T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK GÜÇLÜ YÜKSEK HIZLI VE YÜKSEK VERİMLİ ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTOR TASARIMINA KATKILAR

Ezgi TANTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Programı

Danışman

Doç. Dr. Atiye Hülya OBDAN

Temmuz, 2020

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK GÜÇLÜ YÜKSEK HIZLI VE YÜKSEK VERİMLİ ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTOR TASARIMINA KATKILAR

Ezgi TANTEKİN tarafından hazırlanan tez çalışması 23.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Atiye Hülya OBDAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Atiye Hülya OBDAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Kamuran Nur BEKİROĞLU, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Derya Ahmet KOCABAŞ, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Atiye Hülya OBDAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Yüksek Hızlı ve Yüksek Verimli Asenkron Motor Tasarımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ezgi TANTEKİN

İmza

Sevgili anneme

ve

babama

TEŞEKKÜR

Bu tezde emeği geçen çalışmam boyunca destek ve anlayışları ile sürekli yanımda olan Sevgili annem Bilge TANTEKİN, babam Behçet TANTEKİN ve kardeşim Yusuf TANTEKİN'e koşulsuz destekleri için en büyük teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmamda bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hülya OBDAN'a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışma süresi boyunca destekleri ile vermiş olduğu motivasyonlarından ötürü Sevgili Doğukan NADAS'a ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Koral ATAĞAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmalarıma katkıda bulunan ve imkân sağlayan Sevgili Miksan Motor ailesine de teşekkür ederim.

Ezgi TANTEKİN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvi
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2
2 ELEKTRİK MAKİNALARININ TASARIMI 3
2.1 Elektrik Makinalarının Tasarımında Kullanılan Standartlar 3
2.1.1 İzolasyon Sınıfları 3
2.1.2 Koruma Sınıfları 5
2.1.3 Çalışma Rejimleri 6
2.1.4 Soğutma Şekilleri 8
2.1.5 Yapı Şekilleri 9
3 ASENKRON MOTORLAR 10
3.1 Asenkron Motorlar 10
3.1.1 Asenkron Motorların Yapısı 10
3.1.2 Asenkron Motorların Çalışma Prensibi 18
3.1.3 Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi 19
4 ASENKRON MOTOR TASARIMI 22
4.1 Asenkron Motor Tasarımı 22
4.1.1 Motor Boyutu 23
4.1.2 Motorun Mekanik Ölçüleri 25
4.1.3 Stator ve Rotor Oluk Sayıları 26
4.1.4 Stator Oluk Şekli 26
4.1.5 Rotor Oluk Şekli 27
4.1.6 Sarım Sayısı ve Bakır Tel Seçimi 30
4.1.7 Motorun Nominal Akım Değerinin Hesaplanması 32

4.1.8 Motor Tasarımında Kullanılan Program Tanıtımı 33
4.1.9 Tasarlanan Motorun Test Sonuçları 39
5 SONUÇ VE ÖNERİLER **44**
KAYNAKÇA **45**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **46**

SİMGE LİSTESİ

K_a	Adım Katsayısı
A	Amper
P_n	Anma Gücü
S3	Aralıklı Periyodik Çalışma
S6	Aralıklı Yük ile Sürekli Çalışma
$S_{iletken}$	Bakır Tel Kesiti
V	Besleme Gerilimi
nel_1	Bir Ankoş Sarım Sayısı
E_{FAZ}	Bir Fazdaki Gerilim Değeri
Z_F	Bir Fazdaki İletken Sayısı
$Ø_K$	Bir Kutbun Manyetik Akısı
C	Çıkış Katsayısı
K_d	Dağıtım Katsayısı
v	Dikey Milli Motorlar
S5	Elektrikli Frenleme ile Aralıklı Periyodik Çalışma
S7	Elektrikli Frenleme ile Sürekli Çalışma
m	Faz Sayısı
f	Frekans
P_1	Giriş Gücü
cosφ	Güç Faktörü
β	Hava Aralığındaki Manyetik Akı Yoğunluğu
E_r	İndüklenen Rotor Gerilimi
E_S	İndüklenen Stator Gerilimi
d_{co1}	İzole Edilmemiş İletken Çapı
dis_1	İzole Edilmiş İletken Çapı
J	Jonksiyon Değeri
$K_İ$	Kalkış Akımı
K_m	Kalkış Momenti
S4	Kalkışlı, Aralıklı Periyodik Çalışma
s	Kayma
S2	Kısa Süreli Çalışma
kW	Kilowatt

P_{mek}	Tasarım Programında Bulunan Mekanik Kayıp
ac	Metre Başına Amper-İletken
I_M	Mıknatıslanma Akımı
R_C	Mıknatıslanma Direnci
X_M	Mıknatıslanma Reaktansı
M	Moment
P_{aktif}	Motorun Aktif Gücü
I	Motorun Etiketindeki Akım Değeri
S	Motorun KVA Giriş Gücü
n	Motorun Senkron Hızı
η	Motorun Verimi
$I_{nominal}$	Nominal Akım
a	Olukların Arasındaki Elektriksel Açı
K_{f1}	Olukların Doluluk Oranı
β_{ort}	Ortalama Akı Yoğunluğu
c	Renk Sayısı
I_R	Rotor Akımı
n_r	Rotor Devir Sayısı
R_r	Rotor Direnci
X_r	Rotor Kaçak Reaktansı
b_2	Tasarım Programında Bulunan Rotor Oluk Ölçü Değeri
b_{21}	Tasarım Programında Bulunan Rotor Oluk Ölçü Değeri
b_{S2}	Tasarım Programında Bulunan Rotor Oluk Ölçü Değeri
h'_{k2}	Tasarım Programında Bulunan Rotor Oluk Ölçü Değeri
h_{S2}	Tasarım Programında Bulunan Rotor Oluk Ölçü Değeri
Z_2	Rotor Oluk Sayısı
N_r	Rotor Sarım Sayısı
R'_R	Sadeleştirilmiş Hali ile Rotor Direnci
X'_R	Sadeleştirilmiş Hali ile Rotor Kaçak Reaktansı
K_W	Sargı Faktörü
U_{K1}	Sarım Sayısı
I_S	Stator Akımı
L	Stator Boyu
n_s	Stator Devir Sayısı
R_S	Stator Direnci

D	Stator İç Çapı
X_S	Stator Kaçak Reaktansı
b_{11}	Tasarım Programında Bulunan Stator Oluk Ölçü Değeri
B_{S1}	Tasarım Programında Bulunan Stator Oluk Ölçü Değeri
h'_{k1}	Tasarım Programında Bulunan Stator Oluk Ölçü Değeri
h_{11}	Tasarım Programında Bulunan Stator Oluk Ölçü Değeri
h_{S1}	Tasarım Programında Bulunan Stator Oluk Ölçü Değeri
h_{we1}	Tasarım Programında Bulunan Stator Oluk Ölçü Değeri
X	Stator Oluk Sayısı
Z_1	Motor Tasarım Programında Bulunan Stator Oluk Sayısı
L_i	Stator Sac Paket Uzunluğu
N_S	Stator Sarım Sayısı
N	Stator ve Rotor Devir Oranı
S1	Sürekli Çalışma
del	Tasarım Programında Bulunan Hava Aralığı
V_{1r}	Tasarım Programında Bulunan Nominal Besleme Voltajı
P_{2r}	Tasarım Programında Bulunan Nominal Güç
D_{i2}	Tasarım Programında Bulunan Rotor İç Çapı
l_2	Tasarım Programında Bulunan Rotor Paket Uzunluğu
D_{a1}	Tasarım Programında Bulunan Stator Dış Çapı
D_1	Tasarım Programında Bulunan Stator İç Çapı
l_1	Tasarım Programında Bulunan Stator Paket Uzunluğu
p	Çift Kutup Sayısı
d	Tel Çapı
2p	Tek Kutup Sayısı
W	Watt
b	Yatay Milli Motorlar
S8	Yük ve Hızda Olan Periyodik Değişmeler ile Sürekli Çalışma

KISALTMA LİSTESİ

IEC	International Electrotechnical Commission
IM	Motor Yapı ve Montaj Kodu
IP	International Protection
NEMA	National Electrical Manufacturers Associational
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 S1 çalışma rejiminde kayıp güç grafiği [5] 6
Şekil 2.2 Tasarlanan motorun soğutma şekli [6] 9
Şekil 3.1 Asenkron motor 10
Şekil 3.2 Olukları dolu stator 11
Şekil 3 3 Sincap kafesli rotor 13
Şekil 3.4 Bilezikli rotor 13
Şekil 3.5 Asenkron motorun stator ve rotor levhaları 14
Şekil 3.6 Tasarlanan asenkron motorda kullanılan B14 kapaklar 14
Şekil 3.7 Tasarlanan motorda kullanılan 6201 kodlu rulman 15
Şekil 3.8 Tasarlanan motorda kullanılan 56 tip pervane 15
Şekil 3.9 Tasarlanan motorda kullanılan klemens 16
Şekil 3.10 Örnek Motor Etiketi 16
Şekil 3.11 Asenkron motorun genelleşmiş iç yapısı [6] 17
Şekil 3.12 Asenkron motorun devir yönü değiştirilmesi 19
Şekil 3.13 Asenkron motorun eşdeğer devresi 20
Şekil 3.14 Asenkron motorun matematiksel olarak basitleştirilmiş eşdeğer devresi 20
Şekil 3.15 Asenkron motorun en basit hali ile eşdeğer devresi 21
Şekil 4.1 Tasarlanan 56 tip motorun mekanik ölçüleri [6] 25
Şekil 4.2 Tasarlanan motorun stator oluk şekli 26
Şekil 4. 3 Tasarlanan motorun stator laminasyon bilgileri 27
Şekil 4.4 Tasarlanan motorun rotor oluk şekli 28
Şekil 4.5 Motor tasarım programından alınan dat bilgisi 34
Şekil 4.6 Motor tasarım programından alınan çıkış bilgisi 35
Şekil 4.7 Tasarlanan motorun 100Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı 37
Şekil 4.8 Tasarlanan motorun 50Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı 38
Şekil 4.9 Tasarlanan motorun 60Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı 39
Şekil 4.10 Tasarlanan motorun 80Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı 39
Şekil 4.11 100Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim analizi testi 40
Şekil 4.12 50Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim testi 41
Şekil 4.13 60Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim analizi testi 41
Şekil 4.14 80Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim analizi testi 42

Şekil 4.15 Tasarlanan motorun yandan görünümü..... 42
Şekil 4.16 Tasarlanan motorun önden görünümü..... 43
Şekil 4.17 Tasarlanan motorun test halinde görünümü..... 43

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1 İzolasyon sınıfları 3
Tablo 2. 2 40^0C'nin üzerindeki ortam ısısının motor gücüne etkisi..... 4
Tablo 2. 3 1000m'den yüksek rakımın motor gücüne etkisi 4
Tablo 4. 1 Çıkış Katsayısı Değerleri (C) 24
Tablo 4. 2 İki kutup üç fazlı asenkron motorlar için verimlilik tablosu 29

ÖZET

Küçük Güçlü Yüksek Hızlı ve Yüksek Verimli Üç Fazlı Asenkron Motor Tasarımına Katkılar

Ezgi TANTEKİN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Atiye Hülya OBDAN

Asenkron motorlar günümüzde sanayi tesislerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Asenkron motorların diğer motorlara oranla daha fazla tercih edilme sebepleri arasında düşük maliyeti ve basit yapıda oluşu yer alır. Avantajlarının yanı sıra asenkron motorlar yüksek yol verme akımı gibi bir dezavantaja da sahiptirler. Yüksek yol verme akımı, motorun çalışmaya başladığı ilk anda şebekeden çektiği akımdır. Bu akım genellikle motorun sahip olduğu güce ve kutup sayısına göre değişkenlik göstererek yaklaşık olarak anma akımının 3-6 katı arasında değişir. Bu durumda motor kalkışta uzun süre kalır ise çekeceği fazla akımdan dolayı sargılarında hasar meydana gelebilir. Tüm bu faktörler hesaba katılınca tüketicilerden gelen farklı frekans ve gerilim değerleri taleplerinde asenkron motor tasarımı daha karmaşık hale gelebilmektedir. Motor tasarımı yapılırken uyulması gereken standartların yanında bir de tasarımı etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler birbiriyle ilişkili olduğundan her biri için optimum değeri yakalamak asıl amaçtır.

Bu çalışmada; yüksek frekans değerlerinde çalışabilen yüksek verimli motor tasarımının yapılması hedeflenmiştir. Frekans arttıkça düşen kalkış momentini optimum düzeyde tutacak şekilde bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Motorun gücü,

frekansı ve momenti birbiriyle ilişkili olduğundan dolayı momentin sabit tutulması için frekans değeri arttıkça motor çıkış gücü de aynı oranda arttırılmıştır. Çalışma 50, 60, 80 ve 100Hz frekans değerlerinde gerçekleştirilerek sabit bir moment elde edilmiştir. Tasarlanan ve üretimi gerçekleştirilen motor 50Hz'de 3 fazlı, 2 kutuplu, 120W anma gücüne sahip sincap kafesli asenkron motordur.

Anahtar Kelimeler: Frekans, asenkron motor, güç, akım, kutup

ABSTRACT

Contributions To Small Powerful High Speed and High Efficiency Three Phase Asynchronous Motor Design

Ezgi TANTEKİN

Department of Electrical Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof.Dr. Atiye Hülya OBDAN

Nowadays asynchronous motors are quite widely used in industry. These motors are preferred more than other motors due to low cost and simple design. Besides many advantages of asynchronous motor, it has a disadvantage of high starting current. High starting current is the drawing current from the grid during the start-up of the motor. This current usually changes due to the power and pole number of the motor, and approximately draws between 3-6 times of the rated current. In this case the motor stays longer in the start-up which might cause a damage to the winding. When all these factors are considered, the design of the motor might become complicated according to consumer's demand of different frequencies and voltages. During this design, there are common standards as well as many parameters affecting it. The goal is to reach the optimum value of each parameter that they are related to each other. In this subject, an asynchronous motor, which holds the decreasing start momentum at the optimum value during the increasing frequency, is designed.

Since the power, torque and frequency are related to each other, the output power is proportionally loaded to the motor during frequency increasing so that the momentum can be kept constant. The motor designed in this subject is squirrel caged motor having a frequency of 50Hz, 120W with 2 poles and 3 phases. The frequency values are 50, 60, 80 and 100Hz.

Keywords: Frequency, asynchronous motor, power, current, pole

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Üç fazlı asenkron sincap kafesli motorun tasarımı için dikkate alınması gereken birçok parametre vardır. Motorun standartlarının yanında stator ve rotor oluk sayılarının belirlenmesi ve oluk şekillerinin de optimum değerleri alacak şekilde seçilmesi gerekir. Bunun devamında motorun stator sargısı için sarım sayısı ve bakır iletken tel çapı çalışması yapılır. Kullanılacak olan sargının stator doluluk oranı oldukça önemlidir. Bu hem maliyet açısından hem de verimlilik açısından ciddi bir parametredir. Endüstride minimum bakır tel ile optimum bir verim elde etmek hedeflenmektedir. Stator oluk doluluk oranı ve bakır tel çapı gerekli değerleri sağladığı zaman bakılması gereken parametreler arasında motorun sıcaklık değeri yer alır. Motorun kayıplarının daha az olması için soğuk motor tercih edilir. Bundan dolayı sıcaklık değerinin düşük tutulması önem arz eder, aksi takdirde sıcaklığın çok yüksek olduğu durumlarda motor sargılarında aşırı ısınmadan dolayı ya da kalkışta yüksek akım çektiği için sargılarda hasar meydana gelebilir. Bunun dışında çektiği akım, moment değeri, cosφ, verim değeri, devir sayısı, kalkış momenti ve kalkış akımı da göz önünde bulundurulmalı hepsi için optimum değer sağlanacak şekilde bir tasarım yapılmalıdır. Optimum değerleri sağlanan motorun laboratuvar ortamında test edilmesi ve bu değerleri tekrar sağlaması önemlidir. Testten geçen motorlar artık kullanıma hazırdır. Tüm bu parametre değerleri için oldukça karışık ve uzun formül ve hesaplar mevcuttur. Bu durumda motor tasarımı için süreç çok uzamakta ve hata riski artmaktadır. Motorun tasarımı için en sağlıklı çözüm, bilgisayar ortamında hızlı hesap yapan sayısallaştırılmış bir program ile tasarımı hem daha pratik, güvenilir hem de hata riskini minimum seviyeye indirecek şekilde gerçekleştirmektir [1]. Bu çalışmada tasarlanan yapı matematiksel bir motor tasarım programı ile gerçekleştirilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

50Hz'de çalışan 3 fazlı 2 kutuplu 120W'lık yıldız bağlı 400V sincap kafesli asenkron motora 60, 80 ve 100Hz frekanslarında 540V gerilim uygulandığında yaklaşık olarak sabit moment verecek şekilde yüksek verimli bir tasarımının gerçekleştirilmesi yapılan çalışmanın ana amacıdır. Asenkron motorlarda frekans ve devir sayısı doğru orantılıdır [2]. Aynı zamanda motorun devri artarsa momentte düşüş yaşanır. Anlaşılacağı gibi yüksek frekanslara çıkıldıkça motorun kalkış momentinde düşüş yaşanacak ve motorun kalkış momentini yenmesi güçleşecektir [3]. Ek olarak motora düşük gerilim verildiğinde döndürme momenti de azalacaktır sebebi ise motorun yükü karşılayabilmesi için şebekeden daha fazla akım çekmesi ve kalkınma da güçlük yaşamasıdır [4].Tüm bu parametrelerin optimum noktası bulunarak bir motor tasarımı yapmak ve 100Hz'e kadar motorun sorunsuz çalışması amaçlanmış ve yüksek verimli bir motor tasarımı hedeflenmiştir [5].

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında tasarımı yapılacak olan 3 fazlı 2 kutuplu asenkron motorun 50Hz frekansında 120W çıkış gücünde ve 400V gerilimde sorunsuz bir kalkış ile minimum IE3 verimlilik sınıfını karşılayacak bir verim değeri ile çalışması hedeflenmiştir. Ek olarak aynı motorun 60, 80 ve 100Hz frekans değerlerinde artan frekans değeri ile düşen kalkış momentini optimum düzeye getirmek amaçlı 540V gerilimde sorunsuz bir kalkış ile çalışması gerçekleştirilecektir. Tasarlanacak motorun ana hedefi 50, 60, 80 ve 100Hz frekans değerlerinde, artan frekans ile düşen kalkış momentini telafi edecek çalışmalar ile motor gövde ve sargılarının ortam sıcaklığına oran ile çok ısınmadan nominal çalışmasını yüksek bir verim ile sağlamaktır. Belirlenen dört ayrı frekans değerleri için motordan nominal bir performans elde edilecektir. Artan frekans değerlerinde motorun kalkış momentinde bir düşüş yaşanmaması için motorun çalışma gerilimi yükseltilecek ve motor çıkış gücü artan frekans ile orantılı olarak yüklenecektir.

2
ELEKTRİK MAKİNALARININ TASARIMI

2.1 Elektrik Makinalarının Tasarımında Kullanılan Standartlar

Elektrik motorlarının standartlarını belirleyen başlıca iki temel kurum vardır. Başlıca bu kurumlar IEC (International Electrotechnical Commission) ve NEMA'dır (National Electrical Manufacturers Association). Türkiye'de ise TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından bu konu ile ilgili baz alınan kurum IEC'dir. IEC kurumu için gerekli olan standartlar alt başlıklar halinde listelenmiştir.

2.1.1 İzolasyon Sınıfları

IEC standartları motorların izolasyon sınıfını da kapsamakla beraber kullanılan malzeme baz alınarak, motorların sargılarının dayandıkları ısıya göre sınıflandırılmasını kapsamaktadır. Motor seçiminde ya da tasarımında izolasyon sınıfları oldukça önemlidir. Bu sınıflandırmaya göre motor kullanım alanları da net bir şekilde belirlenmiş olur. Bu sınıflandırmadaki ayrım belirli harfler (A, E, B, F, H) kullanılarak yapılmıştır. Asenkron motor seçiminde bu harfler baz alınarak gereken ihtiyaca göre seçim yapılır. Tablo 2.1'de izolasyon sınıflandırılması net bir şekilde belirtilmiştir.

Tablo 2. 1 İzolasyon sınıfları

İZOLASYON SINIFI	A	E	B	F	H
Isı yüksekliği	105	120	130	155	180
Maksimum sargı ısısı	100	115	120	140	165
Ortam ısısı	40	40	40	40	40
Kızgın nokta için sınır	5	5	10	15	15

Ek olarak belirlenmiş olan bu izolasyon sınıfı asenkron motorların bulunduğu yüksekliğe (rakım) göre veya ortamın sıcaklığına göre çalışma performansında değişiklik gösterir. Standart olan asenkron motorlar 40^0C ortam ısısına ve 1000 metre rakım yüksekliği baz alınarak tasarlanmıştır. Motor bu değerler üzerinden herhangi bir aşıma uğradığı zaman performansında standart değerlere oranla bir düşüş söz konusu olur. Tüm bu etkenlerden dolayı motor standartları dikkate alınmalı ve çalışma koşulları bu değerleri verecek şekilde olmalıdır. Aksi halde motordan tam performans elde etmek zorlaşacaktır. Kayıplar yüksek seviyeye ulaşacak ve verimde düşüş yaşanacaktır. Tablo 2.2'den ortam ısısının motor gücüne olan etkisi net bir şekilde belirtilmiştir.

Tablo 2. 2 40^0C'nin üzerindeki ortam ısısının motor gücüne etkisi

Ortam Isısı	Önerilen Çıkış Gücü
40	100%
45	96.50%
50	93%
55	90%
60	86.70%
70	79%

Ek olarak rakım yüksekliğinin motor gücüne olan etkisi de Tablo 2.3'te belirtilmiştir.

Tablo 2. 3 1000m.'den yüksek rakımın motor gücüne etkisi

Rakım Yüksekliği	Önerilen Çıkış Gücü
1000m.	100%
1500m.	97%
2000m.	94.5%
2500m.	92%
3500m.	86.5%
4000m.	83.5%

2.1.2 Koruma Sınıfları

Standart motorlar koruma derecelerine göre IP koduyla sınıflandırılmışlardır. IP aslında International Protection kısaltmasıdır. Bu koruma; toz, nem, su gibi etkenlere karşı alınan önlemleri kapsar. IP dizisi bu şekilde kendinden sonra 2 rakam alır. Bu rakamların ilki katı maddelere karşı korumayı belirtirken, ikincisi sıvılara karşı korumayı belirtir [5].

IP işaretinden sonra gelen birinci rakamın anlamı:

0: Koruma yok, herhangi bir önlem alınmamış.

1: Büyük ve sert cisimler girebilir.

2: Orta büyüklükte cisimler girebilir.

3: 2.5mm'ye kadar olan cisimler girebilir.

4: 1mm'ye kadar olan cisimler girebilir. Bunun üzerinde olan cisimler giremez.

5: Cisim giremez fakat toza karşı herhangi bir önlem alınmamıştır.

6: Cisim ile toz da giremez. Toza karşı tam koruma sağlanmıştır.

Belirtilmiş olduğu gibi katı cisimler için en yüksek korumayı sağlayan değer IP6'dır.

IP işaretinden sonra gelen ikinci rakamın anlamı:

0: Herhangi bir koruma yok.

1: Kısmen bir koruma vardır. 90 derece ile damlayan sular alet içine giremez.

2: 15 derece ile gelen sular aletin içine giremez.

3: 60 derece ile gelen sular aletin içine giremez.

4: Her açıdan gelen yağmur sularına ve püskürtmelere karşı dayanıklıdır.

5: Basınçlı suya karşı korunaklıdır. Belli bir basınçla çarpan sular aletin içine giremez.

6: Alet suya daldırma konusunda dayanıklıdır. Kısa süre su altında kalırsa içerisine su girişi olmaz.

7,8: Alet belirli basınçta su altında çalışabilir. Basınçlı suya karşı korumalıdır.

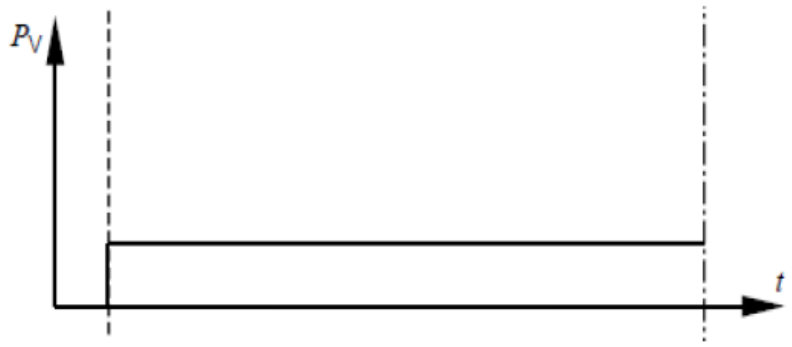
Belirtildiği gibi suya karşı en etkili korumayı veren IP7 veya IP8'dir. Genel olarak bakıldığı zaman katı ve sıvı maddelerin girişine karşı en iyi koruma sınıfı verecek olan IP standardı IP67 veya IP68'dir. Motorun koruma sınıfını artırmak için çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Talebe göre keçe, tıpa veya çeşitli pullar ile koruma sınıfı artırılabilir. Bu tamamen motorun kullanım alanına göre değişiklik gösterecektir.

2.1.3 Çalışma Rejimleri

Motorlar çalışma rejimi bakımından IEC ve NEMA standardına göre iki kısma ayrılmışlardır. NEMA standardı motorları sürekli çalışma, aralıklı çalışma ve özel çalışma (özel çalışma genelde belirli bir dakika ile ifade edilir.) olarak üç kısma ayırmıştır. IEC standardı ise motorun çalışma rejimini sekiz kısımda toplamıştır.

2.1.3.1 Sürekli Çalışma (S1 Tipi)

Sürekli çalışma tipinde motor ısıl dengesine ulaşıncaya kadar çalışır. Bu da sıcaklık ölçümü baz alındığında motorun son iki sıcaklık değerinin farkının yaklaşık olarak 0,5 dereceyi aşmadığı durumları kapsar. Bu durumda motor ısıl kararlılığa ulaşmış olur. Özetle motor sıcaklığının yükselmeksizin sınırsız bir periyot boyunca çalışabileceği rejimdir. En sık kullanılan çalışma rejimidir. S1 çalışma rejimindeki kayıp güç grafiği Şekil 2.1'de verilmiştir [5].



Şekil 2.1 S1 çalışma rejiminde kayıp güç grafiği [5]

2.1.3.2 Kısa Süreli Çalışma (S2 Tipi)

Kısa süreli çalışma tipinde belirli aralıklarda çalışma ve durma süreleri vardır. Bu durumda motor ısıl dengesine ulaşamadan belirli bir aralıkta çalışır ve sonra durma

aralığına girer. Bu durma aralığı, motorun ortam ısısına dönmesine yetecek kadar olan zaman aralığıdır. Sonuç olarak motor bu çalışma rejiminde ısıl dengesine ulaşamaz.

2.1.3.3 Aralıklı Periyodik Çalışma (S3 Tipi)

Aralıklı çalışma rejimi ile kısa süreli çalışma tipi benzerdir. Bu iki çalışma tipini birbirinden ayıran nokta ise S2 çalışma tipinde olan motorun ortam ısısına dönme süresi bu çalışmada mevcut değildir. S3 çalışma tipinde de motor ısıl dengesine ulaşamaz. Belirlenen bir periyotta motor çalışırken yine belirlenen bir periyotta motor durma süresine girer. Bu süre tamamen talebe göre değişir.

2.1.3.4 Kalkışlı, Aralıklı Periyodik Çalışma (S4 Tipi)

S4 çalışma rejiminde kalkma, çalışma ve durma aralıkları mevcuttur. Motor ısıl dengesine ulaşamaz.

2.1.3.5 Elektrikli Frenleme ile Aralıklı Periyodik Çalışma (S5 Tipi)

S5 çalışma rejiminde; kalkış, sabit yükte çalışma ve elektrik frenleme ile durma periyotları gerçekleşir. Bu çalışma rejiminde motor ısıl dengesine ulaşamaz.

2.1.3.6 Aralıklı Yük ile Sürekli Çalışma (S6 Tipi)

Aralıklı yük ile sürekli çalışma tipi, sabit yükleme periyodu ile yüksüz çalışma aralığından oluşur. S6 çalışma rejiminde sürekli bir çalışma mevcuttur.

2.1.3.7 Elektrikli Frenleme ile Sürekli Çalışma (S7 Tipi)

S7 çalışma rejiminde; kalkış, sabit yükte çalışma ve elektrik frenleme periyotları bulunmaktadır. Durma aralığı yoktur.

2.1.3.8 Yük ve Hızda Olan Periyodik Değişmeler ile Sürekli Çalışma (S8 Tipi)

S8 çalışma rejiminde kalkış, sabit yükte ve belli bir hızda çalışmayla beraber diğer bir yük ve hızda çalışma periyotları mevcuttur. Durma aralığı yoktur.

2.1.4 Soğutma Şekilleri

Standart motorlar soğutma sekline göre IC koduyla sınıflandırılmışlardır. Bu kodun ilk rakamı soğutma devresinin düzenini belirtirken, ikinci rakamı ise soğutucu gücün besleme metodunu ifade eder.

IC işaretinden sonra gelen birinci rakamın anlamı:

0: Serbest dolaşım

1: Giriş borulu havalandırma

2: Çıkış borulu havalandırma

3: Hem giriş hem çıkış borulu havalandırma

4: Gövde yüzeyinden olan soğutma

5: Motoru, motordan ayrılmaz bir soğutucu ile soğutmak

6: Motoru üzerine takılmış bir alet ile soğutmak

7: Motoru motordan ayrılmaz bir alet ile soğutmak

8: Motoru üzerine takılmış bir alet ile soğutmak

9: Monte edilmiş bir soğutma aygıtı ile soğutmak

IC işaretinden sonra gelen ikinci rakamın anlamı:

0: Serbest yayımlı

1: Kendinden dolaşımlı

2: Motordan ayrılmaksızın ayrı bir mil ile bağlanmış aygıt ile havalandırma

3: Motor üzerine montelenmiş bir düzenek ile havalandırma

4: Kullanılmıyor

5: Motordan ayrılmaz bağımsız bir düzenek ile havalandırma

6: Motora montelenmiş bağımsız bir düzen ile havalandırma

7: Motordan bağımsız ayrı bir aygıt ile havalandırma

8: Bağıl yer değiştirme ile sağlanmış

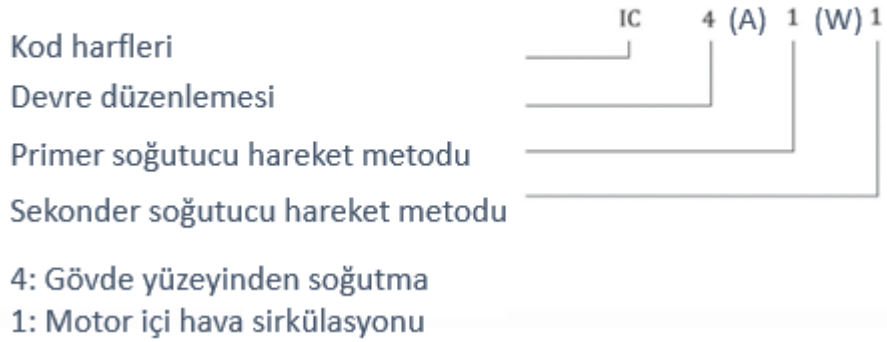
2.1.5 Yapı Şekilleri

Motorlar yapı ve montaj durumlarına göre IM koduyla sınıflandırılmışlardır. Bu dizilimde iki ayrı kodlama tipi mevcuttur. Bunlardan ilki IM kodundan sonra gelen b veya v harfleri ile bunları takip eden bir sayı ile belirtilir. Yatay milli b olan motorları ifade ederken, v dikey olanları simgeler ve bu kodlama yalnızca yan kapaklardan yataklanmış tek mil çıkıntılı motorları kapsar.

İkincisi ise, tüm elektrik motorlarını kapsar. Bu da IM harflerini takip eden dört adet rakam ile sınıflandırılır.

1. rakam yapım tipinin sınıfını, 2. ve 3. rakam montaj düzeni, 4. rakam ise mil uzantısını ifade eder.

Bu tezde tasarlanan IEC 60034-6 standardına göre uygulanan kod açıklaması Şekil 2.4'te belirtildiği gibidir.

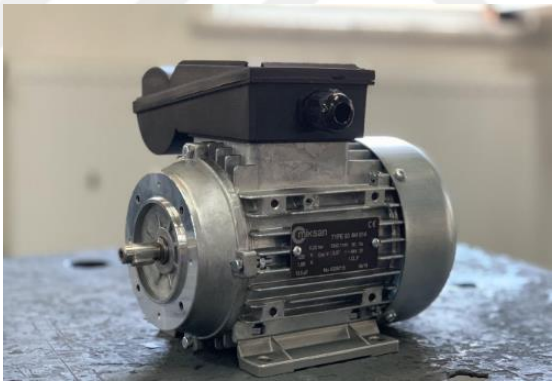


Şekil 2.2 Tasarlanan motorun soğutma şekli [6]

3
ASENKRON MOTORLAR

3.1 Asenkron Motorlar

Asenkron motorlar, çoğunlukla motor olarak çalıştırılırlar. Genel olarak motorun stator sargılarındaki elektrik enerjisini, rotorun manyetik alanın etkisi altında dönmesi ile motor milinden mekanik enerjiyi elde etmiş olur. Aynı şekilde generatör olarak da çalıştırılabilirler. Bu durumda rotorundan aldığı dönme hareketini sağlayan mekanik enerjisini belirli koşullar altında stator sargılarında elektrik enerjisine çevirir. Asenkron motorlarda kalkış esnasında kısa bir süre için kayma değeri %100 olur. Bu durumda rotor ve stator frekansı aynıdır. Dönen motorun hızı arttıkça yüzde kayma ve rotorun frekansı düşecektir. Rotor hızlanmaya devam ettikçe döndürme momenti motorun yükü için uygun olan döndürme momentine ulaşıncaya kadar düşer [7]. Şekil 3.1'de asenkron motor görseli verilmiştir.



Şekil 3.1 Asenkron motor

3.1.1 Asenkron Motorların Yapısı

Asenkron motorları oluşturan iki ana kısım vardır. Bunlardan birincisi hareketsiz olan stator iken, bir diğeri hareketli olan rotordur. Bunların yanında gövde ve kapaklar, yatak ve rulmanlar, soğutma pervanesi, klemens, motor etiketi gibi kısımları da içerir.

3.1.1.1 Stator

Stator, asenkron motorun hareketsiz (sabit) kısmı olup yalıtılan silisyum demir sacların belirli özel kalıplarda olan üst üste paketlenmesi ile oluşan kısımdır. Genel olarak bu yapıya stator sac paketi denir. Sac paketinin içerisine belli sayıda oluklar açılır ve açılan oluklar, tel kesiti ve sarım sayısı belirlenmiş bakır teller ile doldurulur. Bu oluklar çeşitli şekillerde açılabilir bu şekiller bütünüyle motorun elektriksel özellikleri baz alınarak farklı şekillerde tasarlanabilir. Asıl amaç ihtiyacı karşılayacak şekilde olabildiğince verimli bir laminasyon yapmaktır. Tasarlanan motorlar yine talebe göre bir, iki, üç fazlı olacak şekilde seçilen sargılarıyla oluklara yerleştirilir. Stator sargılarını taşıyan bu sac paketi stator gövdesine yerleştirilir ve tornalama işlemi yapılır. Stator gövdesi, sac paketiyle stator sargılarını taşırken gövde ayakları veya flanşlar yardımıyla çalışacağı yere bağlantısı sağlanır. Flanş tipi seçimi, tamamen motorun kullanım alanına göre değişkenlik gösterir. Flanş, motorun ön kapağına ek olarak montajlanmış başka bir kapağı temsil eder. Bu tip yapılar daha çok iş makinaları gibi sistemlere direkt bağlanmayı gerektirecek durumlarda kullanılır. Seçimi yapılan flanş, hem motorda hem de motorun kullanılacağı sistemde aynı olmalıdır. Aksi takdirde bağlantı gerçekleşemez ve mekanik enerjinin aktarımı gerçekleşmez.

Tasarlanan motorda, kullanılacak olan test sistemine uygunluğundan dolayı motorun milinin bulunduğu kapakta Şekil 3.6'da belirtilen B14 kapak kullanılmıştır.

Şekil 3.2'de stator, olukları bakır iletken ile doldurulmuş şekilde belirtilmiştir.



Şekil 3.2 Olukları dolu stator

3.1.1.2 Rotor

Rotor, asenkron motorun dönen (hareketli) kısmıdır. Statorun meydana getirdiği döner manyetik alanın etkisi altında dönen kısımdır. Stator ve rotor hava aralığı oldukça küçüktür. Bunun sebebi boşta çalışma akımını olabildiğince azaltmak ve kayıpları düşürmektir. Rotor, sac paketi ve sargılarından oluşur. Bu sac paketleri, silisyumlu saclardan yapılır. Rotor sacları; belirli oluk kalıplarıyla, pres altında belirli işlemler yapılarak şekillendirilir. Son aşama olarak saclar üst üste gelecek şekilde bir araya getirilir ve pres ile sıkıştırılır. Açılan cıvata kısımlarıyla da bir arada kalması sağlanır. Rotor olukları motorun elektriksel karakteristiklerine göre çeşitli şekilde olabilirler. Bu oluklara rotor sargıları yerleştirilir.

Rotorlar sincap kafesine benzeyen kısa devre çubuklu rotorlar ve bilezikli rotorlar olmak üzere iki şekilde üretilirler.

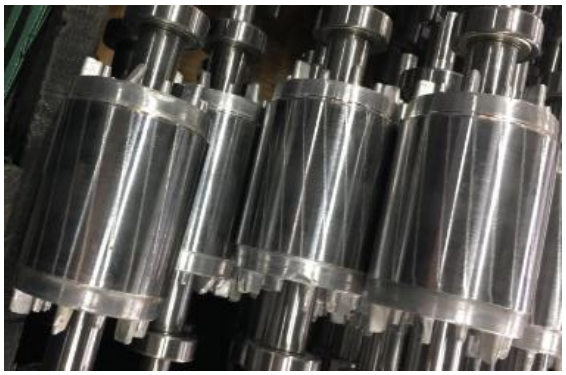
Sincap kafesli motorların boyutları diğer tip motorların boyutlarından küçüktür ve hız regülasyonları iyidir [7].

- **Sincap Kafesine Benzeyen Kısa Devre Çubuklu Rotorlar**

Rotorun açılmış olan oluklarına alüminyum ve bakır çubukları doldurulur ve bu esnada çubukların her iki tarafı kısa devre edilir. Bu görünüm tam olarak sincap kafesini andırmaktadır.

Ek olarak soğutucu görevi için çubukların her iki tarafına kanatçıklar konulmuştur. Bu çubuklar, havalandırmaya katkı sağlar. Alüminyum rotor çubukları genelde dökme demirdir. Bundan dolayı bu rotor tipi oldukça dayanıklı bir yapıya sahiptir. Sincap kafesli rotorların tercih edilme sebeplerinden biri de budur.

Rotor çubukları çelik levhalarla direkt bir temas halinde olmasına rağmen, rotor akımının izlediği yol alüminyum çubukları üzerinden geçer. Levhalardan geçmez. Rotor çubukları motor eksenine eğik bir yapıda imal edilir. Bunun asıl amacı manyetik akının bütünüyle korumasının sağlanmasıdır. Sincap kafesli rotor görseli Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Sincap kafesli rotor

- **Bilezikli (Sargılı) Rotor**

Rotorun açılmış olan oluklarına 3 adet alternatif akım sargısı (yalıtımlı) üçgen veya yıldız olacak şekilde bağlanıp yerleştirilir. Yerleştirilen bu sargıların uçları çıkarılmış hali ile motorun milinde olan üç adet yalıtılmış bileziğe bağlanır.

Bu durumda bobinin bir ucu üçgen veya yıldız olacak şekilde kendi arasında bağlanırken diğer yandan öteki ucu motorun miline bağlanmış olan bileziklere bağlanır. Sargılara verilecek olan akım bu bileziklere fırçalar yardımıyla iletilir.

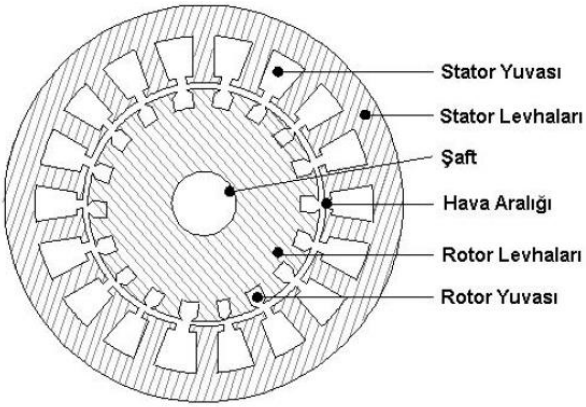
Bilezikli rotorlar, sincap kafesli rotorlara nazaran daha az tercih edilirler. Bunun sebebi tamamen fırça ve bilezikler nedeniyle belirli periyotlarla bakım gerektirmesi ve maliyetidir. Fırça ve bileziklerde arıza olma ihtimali daha yüksektir.

Sincap kafesli rotor daha basit yapıda olması bakımının kolay olması ve ucuz maliyetinden ötürü sıklıkla tercih edilir. Şekil 3.4'te bilezikli rotor görseli verilmiştir.



Şekil 3.4 Bilezikli rotor

Genelleşmiş hali ile asenkron motorun iç yapısı Şekil 3.5'deki gibidir [8].



Şekil 3.5 Asenkron motorun stator ve rotor levhaları

Stator ve rotor arasındaki hava aralığı, mekanik kayıpların izin verdiği derecede minimum olacak şekilde bir tasarım gerektirir. Bunun sebebi hava aralığından dolayı oluşabilecek kayıpları azaltmaktır. Hava aralığı olması gerekenden fazla olur ise motor akımında artış olur ve motorun performansında düşüş yaşanır. Optimum bir aralık seçimi oldukça önemlidir. Bu çalışmada tasarlanan motorun hava aralığı 0.22mm mesafededir.

3.1.1.3 Gövde ve Kapaklar

Asenkron motorlarda mekanik aksam oldukça önemlidir. Herhangi bir eksenel kayma durumunda motorun arıza verme ihtimali yüksektir. Gövde ve kapaklar; rotorun, stator içerisindeki dengeli bir şekilde yataklanmasında rol oynarlar. Ek olarak dış etkilere karşı koruma da sağlarlar. Gövde ve kapaklar tercihen alüminyum ya da demir alaşımdan üretilir. Bu çalışmada tasarlanan motorda Şekil 3.6'da gösterilmiş olan alüminyum B14 kapak ve gövdeler kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Tasarlanan asenkron motorda kullanılan B14 kapaklar

3.1.1.4 Yatak ve Rulmanlar

Yatak ve rulmanın asıl amacı motorun herhangi bir eksenel kayma olmaksızın kolay bir şekilde dönmesini sağlamaktır. Motorlarda rulman arızaları çok sık görülmektedir. Rulmanlar genellikle arıza olarak motorun çalışma esnasında standart dışı bir ses çıkarmasına sebep olurlar. Bu tez çalışmasında yapılan motor tasarımında kullanılan ön ve arka rulman 6201 kodlu rulmandır.

Ölçüleri ise 2×32×10 şeklindedir. Tasarlanan motorda kullanılan 6201 kodlu rulman Şekil 3.7'de belirtilmiştir.



Şekil 3.7 Tasarlanan motorda kullanılan 6201 kodlu rulman

3.1.1.5 Soğutma Pervanesi

Motorları hava ile soğutma metodunda, mile bağlanan plastik veya metal pervaneler ile motorun hem gövde sıcaklığının hem de sargı sıcaklığının atılması sağlanır. Bu çalışmada gerçekleştirilen motor tasarımında kullanılan soğutma pervanesi plastik yapıdadır. Tasarlanan motorda kullanılan 56 tip soğutma pervanesi Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Tasarlanan motorda kullanılan 56 tip pervane

3.1.1.6 Klemens

Statordan çıkan sargıların bağlantı kısımları klemens bölümüne bağlanır. Üç fazlı motorlarda altı adet bağlantı noktası vardır.

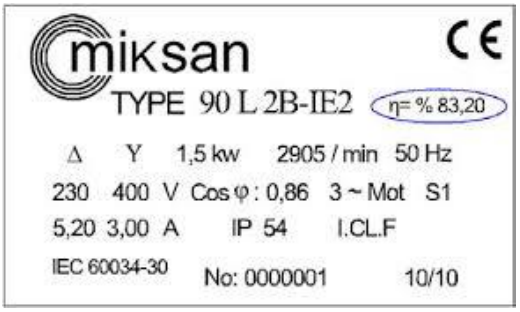
Bunlardan U, V, W giriş uçlarıyken X, Y, Z çıkış uçlarıdır. Bu semboller tasarımdan tasarıma fark gösterebilir. Kullanım şekline göre sargılar üçgen veya yıldız olarak bağlanır. Şekil 3.9'da tasarlanan motorda kullanılan klemens verilmiştir.



Şekil 3.9 Tasarlanan motorda kullanılan klemens

3.1.1.7 Motor Etiketi

Asenkron motorlarda motorun özelliklerinin belirtildiği alüminyum etiketler direkt motor üstüne montajlanır. Bu etikette motorun kutup sayısı, devir sayısı, çıkış gücü, çalışma tipi, nominal akım ve nominal gerilim gibi değerlere ulaşmak mümkündür. Şekil 3.10'da örnek bir motor etiketi verilmiştir.

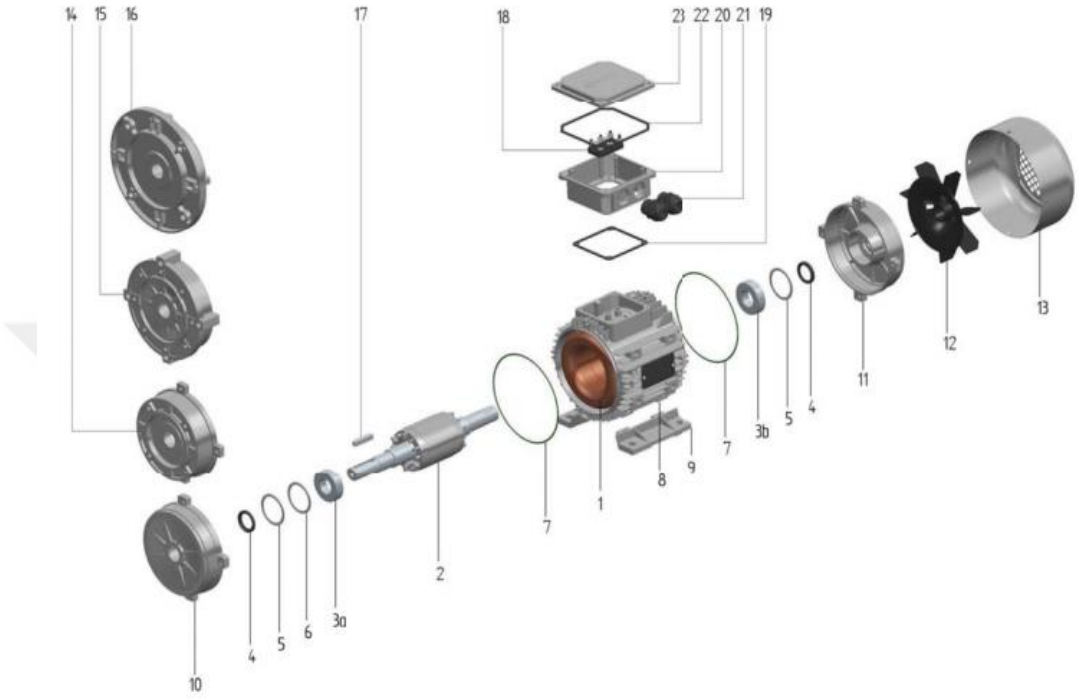


Şekil 3.10 Örnek Motor Etiketi

Örnek temsil etmesi için Miksan Motor Şirketinde tasarlanan etikette motorun özellikleri ve kullanım şartları hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. Kullanılacak olan motorun etikette yazan gerilim ve akım değerlerinde çalışması gerekir.

Daha yüksek veya daha alçak bir gerilimde çalıştırılması halinde motor performansında değişiklik yaşanması olasıdır. Tüm bu değerler baz alınıp motor beslemesi yapılmalıdır.

Ek olarak asenkron motorun genelleşmiş iç yapısı Şekil 3.11'de verilmiştir.



1	Sargılı stator	12	Soğutma pervanesi
2	Milli rotor	13	Soğutma mahfaza tası
3a	Ön rulman	14	B14 flanş
3b	Arka rulman	15	B14 büyük flanş
4	Keçe/V-Ring	16	B5 flanş
5	Rulman pul	17	Kama
6	Rulman baskı yayı	18	Klemens
7	Klingrit conta	19	klemens kutusu conta(alt)
8	Gövde	20	Trifaze klemens kutusu(alt)
9	Ayak	21	Kablo giriş rakoru
10	Ön kapak	22	Klemens kutusu conta(üst)
11	Arka kapak	23	Trifaze klemens kutusu kapağı(üst)

Şekil 3.11 Asenkron motorun genelleşmiş iç yapısı [6]

3.1.2 Asenkron Motorların Çalışma Prensibi

Asenkron motorun (indüksiyon motoru) çalışma prensibi rotorun dönme esasına dayanır. Rotorun dönebilmesi için gereken ise; rotor iletkenlerinden bir akım geçmesi ve rotor iletkenlerinin bir manyetik alanda olmasıdır. Bu manyetik alanı (döner alan), statorun üç fazlı sargılarına uygulanan akım meydana getirir. Döner manyetik alanın içerisinde bulunan iletkenlerde bir gerilim indüklenir ve rotordan bir akım geçer. Rotordan geçen akımlar kutuplar oluşturur. Bu kutuplar N ve S şeklindedir. Stator ve rotor kutupları arasında aynı kutupla birbirini çeker zıt kutuplar birbirini iter ilkesine dayanarak rotor harekete geçer ve dönmeye başlar.

Motorun dönmesi için rotor çubuklarında bir gerilim indüklenmesi şarttır. Aksi halde rotorda bir akım oluşmayacak ve kutuplaşma olmayacaktır. Bundan dolayı rotor devir sayısı daima senkron devir (stator devir sayısı) sayısından azdır.

Rotor devir sayısının senkron devir sayısına eşit olduğu durumda; rotor ve stator aynı doğrultuda ve hızda dönerken stator döner alanı rotor çubuklarını kesemez ve bir gerilim indüklenmesi olmaz, haliyle rotorda bir döner alan oluşmaz.

Sonuç olarak bir döndürme momenti oluşmayacağı için rotor dönmeyecektir. Rotor, senkron hızdan hep bir seviye daha az hızda döner. Böylece döndürme momenti elde edilmiş olur ve motor harekete geçebilir.

Asenkron motorda kayma değeri olan (s), stator devir sayısı (n_S) ile rotor devir sayısı (n_r) arasındaki farkın bağıl değerine eşittir bu değer (3.1) eşitliğinde verilmiştir.

$$s = (n_s - n_r)/\, n_s \tag{3.1}$$

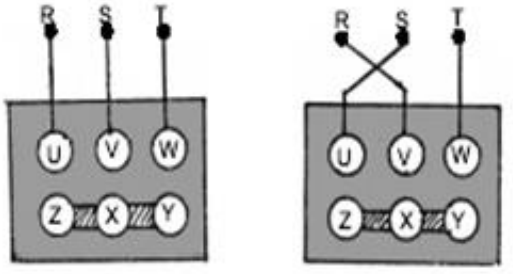
Motorun senkron devri (n_S), motora uygulanan gerilimin frekansı (f) ve statordaki toplam kutup sayısı (2p) parametreleri (3.2) eşitliğinde verilmiştir.

$$n_s = \frac{120.f}{2p} \tag{3.2}$$

Bir asenkron motor seçimi yapılırken veya tasarlanırken dikkat edilmesi gereken birkaç madde vardır. Bu maddeler sırası ile;

- Anma değeri
- Giriş gücü (P_1)
- Anma gücü (P_n)
- Boşta çalışma akımı
- Kalkış akımı
- Kalkış momenti
- Devrilme momenti
- Anma döndürme momenti
- İşletme türü (S1-S2-S3 vb.)
- Standard ortam koşulları
- IP koruma derecesi
- Soğutma türüdür.

Ek olarak asenkron motorlarda belli durumlarda devir yönünün değiştirilmesi gerekir. Bunun için yapılması gereken döner manyetik alanın yönünü değiştirmektir. Manyetik alanın yönünü değiştirmek için motorun klemensinde bulunan üç adet şebeke ucundan herhangi iki sargının yerleri değiştirilir ve istenilen dönüş yönü elde edilir. Bu durum Şekil 3.12'de belirtilmiştir.

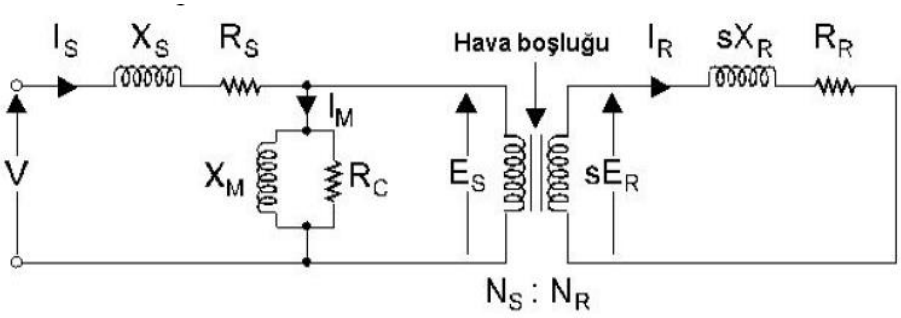


Şekil 3.12 Asenkron motorun devir yönü değiştirilmesi

3.1.3 Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi

Asenkron motorun stator sargılarına alternatif bir gerilim uygulandığı anda zamana bağlı olarak değişkenlik gösteren bir manyetik alan meydana gelir. Oluşan bu manyetik alanın bir kısmı nüve üzerinden yolunu tamamlarken bir kısmı ise hava yolu ile kaçak olarak tamamlar. Bu kaçak akılardan dolayı kaçak reaktanslar oluşur. Tüm bu detayların ayrıntılı ve daha etkili bir şekilde anlaşılması için motorun eşdeğer devresine ihtiyaç duyulur.

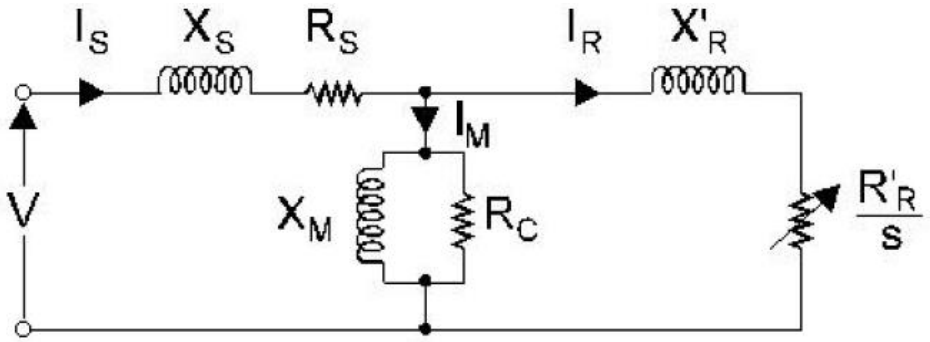
Asenkron motorun tek faz üzerinden eşdeğer devresi şekil 3.13'teki gibidir [8].



Şekil 3.13 Asenkron motorun eşdeğer devresi

Şekil 3.13'te kısaltılmış simgeler sırası ile; stator besleme gerilimi (V), stator kaçak reaktansı (X_S), stator direnci (R_S), indüklenen stator gerilimi (E_S), indüklenen rotor gerilimi (E_R), stator sarım sayısı (N_S), rotor sarım sayısı (N_R), rotor kaçak reaktansı (X_R), rotor direnci (R_R), stator akımı (I_S), rotor akımı (I_R), mıknatıslanma akımı (I_M), mıknatıslanma reaktansı (X_M), mıknatıslanma direnci (R_C) olarak tanımlanır.

Sekil 3.13' de görüldüğü gibi stator akımı, hem manyetik alanı sağlayan I_M akımını taşır hem de torku sağlamak için iletilen I_R rotor akımını taşır. Eşdeğer devre görüldüğü gibi stator ve rotor arasındaki kayma ve transformatör oranlarından ötürü oldukça karmaşıktır. Bu devreyi matematiksel olarak daha basit hale getirmek mümkündür. Eşdeğer devre kısmen daha sade bir devre haline gelebilir. Bu devrede rotor reaktans ve direnç değerleri, stator ve rotor sarım sayılarının oranının karesi ile orantılıdır. Bu oran kullanılarak sadeleştirilen devre şekli 3.14'teki gibidir [8].



Şekil 3.14 Asenkron motorun matematiksel olarak basitleştirilmiş eşdeğer devresi

Şekil 3.14'te sadeleştirilmiş devre ile şekil 3.13'te verilen devre arasındaki sadeleştirme oranı olan (N) stator ve rotor arasındaki devir oranı olmak üzere (3.3), (3.4), (3.5) numaralı eşitliklerde belirtilmiştir.

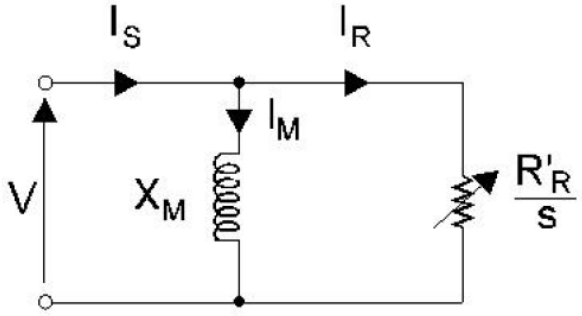
$$N = \frac{N_S}{N_R} \tag{3.3}$$

$$X'_R = N^2 . X_R \tag{3.4}$$

$$R'_R = N^2 . R_R \tag{3.5}$$

Şekil 3.14'te görüldüğü gibi rotor direnci, kayma (s) değerine bağlı olarak gösterilmiştir. Bu aynı zamanda rotorda indüklenen gerilimin ve akımın kayma değerine bağlı olduğunu ifade eder.

Devreyi bir adım öteye götürerek daha da basitleştirmek mümkündür. Şekil 3.14'te en önemli bileşenler X_M mıknatıslanma endüktansı ve R'_R/s değişken rotor direnci parametreleridir. Burada en önemli olan kriterler göz önüne alırsa eşdeğer devre Şekil 3.15'te gösterildiği gibi olacaktır [8].



Şekil 3.15 Asenkron motorun en basit hali ile eşdeğer devresi

Şekildeki I_S stator akımı, rotor akımı ile mıknatıslanma akımının vektörel toplamına eşittir. I_M mıknatıslanma akımı rotorun torkunda etkili bir değerdir ve yük ile kayma değerleriyle doğru olarak orantı halindedir. Yüksüz durumda ve düşük kayma değerinde bu akım değeri de düşük değerde olacaktır.

4
ASENKRON MOTOR TASARIMI

4.1 Asenkron Motor Tasarımı

Üç fazlı asenkron sincap kafesli motorun tasarımı için dikkate alınması gereken birçok parametre vardır. Motorun standartlarının yanı sıra stator ve rotor oluk sayılarının belirlenmesi ve oluk şekillerinin de optimum değerleri alacak şekilde seçilmesi gerekir.

Ek olarak motorun stator sargısı için sarım ve bakır iletken tel çapı çalışması yapılır. Kullanılacak olan sargının stator doluluk oranı oldukça önemlidir. Bu hem maliyet açısından hem de verimlilik açısından önemli bir parametredir. Endüstride minimum bakır tel ile optimum bir verim ve çalışma elde etmek ana amaçlardan biridir.

Stator oluk doluluk oranı ve sargılar gerekli değerleri sağladığı zaman dikkate alınması gereken parametreler arasında motorun sıcaklığı yer alır. Motorun kayıplarının daha az olması için motor sıcaklığının düşük olması gerekir. Aksi takdirde motor sıcaklığının çok yüksek olduğu durumlarda motor sargılarında aşırı ısınmadan dolayı ya da motor kalkış anında ekstra yüksek akım değeri çekeceği için sargılarda aşırı ısınmadan dolayı hasar meydana gelebilir.

Bu parametrelere ek olarak motorun çektiği akım, moment değeri, cosφ, verim değeri, devir sayısı, kalkış momenti ve kalkış akımı da göz önünde bulundurulmalı, tüm parametreler için optimum değer sağlanacak şekilde bir tasarım yapılmalıdır.

Optimum değerleri sağlanan motorun laboratuvar ortamında test edilmesi ve bu değerleri tekrar sağlaması önemlidir. Testten geçen motorlar artık kullanıma hazırdır.

Tüm bu parametre değerleri için oldukça karışık ve uzun formülasyonlar mevcuttur. Bu durumda motor tasarımı için süreç çok uzamakta ve hata riski artmaktadır. Motorun tasarımı için en sağlıklı çözüm, bilgisayar ortamında hızlı hesap yapabilen

sayısallaştırılmış bir program ile tasarımı hem daha pratik güvenilir hem de hata riskini minimum seviyeye indirecek şekilde gerçekleştirmektir.

Bu çalışmada, Miksan Motor Şirketi'ne ait olan matematiksel bir motor tasarım programı kullanılmıştır.

50Hz' de çalışan 3 fazlı 2 kutuplu 120W'lık yıldız bağlı 400V sincap kafesli asenkron motora 60, 80 ve 100Hz frekanslarında 540V gerilim uygulandığında yaklaşık olarak sabit moment verecek şekilde yüksek verimli bir tasarımının gerçekleştirilmesi yapılan çalışmanın ana amacıdır.

Asenkron motorlarda frekans ve devir sayısı doğru orantılıdır [2]. Aynı zamanda motorun devri artarsa momentte düşüş yaşanır. Anlaşılacağı gibi yüksek frekanslara çıkıldıkça motorun kalkış momentinde düşüş yaşanacak ve motorun kalkış esnasında maruz kaldığı yüksek akımın süresi artacaktır. Bu durum sargılarda hasara sebep olabilir [3]. Asenkron motorlarda kalkış momentinin önemi, motorun mümkün olduğunca kısa sürede devrini alması ve nominal çalışmasına dönerek, kalkış esnasında minimum süre yüksek akıma maruz kalmasına dayanır.

Ek olarak motor, düşük gerilim ile beslendiği takdirde gerilim ile orantılı olarak döndürme momenti de azalacaktır. Sebebi ise motorun yükü karşılayabilmesi için şebekeden daha fazla akım çekmesi ve kalkış anında güçlük yaşamasıdır [4]. Tüm bu parametrelerin optimum noktası bulunarak bir motor tasarımı yapmak ve 100Hz'e kadar motorun sorunsuz çalışması amaçlanmış ve yüksek verimli bir motor tasarımı hedeflenmiştir.

4.1.1 Motor Boyutu

Asenkron motorun vereceği güç, motorun boyutu ile doğrudan orantılı olarak değişir. Asenkron motorun ana boyutu belirli parametrelere bağlıdır.

Bu parametreler sırası ile stator sac paket uzunluğu (L_i), stator iç çapı (D_i), motorun senkron hızı(n), çıkış katsayısıdır [2].

Motorun kVA olarak giriş gücü (S), (4.1) eşitliğinde verilmiştir [2].

$$S = C.Di^2.Li\ .n \tag{4.1}$$

$$C = 1.11 \,.\, \pi^2 . \beta_{ort} . ac . k_w . 10^{-3} \tag{4.2}$$

(4.2) eşitliğinde C çıkış katsayısı; metre başına amper-iletken ac, sargı faktörü k_w, hava aralığındaki ortalama akı yoğunluğu β_{ort} (T) parametrelerine bağlı olarak verilmiştir [2].

Bu tez çalışmasında tasarlanan motorun sac paket uzunluğunu bulmak için (4.1) eşitliğinden faydalanılmıştır.

Motorun aktif gücü P_{aktif} ve motorun verimi ɲ olmak üzere motorun KVA olarak giriş gücü (4.3) eşitliğinde verilmiştir [2].

$$S = \frac{P_{aktif}}{cos\varphi . ɲ} \tag{4.3}$$

Gerekli hesaplamalar yapılarak istenilen paket uzunluğuna ulaşılmıştır.

Motorun 50Hz'deki aktif gücü 120W olduğu için motorun VA değeri eşitlik (4.1)'dan hesaplanır. Bu işlemin sayısal değer hesaplaması (4.4) eşitliğinde verilmiştir.

$$S = \frac{120}{0.8 \,.\, 0.65} = 230\ VA \tag{4.4}$$

L_i'ye ulaşmak için C faydalanma katsayısının hesaplanması gerekir. Faydalanma katsayısı motorun gücüne ve kutup sayısına bağlı olarak Tablo 4.1'den tespit edilir.

Tablo 4.1 Çıkış Katsayısı Değerleri (C) [1]

kW	2p=2	2p=4	2p=6	2p=8	2p=10	2p=12
0,1	0,90	1,00	1,03	1,05	1,08	1,10
0,2	0,93	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13
0,3	0,95	1,05	1,08	1,10	1,13	1,15
0,4	0,98	1,08	1,10	1,13	1,15	1,18
0,5	1,00	1,10	1,13	1,15	1,18	1,20
0,6	1,06	1,14	1,17	1,20	1,23	1,26
0,7	1,12	1,18	1,22	1,25	1,29	1,32
0,8	1,18	1,22	1,26	1,30	1,34	1,38
0,9	1,24	1,26	1,31	1,35	1,40	1,44
1,0	1,30	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
2,0	1,33	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80
3,0	1,36	1,50	1,63	1,75	1,88	2,00
4,0	1,40	1,70	1,85	2,00	2,15	2,30
5,0	1,46	1,90	2,03	2,16	2,28	2,41

Tablo 4.1'e göre 2 kutup 120W motor gücü için faydalanma katsayısı yaklaşık olarak 0.91 alınmıştır.

$$Li = \frac{S}{C.Di^2.n} \tag{4.5}$$

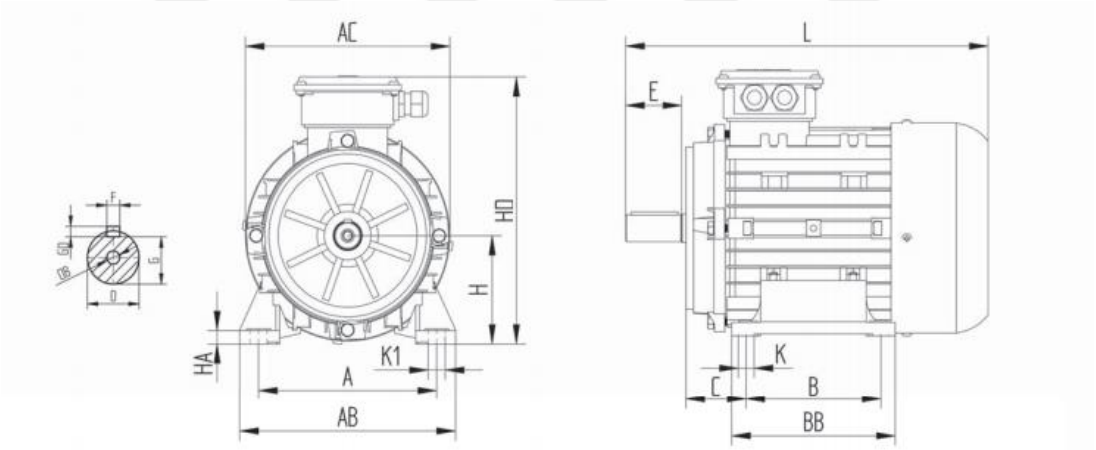
(4.5) eşitliğinde verilen stator sac paket uzunluğu formülü kullanılarak, (4.6) eşitliğinde L_i paket değerine ulaşılır.

$$L_i = \frac{230}{0.91\,.\,0.045^2.3000} = 41.6mm \tag{4.6}$$

Stator sac paket uzunluğu (4.6) eşitliğinde 41.6mm olarak bulunmuş ve tasarlanan motorun stator paket değeri 42 mm olarak alınmıştır.

4.1.2 Motorun Mekanik Ölçüleri

Bu tez çalışmasında tasarlanan motor 56 tip B14 flanşlı ve ayaklı asenkron motordur. Mekanik ölçüler ve değerleri şekil 4.1'de verilmiştir.



IEC	H	HD	L	AC	A	B	AB	BB	K1	K	HA	C	E	D	DB	GA	FxGD
56	56	143	182	108	90	71	110	81	7	6	6	36	20	9	-	10.0	3x3

Şekil 4.1 Tasarlanan 56 tip motorun mekanik ölçüleri [6]

56 tip, motorun milinin orta noktasından yere olan dik yüksekliğidir. Bu ifade Şekil 4.1'de H ile gösterilen kısımdır.

4.1.3 Stator ve Rotor Oluk Sayıları

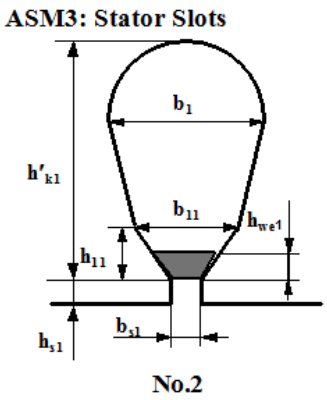
Stator ve rotor oluk sayılarının motorun performansına olan etkisi oldukça büyüktür. Oluk sayılarının uygun seçilmemesi gerek motor torkunda dalgalanma gerekse standart rejim dışı çalışmaya neden olabilmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen motor tasarımında oluk sayıları sırasıyla stator oluk sayısı 24, rotor oluk sayısı 18 olacak şekilde seçilmiştir.

4.1.4 Stator Oluk Şekli

Stator oluk sayısı için belirli net bir parametre yoktur. Fakat bazı değerler dikkate alınarak iyi bir optimizasyon sağlanabilir. Stator laminasyonu yapılırken oluklar fazla büyültülür ise sac azalacak ve doyum artacaktır. Bu durumda kayıp artacaktır. Benzer şekilde oluklar küçültülür ise kullanılan iletken miktarı azalacak ve motor istenilen verimi vermeyecektir.

Bu parametreler iyice dikkate alınıp iki durum için de en iyi nokta belirlenip optimum seviyede bir seçim yapılmalıdır. Şekil 4.2'de stator oluk şekli verilmiştir. Ek olarak stator laminasyon bilgileri ise Şekil 4.3'te verilmiştir.

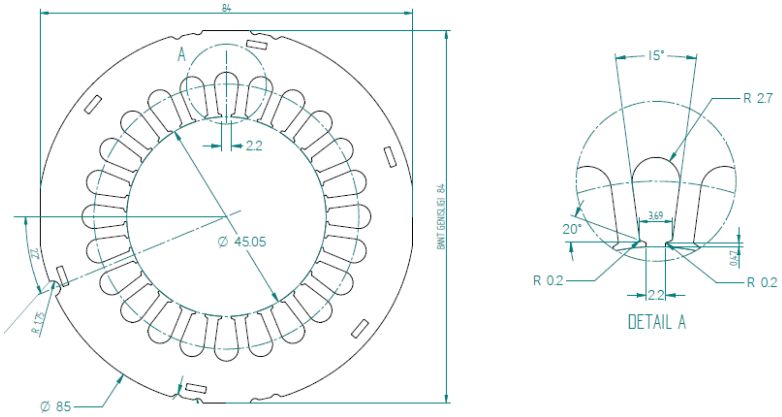


Şekil 4.2 Tasarlanan motorun stator oluk şekli

Şekil 4.2'deki ölçü değerleri sırası ile:

- B_{S1}: 2.20 mm
- h_{S1}: 0.50 mm
- b_{11}: 3.72 mm
- b_1 : 5.40 mm
- h'_{K1}: 9.60 mm

- h_{11}: 0.40 mm
- h_{we1}:0.19 mm



Şekil 4.3 Tasarlanan motorun stator laminasyon bilgileri

4.1.5 Rotor Oluk Şekli

Rotor oluk şeklinin asenkron motorun çalışma karakteristiği üzerinde etkisi oldukça önemlidir. Olukların şekli, derinliği ve hava aralığı bu parametrelerin her biri rotor laminasyonu yapılırken istenilen uygulamaya göre seçilmelidir.

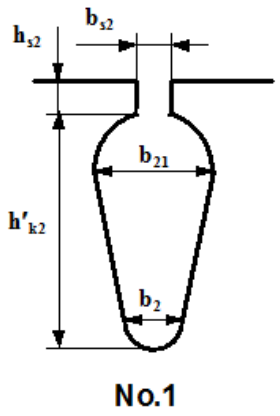
Rotor laminasyonu yaparken amaç optimum kalkış momentini sağlamaktır. Bunun sebebi ise asenkron motorların kalkış esnasında nominal akımın yaklaşık üç, altı katı akım çekmesidir. Asenkron motorların en büyük dezavantajı budur. Bundan dolayı amaç motorun kalkışının kolay bir şekilde olmasını sağlamaktır.

Kalkış momenti optimum düzeyde olur ise motor ilk kalkış anında kısa sürede kalkışı sağladığı için kısa süre ile yüksek akıma maruz kalacak ve motor çok ısınmayacaktır. Buna bağlı olarak kayıp daha az olacaktır.

Rotor oluk şekillerini belirlerken oluk derinliği artarsa rotor direnci azalacaktır. Fakat rotor direnci yüksek olur ise yüksek yol verme momenti ve düşük yol verme akımı, verim ile birlikte artacaktır. Tüm bu parametreler ayarlanırken motordan en iyi performansı almak ve yüksek verim elde etmek en iyi çözüm olacaktır.

Sonuç olarak Rotor oluk şekilleri belirlenirken akı yoğunluğu ve rotor direnci parametreleri önemle dikkate alınmalıdır.

Bu tezde tasarlanan üç fazlı asenkron motorun rotor oluk şekli Şekil 4.4'te belirtilmiştir.



Şekil 4.4 Tasarlanan motorun rotor oluk şekli

Tasarlanan motorun, Şekil 4.4'te verilen rotor oluk şeklinin ölçümleri sırası ile

b_2 :1.60 mm

b_{21}:3.60 mm

b_{S2}:1.00 mm

h_{S2}:0 mm

h'_{K2}:8.90 mm

Asenkron motorlarda girişteki elektrik enerjisi çıkışta mekanik enerji olarak alınırken, bu enerji %100 olarak alınamaz. Belirli kayıplar ile girişe oranla daha az bir çıkış gücü alınır. Giriş gücü ile motor milinden alınan güç arasındaki fark ise motor kayıpları olarak adlandırılır. Motorun giriş gücü hem kayıpları hem de çıkış gücünü kapsar. Kayıplar ise sırası ile; demir gövde kayıpları, stator direnci kaybı, rotor direnci kaybı, rüzgar ve sürtünme kayıpları, ek kayıplar olarak gruplandırılır.

Motor Verimlilik Sınıfları:

IEC standardına göre üç fazlı asenkron motor verimlilik değerleri dört sınıfa ayrılmıştır. IE1 düşük verimli, IE2 standart verimli, IE3 yüksek verimli ve IE4 süper yüksek verimli olarak sınıflandırılabilir.

Bu gruplandırma her motorun gücüne ve kutup sayısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Motor tasarımında verimlilik analizi bu standart baz alınarak gerçekleştirilir. Bu çalışmada gerçekleştirilen 56 tip 42 paket 2 kutup üç fazlı asenkron motorun verimi, IE3 ve üstü olarak hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Bu değerler, laboratuvar ortamında yapılan test sonucunda gösterilmiştir.

Endüstrideki son gelişmelere göre üç fazlı 0.75kW altı motorlar için belirlenen verimlilik sınıfı IE1'di. Fakat yeni güncelleme ile yakın zamanda 0.75kW IE2 verim sınıfı zorunluluğu getirilmesi söz konusudur. 0.75kW üstü motorlar için ise şu an IE2 zorunluluğu mevcuttur. Bu güç aralığındaki motorlar için de yakın zamanda yeni bir güncelleme ile IE3 zorunluluğu getirilmesi söz konusudur.

2 kutuplu üç fazlı asenkron motorlar için verimlilik sınıfı Tablo 4.2'de belirtilmiştir.

Tablo 4.2 İki kutup üç fazlı asenkron motorlar için verimlilik tablosu

2 KUTUPLU							*3000 d/d*
P2 kW	IE1 min	IE1 nom	IE2 min	IE2 nom	IE3 min	IE3 nom	IE4 min
0,12	36,75	45,00	46,64	53,60	54,92	60,80	61,48
0,18	45,72	52,80	54,46	60,40	60,79	65,90	66,42
0,20	47,79	54,60	56,19	61,90	62,28	67,20	67,69
0,25	51,93	58,20	59,52	64,80	65,16	69,70	70,45
0,37	58,49	63,90	64,93	69,50	69,87	73,80	74,82
0,4	59,64	64,90	65,96	70,40	70,79	74,60	75,74
0,55	64,35	69,00	70,22	74,10	74,47	77,80	78,73
0,75	67,92	72,10	74,01	77,40	77,81	80,70	81,03
1,1	71,25	75,00	76,54	79,60	80,11	82,70	82,98
1,5	73,78	77,20	78,50	81,30	81,83	84,20	84,48
2,2	76,66	79,70	80,68	83,20	83,79	85,90	86,20
3,0	78,73	81,50	82,29	84,60	85,17	87,10	87,47
4,0	80,57	83,10	83,67	85,80	86,32	88,10	88,50
5,5	82,41	84,70	85,05	87,00	87,58	89,20	89,54
7,5	83,90	86,00	86,32	88,10	88,62	90,10	90,46
11	85,74	87,60	87,81	89,40	89,88	91,20	91,49
15	87,01	88,70	88,85	90,30	90,69	91,90	92,30
18,5	87,70	89,30	89,54	90,90	91,26	92,40	92,76
22	88,39	89,90	90,00	91,30	91,61	92,70	93,10

Tasarlanan motor ne kadar verimli olur ise, motorun kayıp değerleri o kadar az olur. Buna bağlı olarak motor çok ısınmaz. Endüstride talep edilen soğuk motor tabiri aslında bunu kasteder.

4.1.6 Sarım Sayısı ve Bakır Tel Seçimi

Asenkron motorlarda boş stator olukları bakır iletken ile doldurulurken optimum bir tel çapı ve sarım sayısı için bazı formülasyonlar kullanılır. Üç fazlı asenkron motorlarda hesaplamalar tek faz üzerinden yapılır. Elde edilen sonuç da bir faz değeri olarak bulunur.

Bir fazdaki iletken sayısı Z_F değeri; bir faz sargıdaki gerilim değeri (V) E_{FAZ}, motorun çalışma frekansı f, bir kutbun manyetik akısı (Maxwell/kutup) $Ø_K$, adım katsayısı K_a ve dağıtım katsayısı K_d olmak üzere eşitlik 12'de belirtilmiştir [7].

$$Z_F = \frac{E_{FAZ}}{2{,}22\ .\ f\ .\ Ø_K\ .\ K_a\ .\ K_d\ .\ 10^{-8}} \tag{4.7}$$

Motora yıldız olarak yol verilir ise, E_{FAZ} motor çalışma geriliminin $1/\sqrt{3}$ katıdır [7]. Eğer motor üçgen bağlı olarak yol verilir ise E_{FAZ} direkt motor çalışma gerilimine eşit olarak işleme alınır. Bunun sebebi ise bir faz gerilimine düşen gerilimin hat gerilimine eşit olmasından kaynaklanır.

(4.7) numaralı eşitlik uygulanmadan önce içerisindeki bilinmeyen parametreler bulunur daha sonra istenilen sarım sayısı değerine ulaşılır.

Bir kutbun manyetik akısı olan $Ø_K$ değeri ise sırası ile; stator iç çapı (cm) D, stator boyu (cm) L, motorun kutup sayısı 2p, hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu β belirtilen parametreler ile $Ø_K$ (4.8) eşitliğinde belirtildiği gibi hesaplanır [2].

$$Ø_K = \frac{\pi\ .\ D\ .\ L\ .\ \beta}{2p} \tag{4.8}$$

Tasarlanan 0.12kW'lık, 2 kutuplu, 42 paket asenkron motorun manyetik akı değeri (4.9) eşitliğinde hesaplanmıştır.

β: hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu yaklaşık 4000-6000 gauss değerleri arası seçilebilir.

$$\emptyset_K = \frac{\pi\ .\ 4{,}5\ .\ 4{,}2\ .\ 4300}{2} = 127658{,}61\ Wb \tag{4.9}$$

K_a adım katsayısı değeri, motor tam adımlı sarılacak ise 1 kabul edilir.

Motor kutup çifti sayısı p, stator oluk sayısı X olmak üzere, olukların arasındaki elektriksel açı (a), (4.10) eşitliğinde belirtilmiştir [7].

$$\mathrm{a} = \frac{360\ .\ p}{X} \tag{4.10}$$

Oluklar arası elektriksel açı (a) değeri (4.11) eşitliğinde belirtildiği gibi hesaplanır.

$$\mathrm{a} = \frac{360\ .\ 1}{24} = 15^0 \tag{4.11}$$

Stator oluk sayısı (X) 24, motor kutup sayısı (2p) 2, faz sayısı (m) 3 olmak üzere, c renk sayısı (4.12) eşitliğinde belirtilen formül ile hesaplanabilir [7].

$$c = \frac{X}{2p\ .\ m} = \frac{24}{2\ .\ 3} = 4 \tag{4.12}$$

Sargı dağıtım faktörü; (4.10), (4.11), (4.12) eşitlikleri yardımı ile (4.13) eşitliğinde belirtildiği gibi hesaplanır [7].

$$K_d = \frac{(\sin c).\ (a/2)}{c\ .\ (sin\ a/2\ )} = \frac{(sin4).\ (15/2)}{4\ .\ (\ \sin\ (15/2)\ )} \cong 1 \tag{4.13}$$

Z_F iletken sayısı için gerekli bütün parametreler elde edildikten sonra (4.7) eşitliğindeki denklem kullanılarak, bir fazdaki iletken sayısı değeri (4.14) eşitliğinde verilmiştir.

$$Z_F = \frac{400/\sqrt{3}}{2{,}22\ .\ 50\ .\ 127658{,}61\ .\ 1\ .\ 1\ .\ 10^{-8}} = 1623{,}1353 \tag{4.14}$$

Gerekli olan sarım sayısı için bir oluk içerisindeki iletken sayısı (4.15) eşitliğinde verilmiştir [7].

$$Z_{OLUK} = \frac{Z_F}{X/3} = \frac{1623{,}1353}{24/3} = 202\ sipir \qquad (4.15)$$

Motorun sarım sayısı 202 değerine yakın optimum değerleri verecek şekilde seçilebilir. Bu çalışmada tasarlanan motor için hesaplanan sarım sayısı değeri ile kullanılan motor tasarım programı karşılaştırılarak yaklaşık olarak optimum değer olan Z_{OLUK}=200 sarım olarak seçildi.

Tasarlanan 0.12kW motorun belirtilen değerleri 50Hz frekans baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bakır tel kesiti ($S_{iletken}$) değeri; motorun etiketindeki akım değeri I, akım yoğunluğu J olmak üzere (4.16) eşitliğinde verilmiştir [2].

$$S_{iletken} = \frac{I}{J} \qquad (4.16)$$

Tel kesitine ulaşıldıktan sonra tel çapı (d) hesabı (4.17) eşitliğinde verildiği gibidir [2].

$$d = \frac{4 \,.\, S_{iletken}}{\pi}^{0,5} \qquad (4.17)$$

Tezde tasarlanan motorun tel kesiti (4.16) ve (4.17) eşitliklerinden yararlanılarak ve aynı zamanda motor tasarım programında deneme yolu ile optimum bir değer olan 0.28mm olarak belirlendi.

0.12kW 2 kutup 3 faz olan asenkron motorun bir oluğundaki sarım sayısı 200 ve tel çapı 0.28mm olarak belirlenip tasarım bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

4.1.7 Motorun Nominal Akım Değerinin Hesaplanması

Asenkron motorun nominal akım değerini hesaplamak için gerekli olan formül, motorun aktif gücü P_{aktif}, cosφ, verim (ɲ) ve motorun çalışma gerilimi U parametreleri ile (4.18) eşitliğinde belirtilmiştir. Cosφ, doluluk oranı olarak düşünülebilir ve bu çalışmada tasarlanan motorun cosφ değeri yaklaşık olarak 0.70-0.80 aralığında olacak şekilde seçilmiştir. Verim değeri ɲ ise yaklaşık olarak %65

minimum IE3 sınıfına girecek şekilde seçilmiş ve motor çalışma gerilimi U ilk etapta 50Hz için 400V olarak alınmıştır.

Bu durumda nominal akım değeri (4.18) eşitliğindeki gibidir [2].

$$I_{nominal} = \frac{P_{aktif}}{cos\varphi \,.\sqrt{3}.U.\eta} = \frac{120}{0{,}80\,.\sqrt{3}.400\,.0{,}65} = 0{,}33\ A \qquad (4.18)$$

Motor tasarımı yapılırken ihtiyaç duyulan birçok parametre vardır. Tüm parametreler için hesap yapılmalı ve bir optimum noktada karar kılınıp buna istinaden bir tasarım gerçekleştirilmelidir.

4.1.8 Motor Tasarımında Kullanılan Program Tanıtımı

Bu çalışmada kullanılan asenkron motor tasarım programı daha çok bir matematiksel programdır. Programın data kısmına tasarlanacak olan motorun belirli parametreleri girilir. Oldukça fazla giriş değeri mevcuttur.

Giriş değeri parametreleri arasından daha önemli ve gerekli olan maddeler sırasıyla; nominal güç (motorun milinden alınan çıkış gücü) (P_{2r}), motorun tek kutup sayısı (p), nominal besleme gerilimi (V_{1r}), stator iç çapı (D_1), stator dış çapı (D_{a1}), rotor iç çapı (D_{i2}), stator paket uzunluğu (l_1), rotor paket uzunluğu (I_2), hava aralığı (del), stator oluk sayısı (Z_1), stator oluğunun ölçüleri (b_{s1}), stator oluğunun ölçüleri (h_{s1}), stator oluğunun ölçüleri (b_{11}), stator oluğunun ölçüleri (b_1), stator oluğunun ölçüleri (h'_k), stator oluğunun ölçüleri (h_{11}), stator oluğunun ölçüleri (h_{we1}), stator oluğunun ölçüleri (r_1), rotor oluk sayısı (Z_2), rotor oluğunun ölçüleri (b_{s2}), rotor oluğunun ölçüleri (h_{s2}), rotor oluğunun ölçüleri (b_{21}), rotor oluğunun ölçüleri (b_2), rotor oluğunun ölçüleri (h'_{k2}), rotor oluğunun ölçüleri (h_{21}), rotor oluğunun ölçüleri (h_{br}), sarım sayısı (u_{k1}), bir ankoş sarım sayısı (nel_1), izole edilmemiş iletken çapı (d_{co1}), izole edilmiş iletken çapı (d_{is1}), mekanik kayıp ($P_{mek,}$), frekans (f_1) şeklindedir. Tasarlanan motor 50Hz' de 120W çıkış gücüne yüklenirken 100Hz' de çıkış gücü frekans ile doğru orantılı olarak 240W çıkış gücüne yüklenir. Bu sayede moment değeri sabit tutulabilir ve motorun 100Hz'de kalkışı sağlanır. Motor tasarım programından elde edilen 100Hz için data değerleri Şekil 4.5'teki gibidir.

Type 26.02.2020
56122.DAT

P2r	p	V1r	swc	D1	Da1	Di2	l1	l2	del
0.240	1	530	1	45.00	85.00	14.5	42	42	0.22
z1	nss	bs1	hs1	b11	b1	h'k1	h11	hwe1	bwe1
24	2	2.2	0.50	3.72	5.40	9.6	0.40	0.19	0
z2	nrs	bs2	hs2	b21	b2	h'k2	h21	bs3	hs3
18	1	1.0	0	3.60	1.60	8.90	0	0	0
b3	b31	h3	hbr	bsk	ber	aer	swt	qd1	qc1
0	0	0	0.2	7.85	9.10	9.5	1	4	1
y1	a1	uk1	nel1	dco1	dis1	del1	kec1	lsp1	pmeh
10	1	200	1	0.28	0.33	0.19	1.20	10	5
ro120	ro220	tnl	trls	trlr	tsss	tssr	tcla	Vred	f1
0.0178	0.0310	80	80	80	80	80	10	0	100
cfez	cfea	kfe1	p151	kfe2	p152	uk11	uk12	uk13	uk14
1.9	1.6	0.97	3.0	0.98	3.0	0	0	0	0
bco1	aco1	sco1	bis1	ais1	n1w	n1h	bb2	bb21	hb2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

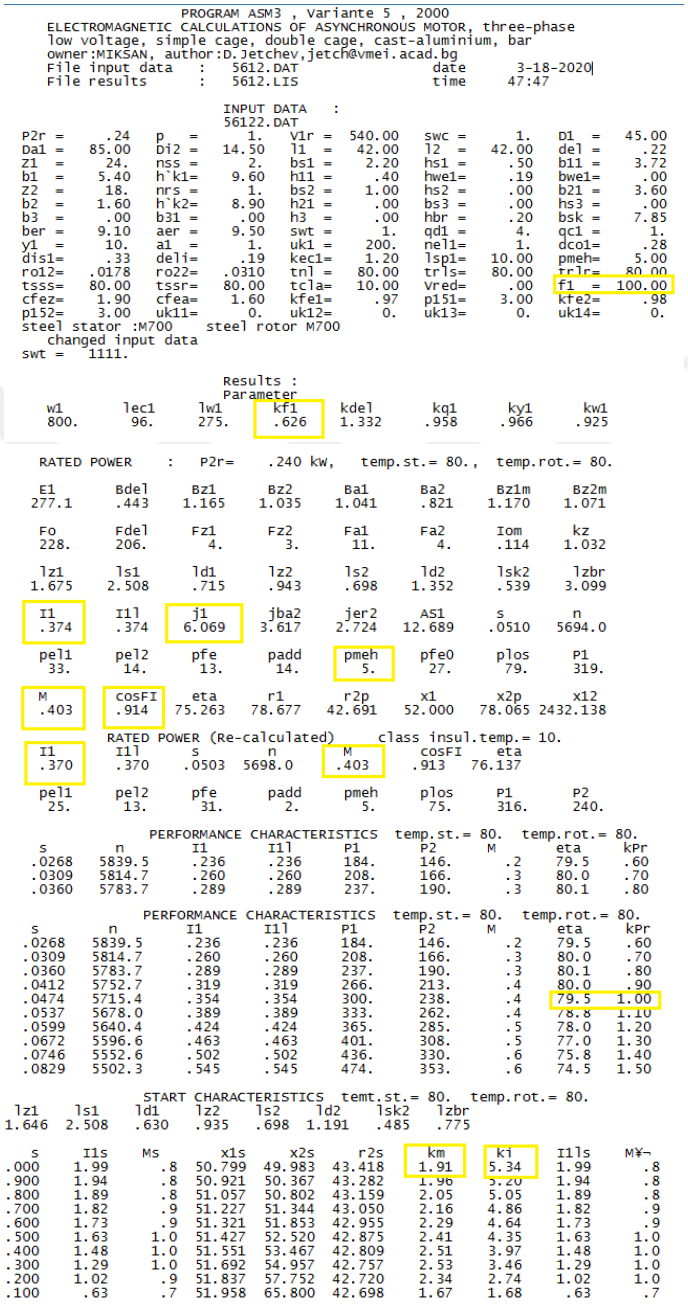
Şekil 4.5 Motor tasarım programından alınan dat bilgisi

Giriş (dat) bilgisi girilen motorun programda çalıştırılması ile elde edilen Lis (çıkış) dosyası motorun belirlenen ölçülere göre üretiminin uygun olup olmadığı konusunda bilgi verir. Şekil 4.5'te motor tasarım programına, tasarlanacak olan motorun parametreleri girilir. Bu parametreler; motor çıkış gücü 240W, çalışma gerilimi 540V, çift kutup sayısı 1, motor çalışma frekansı 50Hz, motor sarım sayısı 200 sarım, iletken kesiti 0.28mm, rotor ve stator paket uzunluğu 42mm, rotor iç çapı ve oluk ölçüleri, stator oluk ölçüleri, stator dış ve iç çap uzunluğu gibi parametrelerdir. Bu değerlere bağlı olarak programdan elde edilen çıkış listesindeki değerlere göre motor performans değerlendirilmesi yapılır. En önemli parametreler motorun kalkış momenti, kalkış akımı ve motorun sıcaklığıdır. Bu değerlere göre motor tasarımı gerçekleştirilir ve test düzeneğine alınarak çalışma performansı değerlendirilir. Programdan elde edilen çıkış dosyası için parametreler sırası ile; olukların doluluk oranı (k_{f1}) (bu tasarımda maximum 0,80 olmalı aksi takdirde sargılar oluğa sığmaz.), motor sıcaklık göstergesi Jonksiyon sıcaklığı(j_1) (bu değer ne kadar düşük olur ise motor gövde ve sargı sıcaklığı da o oranda düşük olur), moment (M), verim (eta), güç faktörü ($\cos\varphi$), devir sayısı (n), akım (I_1), kalkış momenti (k_m), kalkış akımı (k_i) şeklindedir.

Elde edilen çıkış değerleri; kalkış akımı, kalkış momenti, motorun çalışma akımı, motorun devri, motor sıcaklığını gösteren j1 parametresi, güç faktörü gibi parametrelerin hedeflenen değerleri sağlaması ile motor üretim aşamasına getirilir. Bir sonraki aşamada ise tasarlanan motor; laboratuvar ortamında test edilerek

motordan elde edilen değerlerin, programdan elde edilen veriler ile karşılaştırılması ile son aşama da tamamlanmış olur.

Tasarlanan 240W 3 fazlı motorun 100Hz' de programdan alınan çıkış bilgileri Şekil 4.6'daki gibidir.



```
                PROGRAM ASM3 , Variante 5 , 2000
   ELECTROMAGNETIC CALCULATIONS OF ASYNCHRONOUS MOTOR, three-phase
   low voltage, simple cage, double cage, cast-aluminium, bar
   owner:MIKSAN, author:D.Jetchev,jetch@vmei.acad.bg
   File input data   :   5612.DAT                date      3-18-2020
   File results      :   5612.LIS                time     47:47

                       INPUT DATA   :
                       56122.DAT
P2r =     .24   p   =      1.   V1r =  540.00   swc =      1.   D1  =   45.00
Da1 =   85.00   Di2 =   14.50   l1  =   42.00   l2  =   42.00   del =     .22
z1  =     24.   nss =      2.   bs1 =    2.20   hs1 =     .50   b11 =    3.72
b1  =    5.40   h`k1=    9.60   h11 =     .40   hwe1=     .19   bwe1=     .00
z2  =     18.   nrs =      1.   bs2 =    1.00   hs2 =     .00   b21 =    3.60
b2  =    1.60   h`k2=    8.90   h21 =     .00   bs3 =     .00   hs3 =     .00
b3  =     .00   b31 =     .00   h3  =     .00   hbr =     .20   bsk =    7.85
ber =    9.10   aer =    9.50   swt =      1.   qd1 =      4.   qc1 =      1.
y1  =     10.   a1  =      1.   uk1 =    200.   nel1=      1.   dco1=     .28
dis1=     .33   del1=     .19   kec1=    1.20   lsp1=   10.00   pmeh=    5.00
ro12=   .0178   ro22=   .0310   tnl =   80.00   trls=   80.00   trlr=   80.00
tsss=   80.00   tssr=   80.00   tcla=   10.00   vred=     .00   f1  =  100.00
cfez=    1.90   cfea=    1.60   kfe1=     .97   p151=    3.00   kfe2=     .98
p152=    3.00   uk11=      0.   uk12=      0.   uk13=      0.   uk14=      0.
steel stator :M700    steel rotor M700
   changed input data
swt =   1111.

                       Results :
                       Parameter
   w1      lec1     lw1      kf1     kdel     kq1      ky1      kw1
   800.     96.     275.     .626    1.332    .958     .966     .925

  RATED POWER    :   P2r=    .240 kW,   temp.st.= 80.,  temp.rot.= 80.

   E1      Bdel     Bz1      Bz2      Ba1      Ba2      Bz1m     Bz2m
  277.1    .443    1.165    1.035    1.041    .821     1.170    1.071

   Fo      Fdel     Fz1      Fz2      Fa1      Fa2      Iom      kz
  228.     206.       4.       3.      11.       4.     .114    1.032

   lz1     ls1      ld1      lz2      ls2      ld2      lsk2     lzbr
 1.675    2.508    .715     .943     .698    1.352     .539    3.099

   I1      I1l      j1       jba2     jer2     AS1      s        n
  .374     .374    6.069    3.617    2.724   12.689    .0510   5694.0

   pel1     pel2     pfe      padd     pmeh     pfe0     plos     P1
    33.      14.      13.      14.       5.      27.      79.     319.

   M       cosFI    eta      r1       r2p      x1       x2p      x12
  .403     .914   75.263   78.677   42.691   52.000   78.065 2432.138

          RATED POWER (Re-calculated)      class insul.temp.= 10.
   I1      I1l      s        n        M        cosFI    eta
  .370     .370    .0503   5698.0    .403     .913   76.137

   pel1     pel2     pfe      padd     pmeh     plos     P1       P2
    25.      13.      31.       2.       5.      75.     316.     240.

          PERFORMANCE CHARACTERISTICS  temp.st.= 80.  temp.rot.= 80.
   s        n        I1       I1l      P1       P2       M        eta      kPr
  .0268   5839.5    .236     .236     184.     146.      .2      79.5     .60
  .0309   5814.7    .260     .260     208.     166.      .3      80.0     .70
  .0360   5783.7    .289     .289     237.     190.      .3      80.1     .80

          PERFORMANCE CHARACTERISTICS  temp.st.= 80.  temp.rot.= 80.
   s        n        I1       I1l      P1       P2       M        eta      kPr
  .0268   5839.5    .236     .236     184.     146.      .2      79.5     .60
  .0309   5814.7    .260     .260     208.     166.      .3      80.0     .70
  .0360   5783.7    .289     .289     237.     190.      .3      80.1     .80
  .0412   5752.7    .319     .319     266.     213.      .4      80.0     .90
  .0474   5715.4    .354     .354     300.     238.      .4      79.5    1.00
  .0537   5678.0    .389     .389     333.     262.      .4      78.8    1.10
  .0599   5640.4    .424     .424     365.     285.      .5      78.0    1.20
  .0672   5596.6    .463     .463     401.     308.      .5      77.0    1.30
  .0746   5552.6    .502     .502     436.     330.      .6      75.8    1.40
  .0829   5502.3    .545     .545     474.     353.      .6      74.5    1.50

          START CHARACTERISTICS  temt.st.= 80.  temp.rot.= 80.
  lz1     ls1      ld1      lz2      ls2      ld2      lsk2     lzbr
 1.646    2.508    .630     .935     .698    1.191     .485     .775

    s       I1s      Ms       x1s      x2s      r2s      km       ki       I1ls     M¥¬
  .000     1.99       .8   50.799   49.983   43.418    1.91     5.34     1.99       .8
  .900     1.94       .8   50.921   50.367   43.282    1.96     5.20     1.94       .8
  .800     1.89       .8   51.057   50.802   43.159    2.05     5.05     1.89       .8
  .700     1.82       .9   51.227   51.344   43.050    2.16     4.86     1.82       .9
  .600     1.73       .9   51.321   51.853   42.955    2.29     4.64     1.73       .9
  .500     1.63      1.0   51.427   52.520   42.875    2.41     4.35     1.63      1.0
  .400     1.48      1.0   51.551   53.467   42.809    2.51     3.97     1.48      1.0
  .300     1.29      1.0   51.692   54.957   42.757    2.53     3.46     1.29      1.0
  .200     1.02       .9   51.837   57.752   42.720    2.34     2.74     1.02      1.0
  .100      .63       .7   51.958   65.800   42.698    1.67     1.68      .63       .7
```

Şekil 4.6 Motor tasarım programından alınan çıkış bilgisi

Kullanılan program Miksan Şirketine ait bir asenkron motor tasarım programıdır. Program içerisinde farklı yapılarda rotor ve stator oluk şekilleri mevcuttur. Tasarıma en uygun oluklar seçilerek gerekli olan parametre değerleri matematiksel olarak programa girilir. Bir sonraki aşamada seçilen değerlere göre bir çıkış dosyası elde edilir. Bu çıkış değerleri içinde motorun nominal akım değeri, güç faktörü, devir sayısı, kalkış akımı gibi birçok değer mevcuttur. Elde edilen verilerin uygunluğu ile motor tasarımı gerçekleştirilir. Şekil 4.6'da belirtildiği gibi tasarım programından elde edilen sonuçlara göre K_f doluluk oranı, olukların yapısı gereği bakır tellerin sığacağı şekilde ve olukları tam doldurmadan daha az bir maliyet ile motor tasarımı yapılmıştır. Jonksiyon değeri J=6 değerinde olup ideal bir değerde motorun çok ısınmadan çalışması sağlanmıştır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi moment değeri M, 0.4Nm değerlerinde sabit tutulmuştur ve devir sayısı 5690 d/d olduğu görülmektedir. Cosφ değeri, akım değerleri, kalkış momenti değeri ve verim değeri hedeflenen değerlerde elde edilmiştir. Programdan alınan sonuçlara göre motor üretim aşamasına geçilerek asıl sonuçlar motorun üretiminden hemen sonraki test aşamasında netleştirilmiştir. Bu tasarım programından elde edilen sonuçlar 100Hz'lik çalışmaya göre verilmiştir.

Tasarlanan motor dört farklı frekans değerinde çalışabilme performansına sahiptir. Yüksek frekanslara çıkıldıkça motorun kalkış momentinde düşüş yaşanacak ve motorun kalkış momentini yenmesi güçleşecektir [3]. Bu durumda yüksek frekanslara çıkıldıkça motorun kalkış momentini yenebilmesi için motorun çalışma gerilim yüksek tutuldu.

Motor gücü, moment ve devir sayısı arasındaki oranı belirleyici tutmak için (4.19) eşitliğindeki formül kullanılmıştır [1].

$$P = \frac{M.(2.\pi.n)}{60} \tag{4.19}$$

Ek olarak motorun devir sayısının, frekans ve tek kutup sayısına bağlı olarak değişimi (4.20) eşitliğinde belirtildiği gibidir.

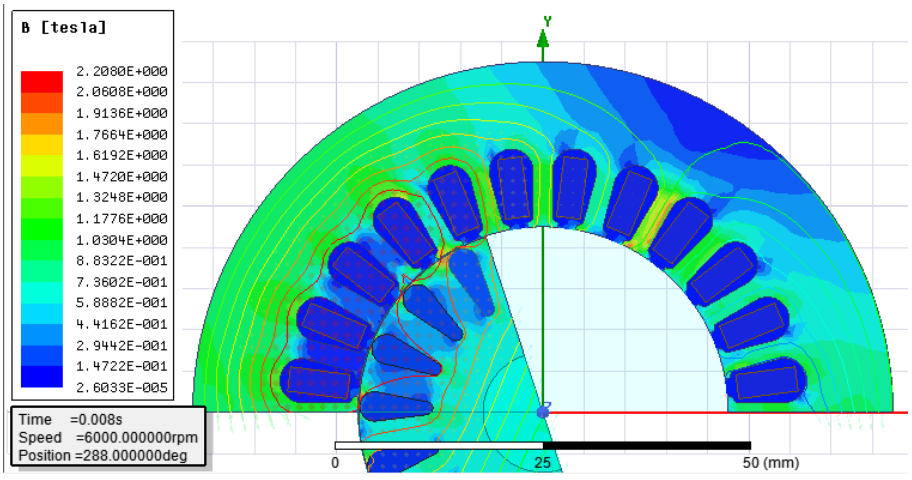
$$n = \frac{60.f}{p} \tag{4.20}$$

(4.19) ve (4.20) eşitlikleri incelenir ise frekans değeri artıkça devir sayısı doğru orantılı olarak artacak ve artan devir sayısı motor momentini düşürecektir. Moment sabit tutulur ise yüksek frekansta devir artacağı için güç artacaktır. Motor gücündeki bu artış frekans ile orantılıdır. Fakat motorun doyumu belirli bir optimum güçte sınırlıdır.

Tasarlanan bu motorun optimum çıkabildiği güç 100Hz'de 240W'dır. Her bir frekans değeri için motor çıkış gücü sırası ile 50Hz'de 120W, 60Hz' de 144W, 80Hz'de 192W ve son olarak 100Hz'de 240W çıkış gücüne yüklenmiştir. Tüm bu değerler test sonuçlarında mevcuttur.

Ek olarak yüksek frekansta düşecek olan kalkış momentini yükseltmek için endüstride kullanılan bir diğer metot olarak motorun ring boyu azaltılabilir fakat buna bağlı olarak direnç artacağı ve motor daha çok ısınacağı için istenmeyen bir durumdur. Bir diğer yöntem de oluklardaki sarım sayısını düşürmek olacaktır. Düşen sarım sayısı ile beraber kalkış momenti artış gösterir.

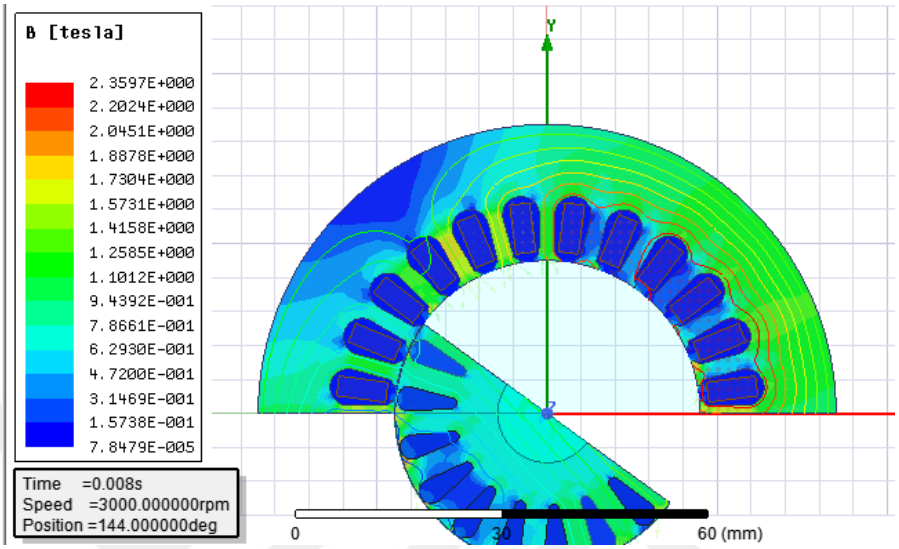
Tasarlanan motorun 100Hz'deki manyetik akı dağılımı Rmxprt programı aracılığı ile Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Tasarlanan motorun 100Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı

Şekil 4.7'den görüldüğü gibi motorun ½ kesitli modelinin 100Hz çalışma frekansında stator ve rotor üzerindeki manyetik akı dağılımı şekildeki gibidir. Manyetik akı rotor çubukları ve stator olukları etrafında yoğunlaşmıştır.

Şekil 4.8'de motorun 50Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı grafiği verilmiştir.



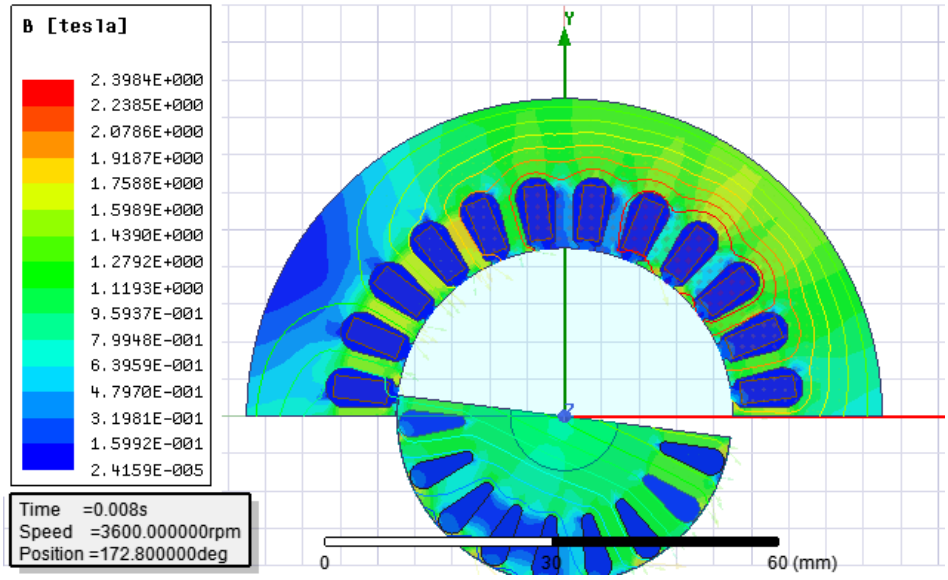
Şekil 4.8 Tasarlanan motorun 50Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi manyetik akı yoğunluğunun koyu maviden kırmızıya doğru bir akışı vardır. Mavi alanlar, manyetik alanın en zayıf olduğu kısımlardır.

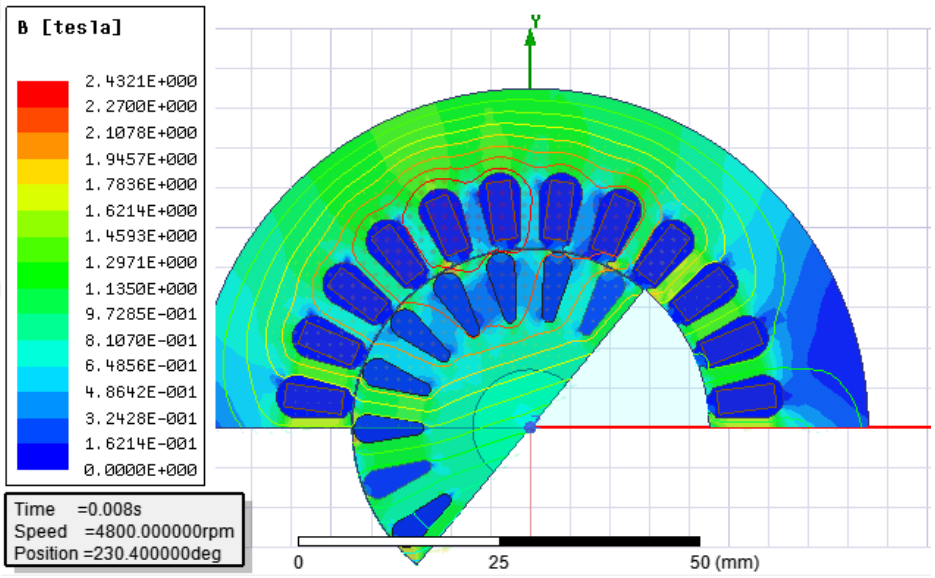
Oluk ağzındaki kırmızılık, mıknatıslanmanın yüksek olduğunu ve kayıpların başladığını gösterir.

Manyetik akı yoğunluğunun dağılımı ile motorun kayıp analizini yapmak mümkündür. Kayıpların rotor ve statorun hangi kısımlarında olduğunu gösterebilen bir analizdir.

Ek olarak motorun manyetik akı yoğunluğu, Şekil 4.9'da 60Hz frekansında ve Şekil 4.10'da 80Hz frekans değerlerinde dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.9 Tasarlanan motorun 60Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı



Şekil 4.10 Tasarlanan motorun 80Hz'deki manyetik akı yoğunluğu dağılımı

4.1.9 Tasarlanan Motorun Test Sonuçları

Tasarlanan motorun 50, 60, 80 ve 100Hz frekans değerindeki çalışma performansı Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'teki testlerde paylaşıldığı gibidir. Test sonuçları motorun verimlilik analizi ve ısıl kararlılık değerleri de sağlanmış oldu.

MOTOR TİPİ :	56012	IE3 min 51.36 - nom 57.70	IE4 min 59.64 - nom 64.90

Pn:	0,24	kW	2p:	2		I CL:	F	ORS	Açıklama:
n:	5618	rpm	ns:	6000	rpm	Paket Boyu:	42	mm	56 2A Güncelleme testi
Cosϕ:	0,65	-				Rotor Çapı:		mm	
Un:	311	Δ V		540	Y	Rotor Eğimi:		ankoş	motor sürücü ile beslenerek
In:	1,13	Δ A		0,65	Y	Ring W:	-	mm	test edildi.
f:	100	Hz				Ring H:	-	mm	Yukarıdaki verimlilik sınıfları 50 Hz için baz alınan değerlerdir.

SARGI DEĞERLERİ

Gerilim	Ω	R_{12}	R_{23}	R_{31}	Rort	Sıcaklık Artışı	Sargı Sıcaklığı
	Soğuk	129,7	129,7	129,8	129,7	°C	°C
540	Sıcak	142,0	142,2	142,1	142,1	25,3	55,3

motorun sargı sıcaklığı alınırken, sargıların cephe bağlantısından ölçüldüğü için sıcaklıkta %15'lik bir tolereans aralığı bulunmaktadır.

ISIL KARARLILIK (S1) ve YÜK EĞRİSİ TESTİ (LC)

Saat	Un	M	n	IR	IS	IT	I_{ORT}	$Cos\phi_d$	$Cos\phi_h$	P1	P2	Verim	Sargı	Gövde	Ortam
hh:mm	V	Nm	rpm	A	A	A	A			kW	kW	%	°C	°C	°C
540 V/100 Hz		*%100 Yük*													
10:35	539,5	0,547	5658	0,672	0,666	0,660	0,666	0,66	0,64	0,400	0,240	60,0	24,6	18,9	30
10:50	540,3	0,547	5609	0,660	0,654	0,636	0,650	0,67	0,60	0,365	0,238	65,1	53,0	29,7	30,0
11:05	539,3	0,551	5606	0,660	0,654	0,642	0,652	0,66	0,62	0,375	0,239	63,8	53,7	30,1	30,0
11:20	539,3	0,551	5611	0,660	0,654	0,636	0,650	0,65	0,62	0,375	0,240	63,9	54,2	30,3	30,0
12:20	539,3	0,551	5618	0,660	0,654	0,636	0,650	0,65	0,60	0,365	0,240	65,7	54,3	30,0	30,0

Şekil 4.11 100Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim analizi testi

Tasarlanan motor 50Hz'de 120W çıkış gücünde yüklenirken, 100Hz'de moment değerini sabit tutmak için 240W çıkış gücünde yüklenmiştir. Şekil 4.11'de motor sorunsuz bir kalkış yaparak, yaklaşık beş ölçüm ile oturma sıcaklığına ulaşmıştır. 50Hz'de 120W değeri baz alınarak tasarlanan motor diğer tüm frekans değerleri için aynı oranda çıkış gücü arttırılarak yüklenmiştir ve frekans iki katına çıkarıldığında 240W çıkış gücüne kadar sorunsuz bir şekilde çalışmıştır. Motor sargı sıcaklığı 54.3^0C'de oturma sıcaklığına ulaşmış ve verim %65,7 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi 50Hz'de 120W çıkış gücüne yüklenen motor yaklaşık olarak dört döngüde oturma sıcaklığına ulaşmıştır. Motorun verimi %65 ile IE4 verimlilik sınıfında yer almaktadır. Motorun $24,1^0$C ortamda, sargı sıcaklığı $49,8^0$C' ye ulaşmış olup yaklaşık olarak 25^0C artış göstermiştir. Tasarlanan motorda kullanılan bakır iletkenlerin izolasyon sınıfı F (140^0C) grubuna dayanıklı olduğu için bu sargı sıcaklığında motor sargıları zarar görmez. Son olarak motorun momenti 0,408Nm, devri 2833 d/d ve çalışma akımı her faz için 0,35A olarak elde edilmiştir.

MOTOR TİPİ :	56012				IE4 nom 61.5 / min. 66.5		IE3 nom 54.92/min. 60.8
Pn:	0,12	kW	2p:	2	I CL:	F	ORS
n:	2833	rpm	ns:	3000 rpm	Paket Boyu:	42	mm
Cosϕ:	0,75	-			Rotor Çapı:		mm
Un:	230	Δ V		400 Y	Rotor Eğimi:		ankoş
In:	0,61	Δ A		0,35 Y	Ring W:	-	mm
f:	50	Hz			Ring H:	-	mm

Açıklama:
562B Güncelleme testi
IE4
motor direkt şebekeden varyaklar
aracılığı ile test edildi.
motorun sargı sıcaklığı alınırken,
sargıların cephe bağlantısından
ölçüldüğü için sıcaklıkta
%15'lik bir tolereans aralığı
bulunmaktadır.

SARGI DEĞERLERİ

Gerilim	Ω	R_{12}	R_{23}	R_{31}	Rort	Sıcaklık Artışı	Sargı Sıcaklığı
	Soğuk	129,7	129,7	129,8	129,7	°C	°C
400	Sıcak	144,0	143,3	142,8	143,4	27,2	51,3

ISIL KARARLILIK (S1) ve YÜK EĞRİSİ TESTİ (LC)

Saat	Un	M	n	IR	IS	IT	I_{ORT}	$Cos\phi_d$	$Cos\phi_h$	P1	P2	Verim	Sargı	Gövde	Ortam
hh:mm	V	Nm	rpm	A	A	A	A			kW	kW	%	°C	°C	°C
400 V/50 Hz		*%100 Yük*													
15:55	400,0	0,408	2837	0,366	0,366	0,366	0,366	0,76	0,76	0,192	0,121	63,1	38,0	26	24,1
16:25	399,7	0,402	2837	0,354	0,354	0,354	0,354	0,75	0,75	0,184	0,119	64,9	48,7	31	24,1
16:40	399,1	0,411	2835	0,360	0,354	0,360	0,358	0,75	0,75	0,186	0,122	65,6	49,5	32	24,1
16:55	400,0	0,408	2833	0,355	0,354	0,354	0,354	0,75	0,76	0,186	0,121	65,0	49,8	32	24,1

Şekil 4.12 50Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim testi

MOTOR TİPİ :	56012				IE3 min 51.36 - nom 57.70		IE4 min 59.64 - nom 64.90
Pn:	0,144	kW	2p:	2	I CL:	F	ORS
n:	3482	rpm	ns:	3600 rpm	Paket Boyu:	42	mm
Cosϕ:	0,30	-			Rotor Çapı:		mm
Un:	311	Δ V		540 Y	Rotor Eğimi:		ankoş
In:	1,51	Δ A		0,87 Y	Ring W:	-	mm
f:	60	Hz			Ring H:	-	mm

Açıklama:
56 2A Güncelleme testi
motor sürücü ile beslenerek
test edildi.
motorun sargı sıcaklığı alınırken,
sargıların cephe bağlantısından
ölçüldüğü için sıcaklıkta
%15'lik bir tolereans aralığı
bulunmaktadır.

SARGI DEĞERLERİ

Gerilim	Ω	R_{12}	R_{23}	R_{31}	Rort	Sıcaklık Artışı	Sargı Sıcaklığı
	Soğuk	129,7	129,7	129,8	129,7	°C	°C
	Sıcak	145,0	145,1	145,2	145,1	31,4	61,4

ISIL KARARLILIK (S1) ve YÜK EĞRİSİ TESTİ (LC)

Saat	Un	M	n	IR	IS	IT	I_{ORT}	$Cos\phi_d$	$Cos\phi_h$	P1	P2	Verim	Sargı	Gövde	Ortam
hh:mm	V	Nm	rpm	A	A	A	A			kW	kW	%	°C	°C	°C
540 V/60 Hz		*%100 Yük*													
15:00	539,5	0,543	3484	0,950	0,930	0,880	0,920	0,27	0,28	0,245	0,147	59,8	51,1	29,9	30
15:15	540,3	0,535	3483	0,900	0,890	0,860	0,883	0,28	0,30	0,245	0,144	58,9	59,4	33,6	30,0
15:30	539,3	0,535	3482	0,890	0,860	0,920	0,890	0,29	0,29	0,245	0,144	58,9	60,8	34,6	30,0
15:45	539,3	0,535	3482	0,880	0,865	0,875	0,873	0,30	0,30	0,245	0,144	58,9	61,0	34,6	30,0

Şekil 4.13 60Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim analizi testi

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi 60Hz' de 144W çıkış gücüne yüklenen motor yaklaşık olarak dört döngüde oturma sıcaklığına ulaşmıştır. Motorun verimi %58,4 olarak alınmıştır. Motorun 30^0C ortamda, sargı sıcaklığı 61^0C' ye ulaşmıştır. Son olarak motorun devri 3482 d/d ve çalışma akımı her faz için 0,87A olarak elde edilmiştir.

MOTOR TİPİ :	56012				IE3 min 51.36 - nom 57.70		IE4 min 59.64 - nom 64.90
Pn:	0,192	kW	2p:	2	I CL:	F	ORS
n:	4598	rpm	ns:	4800 rpm	Paket Boyu:	42	mm
Cosϕ:	0,48	-			Rotor Çapı:		mm
Un:	311	Δ V		540 Y	Rotor Eğimi:		ankoş
In:	1,01	Δ A		0,58 Y	Ring W:	-	mm
f:	80	Hz			Ring H:	-	mm

Açıklama:
56 2A Güncelleme testi
motor sürücü ile beslenerek
test edildi.
motorun sargı sıcaklığı alınırken,
sargıların cephe bağlantısından
ölçüldüğü için sıcaklıkta
%15'lik bir tolereans aralığı
bulunmaktadır.

SARGI DEĞERLERİ

Gerilim	Ω	R_{12}	R_{23}	R_{31}	Rort	Sıcaklık Artışı	Sargı Sıcaklığı
	Soğuk	127,9	127,9	127,8	127,9	°C	°C
	Sıcak	135,0	136,0	135,0	135,3	15,5	45,5

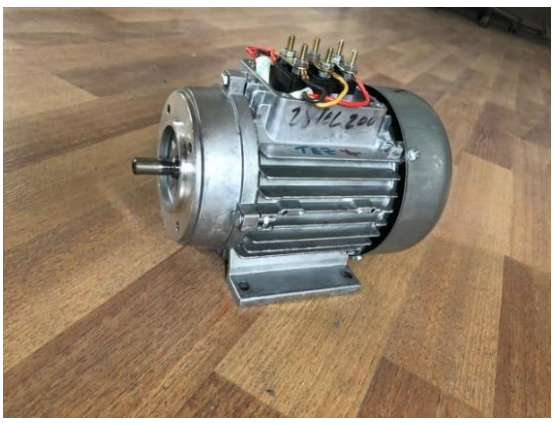
ISIL KARARLILIK (S1) ve YÜK EĞRİSİ TESTİ (LC)

Saat	Un	M	n	IR	IS	IT	I_{ORT}	$Cos\phi_d$	$Cos\phi_h$	P1	P2	Verim	Sargı	Gövde	Ortam
hh:mm	V	Nm	rpm	A	A	A	A			kW	kW	%	°C	°C	°C
540 V/80 Hz		%100 Yük													
11:40	540,2	0,559	4587	0,590	0,570	0,575	0,578	0,47	0,49	0,265	0,199	75,0	47,9	30,5	30
11:55	541,0	0,543	4598	0,590	0,569	0,570	0,576	0,47	0,48	0,260	0,193	74,4	45,9	28,0	30,0
12:10	541,0	0,543	4596	0,590	0,578	0,590	0,586	0,48	0,48	0,265	0,193	73,0	45,2	27,9	30,0
13:55	539,7	0,539	4615	0,590	0,595	0,570	0,585	0,47	0,48	0,265	0,193	72,7	28,6	21,3	30,0
14:10	548,0	0,543	4599	0,595	0,590	0,560	0,582	0,48	0,48	0,265	0,194	73,0	43,2	27,1	30
14:25	550,7	0,543	4597	0,597	0,578	0,565	0,580	0,48	0,48	0,265	0,193	73,0	44,6	27,6	30,0
14:40	551,0	0,539	4599	0,586	0,579	0,580	0,582	0,48	0,48	0,265	0,192	72,5	45,2	28,1	30,0
14:55	551,5	0,543	4598	0,587	0,580	0,580	0,582	0,48	0,48	0,265	0,193	73,0	43,0	25,9	30,0

Şekil 4.14 80Hz frekansta motor ısıl kararlılık ve verim analizi testi

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi 80Hz' de 192W çıkış gücüne yüklenen motor yaklaşık olarak sekiz döngüde oturma sıcaklığına ulaşmıştır. Motorun verimi %73 olarak alınmıştır. Motorun 30^0C ortamda, sargı sıcaklığı 43^0C' ye ulaşmış. Son olarak motorun devri 4598 d/d ve çalışma akımı her faz için 0,582A olarak elde edilmiştir.

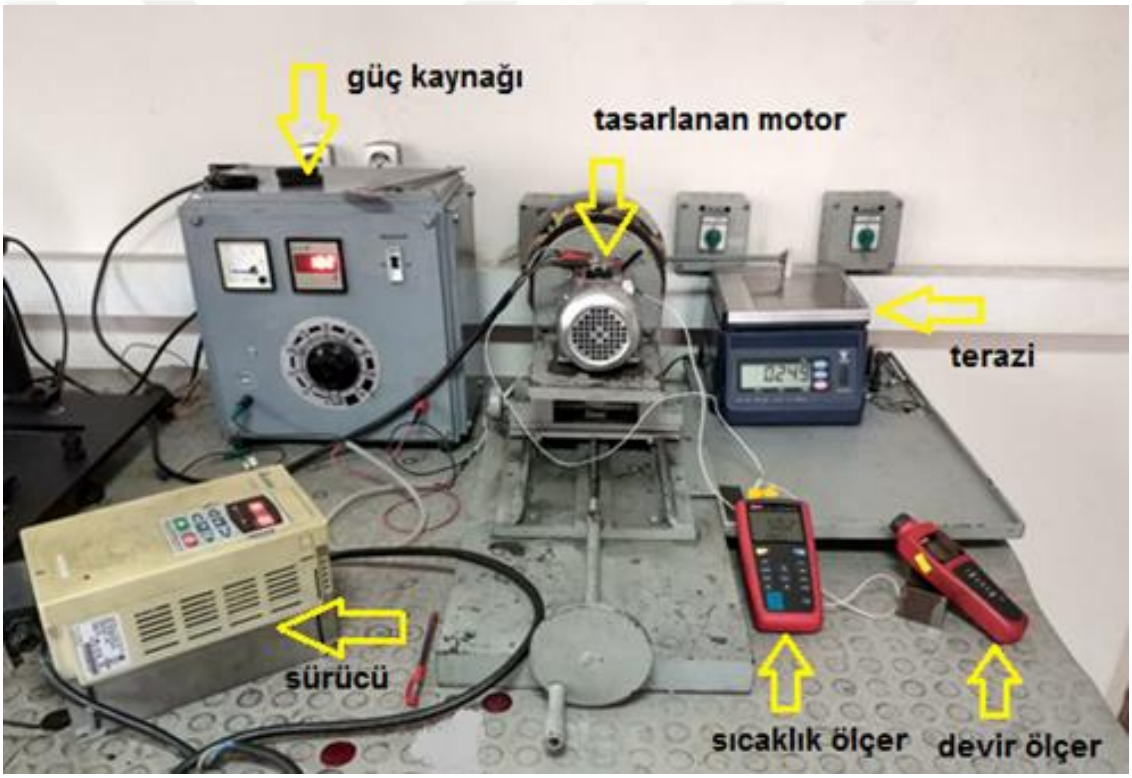
Ek olarak bu tez çalışmasında tasarlanan motorun görseli Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da paylaşılmıştır. Tasarlanan motorun test halindeki görünümü ise Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.15 Tasarlanan motorun yandan görünümü



Şekil 4.16 Tasarlanan motorun önden görünümü



Şekil 4.17 Tasarlanan motorun test halinde görünümü

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç

Asenkron motorlar, diğer motorlara oranla kalkış anında nominal akımın yaklaşık 3-6 katını çekerler. Bundan dolayı kalkış anında hem çekilen akım hem de kalkış momenti önemli bir parametredir. Bu çalışmada amaç yüksek frekanslarda çalışabilen ve yüksek verime sahip olan bir motor tasarımı gerçekleştirmektir. Fakat frekans değeri yükseldikçe düşen kalkış momenti bu durumu biraz zor hale getirir. Bu durumda kalkış momentini yükseltmek için çeşitli çalışmalar yapılabilir. Motor tasarım programından edinilen deneyim, yüksek gerilimlere doğru motorun kalkış momentinin daha iyi olduğu yönündedir. Bu çalışmada 3 fazlı, 2 kutuplu asenkron motorun 50Hz çalışma frekansında 120W çıkış gücünde 400V çalışma geriliminde çalışması gerçekleştirilmiştir. Ek olarak aynı motorun 60, 80 ve 100Hz çalışma frekanslarında 540V çalışma geriliminde çalışma aralığı mevcuttur. Frekans değerleri arttıkça düşen kalkış momentini yükseltmek için, 60, 80 ve 100Hz çalışma frekanslarında çalışma gerilimi 540V değerine yükseltilerek kalkış momentinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Ek olarak motorun hedeflenen moment değerinin 50, 60, 80 ve 100Hz frekanslarında yaklaşık olarak 0.4Nm değerinde sabit tutulması için, motor çıkış gücü; 60, 80 ve 100Hz değerinde artan frekans değeri ile aynı oranda artırılmıştır. Motorun çıkış gücü 50Hz'de 120W, 60Hz'de 144W, 80Hz'de 192W ve 100Hz'de 240W'tır. Bu durumda motorun dört ayrı frekanstan elde ettiği moment değeri sabit tutulmuştur. Çalışmanın hipotez bölümünde belirtildiği gibi dört ayrı frekansta motorun çalışması sağlanmış olup kalkış momentini artıracak şekilde belirtilen çalışmalar yapılmıştır. 50Hz frekans değerinde mevcut bulunan verimlilik analizleri incelenerek IE4 verim sınıfında motor tasarımı gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

[1] E. Gürleyen, "Orta Güçlü Sincap Kafesli Asenkron Motor Tasarım Programı Geliştirilmesi", İstanbul, 2013.

[2] P. Gürdal, "Elektrik Makinalarının Tasarımı", Bursa Orhangazi Üniversitesi Yayınları, 2015.

[3] A. Polat. A. Yılmaz. L. T. Ergene., "Yüksek Hızlı Asenkron Motorların Farklı Rotor Yapıları için Analizi", *EMO Bilimsel Dergi cilt 8,* pp. 13-17, 2018.

[4] S. Kling. J. Rees. M. Kjellberg, "Softstarter Handbook ABB", İstanbul, 2010.

[5] A. H. Obdan, E.Tantekin, "Yüksek Hızlı ve Yüksek Verimli Asenkron Motor Tasarımı", *3.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, İstanbul, 2020.

[6] H. Deveci, "3 Fazlı Kafes Rotorlu Asenkron Makina Tasarımı", Kocaeli, 2016.

[7] Miksan Motor, "Elektrik Motorları Teknik Katalogları", İstanbul.

[8] M. Alacacı, A. Altunsaçlı, "Alternatif Akım Elektrik Makinaları ve Laboratuvarı", 1996.

[9] A. Bodur, "Elektrik Motorları (1) AC Motorlar ve Sürücüleri, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası", EMO Yayın, Ankara, 2010.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: ezgitantekin@hotmail.com

Konferans Bildirileri

1. A. H. Obdan, E.Tantekin, "Yüksek Hızlı ve Yüksek Verimli Asenkron Motor Tasarımı", *3.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, İstanbul, 2020.