının ayarlanması gerekir.

Planlı yağlamadan önce hem giriş hem de tahliye tapaları çıkarılmalıdır. Rulmanların aşırı yüklenmesi düzeltildikten sonra bile rulmanlar sıcak veya gürültülü kalırsa, bu durumda motoru serviste sökölüp rulmanların üzerine binen fiziksel yükün gözle görülmesi gerekmektedir. Muhafazayı ve statoru iyi bir solventle yıkayın. Rulmanları değiştirin. Motoru monte edin ve rulmanların yuvalarını yeterli miktarda gres ile doldurun. Motorlar servis için söküldüğünde, yatak muhafazasını kontrol edin. Gres kirlenmesi veya bozulmasına dair herhangi bir belirti varsa yatağın temizlenmesi gerekmektedir.

Genel bir kural olarak, fitil yağlama sistemine sahip fraksiyonel beygir gücü motorlarının her 2000 saatlik çalışmadan sonra veya en azından yılda bir kez yağlanması gerekir. Kirli, nemli veya aşındırıcı yerler veya ağır yükleme, 3 aylık aralıklarla veya daha sık yağlama gerektirebilir. Yağın miktarı, sıklığı ve türü için üreticinin tavsiyelerine uyulması gereklidir. Daha büyük motorların çoğu, yağ depoları ve genellikle uygun seviyeyi kontrol etmek için bir seviye göstergesi ile donatılmıştır. Yağ temiz ve açık renkli olduğu sürece tek gerekli olan boşluğu uygun

miktarda doldurmaktır. Üretici tarafından tavsiye edilen yağ ile aynı seviyeye getirilmelidir, boşluğun aşırı doldurulmaması gerekir. Yağın rengi solmuşsa, kirliyse veya su içeriyorsa tahliye tapasını çıkartarak rulmanın temiz çıkana kadar temiz solventle yıkanmalıdır.

Yağın rengi sık sık değişiyor veya alışılmadık derecede koyulaşıyorsa, yağın sökülmesi ve yatak parçalarını kontrol edilmesi gerekir.

Koyulaşmış yağın olası nedenleri şunlardır:

1. Uygunsuz kazıma, kir, ısı veya titreşim nedeniyle mil yatağı yüzeyinin silinmesi veya erimesi.
2. Yanlış hizalama nedeniyle mil omzunun yatağın uç yüzüne doğru itilmesi motordan tahrik edilen ekipmana, uygun olmayan dahili motor eksenal açıklıklarına ve uç şamandırasına neden olabilir.
3. Yağ segmanlarının rezervuar muhafazasına sürtünmesi.
4. Rulman yatağının cıvatalı yüzeylerinin uygun olmayan veya yetersiz sızdırmazlığı eğer uygun değilse bu kirli havanın yatak rezervuarına çekilmesine izin verebilir.

Motorlar söküldüğünde muhafazanın solventle yıkanması gerekir ve aşınmış yatakların mutlaka değiştirilmesi gerekir. Mil ve yatak yüzeylerini yağla kaplandıktan sonra yeniden monte edilmelidir.

Uygun test ekipmanlarıyla ısı, gürültü ve titreşim, motor gövdesi ve yataklarının aşırı ısınma veya titreşim açısından kontrol edilmelidir. Anormal gürültü, olası sistem arızasını gösterir, arızayı tanımlamak, ısı, gürültü veya titreşim kaynağının ortadan kaldırılması gerekir. Titreşim seviyelerini karşılaştırılan belli zamanlardaki titreşim ve ses kayıtları, mil, rulman ömrünü tahmin etmek için kullanılmalıdır. Sıcaklık, aşırı ısı hem motor arızasının nedeni hem de diğer motor sorunlarının işaretidir. Aşırı ısının neden olduğu birincil hasar, yalıtımın eskime oranının hızlı bir şekilde artmasıdır. Yalıtım derecesini aşan ısı, sargı ömrünü kısaltmaktadır. Yaklaşık olarak, tasarlanan sıcaklığın üzerindeki her 10°C (50°F) artışta yalıtım ömrünün normal ömrünün yarısı kadar azalır. Aşırı ısınma, aşağıdaki gibi gruplandırılmış çeşitli farklı sorunlardan kaynaklanır.

3.2 Sargıların Temizlenmesi ve Kurutulması

Elektrik motorunun sargılarının temizlenmesinin temel olarak iki yolu vardır. Tesis içi bakım için genellikle kir ve kontaminasyonun silerek, fırçalayarak ve çok dikkatli bir şekilde basınçlı hava üfleyerek fiziksel olarak giderilmesi önerilmektedir. Sıkıştırılmış hafif bir temizlik hava ve öğütülmüş mısır koçanı bazen çok etkilidir. Özellikle basınçlı havayla ilgili tehlike, iletken kirletici maddelerin yalıtımdaki çatlaklara veya kırılmalara zorlanması ve muhtemelen sorunu, olduğundan daha kötü hale getirebilir. Bu nedenle hava, yalnızca kirin büyük kısmı fiziksel olarak temizlendikten sonra son rötuş olarak kullanılmalıdır. İkinci yöntem, kir ve yağın sıvı solüsyonla uzaklaştırılmasını içerir. Bu alanda büyük ihtimalle elektriksel iz bırakmayan bir solventin kullanılması gerekmektedir; Çözücüleri uygulamanın en etkili yöntemi, emme tipi atomize edici püskürtme nozuludur. Atomize solvent ile hafif hava basıncı etkili bir temizleme işi yapılabilir. Bununla birlikte tehlikeler, iletken kirletici maddelerin sarımın daha derinlerine doğru itilmesi ve akıtılmasıdır. Ayrıca bazı yalıtım malzemeleri, özellikle yapışkan bantlar solventlerin etkisine maruz kalabilir veya yumuşatılabilir. Tamirhanede buharla temizleme ve yıkama, yağdan arındırma tankları ve durulama tekneleri yöntemleri yaygındır. Su baskını nedeniyle suya daldırılan motorlar en iyi şekilde düşük basınçlı su akışıyla veya su deterjanlı solüsyonla temizlenebilir. Bu da, kabuklaşmış çamur ve döküntüleri ortadan kaldıracaktır. Tüm sıvı basınçlı temizlemede, akışı doğrudan sarıma yönlendirmekten kaçınılmalı, bunun yerine sargı yüzeyine belli bir açıyla hedefleyerek kirin yıkanması gereklidir. Bu durumda sargıya kir girme olasılığını en aza indirmektedir.

Su içeren her türlü yıkama ve temizlemede sargının kurutulması gerekmektedir. Sargının bir cebri çekişli fırında yaklaşık 121°C'de (250°F) en az 8 saat süreyle kurutulması tavsiye edilir. Motor Testi, dinamometre yük testi, moment kaybı ve sargı ya da yatak sıcaklığı sorunları dahil olmak üzere performans sorunlarını tanımlamaktadır.

3.3 Kestirimci Bakım Analizi

Kestirimci bakım, olası sorunları tespit etmek için trend analiziyle birlikte titreşimin, sıcaklıkların ve/veya yağ kirliliğinin (aşınma parçacıkları) planlı olarak izlenmesini

gerektirir. Bir tartışma kullanılan teknikler bu bölümün kapsamı dışındadır. Özellikle yüksek arıza oranlarına veya maliyetli kesintilere sahip uygulamalarda performansın iyileştirilmesi sağlanabilir. Kestirimci bakım şu anda yaklaşmakta olan ekipman arızalarını öngörmenin bir yolu olarak gelişmektedir. Kestirimci bakım analizi yönteminin amacı, modern teknolojilerin kullanımını yoluyla ve büyük bir arızaya yol açmadan önce sorunun temel nedenini ortadan kaldırmak ve makinanın ömrünü uzatmaktır.

Kestirimci bakımın faydalarından bazıları şunlardır:

1. Tekrarlayan sorunlar tespit edilebilir ve sorun ortadan kaldırılır.
2. Ekipman kurulumu kesin standartlara göre gerçekleştirilir.
3. Performans doğrulaması, yeni ve yeniden oluşturulmuş ekipmanın kusursuz olduğunu garanti eder.

Kestirimci bakım teknolojileri şunları içerir:

1. Dönen ekipmanlar için titreşim spektrumu analizi.
2. Yağ ve aşınma analizi.
3. Tüm elektrikli ekipmanlar için termografi.

ASM'daki hatalardan bazıları aşağıdaki gibidir :

1. Motor çalışmıyor veya çok yavaş hızlanıyor.
2. Motor gürültülü çalışıyor.
3. Motor aşırı ısınıyor.
4. Motor yatakları sıcak veya gürültülü çalışıyor.
5. Motor çalışmıyor.
6. Motor çalışıyor ancak duruyor ve yön değiştiriyor.
7. Motor çalışıyor ancak aşırı yük koruyucu cihaz çok sık devreye giriyor.
8. Motor aşırı ısınıyor.
9. Motor çok yavaş çalışıyor.
10. Motor çok hızlı çalışıyor.
11. Motor gürültülü çalışıyor.
12. Fırçalar aşırı kıvılcım çıkarıyor; fırça sesi ve/veya aşırı aşınma eşlik edebilir ve yontma sesi gelebilir.

3.4 Motorlarda Kullanılan Yardımcı Hesaplama Formülleri

3 faz ile beslenen elektrik motorlarında kullanılacak olan yardımcı hesap formülleri,

$$I = \frac{Hp * 746}{\sqrt{3} * U * \% \mu * \text{Cos } \phi} \quad (\text{Hp Beygir Gücü Biliniyorsa}) \quad (3.5)$$

$$I = \frac{kW * 1000}{\sqrt{3} * U * \text{Cos } \phi} \quad (\text{kW Aktif Güç Biliniyorsa}) \quad (3.6)$$

$$I = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * U} \quad (\text{KVA Görünür Gücü Biliniyorsa}) \quad (3.7)$$

$$kW = \frac{\sqrt{3} * I * U * \text{Cos } \phi}{1000} \quad (\text{kW Aktif Güç Biliniyorsa}) \quad (3.8)$$

$$kW = \frac{\sqrt{3} * U * I}{1000} \quad (3.9)$$

$$kW = Hp * 0,746 \quad (3.10)$$

$$kW \text{ Kayıp} = \frac{Hp * 746 (1 - \%Eff)}{\%Eff} \quad (3.11)$$

$$V_{motor} = \sum \frac{WK^2 * \Delta rpm}{308 * T_{avg}} \quad (\text{1 Saniyede Motor Hızlanma}) \quad (3.12)$$

$$V_{m(\text{senkron})} = \frac{120 * Hz}{\text{Kutup Sayısı}} \quad (\text{Senkron Motor Hızı}) \quad (3.13)$$

ΣWK^2 : Tahrik edilen yük, motor rotoru ve önemli dişli veya kasnak ataletleri de dahil olmak üzere motora yansıtılan, motor tarafından tahrik edilen tüm atalet momentlerinin pound-feet cinsinden toplamı

Δrpm : motor hızındaki değişiklik (artış)

Poundal bir SI birimi olmayıp, 1879'da kullanıma giren İngiliz foot-pound-saniye birim sistemine ait bir kuvvet birimidir.

1 poundal; 1 lb·ft·s⁻², veya bir başka deyişle, bir pound ağırlığındaki bir kütlenin hızını saniyede 1 foot/saniye arttırmak için gerekli kuvvet olarak tanımlanır.

1 poundal = 0.138254954376 Newton dur.

Örneğin;

F: $m \cdot a$ formülünden ,

100 poundal ağırlığındaki bir insanı, 5 foot/saniye² lik bir ivme ile hızlandırmak için gerekli kuvvet 500 poundal' dır:

3.5 Motorlarda Arıza Durumlarının İzlenmesi ve Tespitlerinin Yapılması

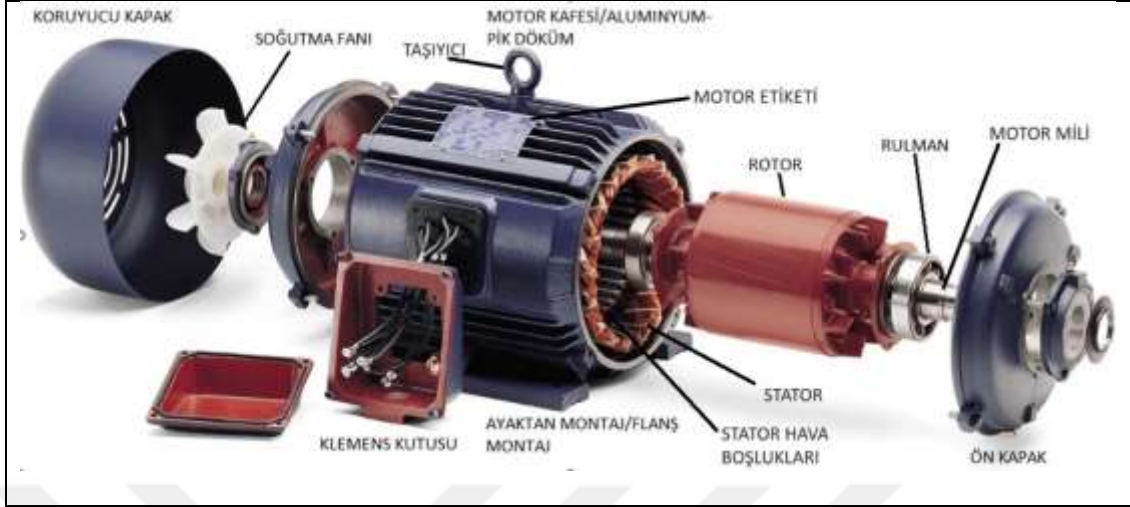
Elektrik motorları, endüstrideki en yaygın kullanılan makinalardan biri olarak elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren asenkron makinelerdir. Endüstriyel yüklerin büyük bir kısmını oluşturan bu motorlar, çalışma süreçlerinde bir dizi zorlamaya maruz kalmaktadır. Elektriksel, mekaniksel, termal ve çevresel stresler, motorların beklenmeyen arızalara uğramasına ve geniş çaplı işletme sistemlerinin aksamasına sebep olabilir. Bu nedenle, büyük güçlü asenkron motorlarda oluşabilecek arızaların erken tespiti ve önlenmesi, endüstri açısından kritik bir öneme sahiptir.

İndüksiyon motorlarındaki olası hataların erken tespiti için sistem sürekli olarak teknik gözetim altında tutulması gerekmektedir. Bu gözetim sürecinde, motorlardaki gürültü ve titreşim, termal durumundaki değişimler, akustik durum sinyalleri, kimyasal durum değişiklikleri ve elektriksel değerlerdeki parametrelerin değişimi gibi çeşitli veriler dikkatle alınarak izlenir. Elde edilen veriler periyodik aralıklarla değerlendirilir.

Sistem parametrelerinin analizi, asenkron motorlardaki potansiyel hataların erken tespiti için kritik bir adımdır. Titreşim analizi, motorun mekanik uygunluğunu değerlendirirken, termal parametreler motorun aşırı ısınma durumlarını belirlemede önemli bir rol oynar. Akustik sinyaller, motor içindeki olası ses değişikliklerini izleyerek hataların belirlenmesine yardımcı olur. Kimyasal ve elektriksel veriler ise olası aşınma, izolasyon arızaları veya voltaj dengesizlikleri gibi sorunlara işaret edebilir.

Büyük güçlü asenkron motorlarda erken hata tespiti ve sürekli gözetim, endüstriyel süreçlerin kesintisiz bir şekilde devam etmesini sağlamak adına kritik bir öneme sahiptir. Bu yöntemler sayesinde, motor arızaları önceden belirlenerek

onarılmayacak duruma gelmeden önce müdahale edilebilir, böylece endüstriyel verimlilik ve güvenilirlik artırılabilir.



Şekil 3.2: Asenkron Motorun Tasarım Parçaları

3.6 Asenkron Motorlarda Oluşan Arıza Bilgileri

Endüstride yaygın olarak kullanılan asenkron motorlar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürme görevini üstlenen önemli makinelerdir. Ancak, kullanım sırasında bir çok çeşitli arızalarla karşılaşabilirler.

Asenkron motorlarda sıkça karşılaşılan arızalar şu şekilde özetlenebilir:

1. Endüktör faz sargılarında kısa devre veya açık devre kaynaklı endüktör sargı hataları,
2. Endüktör bobin sargılarının hatalı bağlanması, yüksek akımda kavrulması, kömürleşmesi,
3. Kırılmış endüvi çubukları ve/veya çatlamış endüvi bilezikleri,
4. Rotor alanı sargılarının kısa devre olması,
5. Endüvi ile endüktör arasındaki hava boşluğunun düzensiz durumu,
6. Motor milinin eğilmesi,
7. Motor rulmanlarının fiziksel aşınması ve kullanılamaz hale gelmesi,
8. Yatak ve dişli kutusu hataları.

Belirtilen Hataların Etkileri:

Yukarıda belirtilen hatalar, işleyişte şu sorunlara neden olabilir:

- Rotor-Stator arasındaki hava boşluk geometrisinin bozulması,

- Aşırı moment darbelerinin oluşması,
- Ortalama momentte düşme,
- Düşük kayıplar,
- Verimde azalma,
- Yüksek ısınma.

Arıza Tespiti İçin Temel Adımlar:

Motordaki arıza tespiti üç ana kısımdan oluşmaktadır. Belirlenen hatanın türü, motordaki yerinin belirlenmesi, ve ne kadar süre çalışabileceği ile ilgili bilgilerin çıkartılabilmesi işletme açısından önem taşımaktadır. Bu durum, motorun cinsi, arızanın karakteristiği ve arızanın cinsi gibi baş etkenleri içerir.

Çeşitli Tespit Yöntemleri:

Arıza tespiti için birçok yol ve yöntem önerilmiştir. Bunlar arasında şunlar yer almaktadır:

- Manyetik kuvvetinin alanın izlenmesi,
- Bobinleri araştırma,
- Motor mili etrafındaki bobin zararları için aksenel akıya bağlı tespit,
- Termal ölçümleri,
- Radyo frekansı emisyonu izleme,
- Kimyasal durum analizi,
- Sonometre akustik ses ölçümleri,
- Titreşim Ölçümleri,
- Ölçüm cihazı ile motor-akım sinyal analizleri için model oluşturma,
- Yapay zeka ve sinir ağı tabanlı teknikler.

Asenkron motorlardaki arızaların erken tespiti, endüstriyel süreçlerin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde devam etmesi için büyük önem taşımaktadır. Çeşitli tespit yöntemleri, motorların dayanıklılığını artırma ve performansını optimize etme konusunda etkili bir araçlar sunmaktadır.

3.7 Mil Yataklama Aksel Arızaları

Asenkron motorların kullanımı sırasında çeşitli arızalarla karşılaşılabilir. Bu makale, özellikle asenkron motorlardaki yataklama hatalarını ele alacak ve bu hataların neden olduğu etkileri bilimsel bir perspektifle inceleyecektir.

Asenkron motorun normal çalışma koşullarında, dengeli yük ve iyi hizalama (Line Alma) durumunda bile, motorun yaşlanmasına bağlı olarak yataklama hataları meydana gelebilir. Bu hatalar, yüksek ses ve titreşime neden olarak, yatak parçalarının aşınmasına veya parçalanmasına yol açabilir.

Yataklama hatalarının nedenleri, yataklama hataları, sert ve aşındırıcı parçalardan kaynaklanan kirlenme ve korozyon, rulman yağlarının kavıtasyonu, su, asit gibi maddelerin paslandırma etkisi, uygun olmayan yağlama gibi çeşitli nedenlere dayanabilir. Özellikle, aşırı yağlama veya eksik yağlama, motorun stator ve rotor kısmına ulaşan yağların izolasyon değerlerini zaman içinde düşürebilir.

Bunun etkileri ve sonucunda, yapılan analizler, motor arızalarının % 50-60'sinin yataklama ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Yataklama arızaları, rotor simetrik olmayan sıkıntıları gibi bazı durumlarla birlikte gözlenir. Bu hatalar, sürtünme ve sargı kayıplarına neden olarak enerji tüketimini artırır ve motorun aşırı ısınmasına, gerilim ve empedans dengesizliğine yol açabilir.

Bunlarla birlikte diğer faktörler, uzun süre beklemiş rulmanların kullanılması, rotorun rulmanlarının dönme hareketi sırasında ısınmasına ve parçalanmasına neden olabilir. Parçaların dengesiz balansı veya yeterli titreşim izolasyonu olmaması da motor yataklarına aşırı yük bindirebilir ve sürtünmeyi artırarak yatakların ömrünü kısaltabilir.

Asenkron motorlardaki yataklama hataları, motor performansını etkileyen önemli bir faktördür. Bu hataların neden olduğu etkilerin bilimsel olarak anlaşılması, motorların daha dayanıklı ve güvenilir olması için önemlidir. Bu bağlamda, uygun bakım ve izleme önlemleri alınarak yataklama hatalarının erken tespiti ve müdahalesi, endüstriyel süreçlerin sürekli ve verimli bir şekilde devam etmesine katkı sağlayabilir.

3.8 Gemilerde Kullanılan Balast Pompası Motoru

Balast pompaları, gemilerin sancak, iskele taraflarındaki balast tanklarını doldurma ve boşaltma görevini üstlenen kritik sistemlerdir. Bu sistemlerde kullanılan asenkron motorlar, geminin balast devresinde denge sağlayan yardımcı pompaları harekete geçirir. Ancak, bakımsızlık ve arızalar, motor performansını etkileyebilir ve ciddi sonuçlara yol açabilir.

Şekil 3.3'te (Tersanede) eski ve bakımsız rulmanın takılması durumu örneklendirilmiştir. Yanmış motor arızası, rulmanın dağıtıp sıkışması sonucu meydana gelmiştir. Motor ve pompanın doğru montajının (doğru line alınmaması nedeni) yapılamaması, fiziksel yapı düzenin bozulmasına ve ardından motorun elektrik-mekanik arızasına neden olabilir.

Motorların hata ve arıza tespitlerinde kullanılan diğer bir yöntem, gürültü ve titreşim dinleme metodudur. Titreşim frekans analizi, yataklama arızalarını belirlemede etkili bir yöntemdir. Ancak, elbette küçük ve orta ölçekli makinelerde uygulaması zor olabilir. Bu nedenle, portatif ölçü aletleri ile periyodik denetim yapmak mümkündür, ancak kesin bir çözüm sağlamaz. Yataklama hatası ile ilişkili titreşim frekansının değerleri, yataklama geometrisi ve rotor hızından hesaplanabilir. Motorun meğer direnç değerlerini ve çektiği akım bilgilerini sürekli kayıt altına alınarak bir kontrol oluşturmak, bu durumu aşmak için etkili bir yöntem olabilir.



Şekil 3.3: Milde Kullanılan Ezilmiş Rulman Görüntüsü, (Motor Etiket: 55kW/440V/60Hz) [Desan Shipyard]

Yataklama sisteminin arıza tespiti, hata frekansı karakteristik değerlerinin temel değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır. Yataklama durumu kötüleştikçe titreşim sinyalleri değişebilir. Artan makine titreşimi bize arıza durumunun yaklaştığını gösterebilir. Bu durumda, motorun hemen teknik bakıma alınması önemlidir. Aynı zamanda, mil yatak ömrünün değişken makine hızına bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Balast pompalarındaki kullanılan asenkron motorlar, gemi operasyonları için hayati önem taşır. Arıza durumlarının önceden tespiti ve düzenli bakım, motor ömrünü uzatabilir ve gemi güvenliğini artırabilir. Bu nedenle, akademik olarak bilgilerin sürekli güncellenmesi ve endüstri standartlarına uygun analizlerin yapılması, gemi makinelerinin güvenilir ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlar.

3.9 Asenkron Motorda Oluşan Gerilim Dalgalanmaları

Elektrik motorları, elektriksel ve mekanik dengesizliklerden kaynaklanan arızalarla karşılaşabilir. Manyetik merkezlerin sabitlenememesi durumunda, şebeke frekansındaki titreşimler modülasyon ve harmoniklere yol açar, bu da motorun sağlıklı çalışmasını olumsuz etkiler.

Motorun stator sargı arızaları genellikle izolasyon bozukluklarından kaynaklanır. Faz-toprak ve faz-faz arası hatalar, sarım-sarım arasında başlayan küçük hatalardan büyüyerek ana hatanın meydana gelmesine kadar sürebilir. Stator sargı izolasyonu, yüksek sıcaklık, gevşek bağlanmış çekirdek saçları, hatalı bağlantılar, kirlenme, kısa devre ve elektriksel boşalmalar gibi nedenlere bağlı olarak hatalar verebilir.

Stator sargı problemleri, enerji tüketiminde artışa ve verimde hızlı düşüşe neden olabilir. Sarımlardaki değişikliklerin tespiti, makinenin bozulmadan önce tamir veya yenileme olanağı sağlar. Gerilim değerindeki dengesizlikler, elektrik motorunun aşırı ısınmasına ve güvenilirliğinin düşmesine neden olabilir. Hatalı bağlantılardan kaynaklanan empedans dengesizlikleri ve izolasyon koşulları, motorun çalışma sıcaklığını ve güvenilirliğini etkileyebilir, aynı zamanda kullanım maliyetini artırabilir.

Gerilim ve akım dengesizlikleri hataları, %3.5'ten fazla olan gerilim dengesizliği, motorun çalışma sıcaklığında %25'e kadar bir artışa neden olabilir. Bu durum, sargılardaki kayıplara ve enerji tüketimindeki artışa sebep olur. Gerilim ve akım

dengelesizlikleri uzun süre devam ederse, yüksek gerilim ve düşük empedans nedeniyle fazla akım çekilmesine ve sıcaklığın artmasına yol açabilir. Şebekedeki frekans değerlerinin değışmesi gibi istenmeyen durumlar, elektriksel koruma elemanlarını aşarak motorun sargılarına zarar ve darbe verebilir. Motorun üzerinde termal kamera ile izlenen kontrol sıcaklıklarında her 10 derecelik artış izolasyon ömrünün, dolayısıyla motor ömrünü yarı yarıya azalmasına neden olmaktadır.

Elektrik motorlarında meydana gelen dengelesizlikler, enerji tüketiminde artışa, verimde düşüşe ve güvenilirlik kaybına yol açabilir. Bu nedenle, düzenli bakım ve etkili tespit yöntemleriyle motorun performansı kontrol altında tutulmalıdır. Elektriksel dengelesizliklerin ve sargı arızalarının erken tespiti, motorun ömrünü uzatabilir ve operasyonel maliyetleri azaltabilir.

3.10 ASM Rotor Arızaları

Yukarıda bahsedilen diğer arızalarda olduğu gibi, asenkron motorların rotorlarında da bazı arızalar meydana gelmektedir. Bu oluşan arızaların nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Aşırı Yüklenmeye Bağlı Isıl Kayıplar:

- Aşırı yüklenme ısı kayıplara yol açabilir, bu da aşırı ısınmaya neden olabilir.
- Rotor çubuklarında oluşan gözenekler ise aşırı ısı kayıplardan kaynaklanabilir.

2. Çevresel Faktörler:

- Nem, yağlanma, toz, kir ve kimyasallar gibi çevresel etkenler rotor arızalarına katkıda bulunabilir.
- Aşırı sıcaklık, kayıplar ve kıvılcımlardan kaynaklanan termal etkiler, çevresel etkileri şiddetlendirebilir.

3. Manyetik Etkiler:

- Elektromanyetik kuvvetler, dengelesiz manyetik çekim, elektromanyetik gürültü ve titreşimler rotor arızalarına neden olabilir.
- Üretim problemleri, mil momenti, merkezkaç kuvveti ve döngüsel mukavemet gibi dinamik etkiler de rotor üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilir.

4. Mekanik Etkiler:

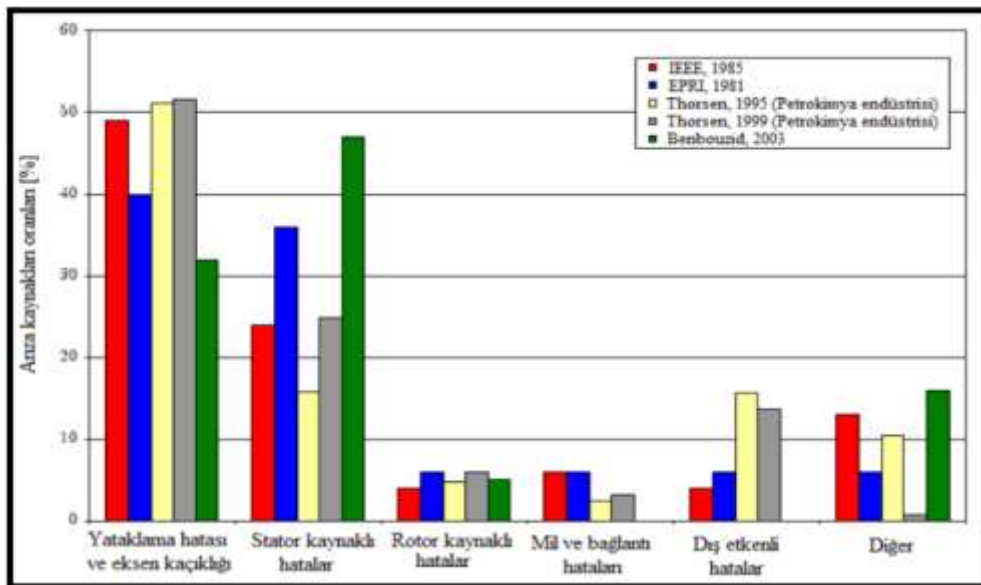
- Kir, yağ, nem ve kimyasallar gibi kirleticiler rotor malzemesinde aşınmaya neden olabilir.
- Rotor çekirdek kayıpları, eskiyen parçalar ve yatak hataları gibi mekanik etkiler de sorunlara yol açabilir.

5. Yatak Hataları ve Metal Yorgunluğu:

- Rulmanların dayanıklılığını kaybetmesi (metal yorgunluğu) sonucunda yüzeyde ince çatlaklar oluşabilir.
- Sargı sıcaklıklarındaki değişimler nedeniyle izolasyonda genleşmeler ve daralmalar meydana gelebilir.

Rotor arızalarının sonuçları arasında üretilen momentin düşmesi, motor verimliliğinin azalması gibi durumlar bulunmaktadır. Yüksek titreşim, elektrik motorunun veriminde düşüğe neden olabilir; özellikle sincap kafesli asenkron motorlarda yük altında kalkış yapıldığında rotorun kafes kısmı zorlanabilir. Kafesin yapımındaki hatalar, büyük arızalara yol açabilir. Kafesli asenkron motorlar, bilezikli modellere kıyasla daha fazla ısınma eğilimindedir. Bilezikli rotorlarda, oluşan ısının çoğu dış dirençlerde oluşur ve motor daha az zorlanır.

Büyük güçlü asenkron motorlarda kalkış sırasında meydana gelen kuvvetler, mekanik ve ısıl zorlanmalar sonucunda rotor çubuklarının kırılmasına neden olabilir. Bu tür arızalar genellikle motor işletmeye alındığında değil, birkaç bin saatlik işletme sonrasında görülebilir.



Şekil 3.4: Asenkron Makinanın Hata Nedenleri Durumlarının Dağılımı Grafiği [26]

Bu tür bir arıza durumunda motorun kalkış süresi uzar, güçleşir ve motorun çalışma gürültüsü değişir. Sürekli çalışmaya geçildiğinde stator akımlarında bozulmalar ve akım değerlerinde salınmalar meydana gelebilir. Kafes arızası zamanında fark edilmezse, kafes çubuklarında kırıkların artmasına neden olabilir, bu nedenle kafesin ve rotor sac paketinin tamamen değişmesi gerekebilir.

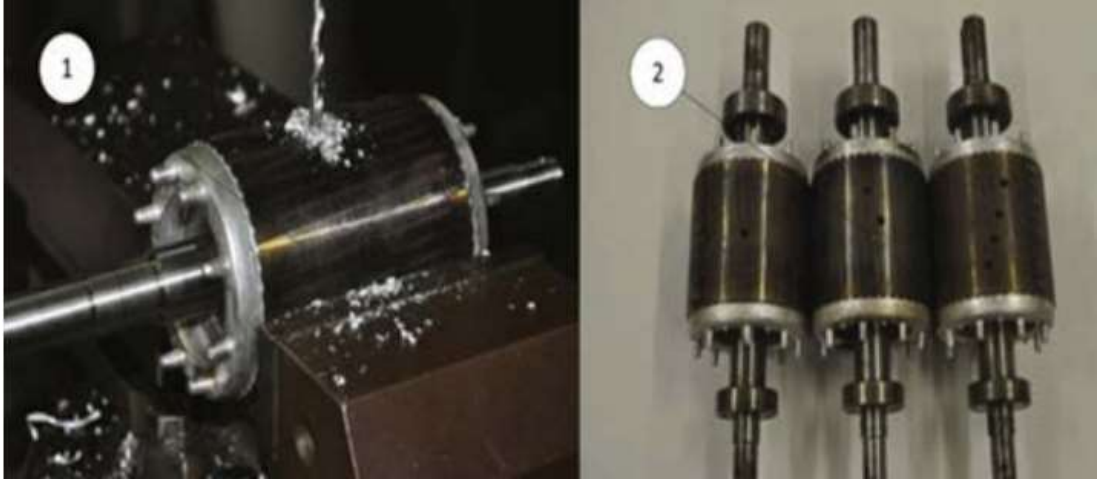
Rotor arızalarının etkili bir şekilde tespit edilmesi, asenkron motorların güvenilirliği ve performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, çeşitli analitik yöntemler ve incelemeler geliştirilmiştir.

Stator bobinlerinde oluşan gerilimin zaman-frekans domeninde analizi, rotor arızalarının belirlenmesinde etkili bir araçtır. Bu analiz, stator bobinlerindeki elektriksel değişimleri detaylı bir şekilde inceleyerek, olası rotor sorunlarını ortaya çıkartabilir. Gerilimdeki anormal dalgalanmalar, rotor arızalarının habercisi olabilir ve bu sayede erken uyarı sistemi sağlanabilir.

Ayrıca, mil akısının etrafına konulan bir sargı tarafından izlenen eksenel kaçak akının frekans domeni analizi, başka bir önemli tespit yöntemidir. Makinenin milinde meydana gelen bu tür kaçak akılar, rotor arızalarının belirlenmesinde değerli bilgiler sunabilir. Frekans domeni analizi, bu akıların karakteristik frekanslarını belirleyerek, olası sorunların doğrudan tanımlanmasına yardımcı olabilir.

Bu yöntemlerin entegrasyonu, asenkron motorlardaki rotor arızalarının kapsamlı bir değerlendirmesini sağlar. Elektriksel ve mekanik parametrelerin detaylı analizi, motorun sağlığı ve performansı hakkında önemli bilgiler sağlayarak, bakım süreçlerini optimize eder ve işletme verimliliğini artırır.

Stator gerilim analizi ve eksenel kaçak akı frekans domeni analizi gibi yöntemler, asenkron motorlardaki rotor arızalarının erken teşhisi ve önlenmesi için güçlü araçlar sunar. Bu analitik yaklaşımlar, endüstriyel uygulamalarda motor güvenilirliğini artırmak ve işletme maliyetlerini düşürmek amacıyla etkili bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 3.5: Matkapla Delinerek Oluşturulmuş Rotor Arızaları [26]

Asenkron motorlardaki rotor arızaları genellikle sincap kafesli rotor yapısına sahip olan motorlarda ortaya çıkar. Bu tür arızalar genellikle şu şekillerde sıralanabilir: rotor kısa devre halkasının çatlaması, kırılması veya rotor çubuklarının çatlaması veya kırılması. Rotor çubukları, termal, manyetik, artık, dinamik ve mekanik zorlanmalar nedeniyle kırılarak arıza meydana getirebilirler. Şekil 3.5'te sunulan fotoğraflar, bir çalışmada kullanılan ve rotor çubuğu arızasıyla karşılaşılmış örnek rotorları göstermektedir.

Asenkron motorlardaki rotor arızaları, motorun döner alanında simetrisizlikle birlikte negatif ve pozitif bileşenlerin ortaya çıkmasına neden olur. Rotor döner alanındaki negatif bileşenin stator döner alanıyla etkileşimi, elektromanyetik moment spektrumunda kaymaya yol açar. Bu arızaların etkisiyle motorun stator akımında, besleme frekansının sağında ve solunda yan bant frekans bileşenleri tespit edilir. Rotor arızalarının neden olduğu yan bant frekansları, aşağıda verilen eşitlikte olduğu gibi ifade edilebilir:

Rotor arızaları, motorun performansını etkiler ve motorun stator akımında görülen yan bant frekansları aracılığıyla tespit edilebilir. Bu arızaların zamanında tespit edilip çözülmemesi, motorun uzun ömürlü ve verimli çalışmasını engelleyebilir.

Burada s ; kaymayı, f_k ; kaynak frekansını ve k harfi de sabiti ifade etmektedir.

$$f_{\text{ç}} = f_k(1 \pm ks) \text{ (Hz)} \quad k = 1,2,3 \dots \quad (3.14)$$

Asenkron motorlardaki oluşan rotor arızaları, diğer oluşabilecek arıza durumlarını tetikleyerek, ciddi sorunları daha büyük sorunlara yol açabilir, bu da motorun

performansını olumsuz etkileyebilir. Bu tür rotor arızalarının yanı sıra, motorun verimliliğinin düşmesine ve enerji tüketiminin artmasına neden olurlar. Sanayi kuruluşları açısından bakıldığında, işletme maliyetlerini artırıcı bir etkiye sahiptirler. Örneğin, bir rotor çubuğundaki arıza sonucunda bitişiğindeki diğer çubuktaki akım %50 oranında artabilir ve bu durum dengesiz akım ve moment darbelerine sebep olabilir. Bu da ortalama momentin düşmesine neden olur. Ayrıca, asenkron motorun yanıcı ve/veya patlayıcı bir ortamda çalıştığı durumlarda, elektrik arkı ve kıvılcım gibi tehlikeli durumlar ortaya çıkabilir. Kırık rotor çubuğundan akım akmayacağı için bitişik çubuktan daha fazla akım geçmesi ve aşırı ısınma durumunda ek kırıkların oluşması mümkündür. Bu tür bir arızanın büyümesi durumunda kalıcı hasarlar meydana gelerek işletme açısından daha kötü durumların ortaya çıkması muhtemeldir.

Rulman arızalarının oluşmasını engellemek için alınabilecek önlemler:

1. Kestirimci bakım işlemleri ve durum gözlemlemek,
2. Kaliteli rulmanlar ve uygun gres yağı kullanmak,
3. Rulmanın montajı ve demontajı hatasız gerçekleştirmek,
4. Temizlik ve sızdırmazlık konularına özen göstermek,
5. Aktarma sistemi kaplinler ve balans alma işlemini doğru yapmak,

Yukarıdaki ifadelerde, “n” yuvarlanma elemanı (bilye) sayısını, “Fr” ise mil devrini ifade etmektedir. Bu denklemler kullanılarak teorik rulman hasar frekansları hesaplanabilir. Ayrıca, rulman arızalarının stator akım spektrumundaki frekans yansımaları aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.[25]

$$f_{rulman} = |fk \pm k \cdot fh| \text{ (Hz)} \quad k = 1,2,3 \dots , \quad (3.15)$$

Bu bağlamda, “fk” kaynak frekansını, “fh” hata karakteristik frekansını, “fbilye”, “fiç”, “fdış”, “fkafes” , ifade etmektedir. Öncelikle rulmanların arızalanmalarında genellikle ilk aşama, yük bölgesindeki küçük oyulmalar ve bilyelerde aşınma olarak karşımıza çıkar. Yükün rulmanlara bastığı bölgelerde bu küçük oyuk ve girintiler, rulmanın o anda birden bire arızalanmasını ortaya çıkarmaz. Zamanla birlikte motorun sürekli çalışmasıyla birlikte bu arıza büyümektedir. Ayrıca, belirli başlı bazı rulman arızaları şunlardır: gevşeklik, ön yükleme hasarı, aşırı yük yükleme, sürekli çalışma sonucu aşırı ısınma, elektrik kaçakları, eksen kaçıklığı, yağlama ile ilgili çok

fazla gresleme sorunları, kirlenme, ters yükleme, korozyon, montaj hataları sayılabilir.

Araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarda, asenkron motorlardaki rulman arızalarını tespit etmek amacıyla genellikle, titreşim ve akım bilgileri ele alınarak, yapay zeka, bulanık mantık, dalgacık analizleri gibi daha teknik yöntemlerle arıza ön kestirimleri yapıldığı gözlemlenmiştir. Rulmanların bir çok modeli genelde gres yağı ile yağlanması gerekir. Bahsedilen rulman arızalarının bir çoğu uygun olmayan, yeterli miktarda kullanılmayan yağlamalardan kaynaklanır. Yağ içerisindeki diğer kimyasal katkı maddeleri, rulmanın daha uzun ömürlü çalışmasını sağlar. Yağ film tabakası, yuvarlanma elemanı ile yuvarlanma yüzeyi arasında kalarak kuru sürtünmenin önlenmesine yardımcı olur. Yatakların havalı gres pompaları ile yağlanması, daha iyi sonuçlar verir.

Pompa tarafından taşınan yağın rulman içine basınçla iletilmesi, rulmanın ömrünü en üst düzeye çıkarır. Rulmanlarda meydana gelen hasarlar, diğer rulmanlar ve dişliler için zararlı olabilir, iş kalitesini olumsuz etkileyebilir. Rulman kontrolü, ses ve titreşim analizleri ile yapılabileceği gibi, sökülerek frekans analizleri yapmak da mümkündür. Yeni bir yöntem olarak, rulmanların sökülmeden doğal çalışma ortamlarındaki frekanslarının ölçülmesi de kullanılmaktadır. Bununla birlikte, rulmanların çalışma ortamının temizliği önemlidir ve özellikle montaj alanındaki çevre koşulları titizlikle kontrol edilmelidir. Tespit edilen hasarlı rulmanlar hemen değiştirilmeli ve diğer elemanların zarar görmesi önlenmelidir.

Rulman arızaları, asenkron motorlarda motorun mekanik sağlığı üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Bu arızaların evrimi genellikle dört aşamada incelenebilir:

1.İlk Aşama: Rulmanın çalışma koşulları oldukça iyidir. Belirli bir süre sonra, rulmanın bileziklerinde küçük çukurlar ve oyuklar oluşur. Bu, küçük hasarlar olarak kabul edilir ve normal çalışma hızlarında titreşim oluşturacak kadar büyük değildir. Bilyeler, hasarlı alanla temas ettiğinde, bu hasar frekansının harmonikleri FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) spektrumunda gözlemlenebilir.

2.İkinci Aşama: Oluşan harmonikler nedeniyle rulman aşınmaya başlar, ancak henüz değiştirilmeye ihtiyaç duyulmaz. Rulman söküldüğünde, bileziklerde kabarma şeklinde hasar görülecektir. Bu evrede harmoniklerin genliği artmaya başladığı için

daha sık ölçümler yapılmalıdır. Rulman arızasının zaman içinde doğrusal değişimi devam etse de, çalışma ömrü azaldıkça bu doğrusal değişim ortadan kalkar.

3. Üçüncü Aşama: Bu aşamada rulmanın ömrünün azalması nedeniyle FFT spektrumu temel arıza frekansını gösterir ve harmonikler, mil dönme hızının yan bantlarını gösterir. Arıza, yük bölgesine girdiğinde titreşim artar. Sinyal, mil dönme hızında ve katlarında yan bantlar oluşturarak modülasyona uğrar. Genellikle yuvarlanma elemanı geçiş sinyali, sabit yük altında ortaya çıkar. Eğik mil, eksen kaçıklığı, dengesizlik veya mekanik gevşeklik gibi durumlar, mil dönme devri ve katlarında yan bantlar oluşturur ve bu da hasar sinyalini genlik modülasyonuna uğratar.

4. Son Aşama: Bu evrede rulmanın ömrü ciddi şekilde azalmıştır ve hemen bakım yapılması gerekmektedir. Hız ve ivme spektrumunda, rulman bozulma kısmında geniş bant gürültüsü gözlemlenir. İvme spektrumunda, bilye elemanı geçiş frekansının yan bantlarına ek olarak yüksek genlikli arıza frekans bileşenleri de ortaya çıkar. Kafes arıza frekans bileşenleri ise hasarın son durumunda görülür.

Asenkron motorlarda meydana gelen rulman arızaları, motorun sürtünme kayıplarını artırarak titreşimler ve aşırı ısınma gibi problemlere yol açabilir. Bu durum, motorun verimini olumsuz etkiler ve enerji tüketimini artırır. Rulman arızaları, aşırı yük, aşırı dönüş hızı, yetersiz veya fazla yağlama, iç boşluğunun anormal durumu, kirlenme, su sızması, döküntü, aksel kaçıklık, dengesizlik, motor yatak hassasiyeti zayıflığı veya kaplin ayarı gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir.[26]

Asenkron motorlarda genelde oluşan rulman arızaları, motorun sürtünme kayıplarını artırarak titreşimler ve aşırı ısınma gibi problemlere yol açabilir. Bu durum, motorun verimini olumsuz etkiler ve enerji tüketimini artırır. Rulman arızaları, aşırı yük, aşırı dönüş hızı, yetersiz veya fazla yağlama, bilyelerin kafes ile arasındaki standart dışı bolukların oluşması, çok fazla aşırı kirlenme, su sızması, döküntü, aksel kaçıklık, dengesizlik, motor yatak hassasiyeti zayıflığı veya kaplinlerin ayarı gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanıyor olabilmektedir.

3.11 Asenkron Motorun Stator Arızaları

Asenkron motorlarda, rulman arızalarını takiben en sık karşılaşılan arıza türü stator arızalarıdır. Bu tür arızalar genellikle titreşim, akım izleme ve durum bazlı izleme

yöntemleri kullanılarak tespit edilebilir. Stator arıza modellerinin tespiti için stator akımının ölçülmesi ve analizi önemli bir rol oynar. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, stator sargılarında meydana gelebilecek arızaların geri dönüşü genellikle zordur, bu nedenle stator arızalarının daha önceden tespit edilmesi büyük bir öneme sahiptir.



Şekil 3.6: Motorda Stator Yanıklarına İlişkin Görseller [27]

Stator arızalarında genellikle saç lamellerindeki ısının artmasıyla birlikte, çekirdek gevşemesi gibi temel arızalar olmak üzere çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. En yaygın stator arızaları genellikle "uç sargı kısmı" veya "yiv bölümü" ile ilgili olup, bunlar arasında yuva kısmında (yalıtkan bozulması, yalıtım aşınması) ve uç sarım kısmında (izolasyon bölgesel arızaları, izolasyon bozulması, izolasyonun nem, yağ, kir ve toz ile kirlenmesi, konnektöre zarar verilmesi, yalıtım maddesinin çatlaması, izolasyon maddesinin erozyonu, iletkenlerin deşarjı vb.) bir çok arıza oluşma olasılığı yüksektir.

Asenkron motorlarda stator kısmında meydana gelen arızalara neden olan olaylar genellikle elektriksel etkiler, sıcaklık etkileri, mekaniksel etkiler ve çevresel etkiler olmak üzere dört ana grupta incelenebilir. Aşağıda, asenkron motorlarda stator kısmında ortaya çıkan arıza nedenlerini özetleyen bir tablo bulunmaktadır.

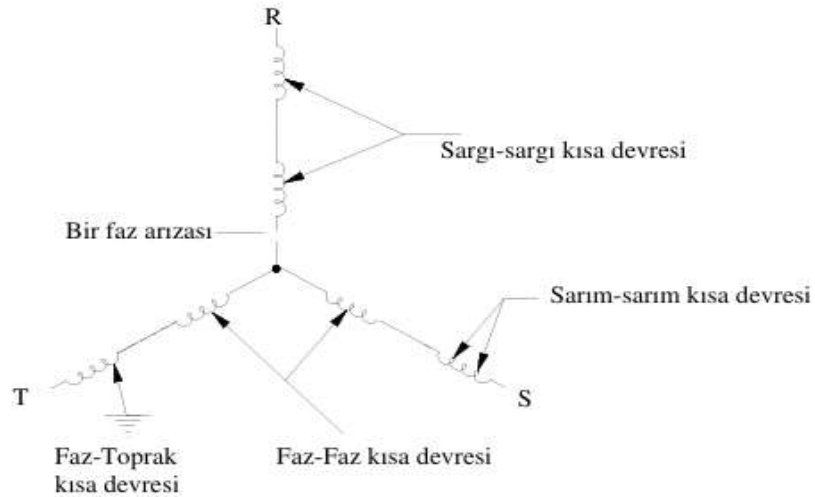
Elektriksel Etkiler	Isısal Etkiler	Mekaniksel Etkiler	Çevresel Etkiler
Dielektrik Yaşlanma	Isısal Yaşlanma	Sargı Gevşekliği	Nem
Yalıtım Sorunları	Gerilim Değişimleri	Rotor Sorunları	Kimyasallar
Korona	Isısal Aşırı Yükleme		Ortam Sıcaklığı
Geçici Olay Değişiklikleri	Dengesiz Gerilim		Havalandırma Sorunları

Şekil 3.7: Motorda Arıza Nedenleri [27]

Stator sargılarında genelde karşılaşılan arıza yalıtım problemleridir. Asenkron motorlarda stator arızaları, yüksek akım akışına neden olarak sıcaklık artışına yol açar ve bu da sargının yalıtımını bozar. Ayrıca, sargılardaki sıcaklık, yalıtımın ömrünü her 10 derece aşması durumunda yarı yarıya azaltabilir. Stator ortaya çıkan kuvvet, akımın karesi ile doğru orantılı olarak artar, bu da özellikle geçici aşırı yüklenmelerde güçlü darbelere neden olabilir. Bu darbeler, yalıtım sistemine zarar verebilir.

Stator arızaları, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi beş ana kısma ayrılabilir: bobin-bobin hatası, sargı-sargı hatası, açık devre hatası, faz-faz hatası ve bobin-toprak hatası. Bu arızaların belirlenmesi, motorun güvenli ve etkin bir şekilde çalışabilmesi için önemlidir.

Asenkron motorlarda stator arızalarının bu şekilde sınıflandırılması, bilimsel bir yaklaşım kullanarak motorun içsel durumunu anlamak ve müdahale etmek için daha spesifik bir çerçeve sağlar. Bu, motor performansını optimize etmek ve arızaları önceden tespit etmek amacıyla akıllı izleme sistemleri ve diagnostik teknolojiler geliştirmek için bilimsel bir temel oluşturabilir.[27]



Şekil 3.8: Stator Arızasının Farklı Tipleri Şeması [27]

Stator meydana gelen arızaları 5 ana grupta toplayabiliriz.

3.11.1 Isıl nedenler

Asenkron motorlarda ısıl nedenlerin ortaya çıkışı, ısıl yaşlanma ve ısıl aşırı yük yüklenilmesi durumlarına bağlı olarak ortaya çıkabilir. Sıcaklığın sürekli olarak her 10°C' de artışı, ısıl yaşlanma nedeniyle yalıtımın ömrünü buna bağlı olarak yarıya

indirir. Çalışma sıcaklığı aşırı yüksek olması nedenler, asenkron motoru diğer faktörlere karşı savunmasız hale getirebilir, bu da yalıtım yapısında hatalara yol açabilir. İzolasyon maddesi ve izolasyonluk koruması sistemi fiziksel olarak bütünlüğünü kaybeder. Diğer dielektrik, sargı dirençleri değerleri kaybolmaya başlar. Mekanik ve çevresel etkilere karşı direncini kaybeder.

Sıcaklığın ısıyla yaşlanma üzerindeki etkisini en aza indirmek için, ya çalışma sıcaklığını düşürmek ya da kullanılan yalıtım malzemesi sınıfını artırmak gibi iki yaklaşım kullanılabilir. Ayrıca, uygulanan gerilime bağlı olarak termal aşırı yük oluşma riski bulunmaktadır.

3.11.2 Elektriksel nedenler

Asenkron motorlardaki bahsedilen elektriksel sebepler, di-elektrik etkileri, yalıtım, geçici gerilim değişiklik gösteren unsurlar ele alındığında, izolasyon malzemelerinin seçimi ve bobin tasarımlarının oluşturulması sırasında izolasyon ömrü ile uygulanan gerilim arasındaki kesin ilişki göz önünde bulundurulmalıdır. Bu etkiler, faz-faz, sargı-sargı ve toprak-sargı şeklinde ayrılabilir.

Yalıtım mükemmel derece sağlanmadığında, gemi motorları gibi 440 Volt - 60 Hz besleme gerilimine sahip asenkron motorlarda ve bu değerlerin üstündeki etiket değerlerine sahip asenkron motorlarda toprak arızaları görülme ihtimali oldukça yüksektir. Gerilim değerleri kritik bir değeri aştığında, yalıtım sisteminde geçici gaz halindeki iyonizasyondan kaynaklanan bölgesel bir deşarj olan korona durumu meydana gelir. Arıza mekanizması, ısınma, aşınma veya kimyasal reaksiyona bağlı olarak gelişir ve sargı yalıtımının bozulmasına neden olur. Geçici gerilim koşulları, sargı ömrünün azalmasına yol açar.

Bu bağlamda, izolasyon malzemelerinin dayanıklılığının belirlenmesi ve doğru tasarımın yapılması, motor sistemlerinin güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Elektriksel arızalara karşı dayanıklı malzemelerin seçimi, motor performansının uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlar.

Asenkron motorlarda yüksek gerilim beslemesi sonucu oluşan korona, genellikle yüksek elektrik alan şiddeti nedeniyle ortaya çıkan bir deşarj fenomenidir. Bu durum, motorun yüksek gerilimle beslendiği durumda, hava veya diğer ortam malzemeleri üzerindeki elektriksel potansiyel farklarının yüksek olduğu bölgelerde meydana gelir. İşte bu korona durumunun tam nedenleri:

1. Yüksek Elektrik Alan Şiddeti: Yüksek gerilim altında, elektrik alan şiddeti yüksek olabilir. Bu durum, hava moleküllerinde veya diğer izolasyon malzemelerinde (örneğin, sargı izolasyon malzemesi) elektriksel gerilimlerin yüksek olduğu bölgelerde koronanın oluşmasına neden olabilir.

2. Dielektrik Dayanıklılık Aşılması: Elektrik alan şiddeti, bir malzemenin dielektrik dayanıklılığını aşarsa, malzeme içinde veya etrafında boşalma veya iyonizasyon oluşabilir. Bu durum, yüksek gerilim altında ortaya çıkan koronayı tetikler.

3. Hava Koşulları: Havanın nem oranı, basınç ve sıcaklık gibi çevresel koşullar da korona oluşumunu etkileyebilir. Özellikle nemli veya yüksek ısıya maruz kalan ortamlarda korona daha sık görülebilir.

4. Geçici Gerilim Dalgalanmaları: Motorun besleme hattında meydana gelen geçici gerilim dalgalanmaları da koronanın oluşumunu etkileyebilir. Ani gerilim değişiklikleri, hava veya izolasyon malzemeleri üzerinde koronaya neden olabilir.

Bu nedenlerin bir kombinasyonu, yüksek gerilim beslemesi altında asenkron motorlarda korona oluşumuna yol açabilir. Korona, zamanla izolasyon malzemelerinin bozulmasına ve motorun güvenilirliğini azaltmasına neden olabilir. Bu nedenle, motor sistemlerinin tasarımında ve işletilmesinde uygun gerilim seviyeleri ve izolasyon malzemeleri seçimi büyük önem taşır.

3.11.3 Gövdeye kaçak durumları

Elektriksel temas gövdeye kaçak durumu, motorun gövdesi ile bobinler arasındaki istenmeyen bağlantıyı ifade eder. Bu durum, çeşitli nedenlere dayanabilir ve motorun sağlıklı çalışmasını olumsuz etkileyebilir. Aşağıda bu durumun meydana gelebileceği bazı senaryoları bulabilirsiniz:

1. Civataların Bobinlere Temas Etmesi: Motorun kapaklarını gövdeye sabitlemek için kullanılan civataların bobinlere temas etmesi durumunda, elektriksel temas gözlemlenebilir.

2. İletkenlerin Stator Oluklarına Kısa Devre Olması: İletkenlerin stator oluklarına yerleştirilirken oluk ağızlarına temas etmesiyle birlikte, elektriksel kaçakları tetikleyebilir.

3. Bağlantı Klemenslerinin Yanması veya Kopması: Bağlantı klemenslerinin yanması veya kopması durumunda, izolasyon bozularak gövde ile elektriksel temas gerçekleşebilir.

4. Aşırı Isınma ve İzolasyon Bozulması: Aşırı ısınma, iletkenlerin izolasyonunu bozabilir, bu da gövde ile doğrudan temas edebilir ve elektriksel problemlere neden olabilir.

5. Bobinler Arasında Kısa Devre: Bobin grupları arasında çizilme veya izolasyon zayıflaması sonucu farklı fazların temas etmesiyle kısa devre oluşabilir.

6. Sargılar Arasındaki İzolasyon Zayıflaması: Sargılar arasındaki izolasyonun zayıflaması, zamanla bozulmaların artmasına ve kısa devreye yol açabilir.

7. Aşırı Yük ve İzolasyon Bozulması: Aşırı yük, ısınma sorunlarına neden olarak sargının izolasyonunu bozabilir ve elektriksel teması tetikleyebilir.

8. Bağlantı Kopuklukları ve Gevşemeler: Bobinlerde veya bağlantılarda meydana gelen kopukluklar, klemens tablosundaki gevşemeler veya bağlantı noktalarındaki sorunlar elektriksel teması artırabilir.

Elektriksel temas gövdeye kaçak, motorun performansını olumsuz etkileyebilecek ciddi bir arızadır. Bu nedenle, motorun montajı ve bakımı, bu tür durumların önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

3.11.4 Mekaniksel oluşan nedenler

Elektrik motorları, karmaşık bir yapıya sahip olup bir dizi mekanik etkenin etkileşimi sonucu çalışırlar. Bu yazıda, özellikle sargı hareketi ve rotorun statora çarpması olaylarına odaklanarak motor arızalarının bilimsel açıdan incelenmesi amaçlanmıştır.

Elektrik motorlarındaki stator sargıları, geçen akımların etkisiyle kuvvetlere maruz kalabilir. Bu kuvvetler, bobinlerin radyal ve aksiyel yönde hareket etmesine neden olabilir. Sonuç olarak, bobinlerin titreşmesi ve hat frekansının iki katı değerinde rezonans oluşumu gözlemlenebilir. Bu durum, sargı yalıtımının bozulmasına ve üst çubukların gevşemesine yol açarak iletkenlere zarar verebilir.

Rotor ve stator çarpışması sonucu, rotor ve rulman hasarları, mil sapması veya yanlış hizalanma gibi nedenlerle statora çarpabilir. Motorun Devreye Alınması Sırasında,

rotor kuvveti, stator laminasyonlarının delinmesine neden olabilir, potansiyel toprak arızası meydana gelebilir.

Motor tam hızında çalışırken, rotorun statora çarpması durumunda, aşırı ısı oluşabilir ve stator yuvasındaki sargılarda erken toprak arızasına sebep olabilir.

Rotorun dengeleme ağırlıklarının gevşemesi veya fan kanatlarının gevşek olması, rotorun statora çarpmasına neden olabilir. Bu durum, motorun havalandırma sistemi aracılığıyla yabancı cisim girişi gibi çeşitli arızalara yol açabilir.

3.11.5 Çevresel etkiler

Elektrik motorları, çalışma ortamlarındaki çeşitli negatif dış etken faktörlerine maruz kaldıklarında çeşitli arıza durumlarına yol açabilir. Bu makalede, özellikle asenkron motorlarda ortam sıcaklığı, nem, kimyasallar ve soğutma problemlerinin stator arızalarına etkisi incelenecek ve bu etkilerin önlenmesi için alınabilecek tedbirler tartışılacaktır.

Elektrik motorları açısından bakıldığında, genellikle endüstriyel ortamlarda çalıştırıldıkları için çeşitli sıcaklık ve nem seviyelerine maruz kalabilirler. Yüksek sıcaklıklar, fazla akım çekmeye neden olarak stator sargılarında arıza oluşturabilir. Ayrıca, nemin artmasıyla izolasyon malzemeleri zayıflayabilir ve kısa devre olasılığı artabilir.

Endüstriyel tesislerde kullanılan diğer kimyasallar, motorun bileşen malzemelerine zarar verebilir ve arızalara neden olabilir. Soğutma sorunları ise motorun aşırı ısınmasına yol açabilir. Aşırı ısınma, sargılarda arıza oluşturabilir ve motorun verimliliğini azaltabilir.

- a) Çevresel Kontrol: Çalışma ortamında sıcaklık, nem ve kimyasalların düzenli olarak kontrol edilmesi, olası arıza durumlarını önceden tespit etmeyi sağlar.
- b) İzolasyon ve Kaplama: Motorun izolasyon malzemelerinin kalitesi artırılabilir ve özel kaplamalar kullanılabilir, böylece çevresel etkenlere daha dayanıklı hale getirilebilir.
- c) Soğutma Sistemleri: Motorun soğutma sistemleri düzenli olarak bakıma alınmalı ve etkin bir şekilde çalıştığından emin olunmalıdır.

Asenkron motorlarda çevresel etkenlerin stator arızalarına etkisi büyük önem taşır. Motorun uzun ömürlü ve güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için çevresel koşulların kontrol altında tutulması ve gerekli önlemlerin alınması kritik öneme sahiptir.

3.12 Diğer Arızalar

Asenkron motorlarda, sistemin doğru ve hatasız bir şekilde çalışabilmesi için aktarma organlarının sağlıklı olması kritik öneme sahiptir. Bu makalede, aktarma organlarında meydana gelen arızaların çeşitleri, bu arızaların motor performansına olan etkileri ve önleyici tedbirler akademik bir perspektifle incelenecektir.

Aktarma organlarında oluşan balans bozuklukları, paralel ve eksenel kaçıklıklar doğrudan motorun performansını etkiler. Bu durum verim kaybına neden olur ve aynı zamanda kayış kasnak sistemi, kaplin ve rulman ömrünü azaltır. Bu arızaların düzeltilmesi için düzenli bakım ve dengeleme işlemleri yapılmalıdır.

Motor kapaklarındaki yatak yuvalarında oluşan aşınmalar, yataklarda boşluklara neden olabilir. Bu durum, motorun verimini azaltır ve aynı zamanda yüksek maliyetli onarımları gerektirebilir. Bakım sırasında yatak yuvalarının durumu düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Motor kapaklarının çatlaması veya kırılması, rotorun balansını bozabilir ve sürtünme durumlarına neden olabilir. Bu durum, motorun verimini düşürür ve onarımları gerektirir. Kapakların düzenli kontrolü ve bakımı önleyici bir yaklaşım sunar.

3.13 Asenkron Motorun Arıza Tespitinde Kullanılan Yöntemler

Son yıllarda, birçok araştırmacı, asenkron motorlardaki arıza tespit yöntemleri ve durum izleme konularında çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Asenkron motor arızalarının önceden tespiti ve durum izleme süreçleri, güvenilirlik, kullanılabilirlik ve işletme verimini önemli ölçüde artırabilir. Bu süreçler, sürekli veya periyodik aralıklarla gerçekleştirilebilir. Durum izleme, meydana gelebilecek dolaylı arızaları, verim kayıplarını ve işletme maliyetlerini azaltarak endüstriye önemli katkılarda bulunabilir.

Asenkron motorlarda durum izleme ve arıza teşhisi üzerine yapılan araştırmalar, çeşitli alanlara odaklanmıştır. Bunlar arasında termal analiz, titreşim analizi, akustik

analiz, manyetik alan analizi gibi yöntemler bulunmaktadır. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi tekniklerinin kullanımı da bu alandaki önemli araştırma konularından biridir.

Durum izleme süreçleri, asenkron motorların daha etkili bir şekilde çalışmasını sağlayarak sistemdeki potansiyel arızaların önceden tespit edilmesine olanak tanır. Bu da işletme sürekliliğini artırır ve bakım maliyetlerini minimize eder.

Asenkron motorlarda durum izleme ve arıza teşhisi, endüstriyel süreçlerin güvenilirliğini artırmak ve verimliliği optimize etmek için kritik bir öneme sahiptir. Bu alanındaki akademik çalışmalar, yeni teknolojik gelişmelerin ve metodolojilerin uygulanmasıyla daha etkili bir motor yönetimi sağlamayı amaçlamaktadır.

3.14 Mil Eksen Kaçıklığının Nedenleri

Asenkron motorlardaki shaft eksen kaçıklığı, motorun mekanik yapısındaki bir dengesizlik veya düzensizlik nedeniyle ortaya çıkan bir durumdur. Bu eksen kaçıklığı, genellikle aşağıdaki nedenlere dayanabilir:

Üretim Hataları: Motorun imalat sürecindeki hatalar, özellikle shaftın doğru bir şekilde hizalanmamasına neden olabilir. Montaj sırasında yapılan hatalar veya eksiklikler, shaft eksen kaçıklığına yol açabilir.

Rotorun Dengeleme Problemleri: Rotorun dengesiz bir şekilde tasarlanması veya imal edilmesi durumunda, rotorun dönme ekseninde kaçık oluşabilir. Bu durum, motorun çalışması sırasında titreşime ve shaft eksen kaçıklığına neden olabilir.

Shaft Yatağı Hasarları: Motorun rulmanlarında veya yataklarında meydana gelen hasarlar, shaftın düzgün bir şekilde dönmesini engelleyebilir. Bu durum, shaft eksen kaçıklığına ve motorun verimliliğinde azalmaya yol açabilir.

Mekanik Darbe ve Stresler: Motorun işletme sırasında maruz kaldığı aşırı yüklenmeler, darbeler veya mekanik stresler, shaftın deformasyonuna ve eksen kaçıklığına neden olabilir.

Termal Genleşme: Motorun aşırı ısınması veya soğuması, malzeme genleşme ve büzülme nedeniyle shaft eksen kaçıklığına sebep olabilir. Bu durum, motorun çalışma sıcaklıklarındaki dalgalanmalar veya aşırı ısınma durumlarında ortaya çıkabilir.

Montaj Hataları: Motorun montajı sırasında yapılan hatalar, özellikle şaftın doğru konumda olmamasına neden olabilir. Yanlış montaj, şaft eksen kaçıklığına ve motorun istenmeyen titreşimlerle çalışmasına yol açabilir.

Şaft eksen kaçıklığı, genellikle birden çok etkenin kombinasyonu olarak ortaya çıkar. Bu nedenle, motor üreticileri ve teknik bakım uzmanları, motorun düzenli bakımını yaparak ve montaj sırasında dikkatli olarak şaft eksen kaçıklığını en aza indirmeye çalışmalıdır.

3.15 Mekanik Güç Aktarımında Kullanılan Elemanlar ve Kaplinlerin Önemi

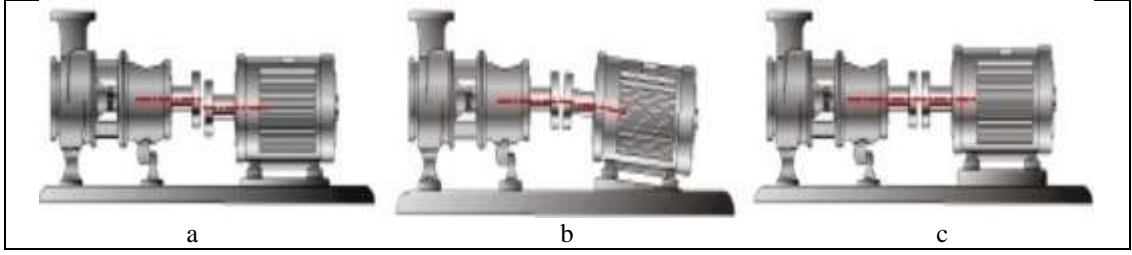
Mekanik gücün motor tarafından üretilip iş yapacak makineye en verimli ve en az kayıpla iletilmesi, aktarma organlarının doğru bir şekilde tasarlanması ve kullanılması ile mümkündür. Bu aktarma organları, kaplin, kasnak kayış sistemi ve redüktör gibi unsurları içerir.

Kaplin, iki makinenin milini birbirine bağlayan ve mekanik gücün aktarılmasını sağlayan önemli bir elemandır. Farklı uygulamalara göre çeşitlenen kaplin tipleri mevcuttur. Kaplinin doğru bir şekilde seçilmesi ve ayarlanması, mekanik gücün hatasız bir şekilde iletilmesi açısından kritiktir. Yanlış kaplin seçimi veya kötü bir ayar, mekanik arızalara ve güç kayıplarına neden olabilir.

Kaplin ayarı, mekanik gücün hatasız bir şekilde aktarılabilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Doğru bir kaplin ayarı, makine milinin doğru hizalanmasını sağlar. Bu, kaplinin düzgün çalışmasını ve enerji kaybının minimize edilmesini sağlar. Ayarın yanlış yapılması, kaplin arızalarına ve sistemde verim kaybına sebep olabilir.

Mekanik güç aktarımı sırasında dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardan biri de kaplinin doğrusallığıdır. Kaplin, gücü mükemmel bir şekilde aktarabilmek ve titreşimleri absorbe edebilmek için doğru bir şekilde yerleştirilmelidir. Bu, makineler arasındaki güç transferini optimize eder ve sistemde istenmeyen etkileri minimize eder.

Sonuç olarak, mekanik güç aktarımında kullanılan kaplinlerin seçimi, ayarı ve doğrusallığı, enerji verimliliği ve sistem performansı açısından kritik öneme sahiptir. Makine mühendisleri ve tasarımcıları, bu faktörlere özen göstererek mekanik sistemlerin doğru çalışmasını sağlamalıdır.



Şekil 3.9: a) Paralel Yapı Bozulması b) Açısal Kayma c) Doğru x-Line Alma İşlemi

3.16 Asenkron Motor Sargılarının Kontrolünün Yapılması

Asenkron motor sargılarının meğer ölçümü minimum 1000 V DC verebilen bir izolasyon multimetre ile yapılması gereklidir. Ölçümü yapmak için ölçü aleti 1000V DC kademesine alınır. Prob A ve B uçları ilgili ölçüm noktalarına getirilip sabitlendikten sonra ölçü probunun üstündeki tuşa basılır ve ölçü aleti 1000V DC gerilimi uçlar arasına gönderir. Bu ölçümü yapmak için motor klemensine gelen besleme kabloları sökülür ve motor starter kontrol panosuna herhangi bir güç kablosu bağlı olmaması gereklidir. Aynı zamanda klemens kapağı sökülür, varsa sargılar üzerindeki yıldız ve üçgen klemensleri de sökülür, böylelikle motor sargılarının ölçümü için motor uçları hazırlanmış olur. Meğer ölçümü yapılırken ölçüm cihazı, sargılar arasında ve sargılarla gövde arasındaki izolasyon değeri normalde sargılar sağlam ise 2.2 Gigaohm olarak göstermelidir. Eğer bu değer 500 mega ohm altına düşerse, sargılarda kavrulma var demektir. 100 Mega ohm'un altına düşmüşse o zaman motor sargıları yanık demektir. Eğer sargılar arasında ve sargılar ile gövde arasında kısa devre varsa ölçü aleti o zaman "sıfır" değerini gösterecektir. Aşağıdaki deniz tipi indüksiyon motorunun testleri boşa yapılmaktadır. Motor test bench sistemi atölyesindeki tüm sistemler bu tez kapsamında dizayn edilip panolar ve kontrol konsolu tersane atölyesinde imatları tarafımdan projelendirilmiş ve yapılmıştır.

Aşağıdaki ölçümler "Fluke 1587 Insulation Multimetre" ile yapılmıştır.



Şekil 3.10: Asenkron Motorun Klemens Kuplajı Sökülmüş – [Desan Tersanesi]

3.17 Asenkron Motorun Sağlık Test Ölçümlerinin Yapılması



Şekil 3.11: Meğer Ölçümü Kontrolü – [Desan Tersanesi]

Şekil 3.12 'de tersaneye Avrupa'dan bakım için getirilen bir gemide bulunan deniz tipi üç fazlı asenkron balast pompasını fiziksel olarak çeviren motorun bakım işlemleri tamamlandıktan sonraki ölçüm analizleri sunulmaktadır.

Üç fazlı 75kW, 440V, 1190 dev/dak plaka değerlerine sahip motorun birinci sargısı ölçülmekte ve dolayısıyla aynı sargı ölçüldüğünden kısa devre sonucu sargı direncinin değeri normal olarak ölçü aleti ile ölçüldüğünde “sıfır” olarak okunmaktadır. Bu şekilde sargılar ölçülemez, ölçmeyi doğru yapmak için motor klemensi üzerindeki sargı uçlarının 6 tanesi dışarı bağımsız bir şekilde çıkartılır ve bu şekilde sargı dirençleri ölçülür. Sargı ölçümleri için direnç kademesine her bir

sargı ölçülür, sonuç olarak bu değerler birbirine yakın olarak çıkması gereklidir. Eğer birbirine uzak olan değerler çıkarsa sargı dirençleri omajları eşit olmamış olur, dolayısıyla sargılarda kömürleşme ve kavruklaşma var olduğu anlaşılır. Bu durumda motor bobinleri yeniden sarılmalıdır.



Şekil 3.12: Motorun Rulmanının Söküldüğü Bir Görüntü, [Desan Tersanesi]



Şekil 3.13: Motorun Sargı ve Gövde Arası Meğer Testi-[Desan Tersanesi]

Şekil-3.13 'de motorun sargıları ile gövde arasında meğer ölçüm cihazı ile 1000V DC (Doğru akım) uygulanmış kısa devre olmadığından izolasyon testi 2,2 Gigaohm değerini (2200 MegaOhm) verdiği için sargılar ve motor gövdesi arasında herhangi bir temas veya kısa devrenin olmadığı, izolasyonun sonsuz değeri gösterdiği, böylelikle sorunsuz, sargılar ile gövde arasında kısa devre olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.14: Motor ve Topraklanmış Test Sehpası – [Desan Tersanesi]

Şekil 3.14 'de motor test sehpasına kelepçeler vasıtasıyla sabitlenir, dolayısı ile motora test esnasında start verildiğinde, motorun fiziksel olarak sağa-sola sıçrama veya yerinden oynama hareketi yapamaz, böylelikle olumsuzluk yaratacak tehlikeli durumlar ortadan kaldırılmış olur.



Şekil 3.15: 400V-50Hz/440V-60Hz Scada Dokunmatik Sürücü Kontrol Paneli- [Desan Tersanesi]

Şekil 3.15'deki kontrol ekranından frekansın artırılması ile birlikte sargılara uygulanan gerilim arttırılmaktadır. Böylece, motor yol alır ve hızı da frekansın artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Burada görüldüğü üzere motora

uygulanan gerilim seviyesi 30 Hz'de, 400V AC, nominal akımı ise anlık 12A olarak ana şalterlerin üzerindeki akım trafoları vasıtasıyla okunabilmektedir.



Şekil 3.16: UNI-T UT312 Titreşim Test Ölçüm Cihazı-[Desan Tersanesi]

Motor yüzeyinde yapılan titreşim testinde, cihazın tek bir probu vardır. Direkt olarak mıknatıslı olan bu proba bağlı titreşim değeri 2,9 mm/s olarak ölçülmüştür. Bu durumda motorun titreşim mesafesi neredeyse 0 (sıfır) olduğu görülmektedir. Ancak problem olması durumunda titreşim değerlerinin yükselen veya minumu 10 mm (1cm) kadar salınım yapması motorun rotor yataklarında veya rulmanlarında fiziksel problem var olduğu anlaşılır. Bu durumda IEC 60014-34 normlarına bakılıp buna göre karar alınması gereklidir.



Şekil 3.17: Dijital Takometre Ölçüm Cihazı-[Desan Tersanesi]

Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de bahsettiğimiz üzere 30 Hz de yarı hızda dönmesi gereken 1200 Devirlik makinenin, 600 dev/dak olarak döndüğü scada ekranı vasıtasıyla ispatlanmış olmaktadır.



Şekil 3.18: Motora 60 Hz Frekans Uygulanması-[Desan Tersanesi]



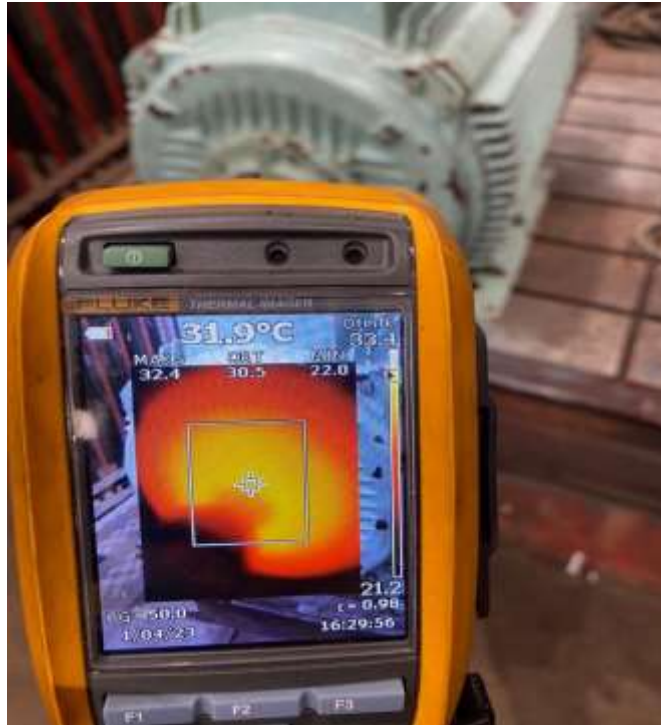
Şekil 3.19: Motora 60 Hz Frekans /1200 rpm/min – [Desan Tersanesi]

Motora uygulanan frekansın değeri 60 Hz’e çıkmasıyla birlikte devirde 2 katına çıkarak 600 dev/dak olan devir sayısı, 1200 dev/dak olduğu gözlemlenmiştir. Motorun etiket değerlerine göre sağlıklı bir şekilde çalıştığı analiz edilmektedir.



Şekil 3.20: Fluke Termal Kamera İle Gövde Isınma Testi – [Desan Tersanesi]

Şekil 3.20’de, motorun gövde sıcaklığı çalışma esnasında 20,9 derece olup herhangi bir aşırı derecede ısı artışının olmadığı gözlemlenmektedir. Ancak ısısal değer normal şartlarda 40 derece üstü veya ısı artış gözlemlenmesi durumunda, motorda fiziksel olarak sürtünmeler veya sargılardaki ısı artışı nedeni olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.21: Fluke Termal Kamera İle Rulman Isınma Testi-[Desan Tersanesi]

Şekil 3.21’de, motorun ön kapak rulman kısmının sıcaklığı, çalışma esnasında 31,9 santi grad derece olup herhangi bir aşırı derecede ısı artışı olmadığı gözlemlenmektedir.

Bir motorun güç faktörü ($\cos \emptyset$) motor yüklü değilken 1’e yakındır. Ancak tam yükünde ise $\cos \emptyset$ değeri 0,8’e doğru yaklaşır.

Tüm motorlar güç üretmek için şebekeden akım çekerler. Akım değişikliği motor yükünde değişikliğe neden olur. Motorun çektiği yük arttıkça motorun şebekeden çektiği akım da doğru orantılı olarak artar. Motorun etiketindeki yazan değerler motorun tam yükteki çekeceği nominal akım değerleridir.

Gemilerde kullanılan asenkron motorlarda karşılaşılan sorunlar, genelde motorların stator sargılarının deniz suyundan etkilenip direnç değerlerinin düşmesi ve şasesi ile sargılar arasında yapılan meğer gerilim testlerinin sonuçlarının 0,5-1 ohm arasında bir değere kadar düşmesi nedeniyle bu motorların tekrardan ağır bakım kestirimci çalışmaları içerisine girerek sargılarının kimyasal ile yıkanması, fırınlanması, kurutulması ve tekrar verniklenip 110–130 derece arasında 12-15 saat arasında fırınlanıp kurutulması gerekmektedir.

Tekrar yapılan meğer 1000 V DC gerilim testleri uygulanması ardından motor sargı dirençleri 100 Mega ohm direnç değerini aşarsa bu işlem yeterlidir. Bu işlemlerin ardından motor rulmanı eğer kullanılamayacak gibiyse yenisi ile değiştirilmelidir.

Asenkron motordaki kayıplar şunlardır:

- Stator ve rotorda çekirdek kaybı
- Stator ve rotor bakır kayıpları
- Sürtünme ve rüzgar kaybı.

Çekirdek kaybı ana ve kaçak akılardan kaynaklanmaktadır. Gerilimin sabit olduğu varsayıldığından çekirdek kaybı da sabit olarak tahmin edilebilir. DC stator direncini ölçülebilir. İletkenlerdeki histerezis ve girdap akımı kaybı direnci artırır ve etkin direnç DC direncinin 1,2 katı alınır. Rotor bakır kaybı, ölçülen toplam kayıptan veya rotor I^2R kaybindan stator bakır kaybının çıkarılmasıyla hesaplanır. Yükten bağımsız olarak sürtünme ve rüzgar kaybının sabit olduğu varsayılabilir.[28]

Motor Verimi = Rotor Çıkışı / Stator Çıkışı

Çıkış = Giriş – Kayıplar

Problem Analiz Sorusu:

Üç fazlı 440 V, 50Hz, 6 kutuplu indüksiyon motor analizi;

Bu analizde belirli bir yük altında çalışan 50 kW gücündeki üç fazlı bir 440V, 60 Hz, 6 kutuplu bir indüksiyon motorunu ele alacağız.

Motorun belirli şartlarda 960 d/d hızında çalıştığını ve stator kayıplarının 1 kW, sürtünme ile hava direnci kaybının ise 1,5 kW olduğunu kabul edelim.

Yüzde Kayma Hesaplaması:

Burada N_s Senkron hızı, N_r ise rotor hızını temsil eder.

Senkron hızı hesaplamak için şu formülü kullanabiliriz.

f : Frekans, P Kutup sayısı

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} * 100 \quad (3.16)$$

$$N_s = \frac{120 * f}{P} \quad (3.17)$$

$$P_c = I_r^2 * R_r \quad (3.18)$$

Rotor bakır kaybı hesaplaması ise,

Burada, I_r rotor akımı, R_r ise rotor direncini temsil eder.

Rotor Çıkışı Gücü Hesaplaması:

Burada P_m motor tarafından gerçekleştirilen mekanik gücü, P_s ise stator kayıpları, sürtünme ve hava direnci kayıplarının toplamını ifade eder

$$P_r = P_m - P_s \quad (3.19)$$

Verimlilik Hesaplaması:

$$\text{Verim } \mu = \frac{P_r}{P_m} * 100 \quad (3.20)$$

Motorun mekanik gücünü hesaplamak için ise,

Burada T , Moment, N_r ise rotorun devrini ifade eder.

$$P_m = \frac{2\pi}{60} * T * Nr \quad (3.21)$$

Bu hesaplama, motorun performansını belirlemek için gerekli adımları içerir. Bu süreçte rotor direnci, rotor akımı ve tork gibi değerlere dair bilgilerde gerekli olabilir.

Çözüm:

Yüzde Kayma Hesabı:

$$\text{Motorun Senkron Hızı} = (50 \times 120) / 6 = 6000 / 6 = 1000 \text{ rpm}$$

$$\text{Kayma} = (\text{Senkron Hız} - \text{Gerçek Hız}) = 1000 - 960 = 40 \text{ rpm}$$

$$\% \text{ kayma Hesabı} = [(40 / 1000) \times 100] = 4\% = 0.04$$

Rotor Bakır Kayıpları Hesabı:

$$\text{Rotor Bakır Kaybı} - \text{Rotor Girişi} = 50 - 1 = 49 \text{ kW}$$

$$\text{Rotor Bakır Kaybı} = \text{Rotor Girişi} \times \text{Yüzde Kayma Oranı} = 49 \times 0.04 = 1.96 \text{ kW}$$

Rotor Çıkış Gücü:

$$\text{Rotor Çıkış Gücü} = \text{Rotor Giriş Gücü} - \text{Rotor Bakır Kaybı} - \text{Sürtünme ve Rüzgar Kayıpları}$$

$$P_r \text{ Çıkış Gücü} = 49 - 1.96 - 1.5 = 45.54 \text{ kW}$$

Motor Çıkış Verimi:

$$\text{Motor Çıkış Verimi} = \text{Roto Çıkış Gücü} / \text{Motor Giriş Gücü} = 45.54 / 50 = 0.9108 = 91.08\%$$

3.18. Uluslar arası titreşim standardı IEC 60034-14

IEC 60034-14:2018 © IEC 2018 yayınında motor şaft yüksekliği 56 mm ve daha yüksek olan belirli makinelerin mekanik titreşimi, titreşim şiddetinin ölçülmesi, değerlendirilmesi ve yoğunluk konularını kapsar.

IEC, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), tüm elektrik, elektronik ve ilgili teknolojiler için uluslararası standartları hazırlayan ve yayınlayan lider küresel bir kuruluştur.

Bu dördüncü baskı, 2003 yılında yayınlanan üçüncü baskıyı iptal eder ve onun yerine geçer;

2007'de yayınlanan değişiklik 1. Teknik bir revizyon teşkil etmektedir.

Önceki baskıya göre önemli teknik değişiklikler şunlardır , (IEC 60034-14:2018 normundan alıntıdır.) [29]

a) 6.2, “serbest uzaklaştırma” tanımını daha iyi açıklayacak şekilde önemli ölçüde değiştirilmiştir.

b) 6.3: Birinci yöntem her zaman mümkün olmadığından ikinci bir sert montaj yöntemi eklenmiştir.

c) 7.1: Şaft kaması için geliştirilmiş bir seçenek tanımlanmıştır.

Madde 8: NEMA MG 1 ve IEEE 841 ve API 541 ile uyumlaştırmaya yönelik önemli çaba, ve aynı zamanda ulaşılabilir ve en iyi uygulamalara daha uygun seviyeler oluşturmak.

Çizelge 3.1 iki şaft yüksekliği aralığı bölümüne indirgenmiştir.

e) 8.2: Şekil 7'nin eklenmesiyle birlikte iki kat hat frekansının tanımı basitleştirilmiştir.

Bu Uluslararası Standardın metni aşağıdaki belgelere dayanmaktadır.

Çizelge 3.1: FDIS Belgeleri Kartı [29]

FDIS	Report on Voting
2 / 1906 / FDIS	2 / 1914 / RVD

Bu Uluslararası Standardın onayına yönelik oylamaya ilişkin tüm bilgiler, yukarıdaki tabloda belirtilen oylama raporunda bulunabilir.

Bu belge, ISO/IEC Direktifleri, Bölüm 2' ye uygun olarak hazırlanmıştır.

Döner elektrikli makineler genel başlığı altında yayınlanan IEC 60034 serisindeki tüm parçaların bir listesi IEC web sitesinde bulunabilir.

IEC 60034'ün bu bölümü, herhangi bir yükten veya ana taşıyıcıdan ayrıldığında, belirli koşullar altında belirli elektrikli makineler için fabrika kabul titreşim test prosedürlerini ve titreşim sınırlarını belirtir.

Şaft yüksekliği 56 mm veya daha yüksek olan ve nominal çıkışı 50 MW'a kadar olan, 120 dak-1'e kadar çalışma hızlarına sahip DC ve üç fazlı AC makinelere uygulanabilir.

Bu standart, yerinde (yerinde) monte edilen makineler, üç fazlı komütatör motorlar, tek fazlı makineler, tek fazlı sistemlerde çalıştırılan üç fazlı makineler, dikey su gücü jeneratörleri, 20 MW'tan büyük türbin jeneratörleri ve manyetik yataklı makineler veya seri sarımlı makineler için kullanılabilir.

ISO 2954, Dönen ve pistonlu makinelerin mekanik titreşimi - Titreşim şiddetini ölçen cihazlar için gereklilikler ISO 10817-1, Dönen şaft titreşimi ölçüm sistemleri - Bölüm 1: Dönen şaftlardan radyal titreşimin bağıl ve mutlak algılanması ISO 20816-1, Mekanik titreşim - Makine titreşiminin ölçülmesi ve değerlendirilmesi.

Bölüm 1: Genel kurallar

ISO 21940-32, Mekanik Titreşim – Rotor Dengeleme – Bölüm 32: Mil ve Bağlantı anahtarı kuralı.[29]

Ölçüm büyüklükleri, makine rulman yataklarındaki titreşim yer değiştirmesi, titreşim hızı ile makine yataklarının içindeki veya yakınındaki ilgili şaft titreşimi yer değiştirmesidir.

3.18.1 Titreşim büyüklüğü

Titreşim büyüklüğü, makine yataklarındaki titreşim büyüklüğü için kriter geniş bant r.m.s olacaktır. Madde 5'te belirtilen frekans aralığında titreşim yer değiştirmesinin mikrometre cinsinden değeri veya titreşim hızının saniye başına milimetre cinsinden değeri. [29]

Bu standarda göre, öngörülen ölçüm konumlarında belirlenen ve tanımlanan ölçüm değişkeni, makinenin titreşim büyüklüğünü karakterize eder.

Asenkron motorlar (özellikle iki kutuplu tipte) sıklıkla iki kat kayma frekansında titreşim atımı gösterir. Bu durumlarda, belirleyici titreşim büyüklüğü aşağıdaki ilişkiden belirlenecektir.

$$X_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{(X_{max})^2 + (X_{min})^2}{2}} \quad (3.22)$$

Xmax maksimum r.m.s'dir. Titreşim yer değiştirmesinin veya titreşim hızının max değeri.

Xmin minimum r.m.s'dir. Titreşim yer değiştirmesinin veya titreşim hızının min. değeri.

Örnekleme hızı, titreşimin maksimum ve minimum değerlerini güvenilir bir şekilde yakalayabilecek kadar büyük seçilmelidir.

3.18.2 Bağlı şaft titreşimi

Bağlı şaft titreşimi için benimsenen kriter, ISO 20816-1'e göre ölçüm yönündeki titreşim yer değiştirmesi Sp-p olacaktır.[

3.18.3 Ölçüm ekipmanı

Ölçüm ekipmanı geniş bant r.m.s.'yi ölçebilecek kapasitede olacaktır. ISO 2954 gereklerine uygun olarak 10 Hz ila 1000 Hz frekans aralığında düz tepkili titreşim. Bununla birlikte, hızları 600 dak-1'e yaklaşan veya altında olan makineler için düz tepkili frekans aralığının alt sınırı, 2 Hz'den büyük olmalıdır.

Göreceli şaft titreşim ölçümlerine yönelik ölçüm ekipmanı, ISO 10817-1'deki şartlara uygun olacaktır. Çok yönlü titreşim sensörleri kullanılmayacaktır. Çok yönlü sensörler tek bir yere monte edildiğinde her yönde doğru titreşim ölçümü sağlamaz.[29]

3.18.4 Motor titreşim test limitleri

Sınırlar ölçülen geniş bant r.m.s. için geçerlidir.

Şaft yüksekliği 56 mm veya daha yüksek olan DC ve üç fazlı AC makineler için, Madde 6'ya göre iki montaj koşulundan herhangi biri için titreşim büyüklüğü, Çizelge 3.2'de belirtilen sınırları aşmayacaktır. Sınırlar, iki titreşim derecesi için verilmiştir. Herhangi bir kalite belirtilmediğinde, bu standarda uygun makineler A sınıfı olacaktır.

Dönme hızı 600 dd'in altında olan standart makinelerin rutin testleri için titreşim, yer değiştirme birimleriyle ifade edilecektir. 600 dd'den - 15 000 dd'e kadar olan dönme hızları için titreşim, hız birimleriyle ifade edilecektir. Bu standardın tüm hız aralığı için geçerlidir [29]

Şaft yüksekliği H için yer değiştirme (r.m.s.) ve hız (r.m.s.)

Çizelge 3.2: IEC-60034-14 Normu Motor Titreşim Limitleri [29]

Titreşim Derecesi	Şaft (Mil) Yüksekliği (mm)	56 < H < 132		H > 132	
	Montaj Durumu	Yer Değişirme (Mikro Milimetre)	Hız (mm/sn.)	Yer Değişirme (Mikro Milimetre)	Hız (mm/sn.)
A	Serbest Durum	45	2,8	45	2,8
	Motor Montajlı Halde			37	2,3 2,8*
B	Serbest Durum	18	1,1	29	1,8
	Motor Montajlı Halde			24	1,5 1,8*

A sınıfı, özel titreşim gereksinimleri olmayan makineler için geçerlidir.

B Sınıfı, özel titreşim gereksinimleri olan makineler için geçerlidir.

Şaft yüksekliği 132 mm'ye eşit veya daha az olan makineler için sabit montajın kabul edilebilir olduğu düşünülmemektedir.

1000 Hz'in üzerindeki frekanslardaki titreşim filtrelenmelidir.

Ayaksız bir makinenin veya yükseltilmiş ayakları olan bir makinenin veya herhangi bir dikey makinenin şaft yüksekliği, aynı temel çerçevedeki ancak yatay şaft ayağına montaj tipindeki bir makinenin şaft yüksekliği olarak alınacaktır.

-İmalatçı ve alıcı, enstrümantasyonun \pm %10'luk bir ölçüm toleransına sahip olabileceğini dikkate alır.

-Kendi içinde iyi dengelenmiş ve Çizelge 1'e uygun kalitede bir makine, sahaya kurulduğunda, uygun olmayan temeller, çalıştırılan makinenin tepkisi, güç kaynağından gelen akım dalgalanması gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanan büyük titreşimler sergileyebilir. vb. Titreşim, dönen kütlelerin küçük artık dengesizliği nedeniyle uyarıya çok yakın doğal salınım frekansına sahip tahrik elemanlarından da kaynaklanabilir.[29]

3.18.5 Yüzer elektrik santrali gemi motorları listesi

Çalışma sonunda bir elektrik termik santrali olan bir gemide olan motorların örnek isim listesi verilmiştir (Bknz: Ek-1).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmamızda, denizcilik ulaşım sektöründeki sürekli yaygın olarak kullanılmakta olan 440V(60Hz) ve 400V(50Hz), 3 fazlı endüstriye sanayi motorlarında zaman içerisinde oluşan teknik arızalarının detaylı bir şekilde incelenmesini sağlamaktadır. Elde edilen teknik nedenler ve buna bağlı olan sonuçlar ve gözlemler, asenkron motorlardaki arızaların işleyiş üzerindeki etkilerini aydınlatmakta ve özellikle iş verim kayıpları ile enerji maliyetleri arasındaki ilişkilere gözlemlemektedir.

Buradaki teknik atölye ortamındaki çalışmada, 3 fazlı asenkron motor teknik arıza nedenlerinin önemini vurgulayarak, bu tip teknik arızaların endüstriyel saha ve sanayide zamana göre iş kaybı oluşmasına, ekonomik kayıplara ve işletme güvenliği risklerine nasıl neden olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, sanayi motorlarının izleme sistemlerinin ve teknik kestirimci bakımın daha fazla önem kazandığı vurgulanmakta ve endüstriyel tesislerin sürdürülebilirliği için bu tür önlemlerin ne kadar kritik olduğundan bahsedilmiştir.

Önerilen sonuçlar arasında, asenkron motor arızalarının daha etkili bir şekilde tespit edilmesi ve önceden müdahale edilmesi amacıyla yapay zekâ yazılım sistemlerinin daha geniş çaplı kullanımı ve geliştirilmesi yer almaktadır. Bu yöntemlerin, gelecekte asenkron motor arızalarını daha hızlı ve güvenilir bir şekilde teşhis etme potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında, gemilerde kullanılan sanayi motorlarının ,kritik rol oynamasında ve bu nedenle asenkron motorlarda oluşan arıza tiplerini anlama, önleme alma, engelleme çalışmalarıyla birlikte, daha ileriye yönelik araştırmalarda, sanayi motorlarının güvenilirliğini artırmak ve enerji verimliliğini optimize etmek için yeni teknolojilerin ve teşhis yöntemlerinin geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmakta olup, sektördeki sanayi ve endüstriyel sahadaki çalışan araştırmacılara bu konuda görsel olarak yardımcı olunmaya çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Boldea, I.; Nasar, S.: "The Induction Machine Handbook", CRC Press, London U.K. (2002).
- [2] G.B. Kliman and J. Stein, "Induction motor fault detection via passive current monitoring", *Proc. Int. Conf. (ICEM'90)*, pp. 13-17, 1990.
- [3] A.H. Bonnetand, G.C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol.28, pp. 921-937, July/Aug 1992.
- [4] S. Williamson and A.C. Smith, "Steady-state analysis of three-phase cage motors with rotor-bar and end-ring faults," *Proc. Inst. Elect. Eng.*, Vol. 129, No. 3, pt. B, pp. 93-100, May 1982.
- [5] T.A Garcia-calva, D.Morinigo-sotelo, V. Fernandez-cavero, et al., "Early dedection of broken rotor bars in inverter-fed induction motor using speed analysis of startup transients, *Energies* 14 (5) (2021) pp.1469.
- [6] D. G. Baranov, G. E. Nepomuceno, A. M. Vaganov, et al., New Spectral Markers for Broken Bars Diagnostics in Induction Motors. *Machines*, vol. 8, no 1, pp. 6, 2020.
- [7] Luong, W.Wang, "Smart sensor-based synergistic analysis for rotor bar fault dedection of induction motors", *IEEE ASME, Trans. Mechatron.*25 (2) (2020)
- [8] M. Akar, İ. Çankaya, Evirici ile Sürülen Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Tespiti, *IATS' 09, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük*, 2009.
- [9] C.Yeh, A. Sayed-Ahmed, R. Povinelli, "A Reconfigurable Motor for Experimental Emulation of Stator Winding Inter-Turn and Broken Bar Faults in Polyphase Induction Machines", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 23, No. 4, pp.1005-1014, December, 2008.
- [10] G. B. Kliman, W. J. Premerlani, R. A. Koegl, and D. Hoeweler, "A new approach to on-line fault detection in ac motors", *Proceedings of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting Conference*, pp. 687–693, San Diego, CA, 1996.
- [11] S. Nandi, H.A. Toliyat, and X. Li, "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines-A Review", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 20, No. 4, pp.719-729, December. 2005.
- [12] J. Cusidó, J. Rosero, J.A. Ortega, A. Garcia, L. Romeral, "Fault Detection in Induction Machines Using Power Spectral Density in Wavelet Decompositions", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 55, pp. 633-643, February 2008.
- [13] A. Belling, F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni, G.b. Kliman, "Quantitative evaluation of induction motor broken bars by means of electrical signature analysis",

IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 37, No.5, pp.1248-1255, April, 2001.

[14] Z. Liu, X. Yin, et al., "On-line monitoring and diagnosis way based on spectrum analysis of Hilbert modulus in induction motors", Proceedings of the CSEE, Vol. 23, No.7, pp. 158-161, 2003.

[15] Nandi, S., Toliyat, H.A., LI, X., "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines-A Review", IEEE Transactions on Energy Conversion, pp.20, 4, 719-729, 2005.

[16] Obaid, R. R., Habetler, T. G., "Effect of Load on Detecting Mechanical Faults in Small Induction Motors", 4th IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives-SDEMPED03, pp.24-26, pp.307-311, 2003.

[17] Dorrell, D. G., "Calculation of Unbalanced Magnetic Pull in Cage Induction Machines, Ph.D. Dissertation", University of Cambridge , 20, U.K, 1993.

[18] Akar, M., Çankaya, İ. C., "Evirici ile Sürülen Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Tespiti", İATS'09, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 2009.

[19] W.T. Thomson, "Diagnosing faults in induction motorsEngineering ideas", *Elec. Rev.*, vol. 215, no. 17, pp. 21-22, Nov. 1984

[20] B. K. Bose, "Modern Power Electronics and AC drives", Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.

[21] G. R. Slemon, "Electrical Machines for Variable-Frequency Drives," in Proceedings of the IEEE, vol. 82, pp. 1123-1139, 1994.

[22] Boldea, I.; Nasar, S.: "The Induction Machine Handbook", CRC Press, London U.K. (2002).

[23] Krause, P.C.: "Analysis of electric machinery", New York: McGraw-Hill, (1986).

[24] Blodt, M.; Granjon, P.; Raison, B.; Regnier, J.: "Mechanical Fault Detection in Induction Motor Drives Through Stator Current Monitoring - Theory and Application Examples", Fault Detection, (2009) pp.452-488.

[25] Bellini, A.; Filippetti, F.; Tassoni, C.; Capolino, G-A.: "Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 12, Dec., (2008) 4109-4126.

[26] Schoen, R.R.; Habetler, T.G.; Kamran, F.; Bartheld, R.G.: "Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31, No. 6, November-December (1995) 1274 1279.

[27] Bonnet, H.: "Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three Phase Squirrel-Cage Induction Motors", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 28, No. 4, Jul./Aug., (1992) 921-437.

[28] Marc Brown, Jawahar Rawtani, Dinesh Patil, "Practical Troubleshooting of Electrical Equipment and Control Circuits Book", IEEE Trans., (2005) , pp.81

[29] International standards consist of IEC standards for electrical fields and ISO standards IEC-60034-14 of vibration.

EKLER

Ek-1: Yüzer Elektrik Santrali Gemi Motorları Listesi

No	Elektrik Motor Adı	Gücü KW	Volt	Amper	Devir
1	Generator Ventilation 1-1	55	400	99	1478
2	Generator Ventilation 1-2	55	400	99	1478
3	Generator Ventilation 2-1	55	400	99	1478
4	Generator Ventilation 2-2	55	400	99	1478
5	Generator Ventilation 3-1	55	400	99	1478
6	Generator Ventilation 3-2	55	400	99	1478
7	Generator Ventilation 4-1	55	400	99	1478
8	Generator Ventilation 4-2	55	400	99	1478
9	Generator Ventilation 5-2	55	400	99	1478
10	Generator Ventilation 6-1	55	400	99	1478
11	Generator Ventilation 6-2	55	400	99	1478
12	Generator Ventilation 7-1	55	400	99	1478
13	Generator Ventilation 7-2	55	400	99	1478
14	Generator Ventilation 8-1	55	400	99	1478
15	Generator Ventilation 8-2	55	400	99	1478
16	Generator Ventilation 9-1	55	400	99	1478
17	Generator Ventilation 9-2	55	400	99	1478
18	Generator Ventilation 10-1	55	400	99	1478
19	Generator Ventilation 10-2	55	400	99	1478
20	Generator Ventilation 11-1	55	400	99	1478
21	Generator Ventilation 11-2	55	400	99	1478
22	Generator Ventilation 12-1	55	400	99	1478
23	Generator Ventilation 12-2	55	400	99	1478
24	Engine Ventilation 1	55	400	99	1478
25	Engine Ventilation 2	55	400	99	1478
26	Engine Ventilation 3	55	400	99	1478
27	Engine Ventilation 4	55	400	99	1478
28	Engine Ventilation 5	55	400	99	1478
29	Engine Ventilation 6	55	400	99	1478
30	Engine Ventilation 7	55	400	99	1478
31	Engine Ventilation 8	55	400	99	1478

32	Engine Ventilation 9	55	400	99	1478
33	Engine Ventilation 10	55	400	99	1478
34	Engine Ventilation 11	55	400	99	1478
35	Engine Ventilation 12	55	400	99	1478
36	Work Shop	7,5	400	16	1455
37	Seperator Room 1	7,5	400	16	1455
38	Seperator Room 2	7,5	400	16	1455
39	Seperator Room 3	7,5	400	16	1455
40	Seperator Room 4	7,5	400	16	1455
41	Low Voltage Room	7,5	400	16	1455
42	Hv Room	7,5	400	16	1455
43	Mv Room	7,5	400	16	1455
44	Tr Room	7,5	400	16	1455
45	Fire bilge pump 1	87,3	380	157	2970
46	Bilge fire pump 2	87,3	380	157	2970
47	Emergency fire pump	87,3	380	157	2970
48	ST FW circulation 1	37	380	67	1475
49	ST FW circulation 2	37	380	67	1475
50	ST condanset ext. pump1	30	400	50	2960
51	ST condanset ext. pump	30	400	50	2960
52	ST Aux oil pump 1	15	400	27	2960
53	ST Aux oil pump 2	15	400	27	2960
54	ST sea water pump 1	200	400	345	1480
55	ST sea water pump 2	200	400	345	1480
56	ST sea water pump 3	200	400	345	1480
57	Boiler Feed water pump 1	55	400	97,9	2970
58	Boiler Feed water pump 2	55	400	97,9	2970
59	Boiler Feed water pump 3	55	400	97,9	2970
60	Feed water tank pump 1	5,5	380	10,7	2880
61	Feed water tank pump 2	5,5	380	10,7	2880
62	Deaerator feed pump 1	5,5	380	10,7	2880
63	Deaerator feed pump 2	5,5	380	10,7	2880
64	Foam pump	5,5	380	10,7	2880
65	Sea water pump 2	110	400	192	1480
66	Sea water pump 3	110	400	192	1480
67	Sea water pump 4	110	400	192	1480
68	Sea water pump 5	110	400	192	1480
69	Sea water pump 5	110	400	192	1480
70	Sea water pump 6	110	400	192	1480

71	Sea water pump 7	110	400	192	1480
72	Sea water pump 8	110	400	192	1480
73	Sea water pump 9	110	400	192	1480
74	Sea water pump 10	110	400	192	1480
75	Sea water pump 11	110	400	192	1480
76	Sea water pump 12	110	400	192	1480
77	Sea water pump 13	110	400	192	1480
78	Sea water pump 14	110	400	192	1480
79	Hfo feeder pump 1-1	15	400	28,5	1470
80	Hfo feeder pump 1-2	15	400	28,5	1470
81	Hfo feeder pump 2-1	15	400	28,5	1470
82	Hfo feeder pump 2-2	15	400	28,5	1470
83	D.O feeder pump 1-1	15	400	28,5	1470
84	D.O feeder pump 1-2	15	400	28,5	1470
85	D.O feeder pump 2-1	15	400	28,5	1470
86	D.O feeder pump 2-2	15	400	28,5	1470
87	Hfo transfer pump 1	30	400	55	1470
88	Hfo transfer pump 2	30	400	55	1470
89	D.O transfer pump 1	7,5	400	14,5	1465
90	D.O filling pump	1,5	400	6	1440
91	Hfo separator 1	22	380	41	1460
92	Hfo separator 1 feeder pump	4	380	8,3	1430
93	Hfo separator 2	22	380	41	1460
94	Hfo separator 2 feeder pump	4	380	8,3	1430
95	Hfo separator 3	22	380	41	1460
96	Hfo separator 3 feeder pump	4	380	8,3	1430
97	Hfo separator 4	22	380	41	1460
98	Hfo separator 4 feeder pump	4	380	8,3	1430
99	Hfo separator 5	22	380	41	1460
100	Hfo separator 5 feeder pump	4	380	8,3	1430
101	Hfo separator 6	22	380	41	1460
102	Hfo separator 6 feeder pump	4	380	8,3	1430
103	Hfo separator 7	22	380	41	1460
104	Hfo separator 7 feeder pump	4	380	8,3	1430
105	Lo Seperator 1	15	400	27,9	2490
106	Lo Seperator 1 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
107	Lo Seperator 2	15	400	27,9	2490
108	Lo Seperator 2 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
109	Lo Seperator 3	15	400	27,9	2490

110	Lo Seperator 3 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
111	Lo Seperator 4	15	400	27,9	2490
112	Lo Seperator 4 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
113	Lo Seperator 5	15	400	27,9	2490
114	Lo Seperator 5 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
115	Lo Seperator 6	15	400	27,9	2490
116	Lo Seperator 6 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
117	Lo Seperator 7	15	400	27,9	2490
118	Lo Seperator 7 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
119	Lo Seperator 8	15	400	27,9	2490
120	Lo Seperator 8 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
121	Lo Seperator 9	15	400	27,9	2490
122	Lo Seperator 9 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
123	Lo Seperator 10	15	400	27,9	2490
124	Lo Seperator 10 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
125	Lo Seperator 11	15	400	27,9	2490
126	Lo Seperator 11 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
127	Lo Seperator 12	15	400	27,9	2490
128	Lo Seperator 12 Feeder Pump	3	380	6,54	1430
129	Booster Pump 1	7,5	400	14	2915
130	Booster Pump 2	7,5	400	14	2915
131	Booster Pump 3	7,5	400	14	2915
132	Booster Pump 4	7,5	400	14	2915
133	Booster Pump 5	7,5	400	14	2915
134	Booster Pump 6	7,5	400	14	2915
135	Booster Pump 7	7,5	400	14	2915
136	Booster Pump 8	7,5	400	14	2915
137	Booster Pump 9	7,5	400	14	2915
138	Booster Pump 10	7,5	400	14	2915
139	Booster Pump 11	7,5	400	14	2915
140	Booster Pump 12	7,5	400	14	2915
141	Start Air Comp 1	37	380	70	1475
142	Start Air Comp 2	37	380	70	1475
143	Start Air Comp 3	37	380	70	1475
144	Start Air Comp 4	37	380	70	1475
145	Control Air 1	30	380	55	2950
146	Control Air 2	30	380	55	2950
147	FW Pump 1	30	400	53	2950
148	FW Pump 2	30	400	53	2950

149	FW Pump 3	30	400	53	2950
150	FW pump 4	30	400	53	2950
151	FW pump 5	30	400	53	2950
152	FW pump 6	30	400	53	2950
153	FW pump 7	30	400	53	2950
154	FW pump 8	30	400	53	2950
155	FW pump 9	30	400	53	2950
156	FW pump 10	30	400	53	2950
157	FW pump 11	30	400	53	2950
158	FW pump 12	30	400	53	2950
159	Hidraforlar 1-1	3	400	5,59	2910
160	Hidraforlar 1-2	3	400	5,59	2910
161	Hidraforlar 2-1	3	400	5,59	2910
162	Hidraforlar 2-2	3	400	5,59	2910

Kaynak: (Karadeniz Holding-KPS 57 Gemisinden Alıntı Yapılmıştır)

ÖZGEÇMİŞ

Yılmaz KANBUR, İlk orta lise tahsilini Pendik 'de tamamladıktan sonra Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Elektrik Teknikerliği bölümünü okumuştur. Askerlik görevini 2002 yılında, Ankara Kara Havacılık Eğitim Merkez Komt.'lığında tamamladıktan sonra, Haliç Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü 2016 yılında tamamlamıştır.

Gedik Üniversitesinde 2019 yılında, İş Güvenliği Uzmanlığı alanında yüksek lisans yapmış ve Çalışma ve Sosyal Bakanlık sınavlarını tamamlayarak B sınıfı İş Güvenlik Uzmanı olmuştur.

2021-2024 yılında Gedik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisansını Tezli olarak tamamlamıştır.

Kendisi birçok şirketlerde ve denizcilik sektöründe uzun süreler, Elektrik Mühendisi olarak yönetim kadrolarında çalışmıştır.

Evli, 2 oğlu ve 1 kızı vardır.

Şu anda Karadeniz Kar Power şirketinde Küba'da, Elektrik Mühendisi olarak HFO (Heavy Fuel Oil – Ağır Yağlı Yakıt) Elektrik Santralinde çalışmaktadır.

Teşekkürlerimle,

Saygılarımla,

Yılmaz KANBUR,

Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi