

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR FAZLI ASENKRON MOTORLARDA YENİ YOL
VERME MEKANİZMASI YAKLAŞIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özkan DALKILIÇ**

Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2007

**BİR FAZLI ASENKRON MOTORLARDA YENİ YOL
VERME MEKANİZMASI YAKLAŞIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özkan DALKILIÇ
(504001100)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 20006
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2007**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Emin TACER

**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Sait TÜRKOZ (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Deniz YILDIRIM (İ.T.Ü.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Günümüzde geçerliliğini halen yitirmemiş olan, bir fazlı daimi kondansatörlü asenkron motorun verim değerini düşürmeden yol verme momentini artıracak yeni bir anahtar mekanizması yaklaşımının getirilmesi, matematiksel modelin kurulması ve simülasyon çalışmasının gerçekleştirilmesi bu tezin konusu olmuştur.

Bu tez konusunun seçilmesinde bana fikir veren ve çalışmam esnasında yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr.Emin TACER'e en samimi hislerimle teşekkür ederim.

Tez kapsamında, elektronik röle ve bir fazlı asenkron motor prototiplerinin imalatında ve testlerinde her türlü imkânı bana sunan, Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi Ürün Geliştirme Bölümündeki değerli yönetici ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü ayrıca bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi, bu tez çalışmasında da beni yalnız bırakmayan sevgili eşim Ülkü DALKILIÇ'a da sonsuz bağlılığımı sunarım.

ARALIK 2006

ÖZKAN DALKILIÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. BİR FAZLI ASENKRON MOTORLAR	3
2.1. Genel Bilgiler	3
2.2. Bir Fazlı Asenkron Motorlar	4
2.2.1. Bir fazlı asenkron motorların temel yapısı	6
2.2.1.1 Stator	6
2.2.1.2 Rotor	10
3. BİR FAZLI ASENKRON MOTORLARDA YOL VERME (KALKIŞ)	13
3.1. Bir Fazlı Asenkron Motorlarda Hız-Moment Eğrisi	14
3.2. Bir Fazlı Asenkron Motorlar Tipleri ve Klasik Yol Verme Yöntemleri	16
3.2.1. Endüktif yol vermeli asenkron motorlar	17
3.2.2. Yol alma (kalkış)kondansatörlü asenkron motorlar	19
3.2.3. Daimi kondansatörlü asenkron motorlar	22
3.2.4. Yol alma ve daimi kondansatörlü asenkron motorlar	24
3.2.5. Gölge kutuplu asenkron motorlar	26
4. BİR FAZLI ASENKRON MOTORLARDA YENİ YOL VERME YAKLAŞIMI VE SİMÜLASYONU	28
4.1. Merkezkaç Anahtar Sistemi(Mekanizması)	28
4.2. Yeni Yol Verme Yönteminin Amacı ve Gerekliliği	31
4.3. Bir Fazlı Asenkron Motorun Matematiksel Modellemesi	34
4.4. Simülasyon Çalışması	45
4.4.1. Merkezkaç anahtarlı bir fazlı asenkron motor simülasyonu	46
4.4.2. Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyonu	55
4.4.3. Elektronik röleli bir fazlı asenkron motor simülasyonu	66
4.4.4. Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtar kullanımı için simülasyon çalışması	72
5. ELEKTRONİK RÖLE	77
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	84
KAYNAKLAR	91

EK A

93

ÖZGEÇMİŞ

98

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1.	Endüktif yol vermeli motor karakteristik özeti	19
Tablo 3.2.	Yol alma kondansatörlü motor karakteristik özeti	21
Tablo 3.3.	Daimi kondansatörlü motor karakteristik özeti	24
Tablo 3.4.	Yol alma ve daimi kondansatörlü motor karakteristik özeti	26
Tablo 3.5.	Gölge kutuplu bir fazlı asenkron motor karakteristik özeti	28
Tablo 4.1.	Elektronik röleden beklenen fonksiyonlar ve gerçekleştirilme yaklaşımları	34
Tablo 6.1.	Merkezkaç anahtarlı bir fazlı asenkron motor karşılaştırma tablosu	84
Tablo 6.2.	Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor karşılaştırma tablosu	85
Tablo 6.3.	Elektronik röleli bir fazlı asenkron motor karşılaştırma tablosu	85
Tablo 6.4.	Daimi kondansatörlü ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motor performans karşılaştırma tablosu	85
Tablo 6.5.	Daimi kondansatörlü ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun yapısal tasarım karşılaştırma tablosu	86
Tablo 6.6.	Merkezkaçanahtarlı ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun malzeme ve motor ağırlığı karşılaştırması.....	87

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1a : Stator laminasyonlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulan stator paketi.....	7
Şekil 2.1b : Stator paketine sarılan stator sargısı.....	7
Şekil 2.2a : Alüminyum gövde.....	8
Şekil 2.2b : Sargılı stator paketine monte edilmiş gövde ve ayak grubu.....	8
Şekil 2.3 : Bir iletken çevresinde oluşan manyetik alan.....	9
Şekil 2.4 : Bir sürekli mıknatısın meydana getirdiği manyetik alan çizgileri	9
Şekil 2.5 : Statorda oluşan manyetik akı örnekleri.....	10
Şekil 2.6a : Alüminyum enjeksiyonu gerçekleşmiş rotor.....	11
Şekil 2.6b : Mil ve rulman montajı tamamlanmış rotor.....	11
Şekil 2.7 : Motor hareketinin unsurları.....	12
Şekil 2.8 : Sincap kafesli rotorda akım gerilim dağılımları	12
Şekil 3.1 : Alternatif alanın iki döner alan ayrılması.....	14
Şekil 3.2 : Bir fazlı asenkron motorun tipik moment-hız eğrisi.....	15
Şekil 3.3 : Endüktif yol vermeli motor prensip şeması.....	17
Şekil 3.4 : Endüktif yol vermeli motorlarda akım-gerilim fazör diyagramları.....	18
Şekil 3.5 : Endüktif yol vermeli motor moment-hız eğrisi.....	19
Şekil 3.6 : Yol alma kondansatörlü motor devre şeması.....	20
Şekil 3.7 : Yol alma kondansatörlü motorlarda akım-gerilim fazör diyagramı.....	20
Şekil 3.8 : Yol alma kondansatörlü motor moment-hız eğrisi.....	22
Şekil 3.9 : Daimi kondansatörlü motor devre şeması.....	23
Şekil 3.10 : Daimi kondansatörlü motorlarda akım-gerilim fazör diyagramları.....	23
Şekil 3.11 : Daimi kondansatörlü motor moment-hız eğrisi.....	24
Şekil 3.12 : Yol alma ve daimi kondansatörlü motor devre şeması.....	25
Şekil 3.13 : Yol alma ve daimi kondansatörlü motor moment-hız eğrisi.....	26
Şekil 3.14 : Gölge kutuplu motor konstrüksiyonu.....	27
Şekil 3.15 : Gölge kutuplu motor moment-hız eğrisi.....	27
Şekil 4.1 : Merkezkaç anahtar mekanizmasına sahip bir fazlı asenkron motor.....	29
Şekil 4.2 : Merkezkaç anahtar mekanizması.....	30
Şekil 4.3 : Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi tarafından üretilen 0.25-2.2kW bir fazlı asenkron motorların (daimi kondansatörlü) yardımcı sargı gerilimi-hız eğrisi.....	32
Şekil 4.4 : Simetrik olmayan iki fazlı asenkron motor.....	36
Şekil 4.5 : Bir fazlı asenkron motor için de kullanılabilecek simetrik olmayan iki fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi.....	40

Şekil 4.6	: Merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motora ait stator gövde grubu ve kondansatörü.....	47
Şekil 4.7	: Merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motora ait rotor mil grubu ve merkezkaç anahtar mekanizması.....	48
Şekil 4.8	: SPEED programında ana ve yardımcı sargı tanımlama.....	48
Şekil 4.9	: SPEED programında laminasyon tanımlama ve sonuç çıktıları...	49
Şekil 4.10	: Matematiksel modelin MATLAB simülasyon programına aktarılması ile elde edilen ana blok şema.....	50
Şekil 4.11	: q eksen denkleminin takımına ilişkin blok şema	50
Şekil 4.12	: d eksen denkleminin takımına ilişkin blok şema	51
Şekil 4.13	: Rotor denkleminin takımına ilişkin blok şema	51
Şekil 4.14	: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (moment-açısal hız eğrisi).....	52
Şekil 4.15	: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (açısal hız-zaman eğrisi).....	52
Şekil 4.16	: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (yardımcı sargı-açısal hız eğrisi).....	53
Şekil 4.17	: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (ana sargı akımı-açısal hız eğrisi).....	53
Şekil 4.18	: 5KC97A100 motora ilişkin deney sonuçları (moment-hız eğrisi)	54
Şekil 4.19	: 5KC97A100 motora ilişkin deney sonuçları (yardımcı sargı akımı, gerilimi-hız eğrisi).....	54
Şekil 4.20	: 5KC97A100 motora ilişkin deney sonuçları (ana sargı akımı-hız eğrisi).....	55
Şekil 4.21	: QM80M2B Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor	56
Şekil 4.22	: SPEED programında QM80M2B motorun ana ve yardımcı sargısının tanımlanması.....	56
Şekil 4.23	: SPEED programında QM80M2B motorun laminasyon tanımlama ve sonuç çıktıları.....	57
Şekil 4.24	: FLUX 2D programında QM80M2B motor geometrisinin oluşturulması ve mesh analizinin gerçekleştirilmesi.....	57
Şekil 4.25	: FLUX 2D programında motora bağlanacak olan daimi kondansatörlü devre.....	58
Şekil 4.26	: QM80M2B motora ait, FLUX 2D manyetik ve akı yoğunluğu analiz sonuçları.....	58
Şekil 4.27	: Eşdeğer devre hesabında kullanılan eşdeğer devre	59
Şekil 4.28	: Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (moment-açısal hız eğrisi)	62
Şekil 4.29	: Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (açısal hız-zaman eğrisi)	62
Şekil 4.30	: Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (yardımcı sargı gerilimi-açısal hız eğrisi).....	63
Şekil 4.31	: Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (ana sargı akımı-açısal hız eğrisi).....	63
Şekil 4.32	: Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorda simülasyon sonuçları (yardımcı sargı gerilimi ile rotor hızı arasındaki ilişki).	64
Şekil 4.33	: QM80M2B motora ait deney sonuçları (moment-hız eğrisi)	64
Şekil 4.34	: QM80M2B motora ait deney sonuçları (yardımcı sargı gerilimi-hız eğrisi)	65
Şekil 4.35	: QM80M2B motora ait deney sonuçları (ana sargı akımı-hız	

eğrisi)	65
Şekil 4.36 : QM80M2B motora ait deney sonuçları (verim-hız eğrisi)	66
Şekil 4.37 : QR80M2B Elektronik röleli bir fazlı asenkron motor.....	67
Şekil 4.38 : Elektronik Röleli (çift kondansatörlü) bir fazlı asenkron motorun Flux-2D programındaki simülasyon çalışması için kullanılan devre modeli.....	68
Şekil 4.39 : Elektronik Röleli (Yol verme ve daimi kondansatörlü) bir fazlı asenkron motor simülasyonu için gerçekleştirilmiş mikro-işlemci simülasyonu.....	69
Şekil 4.40 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (Moment-Açısal hız eğrisi).....	69
Şekil 4.41 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (Yardımcı sargı gerilimi-Açısal hız eğrisi).....	70
Şekil 4.42 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (Ana sargı akımı-Açısal hız eğrisi).....	70
Şekil 4.43 : QR80M2B motora ait deney sonuçları(moment-hız eğrisi).....	71
Şekil 4.44 : QR80M2B motora ait deney sonuçları(yardımcı sargı gerilimi-hız eğrisi).....	71
Şekil 4.45 : QR80M2B motora ait deney sonuçları(ana sargı -hız eğrisi).....	72
Şekil 4.46 : QR80M2B motora ait deney sonuçları(verim -hız eğrisi).....	72
Şekil 4.47 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtarı kullanımında simülasyon sonuçları (moment-açısal hız eğrisi).....	73
Şekil 4.48 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtarı kullanımında simülasyon sonuçları (Açısal hız-Zaman eğrisi).....	74
Şekil 4.49 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtarı kullanımında simülasyon sonuçları (Yardımcı sargı gerilimi-Açısal hız eğrisi).....	74
Şekil 4.50 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanımı için mile monte edilen anahtar grubu.	75
Şekil 4.51 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda merkezkaç anahtar mekanizmalı deney çalışmalarında kullanılan stator gövdegrubu	75
Şekil 4.52 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtarı kullanımı durumunda deney sonuçları (moment-açısal hız eğrisi).....	76
Şekil 4.53 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtarı kullanımı durumunda deney sonuçları (Yardımcı sargı gerilimi-açısal hız eğrisi).....	76
Şekil 5.1 : Elektronik rölenin devre şeması.....	78
Şekil 5.2 : Elektronik röle terminal bağlantı şeması.....	80
Şekil 5.3 : Elektronik röle prototip resimleri.....	82
Şekil 6.1 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun farklı kaynak gerilimindeki, kondansatörü devre dışı bırakma anındaki yardımcı sargı gerilimi-hız eğrisi).....	88

SEMBOL LİSTESİ

v_{ds}	: d eksenli stator gerilimleri
v_{qs}	: q eksenli stator gerilimleri
v_{dr}	: d eksenli rotor gerilimleri
v_{qr}	: q eksenli rotor gerilimleri
i_{ds}	: d eksenli stator akımları
i_{qs}	: q eksenli stator akımları
i_{dr}	: d eksenli rotor akımları
i_{qr}	: q eksenli rotor akımları
r_{ds}	: d eksenli stator dirençleri
r_{qs}	: q eksenli stator dirençleri
r_{dr}	: d eksenli rotor dirençleri
r_{qr}	: q eksenli rotor dirençleri
λ_{ds}	: d eksenli stator halkalama akıları
λ_{qs}	: q eksenli stator halkalama akıları
λ_{dr}	: d eksenli rotor halkalama akıları
λ_{qr}	: q eksenli rotor halkalama akıları
L_{lds}	: d eksenli stator kaçak reaktansı
L_{lqs}	: q eksenli stator kaçak reaktansı
L_{ldr}	: d eksenli rotor kaçak reaktansı
L_{lqr}	: q eksenli rotor kaçak reaktansı

BİR FAZLI ASENKRON MOTORLARDA YENİ YOL VERME MEKANİZMASI YAKLAŞIMI

ÖZET

Günümüz yarı iletken ve malzeme teknolojisindeki hızlı gelişme ile birlikte sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları, anahtarlama relüktans motorları gibi güç elektroniği ile sürülen motor tipleri sanayide kendilerine yer bulmaya devam etmektedirler. Ancak üretimindeki kolaylık, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması asenkron motorların hala en çok tercih edilen motorlardan olmasını sağlamaktadır.

Bir fazlı asenkron motorların yapısı gereğince, yol alma esnasında ana sargıya ilave olarak kullanılması gereken yardımcı sargı ve/veya kondansatörlerin, motorun nominal hızına ulaştığı noktalarda devreden çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla yardımcı sargı ve/veya kondansatöre seri bağlı bir anahtar kullanılmaktadır. Daimi kondansatörlü motorun verim değerini düşürmeden yol verme momentini artıracak yeni bir anahtar mekanizması yaklaşımının getirilmesi, matematiksel modelin kurulması ve simülasyon çalışmasının gerçekleştirilmesi bu tezin konusu olmuştur.

Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda yol alma momenti nominal momentin 50%-70% mertebesinde dir. Yol alma momentinin nominal momente eşit veya daha büyük olması gereken uygulamalarda yol alma ve daimi kondansatörlü motorlar kullanılmaktadır. Bu motorlarda yüksek momentli yol alma için, daimi kondansatörlü motorlara ilave olarak yol alma kondansatörü ve bu kondansatörü devre dışı bırakan bir anahtar grubu kullanılmaktadır.

Şayet yol alma kondansatörü devre dışı bırakılmaz ise yardımcı sargı gerilimi, akımı ve kondansatör gerilimi yükseleceğinden motorun kayıpları artar. Bu kayıplar yardımcı sargının aşırı ısınmasına hatta yanmasına sebebiyet verir.

Günümüzde, bir fazlı asenkron motorlarda anahtar mekanizması olarak genellikle merkezkaç mekanizma grubu veya elektromekanik röleler kullanılmaktadır. Ancak merkezkaç mekanizma grubunda mekanik hareketli parçaların olması ömrünü sınırlandırmakta ve arıza yapma olasılığını arttırmaktadır. Çevresel etkilerde (toz, kimyasal etkiler v.b.) karşı hassas olan merkezkaç anahtar grubunun motora monte edilebilmesi içinde motor hacminin büyük tutulması gerekmektedir. Ayrıca, merkezkaç anahtar grubu, sadece belirli bir hızda işlevini yerine getirdiğinden dolayı, besleme gerilimindeki değişimlere karşı cevap verme yeteneği de bulunmamaktadır. Bahsedilen mekaniksel ve elektriksel kısıtlamaları ortadan kaldıracabilecek yeni bir elektronik kontrollü anahtar bu tezde ortaya koyulmuştur. Tez kapsamında bu yeni yaklaşım için “elektronik röle” tanımlaması kullanılacaktır.

Tezin ikinci bölümünde elektrik motorları hakkında genel bilgi ve bir fazlı asenkron motorların temel yapısı ve çalışma ilkesi verilmiştir. Üçüncü bölümde bir fazlı asenkron motorda moment-hız karakteristiği, yol verme durumları ve bir fazlı asenkron motor tipleri matematiksel modellemenin daha sağlıklı elde edilmesi ve anlaşılması için verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde, bir fazlı asenkron motorlarda günümüzde yoğun olarak kullanılan merkezkaç anahtarı ve bu anahtar yerine kullanılabilecek yeni yaklaşım ortaya koyulmuştur. Merkezkaç anahtarlı bir fazlı asenkron motor, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor ve yeni yaklaşıma sahip bir fazlı asenkron motor simülasyonları da bu bölümde yer almıştır. Son bölümde, yapılan simülasyon çalışmalarının değerlendirilmesi ve sonuç bölümü yer almaktadır. Yeni yaklaşıma ilişkin temel bilgiler, tezin altıncı bölümünde sunulmuştur. MATLAB simülasyon programına ait blok şema ve kodlar Ek A bölümünde verilmiştir.

Tez sonunda bir adet elektronik röleli bir fazlı asenkron prototipi elde edilmiştir.

A NEW APPROACH FOR THE STARTING MECHANISM OF SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR

SUMMARY

The growth in the cost of energy and the cost reduction of power electronic switches has directed the researches to the electric motors controlled by power electronic drivers. For example, permanent magnet brushless dc motors, switched reluctance motors. But, there are probably more ac induction motors in use today than the total of all the other types put together. Single phase induction motors are widely used in industry as well as households. The refrigerator, washing machine, clothes drier and the air conditioner are typical applications. Ac induction motors are very popular because of combination of its relatively low cost, robust construction, compact size, reliability and minimal servicing and maintenance requirement.

The single phase motor is not self-starting. As the name suggests, the single phase induction motors have only one stator winding (main winding) and operates with a single phase power supply. When the motor is connected to a single phase power supply the main winding carries an alternating current. This current produces a pulsating magnetic field. Due to induction, the rotor is energized. As the main magnetic field is pulsating, the torque necessary for the motor rotation is not generated. This will cause the rotor to vibrate, but not to rotate. Hence, the single phase induction motor is required to have a starting mechanism that can provide the starting kick for the motor to rotate. The starting mechanism of the single-phase induction motor is mainly an additional stator winding (start/auxiliary winding). The start winding can have a series capacitor and/or a centrifugal switch. When the supply voltage is applied, current in the main winding lags the supply voltage due to the main winding impedance. At the same time, current in the start winding leads/lags the supply voltage depending on the starting mechanism impedance. Interaction between magnetic fields generated by the main winding and the starting mechanism generates a resultant magnetic field rotating in one direction. The motor starts rotating in the direction of the resultant magnetic field. Once the motor reaches

about 75% of its rated speed, a centrifugal switch disconnects the start winding. From this point on, the single-phase motor can maintain sufficient torque to operate on its own.

This centrifugal switch is a mechanical switch, which sparks and makes noise when it switches. In order to avoid using the centrifugal switch, many different methods have been proposed. A new approach for the starting mechanism of single phase induction motor will be established in the whole investigation of this thesis. This new approach will be defines as “electronic relay” in this thesis.

In the second chapter the operational principle of the single phase induction motor will be explained. The torque-speed characteristics of the several single phase induction motors will be given in the third chapter to understanding each motor type and its operating characteristics. The centrifugal switch and the new approach “electronic relay” will be explained in the fourth chapter. In the fifth chapter, the equations which describe the dynamic performance of single phase induction motors are given with the help of unsymmetrical two-phase induction machine phenomena. With this numerical model a simulation will be done with MATLAB-SIMULINK. Also, the simulation results and the test results of the capacitor-start motor with centrifugal switch, capacitor-run motor and capacitor start-capacitor-run motor with electronic relay will be given. In the sixth chapter the operational principle of the electronic relay will be explained. The simulation code of the MATLAB will be given as an attachment in EK A.

A prototype single phase induction motor and electronic relay are produced at the end of this thesis.

1.GİRİŞ

Günümüz yarı iletken ve malzeme teknolojisindeki hızlı gelişme ile birlikte sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları, anahtarlama relüktans motorları gibi güç elektroniği ile sürülen motor tipleri sanayide kendilerine yer bulmaya devam etmektedirler. Ancak üretimindeki kolaylık, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması asenkron motorların hala en çok tercih edilen motorlardan olmasını sağlamaktadır.

Bir fazlı asenkron motorların yapısı gereğince, yol alma esnasında ana sargıya ilave olarak kullanılması gereken yardımcı sargı ve/veya kondansatörlerin, motorun nominal hızına ulaştığı noktalarda devreden çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla yardımcı sargı ve/veya kondansatöre seri bağlı bir anahtar kullanılmaktadır. Ev cihazlarında (çamaşır makinesi, buzdolabı), pompa uygulamalarında, fan uygulamalarında ve kompresör uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir fazlı asenkron motorlarda, daimi kondansatörlü motorun verim değerini düşürmeden yol verme momentini artıracak yeni bir anahtar mekanizması yaklaşımının getirilmesi, matematiksel modelin kurulması ve simülasyon çalışmasının gerçekleştirilmesi bu tezin konusu olmuştur.

Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda yol alma momenti nominal momentin 50%-70% mertebesinde dir. Yol alma momentinin nominal momente eşit veya daha büyük olması gereken uygulamalarda yol alma ve daimi kondansatörlü motorlar kullanılmaktadır. Bu motorlarda yüksek momentli yol alma için, daimi kondansatörlü motorlara ilave olarak yol alma kondansatörü ve bu kondansatörü devre dışı bırakan bir anahtar grubu kullanılmaktadır

Şayet yol alma kondansatörü devre dışı bırakılmaz ise yardımcı sargı gerilimi, akımı ve kondansatör gerilimi yükseleceğinden motorun kayıpları artar. Bu kayıplar yardımcı sargının aşırı ısınmasına hatta yanmasına sebebiyet verir.

Günümüzde, bir fazlı asenkron motorlarda anahtar mekanizması olarak genellikle merkezkaç mekanizma grubu veya elektromekanik röleler kullanılmaktadır. Merkezkaç anahtar mekanizmasına ilişkin detay bilgiler Bölüm 4.1’de ve günümüzde kullanılan yol verme mekanizmalarıda Bölüm 5’de sunulmuştur. Merkezkaç mekanizma grubunda mekanik hareketli parçaların olması ömrünü sınırlandırmakta ve arıza yapma olasılığını arttırmaktadır. Çevresel etkilerde (toz, kimyasal etkiler v.b.) karşı hassas olan merkezkaç anahtar grubunun motora monte edilebilmesi içinde motor hacminin büyük tutulması gerekmektedir. Ayrıca, merkezkaç anahtar grubu, sadece belirli bir hızda işlevini yerine getirdiğinden dolayı, besleme gerilimindeki değişimlere karşı cevap verme yeteneği de bulunmamaktadır. Bahsedilen mekaniksel ve elektriksel kısıtlamaları ortadan kaldıracabilecek yeni bir elektronik kontrollü anahtar bu tezde ortaya koyulmuştur. Tez kapsamında bu yeni yaklaşım için “elektronik röle” tanımlaması kullanılacaktır.

Tezin ikinci bölümünde elektrik motorları hakkında genel bilgi ve bir fazlı asenkron motorların temel yapısı ve çalışma ilkesi verilmiştir. Üçüncü bölümde bir fazlı asenkron motorda moment-hız karakteristiği, yol verme durumları ve bir fazlı asenkron motor tipleri matematiksel modellemenin daha sağlıklı elde edilmesi ve anlaşılması için verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde, bir fazlı asenkron motorlarda günümüzde yoğun olarak kullanılan merkezkaç anahtarı ve bu anahtar yerine kullanılabilecek yeni yaklaşım ortaya koyulmuştur. Merkezkaç anahtarlı bir fazlı asenkron motor, daimi kondasatörlü bir fazlı asenkron motor ve yeni yaklaşıma sahip bir fazlı asenkron motor simülasyonları da bu bölümde yer almıştır. Son bölümde, yapılan simülasyon çalışmalarının değerlendirilmesi ve sonuç bölümü yer almaktadır. Yeni yaklaşıma ilişkin temel bilgiler, Bölüm 6’da sunulmuştur. MATLAB simülasyon programına ait blok şema ve kodlar Ek A bölümünde verilmiştir.

2. BİR FAZLI ASENKRON MOTORLAR

2.1 .GENEL BİLGİLER

Elektrik motorlarını, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinalar olarak tanımlanır.

Elektrik motorları en genel halde, alternatif akım ve doğru akım motorları olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Alternatif akım motorları sınıfına giren asenkron motorlar, günümüz endüstrisinde hala en çok kullanılan motor özelliğini korumaktadır. 1990 yıllarında bu kullanım oranı %90 olarak ifade edilmiş olsa da, günümüz güç elektroniği teknolojisine paralel olarak gelişmekte olan sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları ve anahtarlama relüktans motorları uygulamada yerlerini almaya devam etmektedirler [11-16].

Asenkron motorların yaygın olarak kullanılmasının en temel nedenleri olarak; Kolay üretilmesi diğer bir deyişle üretim teknolojisinin gelişmiş ve yerleşmiş olması, Basit ve dayanıklı bir yapıya sahip olması dolayısıyla az arıza yapması ve az bakım gerektirmesi, işletme maliyetinin bu nedenlerden ötürü düşük olması, gösterilebilir.

Çalışma prensibi ileri bölümlerde açıklanacak olan asenkron motorun, sanayi de kullanılabilir durumuna gelmesi 1890 yıllara rastlamaktadır. Tabii ki, 1825 yılında ortaya koyulan Amper Kanunu ve 1831 yılındaki Faraday Kanunları, asenkron motorun çalışma prensibini oluşturan döner alan prensibinin alt yapısını oluşturmuştur.

2.2. BİR FAZLI ASENKRON MOTORLAR

En genel anlamda, asenkron motorları, stator faz sargısı sayısına göre iki sınıfta toplanmaktadır;

- Bir Fazlı Asenkron Motorlar
- Üç Fazlı Asenkron Motorlar

Günümüzde en çok kullanılan elektrik motorları arasında asenkron motorlar yer almaktadır. Bunun en önemli nedenleri ise; ucuz ve basit konstrüksiyona sahip olmalarının yanı sıra çok az bakım gerektirmeleri nedeniyle işletme maliyetlerinin düşük olmasıdır. Diğer bir deyişle, bakım gerektirecek bileşenlere (fırça, kolektör v.b.) sahip olmamalarıdır. Asenkron motor üretim teknolojisinin de artık çok iyi bilenen ve hızlı bir yapıya sahip olması da bir diğer etken olarak gösterilebilir.

Bir fazlı asenkron motorlar endüstride, bürolarda ve evlerde çok yaygın olarak kullanılmaktadır; çeşitli türden otomatik kontrol sistemlerinde soğutma, havalandırma aletlerinde, çamaşır makinelerinde, buzdolaplarında, marangoz atölyelerinde, kurutma makinelerinde, oyuncaklarda, müzik aletlerinde, pompalarda v.b. özellikle kullanılırlar. Bu kadar değişik uygulama alanlarında kullanılışı, bir fazlı asenkron motorların çok küçük güçlerden, örneğin 1/500 BG den 1 BG'e kadar imal olunmalarını zorunlu kılar. Bir fazlı asenkron motorlar yapılış bakımından oldukça sade olmalarına rağmen, teorik olarak incelenmeleri oldukça güçtür. Bir fazlı asenkron motorların sınıflandırılması genellikle yol alma ve çalışma özelliklerine göre yapılır. Motorların seçimi, gereken yol alma ve çalışma momentine, çalışma süreleri ve stator sargılarının alacağı akıma göre yapılır.

Bir fazlı asenkron motorun statorunda bir fazlı sargı ve rotorunda ise sincap kafes biçiminde kısa devre sargısı bulunmaktadır. Stator sargısı bir fazlı alternatif gerilim kaynağına bağlandığında, makinenin içinde bir alternatif alan meydana gelir. Alternatif alan aynı eksen üzerinde zamanla sinüzoidal olarak değişir. Rotorun sincap kafesli sargısı, zaman ile değişen bir alan içinde durduğundan, bu sargılarda tranformatörlerde olduğu gibi, bir gerilim endüklenir. Kendi üzerinde kısa devre olan rotor sargılarından, endüklenen gerilim nedeni ile, o yönde bir akım akar ki, rotorun meydana getirdiği alan stator alan yönüne ters olsun (Lenz Kuralı). Böylelikle, stator

ve rotor alanları aynı doğrultuda ve eksenleri birbirine ters gelen iki alternatif alandır. Bu iki alanın eksenleri arasındaki açı sıfır ya da π olduğundan, bir fazlı asenkron motor bir moment üretemez; iki alan eksenleri arasında sıfırdan farklı bir açı bulunursa, bu iki alan bir moment üretebilir. Yukarıdaki sade açıklamalardan, statorunda sadece bir sargı bulunan bir fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun rotoru dururken bir moment üretemeyeceği gösterilmiş oldu.

Statorun alternatif alanı içinde duran rotor dışarıdan bir tahrik makinesi yardımı ile belirli bir yönde ω açısal hızı ile döndürülsün. Rotor oluklarına yerleştirilen, çubuklarda, yukarıda açıklanan transformatör geriliminden başka hareket (hız gerilimi) endüklenir; bu gerilimde bir magnetik alan üretir. Rotor dışarıdan döndürüldüğü sürece, rotorun B alanı var olacaktır. Bir fazlı asenkron makine içinde artık eksenleri birbirine dik olan iki $\vec{B}_s$ ve $\vec{B}_r$ alanı vardır. Rotorda endüklenen gerilim, $e = \vec{B}_s \cdot \left(\vec{l} \times \vec{v} \right)$ bağıntısından, B_s ile ya da stator akımları ile aynı fazdadır. Öte yandan rotor gerilimi ile akımı arasındaki faz farkı da 90° ye yakındır. Böylece rotor alanı, rotor gerilimi ve bununla aynı fazda olan stator B_s alanına göre zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olur. Sonuç olarak, bir fazlı asenkron motorda, stator sargısına bir fazlı gerilim uygulanmış olduğu halde dışarıdan döndürüldüğüne, makine içerisinde eksenleri birbirine dik olan e zaman içinde aralarında yaklaşık 90° faz farkı bulunan iki alan meydana gelir. Bu iki alan, bir döner alan meydana getirir. Döner alan etkisinde, dışarıdan tahrik olmasa bile motor başlangıçta döndürüldüğü yönde dönmeye devam eder.

Yukarıdaki açıklamada, rotorun dışarıdan döndürüldüğü var sayılmıştı. Oysa modern bir fazlı asenkron motorların bir fazlı kaynağa bağlandığında, dışarıdan döndürülmeksizin kendi başına yol alması ve dönmesi istenir. Bu amaçla ana sargıya ilave olarak yardımcı sargı veya yol verme sargısı yerleştirilir. Yardımcı sargı, motorun içinde, bir fazlı ana sargının meydana getirdiği alan dik ve zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olan bir alan meydana getirir. Öylelikle, motor içinde eksenleri birbirine dik ve zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olan iki alan meydana gelir ve sonuç olarak bir döner alan üretilmiş olur. Bu döner alan etkisinde asenkron motor döner [9].

Bir fazlı asenkron motorun temel çalışma prensibinin verildiği yukarıdaki ayrıtlarda vurgulanan yardımcı sargıya seri bağlanacak olan kondansatör ile, yardımcı sargı akımının fazı, ana sargı akımına göre kaydırılabilir. Bu kondansatör değerinin seçimine bağlı olarak faz farkını 90^0 yapma olanağı vardır. Bir fazlı asenkron motorun yol alma momenti ve yol alma akımı da kondansatör değerine bağlı olarak değişim gösterecektir. Özellikle yüksek yol alma momenti gerektiren uygulamalarda ilave bir yol alma kondansatörünün kullanıldığı bir fazlı asenkron motorların kullanımı hızla artmaktadır. Motor, senkron hızının belirli bir oranına ulaştığında bu kondansatörlerin veya yardımcı sargının bir anahtar mekanizması ile devre dışı bırakılması gerekmektedir. Günümüzde kullanılan anahtar mekanizmaları ve yeni yaklaşım tezin 3. ve 4.bölümlerinde sunulmuştur. Tezin bu ayrıtında bir fazlı asenkron motorun temel yapısı sunulacaktır.

2.2.1. Bir Fazlı Asenkron Motorların Temel Yapısı:

Bir fazlı asenkron motor en temel halde iki ana parçadan oluşmaktadır; stator ve rotor. Daha sonraki ayrıtlarda da inceleneceği gibi, bir fazlı asenkron motorların diğer bir önemli parçası ise yol verme (kalkış) mekanizmalarıdır. Ancak, tezin bu ayrıtında stator ve rotor ele alınacaktır. Bu bölümde ayrıca, bir fazlı asenkron motorda enerji dönüşümünü sağlayan temel elektromanyetik prensipleri biraz daha yakından incelemek amacıyla stator ve rotor için temel elektromanyetik prensiplerde ayrı ayrı incelenecektir.

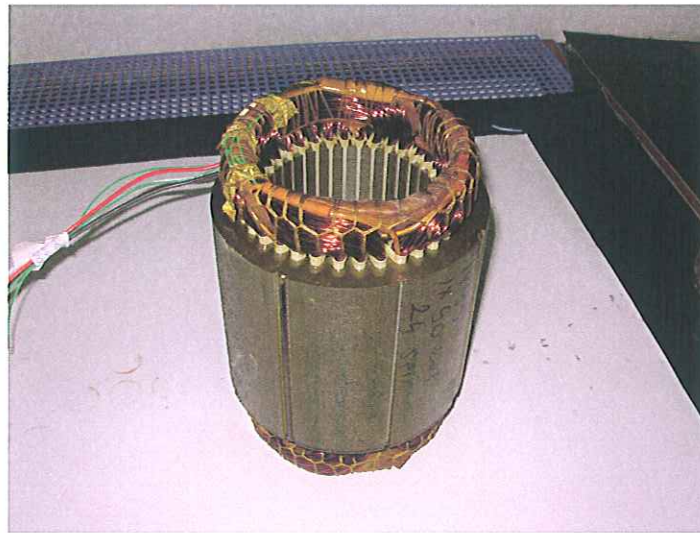
2.2.1.1. Stator

Stator, paketlenmiş laminasyonlardan ve bu laminasyon üzerindeki oluklara sarılmış sargı bobinlerinden ve gövdeden oluşmaktadır. Stator sac paketleri, stator sargılarını fiziksel anlamda taşıyan onları fiziksel olarak koruyan ve en önemlisi manyetik akıyı taşıyan diğer bir deyişle manyetik akıya yol gösteren yapılardır. Stator sac paketi, günümüzde 0.5 mm kalınlığındaki sacların laminasyon kalıplarında olukların açılması ile oluşturulan sacların paketlenmesi ile oluşmaktadır. Günümüzde paketleme işlemi için laminasyonlara açılmış uygun formlara kaynak, kama veya pim yerleştirme yoluyla yapılmaktadır. Şekil 2.1’de stator paket ve sargılı stator paket resimleri verilmiştir. Stator iç çapı ve rotor dış çap ölçüleri ise, tasarlanan hava aralığı değerine uygun olarak talaşlı imalat makineleri (CNC, torna makineleri v.b.) ile nihai değerlerine ulaşılır. Stator gövdesi ise, stator sac paketini taşıyan, stator

sargı ve sac paketindeki ısıyı dış ortama yayılmasını ve soğutmayı sağlayan kısımdır. Aynı zamanda, rotorun yataklanması ve motorun uygulama sahasında sabitlenmesi amacını da yerine getirme görevini de üstlenir. Günümüzde özellikle küçük güçlü motorlarda alüminyum enjeksiyon yöntemiyle elde edilen alüminyum gövdeler kullanılır iken, büyük güçlü motorlar da ise pik döküm gövdeler kullanılmaktadır. Soğutma şekillerine göre gövde tasarımları farklılık arz etmektedir. Şekil 2.2’de alüminyum gövde ve gövde montajı yapılmış sargılı stator paketi sunulmuştur.



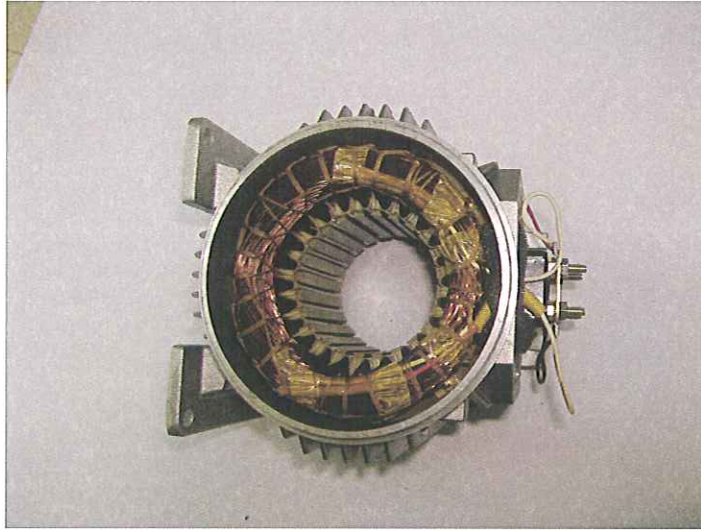
Şekil 2.1a : Stator laminasyonlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulan stator paketi



Şekil 2.1b : Stator paketine sarılan stator sargısı



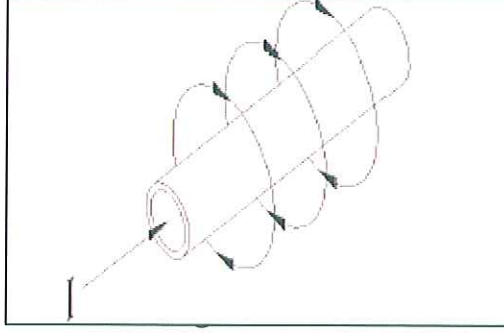
Şekil 2.2a : Alüminyum gövde



Şekil 2.2b : Sargılı stator paketine monte edilmiş gövde ve ayak grubu

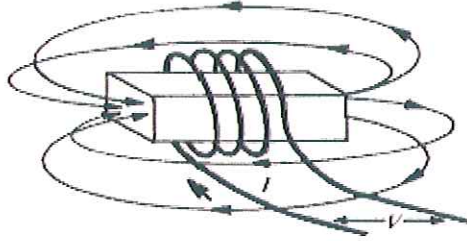
Günümüzde yaygın olarak kullanılan fan soğutmalı motorlarda, soğutma yüzeyini arttırmaya yönelik olarak, gövde üzerinde soğutma kanalları vardır [8,9,11].

Statorda gerçekleşen manyetik alan prensipleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir. Şekil 2.3’de gösterildiği gibi, bir iletkenin geçen akımı, iletken çevresinde bir manyetik alan meydana getirir [3,-5,16].



Şekil 2.3 : Bir iletken çevresinde oluşan manyetik alan

Eğer iletken bobin formu verilir ise, oluşturulacak olan manyetik alan, Şekil 2.4’de verilen bir sürekli mıknatıs barasının oluşturduğu alanla benzerlik gösterecektir.

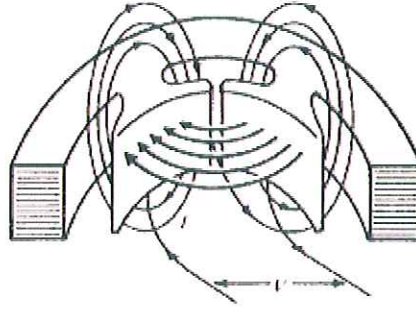


Şekil 2.4 : Bir sürekli mıknatısın meydana getirdiği manyetik alan çizgileri

Eğer bir manyetik malzeme örneğin, çelik veya demir, bu bobin içerisine yerleştirilecek olur ise manyetik alan kuvvetlendirilmiş olacaktır. Zira, bu manyetik malzemeler, manyetik akının geçişine havadan daha çok müsaade edecektir. Bu müsaade edebilme yeteneği teknik literatürde de manyetik geçirgenlik olarak verilmiştir ve μ ile temsil edilmiştir. Bu değer rölatif olarak hava için yaklaşık 1 alınır iken demir için yaklaşık 7000 alınabilir [8].

Şekil 2.5’de statorun küçük bir bölümü gösterilmiştir. Bobinlerin oluk içerisine yerleştirilmesi daha önce bahsedilen bobin içerisine manyetik malzeme yerleştirme prensibinin bir sonucudur.

Bobinlerden geçen akımın yönünün değiştirilmesi, manyetik polariteyi, dolayısıyla oluşacak olan N ve S kutuplarını değiştirecektir. Bu manyetik kutup sayısı ve statora uygulanan gerilimin frekansı motorun hızını belirleyen parametreler olarak karşımıza çıkacaktır [1,7,14].



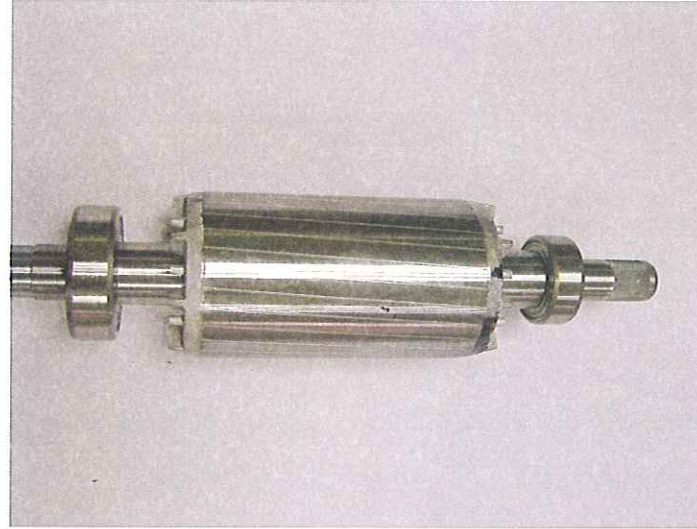
Şekil 2.5 : Statorda oluşturulan manyetik akı örnekleri

2.2.1.2. Rotor

Asenkron motorun dönen kısmını oluşturan rotor, paketlenmiş laminasyonlardan ve bu laminasyon üzerindeki oluklara yerleştirilmiş iletkenlerden oluşur. Rotor merkezden bir mile bağlanmıştır. Motor tarafından üretilen moment bu mil vasıtasıyla tahrik edilecek sisteme aktarılır. Rotor laminasyon üretim şekli stator laminasyonu ile benzerlik göstermektedir. Rotor iletkenlerini oluşturan alüminyum çubuklar ve/veya baralar ise, oluklara yüksek sıcaklık ve basınç altında enjeksiyon yoluyla üretilirler. Bahsi geçen sıcaklık değeri alüminyumun da ergime sıcaklığı olan 600-700⁰C mertebesinde olup basınç değeri de üretim metodu ve motor tipine göre farklılık göstermekle birlikte 300-1500 ton mertebesinde dir. Bir fazlı asenkron motorlarda büyük çoğunlukla sincap kafesli rotor tipi kullanılmaktadır. Bu nedenle sadece bu tip rotorlar üzerinde durulacaktır. Rotorun diğer önemli özelliği ise oluklara yerleştirilmiş olan iletkenlerin, rotorun her iki yanından kısa devre halkaları ile kısa devre edilmesidir. Bu sayede rotor iletkenleri bir kapalı devre oluşturarak, stator sargılarının oluşturduğu manyetik alan neticesinde indüklemiş oldukları gerilim ile kendi üzerlerinden bir akım akmasını sağlayacaklardır. Aşağıda verilen şekillerde de görüleceği gibi sincap kafesi tanımı rotor iletkenleri ve uç halkasının bir araya getirmiş olduğu görüntü nedeniyledir. Asenkron motorların rotorlarını, bir manyetik alan içerisine bırakılan ve bu manyetik alan nedeniyle indükleme yoluyla üzerinden akım geçirerek kendi manyetik alanını yaratan ve bu alanı meydana gelmesine neden olan alanla etkileşerek moment üreten, bir iletkenler topluluğu olarak düşünebiliriz [11,13]. Şekil 2.6 da rotor örnekleri sunulmuştur.

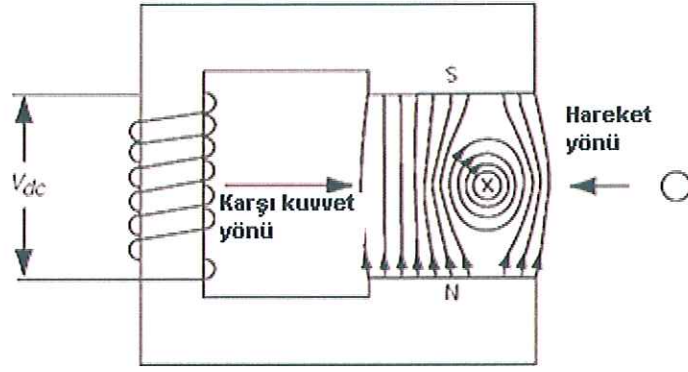


Şekil 2.6a : Alüminyum enjeksiyonu gerçekleştirilmiş rotor



Şekil 2.6b : Mil ve rulman montajı tamamlanmış rotor

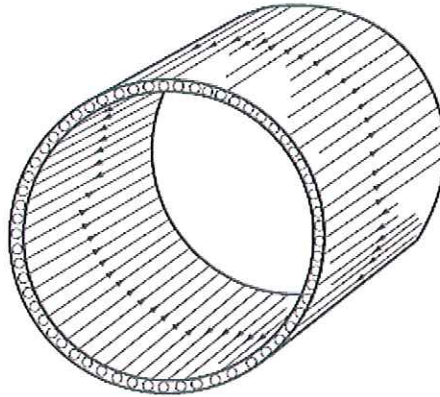
Rotorda gerçekleşen manyetik alan prensipleri şu şekilde açıklanabilir. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi, eğer bir iletken U tipi bir mıknatısın yüzeyleri arasında hareket ettirilir ise, iletken üzerinde bir gerilim indüklenir ve eğer iletken devresini tamamlamış bir devre içerisinde ise üzerinden bir akım akacaktır. Gerilim ve akımı ortaya çıkaran bu hareket iletkenin manyetik akı çizgilerini kesmesi sonucu ortaya çıkmıştır. İletkenden akan akım, Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5’de verilen manyetik alanların oluşmasını sağlayacaktır. Bu iki alanın birbirleriyle etkileşimi neticesinde iletkenler arasında oluşacak olan manyetik kuvvet, moment üretiminin temelini oluşturur.



Şekil 2.7 : Motor hareketinin unsurları

Şekilde verilen tekli iletken, asenkron motorda rotor sargısı olarak düşünülmelidir. Gerçekte, rotor sargısı, birden fazla alüminyum iletkenler veya baralardan oluşmuş, her iki yüzeylerinden de yine alüminyum ile kısa devre edilmiş bir yapıdadırlar.

Rotorun dönmekte olduğu durumda, rotor baraları stator sargıları tarafından oluşturulmuş olan manyetik alan çizgilerini keserek (diğer bir deyişle, stator manyetik alan çizgileri rotor baralarını halkalayarak), her bir barada gerilim ve akımlar indükler. Baralardaki gerilim ve akımın genliği, o anda geçmekte olduğu stator manyetik akı yoğunluğuna bağlıdır. Çünkü stator manyetik alanının şiddeti de-kuvveti de, kendi etrafında değişmektedir. Her bir kutupta en kuvvetli olduğu değerdir. Dolayısıyla, rotor baralarında indüklenen gerilim ve akımlar da rotor boyunca değişecektir. Şekil 2.8’de genlik ve yönleri gösterilmiş tipik bir rotor örneği verilmiştir [5,12,13].



Şekil 2.8 : Sincap kafesli rotorda akım-gerilim dağılımları

Kendi manyetik alanını oluşturan her bir bara, stator akılarıyla etkileşerek U mıknatıs örneğinde verdiğimiz şekilde, her bir barada kuvvetler oluşur. Tüm rotor baralarındaki kuvvetlerin toplamı, motorun çıkış momentini verecektir.

3. BİR FAZLI ASENKRON MOTORLARDA YOL VERME (KALKIŞ)

En genel anlamda, rotorun dönebilmesi için stator tarafından bir döner alanın oluşturulması gerekmektedir. Statordaki tek bir sargıya (ana sargı) uygulanan bir fazlı bir alternatif gerilim kaynağı ile bu mümkün değildir. Alternatif gerilimle birlikte genliği zamanla değişen bir alan oluşur fakat bu bir döner alan değildir, bu bir alternatif alandır. Bu alanı

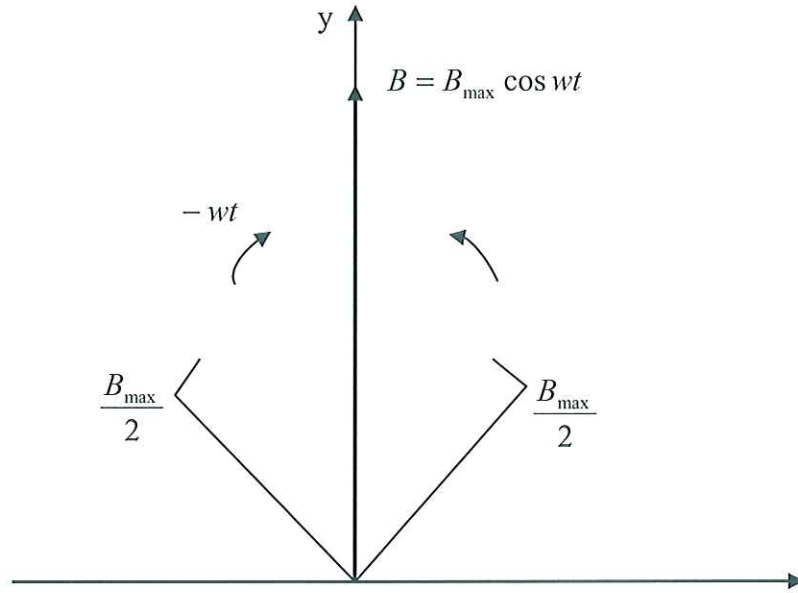
$$B = B_{\max} \cos \omega t \quad (3.1)$$

şeklinde gösterebiliriz. Bu alternatif alan Şekil 3.1’de gösterildiği üzere birbirine ters yönde dönen iki döner alana ayrılabilceği aşağıdaki eşitliklerle gösterilebilir.

$$\cos \omega t = \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2} \quad (3.2)$$

$$B = B_{\max} \cos \omega t = \frac{B_{\max}}{2} e^{j\omega t} + \frac{B_{\max}}{2} e^{-j\omega t} \quad (3.3)$$

Eğer, yukarıda tanımlan alternatif alanı meydana getiren tek fazlı stator alanının içerisine bir rotor yerleştirilecek olur ise, rotor dönmeyecektir. Fakat rotora dışarıdan (el ile) bir dönüş verilir ise, motor eylemsizliğini yenerek hızlanarak, belirlenen dönüş yönünde dönecektir [8].

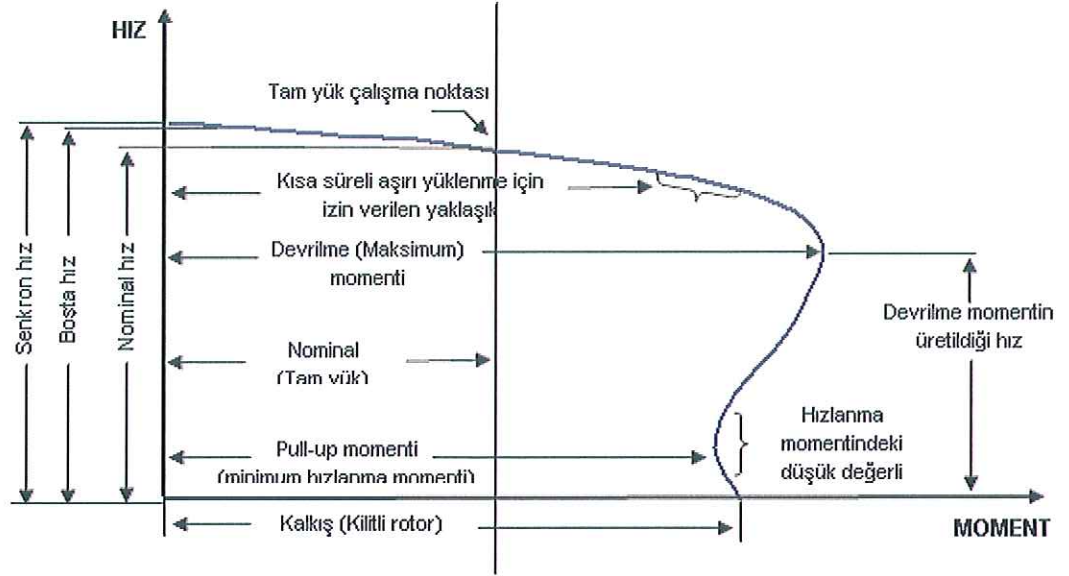


Şekil 3.1 : Alternatif alanın iki döner alana ayrılması

Bir döner alanın meydana getirilmesi için, ana sargıya ilave olarak farklı bir faz yapısında ikincil bir sargıya (yardımcı sargı-kalkış sargısı) ihtiyaç vardır. Bir fazlı motor tasarımındaki çeşitlilik, bu ikincil sargının da farklı tiplerde uygulanmasını ortaya çıkarmıştır. Yardımcı sargı ile birlikte kullanılan bazı komponentler örneğin; merkezkaç (santrifüj) anahtarı, kondansatör ve röleler, bir kalkış devresi oluşturarak motorun kalkış ve çalışma karakteristiğinde önemli etkiler oluşturacaklardır.

3.1. Bir Fazlı Asenkron Motorda Hız-Moment Eğrisi

Çalışılacak olan uygulama için uygun motorun seçimi, motora ait moment-hız eğrisi üzerinde yapılacak olan inceleme ile belirlenir. Bir moment-hız eğrisinde son kullanıcı için motorun tatmin edici bir performans sergileyebileceğine dair gerekli bilgiler vardır.



Şekil 3.2 : Bir fazlı asenkron motorun tipik bir moment-hız eğrisi

Motorun istenilen kalkış momentini verebileceği ya da yük momentini istenilen çalışma hızına taşıyabileceği ve istenilen aşırı yük momentini sağlayıp sağlayamayacağını, moment-hız eğrisi söyleyecektir. Şekil 3.2’de bir fazlı asenkron motora ait moment-hız eğrisi örneği verilmiştir [2,9,11].

Bir motora ait moment-hız eğrisinden aşağıda verilen çeşitli moment değerleri elde edilebilir.

- Yol alma (Kalkış-Kilitli Rotor) Momenti: Sıfır hızda (kalkış anında) motor moment
- Pull-up Momenti: Sıfır hız ile nominal hız arasındaki minimum moment
- Devrilme Momenti: Motorun bayılmadan verebileceği maksimum moment
- Nominal Moment (Tam Yük): Tam yük çalışma noktasında motor moment

Bir sonraki bölümde verilecek olan çeşitli bir fazlı asenkron motorların çalışma karakteristiklerinin incelenmesinde, motor tiplerine ait moment-hız eğrileri bizlere çok sayıda bilgi sunacaktır.

3.2. Bir Fazlı Asenkron Motor Tipleri Ve Klasik Yol Verme Yöntemleri

Daha önceki bölümlerde de vurgulandığı gibi bir fazlı asenkron motorlar kendiliğinden kalkış yapabilme özelliğine sahip değildir [11-16]. Stator sargısı bir fazlı alternatif gerilim kaynağına bağlandığında, makinenin içinde bir alternatif alan meydana gelir. Alternatif alan aynı eksen üzerinde zamanla sinüzoidal olarak değişir. Rotorun sincap kafesli sargısı, zaman ile değişen bir alan içinde durduğundan, bu sargılarda transformatörlerde olduğu gibi, bir gerilim endüklenir. Kendi üzerinde kısa devre olan rotor sargılarından, endüklenen gerilim nedeni ile, o yönde bir akım akar ki, rotorun meydana getirdiği alan stator alan yönüne ters olsun (Lenz Kuralı). Böylelikle, stator ve rotor alanları aynı doğrultuda ve eksenleri birbirine ters gelen iki alternatif alandır. Bu iki alanın eksenleri arasındaki açı sıfır ya da π olduğundan, bir fazlı asenkron motor bir moment üretemez; iki alan eksenleri arasında sıfırdan farklı bir açı bulunursa, bu iki alan bir moment üretebilir. Bu amaçla ana sargıya ilave olarak yardımcı sargı (yol verme sargısı) ve bu sargıya seri bağlanmış kondansatör yerleştirilir. Yardımcı sargı, motorun içinde, bir fazlı ana sargının meydana getirdiği alan dik ve zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olan bir alan meydana getirir. Öylelikle, motor içinde eksenleri birbirine dik ve zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olan iki alan meydana gelir ve sonuç olarak bir döner alan üretilmiş olur. Bu döner alan etkisinde asenkron motor döner [9].

Motor, nominal hızının yaklaşık %70-75'ine ulaştığı takdirde, anahtar mekanizması yardımcı sargıyı devre dışı bırakacaktır. Bu noktadan sonra bir fazlı motor, gerekli olan moment ihtiyacını kendi ana sargısından temin edecektir. Anlatılan çalışma tarzı endüktif yol vermeli bir fazlı asenkron motor için geçerlidir.

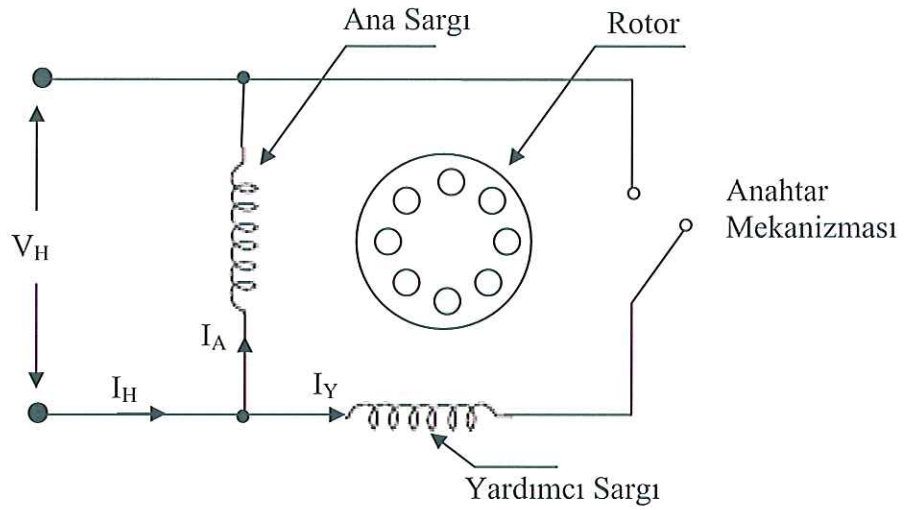
Kalkış (yol verme) tekniklerine bağlı olarak, bir fazlı asenkron motorların aşağıda verildiği üzere sınıflandırılması yapılabilir [15].

- Endüktif yol vermeli bir fazlı asenkron motorlar
- Kapasitif yol vermeli bir fazlı asenkron motorlar
 - * Kalkış (yol alma) kondansatörlü
 - * Daimi kondansatörlü
 - * Kalkış ve daimi kondansatörlü
- Gölge kutuplu bir fazlı asenkron motorlar

3.2.1. Endüktif Yol Vermeli Asenkron Motorlar:

Literatürde split-phase (ayrık fazlı) motorlar olarak da tanımlanan endüktif yol vermeli bir fazlı asenkron motorlar ana sargı, yardımcı sargı ve anahtar mekanizmalarından oluşur. Şekil 3.3’de bu yapıya ilişkin sargı dağılımı ve prensip şaması verilmiştir.

Ana sargı tasarımı, senkron hızın %70-75’i ve üzeri hızlarda çalışma durumuna uygun olarak tasarlanırlar. Ana sargı akımı ve kaynak gerilimi arasındaki ilişki Şekil 3.4’de verilmiştir. An ve yardımcı sargı empedanslarına bağlı olarak



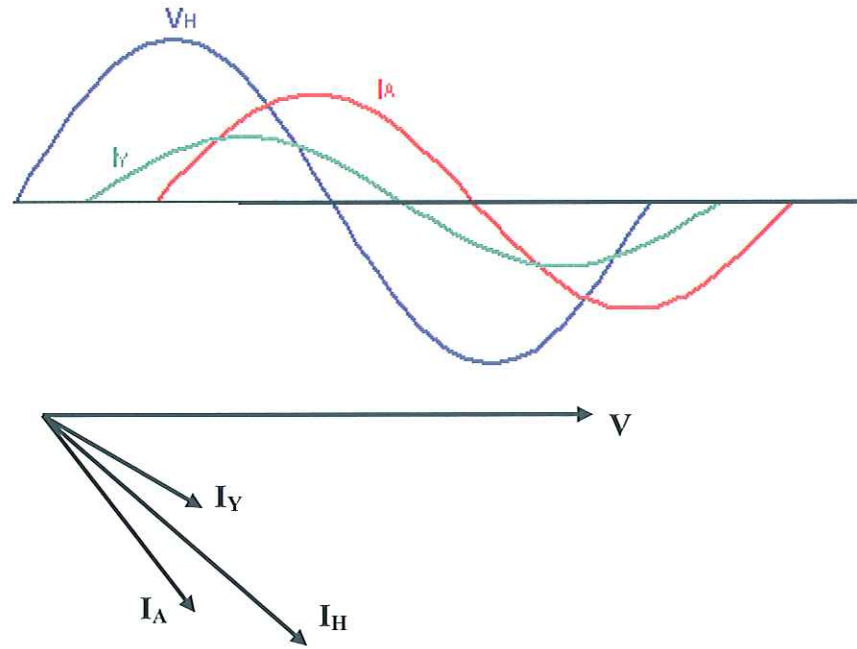
Şekil 3.3 : Endüktif yol vermeli motor prensip şeması

değişen bir faz farkı bu iki sargı akımları arasında yer alacaktır. Tasarıma göre farklılık gösterse de bu değer standart bir uygulama için yaklaşık 30° dir. Bu yapıyı, zayıflatılmış bir döner alan olarak da düşünebiliriz ki, neticesinde motora yol verebilecek yeterli moment üretilmiş olur.

Motorun kalkış anında, kaynaktan çekmiş olduğu akım değeri, ana ve yardımcı sargı akımlarının vektörel toplamıdır. Ana ve yardımcı sargı akımları arasındaki açının küçük olması nedeniyle, endüktif yol vermeli motorların kalkış anında çektiği akımlar (kalkış akımı) oldukça yüksektir.

Ana ve yardımcı sargı akımlarının istenilen faz açısında oluşturulması için uygulanan en etkili yöntem ana ve yardımcı sargı için kullanılan sarım sayısı ve iletken çapının farklı kullanılarak endüktans ve direnç değerlerde tutulmasıdır. Bu nedenle, ana sargı genellikle düşük sarım ve kalın iletken çapı kullanılırken, yardımcı

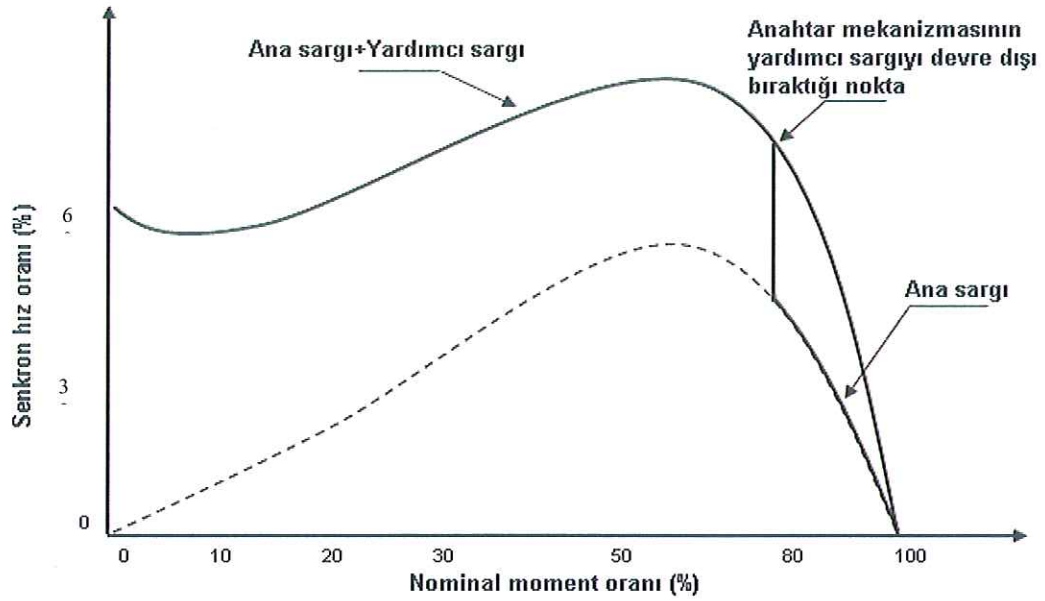
sargı bobinleri çok sarımlı ve ince iletkenlerden oluşur. Yardımcı sargının sadece kalkış anında, kısa süreli devrede kalacağından iletken çapının küçük tutulması uygundur. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta, bu kısa süreli kalkış anında, yardımcı sargı akım yoğunluğunun alacağı yüksek değerlerden ötürü, anahtar mekanizması (veya kullanılacak röle) motor hızını uygun bir değere (ki bu değer, motorun sadece ana sargı ile devam edebileceği bir noktadır) ulaştığı anda yardımcı sargıyı devre dışı bırakması gerekmektedir.



Şekil 3.4 : Endüktif yol vermeli motorlarda akım-gerilim fazör diyagramları

Şekil 35’de tipik bir split-phase motorun kalkış ve çalışma durumları için moment-hız eğrisi gösterilmiştir. Tablo 3.1’de de bu motorların genel karakteristiklerinin özeti sunulmuştur.

Bu tip bir fazlı asenkron motorlar için uygun kullanım alanları, küçük öğütücüler, küçük fan ve vantilatörler gibi düşük kalkış momenti gerektiren yaklaşık 1/20 HP ile 1/3 HP’a kadar güç gerektiren uygulamalardır. Ancak çok sık kalkış yapılacak ve yüksek kalkış momenti gerektiren uygulamalar için iyi bir tercih olmayacaktır [12,14,15].



Şekil 3.5 : Endüktif yol vermeli motor moment-hız eğrisi

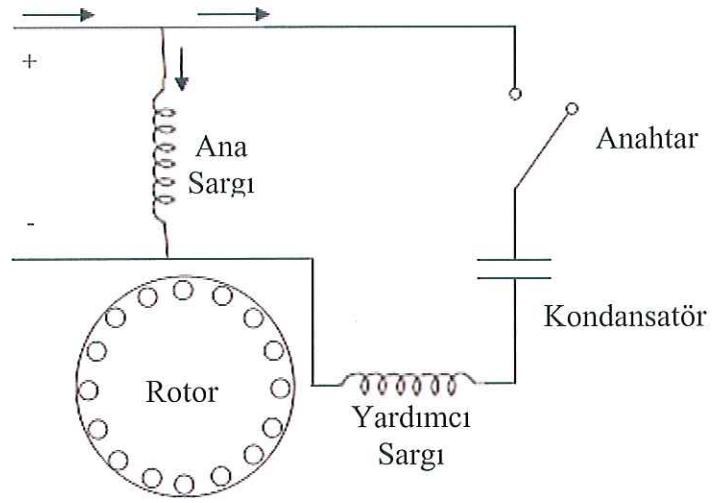
Tablo 3.1: Endüktif yol vermeli motor karakteristik özeti

<i>Verim</i>	%50-60
<i>Güç Faktörü</i>	0,6-0,7
<i>Kalkış Momenti</i>	Nominal momentin %50-70
<i>Diğer</i>	Yüksek kalkış akımı

3.2.2. Yol Alma (Kalkış) Kondansatörlü Motorlar :

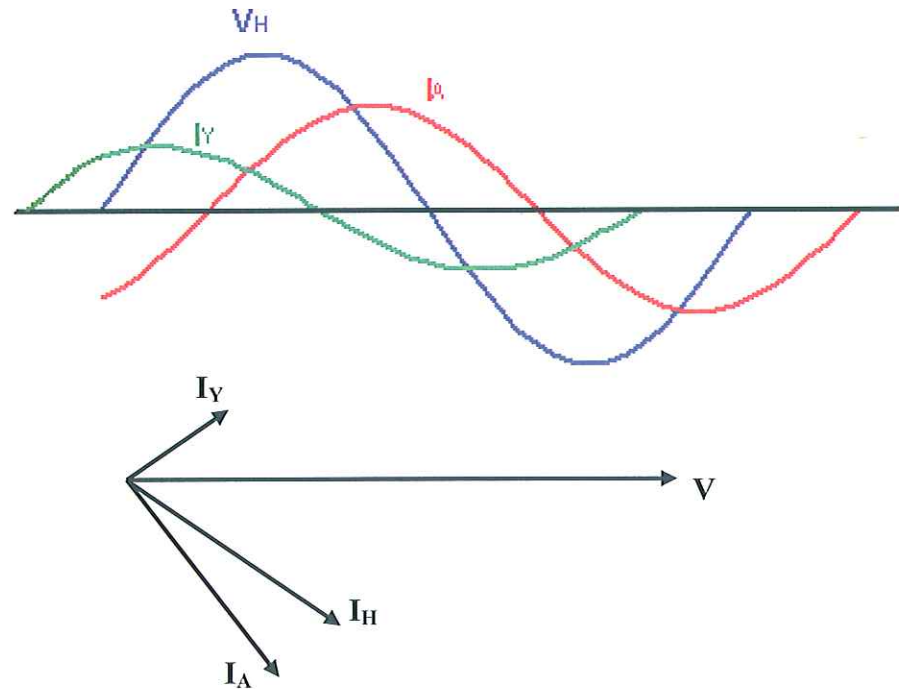
Şekil 3.6'da yol alma kondansatörlü motora ilişkin bağlantı şeması ve sargı yerleşim düzeni verilmiştir. Yol alma kondansatörlü motorda sargı yerleşimi, split-phase motorla benzerlik göstermekle birlikte en temel farklılık yardımcı sargıya seri bağlanan kondansatördür. Seri bağlanan bu kondansatörün sisteme olan etkisi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Ana sargı akımının durumu, endüktif yol vermeli motordaki durumu ile aynı olmasına karşın, yardımcı sargı akımında büyük farklılıklar mevcuttur. Seri bağlanan



Şekil 3.6: Yol alma kondansatörlü motor prensip şeması

bu kondansatör nedeniyle, yardımcı sargı akımı, kaynak geriliminin önünde belirli bir faz açısıyla yer almaya başlamıştır. Yardımcı sargı akımı fiziki olarak da split-phase motordaki yardımcı sargıdan farklılık göstermektedir.



Şekil 3.7 : Yol alma kondansatörlü motorlarda akım-gerilim fazör diyagramları

Yardımcı sargı bobinleri daha yüksek sarım sayısına sahiptirler. Bobinlerde kullanılan iletken çapları daha büyük olmasına karşın, genellikle ana sargı çaplarından biraz daha küçüktürler.

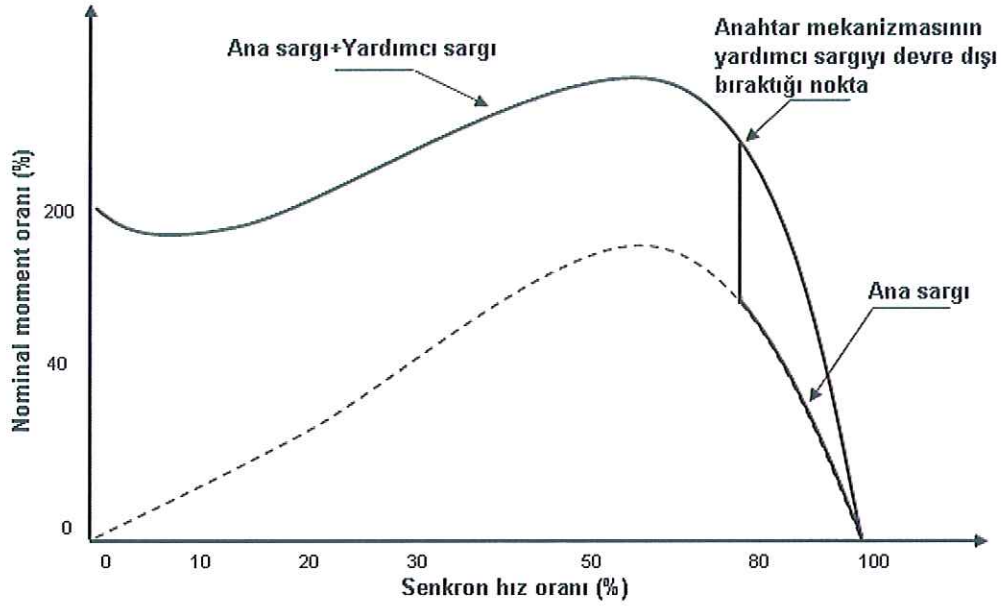
Bu yeni yapı ile birlikte, endüktif yol vermeli motor yapısından çok daha iyi bir şekilde 90^0 lik faz farkı yakalanabilmiştir. Bu nedenle çok daha kuvvetli bir manyetik alan dolayısıyla daha yüksek bir kalkış momenti oluşturulabilmiştir. Ayrıca, yardımcı sargı ile ana sargı akımlarının vektörel toplamı daha düşük değerler alacağından, kalkış akımı değer olarak endüktif yol vermeli motordan daha düşük seviyelerde olacaktır.

Yol verme ve normal çalışma durumlarına ait moment-hız eğrileri Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Bu yapıda da yardımcı sargı ve kondansatörü aşırı yüklenmeye karşı koruyacak olan anahtar mekanizmaları veya röleler kullanılmak zorundadır. Nominal hız çalışma noktasında, artık yardımcı sargı ve kondansatör devrede olmayacağından, yol alma kondansatörlü motorlar ile endüktif yol vermeli motor karakteristikleri benzerlik gösterecektir. Tablo 3.2’de yol alma kondansatörlü motora ilişkin performans karakteristikleri sunulmuştur.

Tablo 3.2 : Yol alma kondansatörlü motor karakteristik özeti

<i>Verim</i>	%50-60
<i>Güç Faktörü</i>	0,6-0,7
<i>Kalkış Momenti</i>	Nominal momentin %100-200
<i>Diğer</i>	Split-pahase oranla kalkış akımı daha düşük , maliyeti daha yüksek

Yol alma kondansatörlü yapının modifiye edilmiş bir şekilde yol alma dirençli motorlardır. Bu tip motorlarda yol alma kondansatörünün yerini, direnç almıştır. Bu tip motorların kullanım yerleri, yol alma kondansatörlü motorların sağlamış olduğu kalkış momentinden daha az moment gerektiren uygulamalardır. Fiyat avantajı haricinde bu tip motorların, yol alma kondansatörlü motorlardan daha avantajlı bir karakteristiği yoktur.

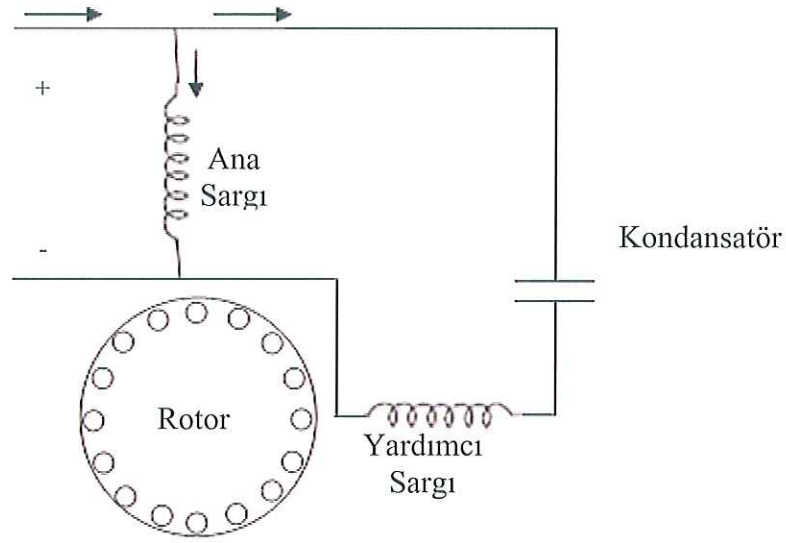


Şekil 3.8 : Yol alma kondansatörlü motor moment-hız eğrisi

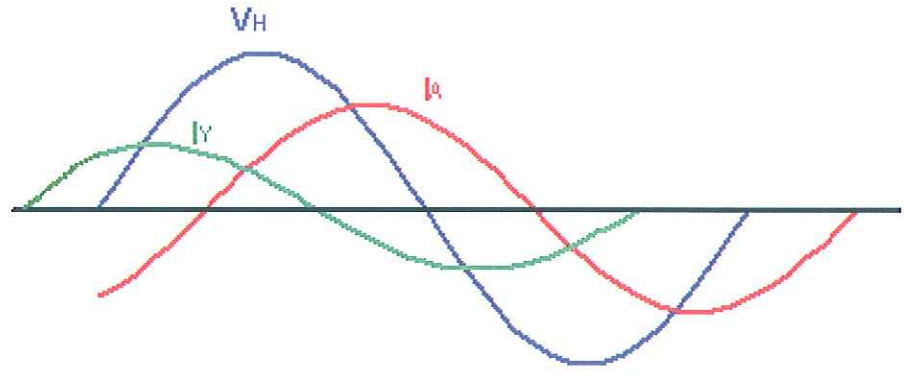
Yol alma kondansatörlü motorlar genellikle küçük konveyörler, büyük vantilatörler ve pompa uygulamalarında kullanılabilirler [4,11,15].

3.2.3. Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Asenkron Motorlar :

Şekil 3.9’da daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motora ait devre şeması verilmiştir. Ana ve yardımcı sargı dağılımlarının yol alma kondansatörlü bir fazlı asenkron motor ile benzerlik göstermesinin yanı sıra, kullanılan kondansatörün sürekli devrede kalacağından, sürekli çalışmaya uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu yapıda en önemli özellik, yardımcı sargı ve ona seri bağlı kondansatörü devre dışı bırakacak bir anahtar mekanizmasının olmamasıdır. Zira, yardımcı sargı ve kondansatör sadece yol alma esnasında değil, tek fazlı motorun diğer çalışma durumlarında da devrede kalacak yapıdadırlar. Yardımcı sargı yapısı, daimi kondansatör değerinin daha düşük olması nedeniyle, yol alma kondansatörlü motorlara nazaran daha yüksek sarım sayısına sahiptirler. Bu aynı zamanda, yol alma akımının dolayısıyla yol alma momentinin daha düşük olmasına neden olacaktır. Daimi kondansatörlü motorlara ait fazör diyagramı Şekil 3.10’da verilmiştir.

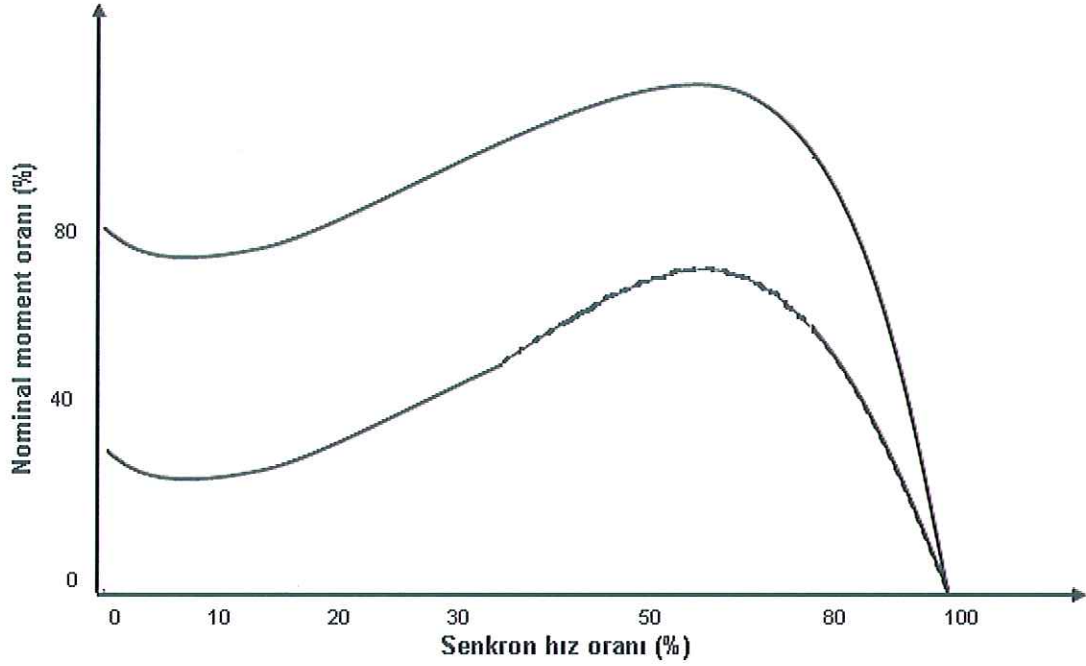


Şekil 3.9 : Daimi kondansatörlü motor devre şeması



Şekil 3.10 : Daimi kondansatörlü motorlarda akım-gerilim fazör diyagramları

Yol alma momentinin düşük olmasına rağmen, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorların en önemli özelliği ise, yardımcı sargı ve kondansatörün sürekli devrede olması nedeniyle, bir fazlı motor nominal çalışma bölgesinde iki fazlı motor gibi davranacaktır. Bu sayede, daha yüksek verim ve güç faktörü elde etmek mümkün olacaktır. Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlar, yapılarında anahtar mekanizması bulundurmadiğundan, bir fazlı asenkron motorlar içerisinde en güvenilir olarak da kabul edilebilir. Şekil 3.11’de daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motora ait genel bir moment-hız eğrisi verilmiştir. Rotor direncinde yapılacak değişiklik ile farklı yapıda moment-hız eğrisi elde edilebilmek mümkündür.



Şekil 3.11 : Daimi kondansatörlü motor hız-moment eğrisi

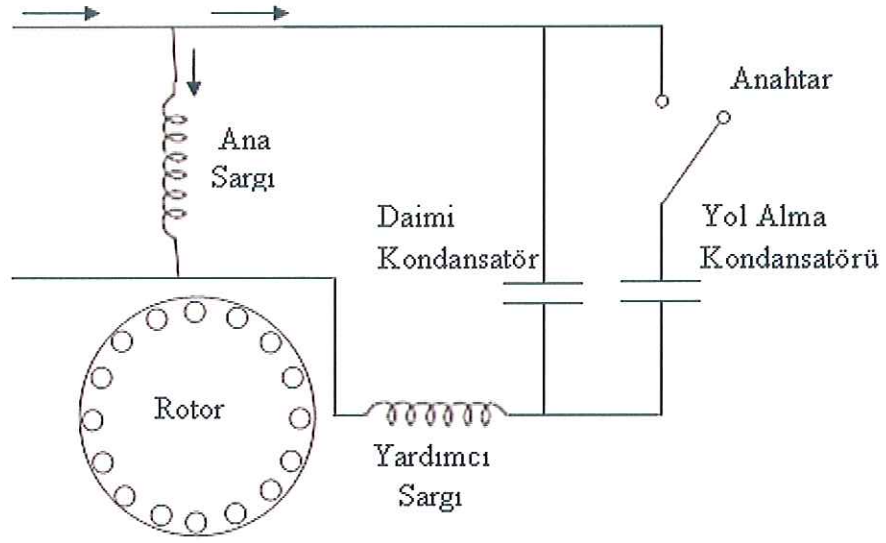
Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlar tasarımı yapılacak değişikliklerle birlikte geniş bir uygulama alanı bulmakatadır. Fan ve vantilatör uygulamaları, kesintili çalışmalı yapıdaki uygulamalar örneğin, otomobil garaj kapısı tahriği gibi. Tablo 3.3’de daimi kondansatörlü tek fazlı asenkron motora ilişkin performans karakteristikleri sunulmuştur [11,15].

Tablo 3.3 : Daimi kondansatörlü motor karakteristik özeti

<i>Verim</i>	%60-65
<i>Güç Faktörü</i>	0,8-0,9
<i>Kalkış Momenti</i>	Nominal momentin %50-90
<i>Diğer</i>	Hız kontrolüne daha uygun bir motor.

3.2.4. Yol alma ve Daimi Kondansatörlü Bir Fazlı Asenkron Motorlar :

Yol alma ve daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motora ilişkin devre şeması Şekil 3.12’de sunulmuştur.

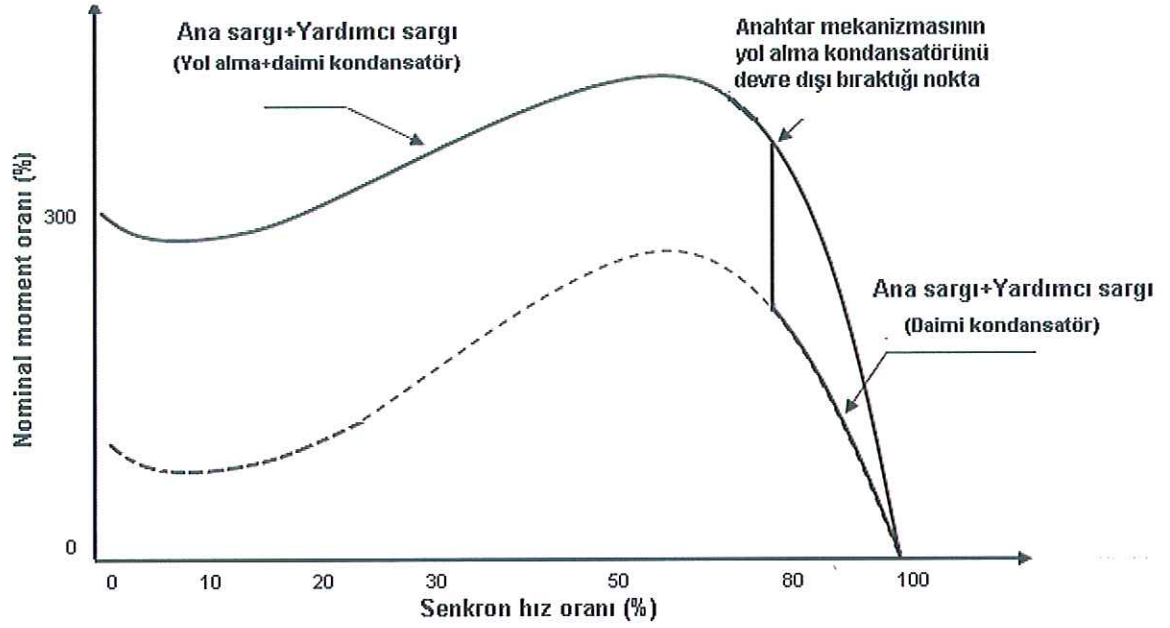


Şekil 3.12 : Yol alma ve Daimi kondansatörlü motor devre şeması

Daimi kondansatör ve yardımcı sargının, ana sargıya paralel bağlı olduğu bu tip motorlarda, ayrıca yol alma kondansatörü ve anahtar mekanizması da daimi kondansatöre seri bağlı durumdadır.

En genel anlamda, bu tip motorlar yol alma esnasında yol alma kondansatörlü motorlar, tam yük hız bölgesinde daimi kondansatörlü motor davranışı sergilemektedirler.

Yol alma ve daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorların en büyük avantajları, yardımcı sargı ve buna seri bağlı daimi kondansatör sayesinde, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda olduğu gibi, nominal moment bölgesinde iki fazlı gibi çalışma karakteristiği sergileyecek buna ilave olarakda, anahtar ve yol alma kondansatörü sayesinde de, yol alma kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda da olduğu gibi, yüksek kalkış momenti sağlayacaktır. Bütün bu özellikler neticesinde, daha yüksek verime sahip, daha yüksek kalkış momentine ve güç faktörüne sahip bir fazlı asenkron motor temin edilmiş olacaktır. Şekil 3.13’de yol alma ve daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motora ait moment-hız eğrisi verilmiştir. Yol alma kondansatörlü bir fazlı asenkron motor ve daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor özelliklerinin birleşimi olarak düşünülen bu motorlarda daha yüksek güç seviyelerine ulaşmak (10 hp) mümkün olacaktır.



Şekil 3.13 : Yol alma ve Daimi kondansatörlü motor moment-hız eğrisi

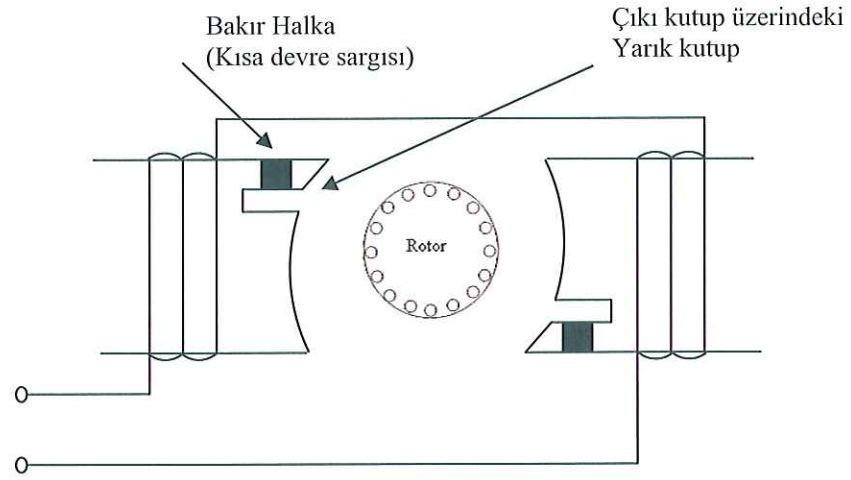
Yüksek basınçlı su pompaları, vakum pompaları, kompresörler, ağaç işleme makineleri gibi yüksek moment ihtiyacı olan uygulamalarda kullanabilen yol alma ve daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motora ilişkin motor karakteristik özet tablosu aşağıda sunulmuştur [4,11,12,15].

Tablo 3.4 : Yol alma ve Daimi kondansatörlü motor karakteristik özeti

<i>Verim</i>	%60-65
<i>Güç Faktörü</i>	0,8-0,9
<i>Kalkış Momenti</i>	Nominal momentin %100-300
<i>Diğer</i>	En iyi performansa sahip bir fazlı asenkron motor tipi

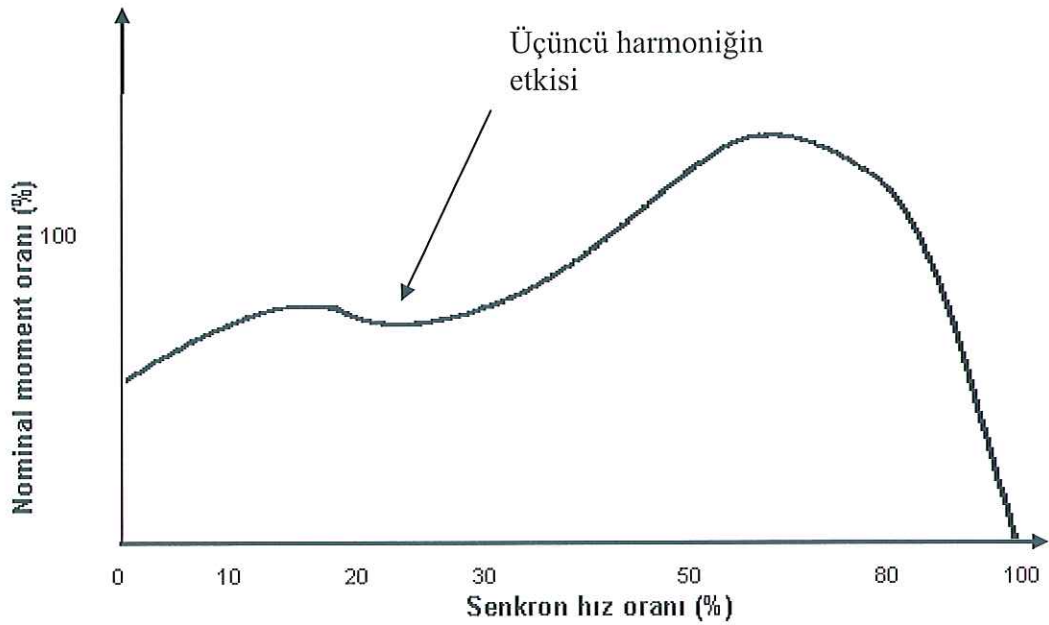
3.2.5. Gölge Kutuplu Asenkron Motorlar :

Tezin bu bölünme kadar incelenmiş olan bir fazlı asenkron motorlardan farklı bir yapı sergileyen gölge kutuplu bir fazlı asenkron motorlar, yapısı itibariyle en basit dolayısıyla en ucuz bir fazlı asenkron tipidir. Çıkık kutuplu bir yapıda olan bu motorların konstrüksiyon örneği Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14 : Gölge kutuplu motor konstrüksiyonu

Gölge kutuplara (oluklara) yerleştirilmiş olan kısa devre sargıları ve ana sargının oluşturacağı manyetik alan motora ilk hareketini verebilmesini sağlayacaktır. Ancak, yol alma momentinin değeri diğer tiplere nazaran daha düşük değerlerde olacaktır. Bu basit ve ucuz konfigürasyonun getirmiş olduğu diğer bir dezavantaj ise, özellikle üçüncü harmoniğin etkisi ile verimin düşük seviyelerde olması ve moment hız eğrisinin, senkron hızın %30-40 mertebesindeki bölgesindeki ani düşüşler olacaktır. Gölge kutuplu bir fazlı asenkron motorlara ait moment hız eğrisi Şekil 3.15’de ve karakteristik özellikleri Tablo 3.5’de verilmiştir [12,15].



Şekil 3.15 : Gölge kutuplu motor moment-hız eğrisi

Tablo 3.5 : Gölge kutuplu bir fazlı asenkron motor karakteristik özeti

<i>Verim</i>	%20-40
<i>Güç Faktörü</i>	0,5-0,6
<i>Kalkış Momenti</i>	Nominal momentin %40-60
<i>Diğer</i>	En ucuz ve basit yapılı bir fazlı asenkron tipi

4. BİR FAZLI ASENKRON MOTORLARDA YENİ YOL VERME ANAHTARI YAKLAŞIMI VE SİMÜLASYONU

Tezin bu bölümüne kadar, bir fazlı asenkron motorların genel yapısı, çalışma prensipleri, yol verme karakteristikleri ve tipleri sunulmuştur. Tezin bu ayrıtında, çift kondansatörlü (yol alma ve daimi kondansatör) bir fazlı asenkron motorlarda merkezkaç anahtar grubu yerine kullanılabilecek yeni yaklaşım (eletronik röle) üzerinde durulacaktır. Bu amaçla, bir fazlı asenkron motorun matematik modellemesi elde edilerek, simülasyonu gerçekleştirilecektir. Elektronik rölenin getirilerinin ortaya koyulması amacıyla, merkezkaç anahtarlı bir fazlı asenkron motorun ve daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun simülasyon ve analizleri de yapılmıştır. Tüm bu tipler için aynı zamanda, deney sonuçlarında bu bölüm içerisinde yer almaktadır.

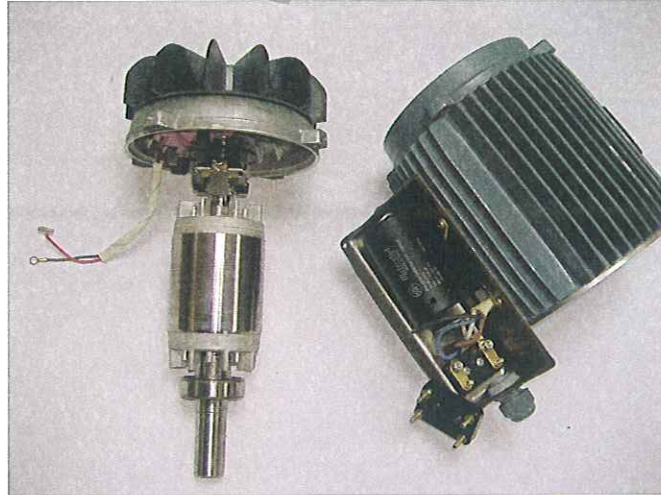
Elektronik rölenin gerekliliğini ortaya koymadan önce merkezkaç anahtar grubundan bahsetmek daha uygun olacaktır.

4.1. Merkezkaç Anahtar Sistemi (Mekanizması)

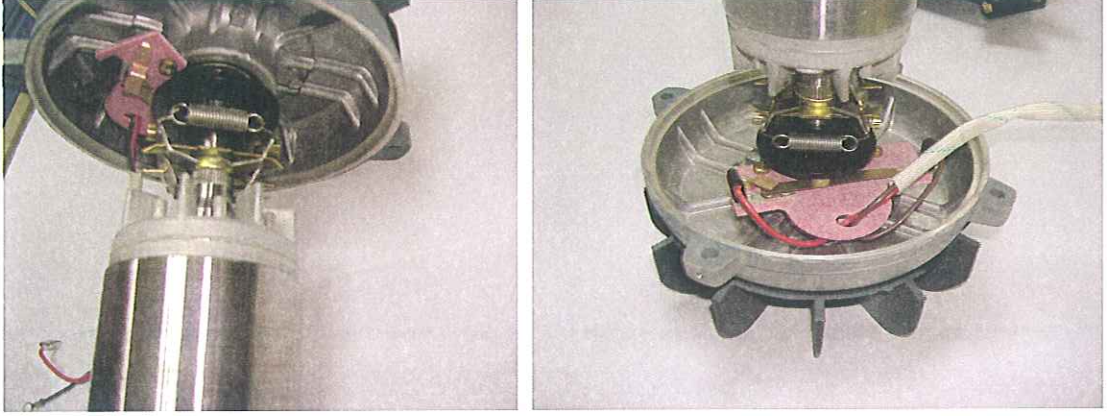
Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda yol alma momenti

nominal momentin 50%-70% mertebesinde dir. Yol alma momentinin nominal momente eşit veya daha büyük olması gereken uygulamalarda yol alma kondansatörlü motorlar kullanılmaktadır. Bu motorlarda kapasitif yüksek momentli yol alma için ilave olarak yol alma kondansatörü ve bu kondansatörü devre dışı bırakan merkezkaç mekanizma grubu kullanılmaktadır. Şayet yol alma kondansatörü devre dışı bırakılmaz ise yardımcı sargı gerilimi, akımı ve kondansatör gerilimi yükseleceğinden motorun kayıpları artar. Bu kayıplar yardımcı sargının aşırı ısınmasına hatta yanmasına sebebiyet verir.

Merkezkaç anahtar mekanizma grubu, anahtar grubu ve merkezkaç grubu olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Anahtar grubu motorun arka kapağına, merkezkaç grubu ise motorun miline monte edilmektedir. Motor durağan halde iken merkezkaç mekanizma grubu anahtar grubuna mekaniksel baskı yaparak kontakların kapalı kalmasını sağlar. Böylece anahtar grubuna seri bağlı olan yol alma kondansatörü ve yardımcı sargı motor durağan halde iken devrededir. Motorun yol alması ve devir hızının artması ile birlikte merkezkaç grubu, merkezkaç kuvvetinden faydalanarak baskı kuvvetini anahtar grubu üzerinden çeker ve yol alma kondansatörünü devre dışı bırakır. Merkezkaç mekanizmasına sahip bir fazlı asenkron motor ve detayı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.1 : Merkezkaç anahtar mekanizmasına sahip bir fazlı asenkron motor



Şekil 4.2 : Merkezkaç anahtar mekanizması

Kullanılan mevcut sistemlerde hareketli mekanik parçalar olması nedeniyle;

- Mekanizma ömrü kısıtlıdır
- Arıza yapma olasılığı yüksektir.
- Çevresindeki tozlanma ve kimyasal etkilere duyarlıdır.
- Bazı uygulamalar için IP55, IP65 koruma sınıfına sahip motor kullanma zorunluluğu ortaya çıkar.
- Boyutlarından ötürü motor hacminin büyük tutulma zorunluluğu vardır.

Kullanılan mevcut sistemlerde, sadece belirli bir hızda devreyi açma özelliği olması nedeniyle;

- Kaynak gerilimindeki değişimlere cevap yeteneği yoktur.

Kaynak gerilimin düşüş gösterdiği bir durumda, yardımcı sargı veya kondansatörün erken devreden çıkarılması halinde, ana sargı momentinin yeterli olmaması durumunda, motorun yol alması mümkün olmayabilir.

Gerilimde bir artış olması durumunda, yardımcı sargının veya kondansatörün devreden geç çıkması halinde, yardımcı sargı ve kondansatör üzerinde aşırı bir gerilim oluşacaktır.

Ortaya koyulan mekaniksel ve elektriksel kısıtlamaları ortadan kaldıracak, geniş bir güç aralığına sahip tek fazlı asenkron motorlarda kullanılmak amacıyla yeni bir elektronik kontrollü yol alma mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, ortaya koyulacak yeni yaklaşım için “elektronik röle” kelimesi kullanılacaktır.

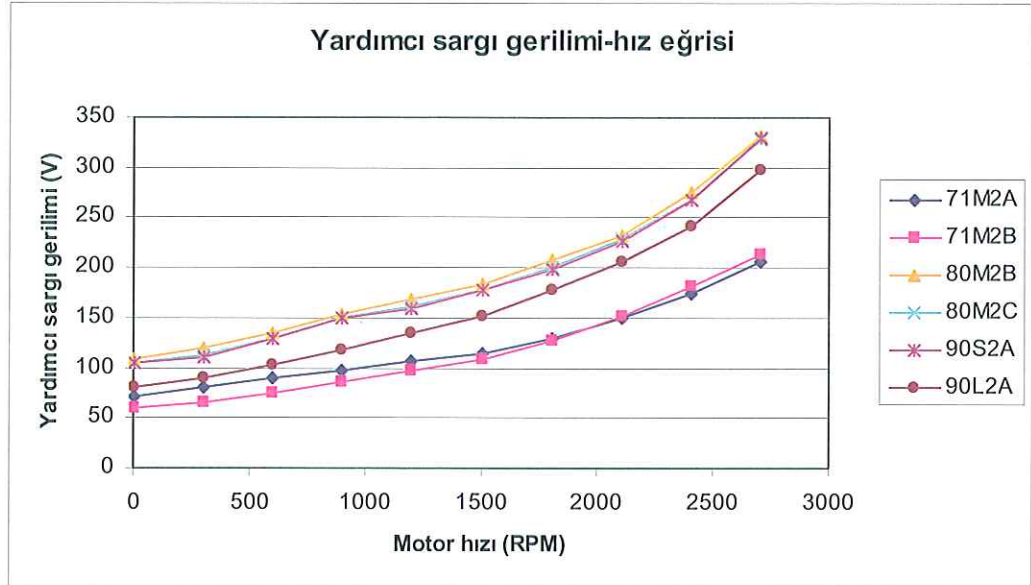
4.2. Yeni Yol Verme Yöntemin Amacı ve Gerekliliği

Merkezkaç anahtar grubunun Bölüm 4.1’de sunulan mekaniksel ve elektriksel kısıtlamalarının ortadan kaldırılması amacıyla elektronik röle adı verilen yeni yaklaşım ortaya koyulmuştur.

Bundan önceki ayrıtlarda incelenen merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motorlarda, anahtar mekanizmasının, motor hızının senkron hızın %60-70’ine ulaştığında yardımcı sargıyı ve/veya kondansatörü devre dışı bırakmakta olduğu belirtilmişti. Ortaya koyulacak yeni yaklaşımda da motor hızının takip edilmesi ve senkron hızın belirlenen oranına ulaştığında yardımcı sargı ve/veya kondansatörü devre dışı bırakılması gerekmektedir.

Bu yaklaşımın temelini yardımcı sargı ile rotor hızı arasındaki ilişki oluşturmaktadır. Şekil 4.3’de verilen eğriler, bu ilişkinin elde edilmesi amacıyla farklı tip motorlar üzerinde yapılmış olan test sonuçlarını yansıtmaktadır. Bu amaç için kullanılan bir fazlı asenkron motorlar, Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesinde üretilmekte olan 0.25-2.2kW aralığındaki 2 kutup daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorları kapsamaktadır. Şekil 4.3’de verilen eğriden de görüleceği üzere, yardımcı sargı gerilimi, devrede yardımcı sargıya seri bağlanan kondansatörün etkisi ile sürekli haldeki durumuna ulaşması gereken değere belirli bir gecikme ile ulaşmaktadır. Çoğu zaman bir dezavantaj olarak düşünülen bu durum, aslında avantaja dönüştürülebilir. Zira, bir fazlı asenkron motorda yol alma esnasında devrede olan yardımcı sargı ve/veya ona seri bağlı olan kondansatörün devre dışı bırakılacak optimum noktayı bulabilmek için hız bilgisine ihtiyaç vardır. Şekil 4.3’de verilen eğriden de görüleceği üzere bu bilgiyi yardımcı sargı gerilimini izleyerek de ulaşabiliriz. Çünkü, yardımcı sargı gerilimi ile motor hızı arasında lineere yakın bir ilişki mevcuttur [11].

Anahtarın yol alma kondansatörünü devre dışı bırakmasını istediğimiz hız noktası için (bu değer senkron hızın %60-70 mertebesinde) karşılık gelen yardımcı sargı gerilimi bizim için artık ”referans açma gerilim” değeridir.



Şekil 4.3 : Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi tarafından üretilen 0.25-2.2kW bir fazlı asenkron motorların (daimi kondansatörlü) yardımcı sargı gerilimi-hız eğrisi

Yukarıda tanımlananların ışığı altında, kapasitif yol vermeli bir fazlı asenkron motorda yardımcı sargı geriliminin izlenmesi, yol alma kondansatörünün devre dışı bırakılacağı zaman için bize gerekli bilgiyi verecektir. Bu amaçla yeni yaklaşımımızda yardımcı sargı geriliminin ölçülmesi ve izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, belirlenen referans açma gerilim değerine ulaşıldığı anda da yol alma kondansatörünün devre dışı bırakılması gerekmektedir.

Çift kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun yol alma esnasında rotorun kilitli kaldığı bir durumda, yardımcı sargı geriliminin istenilen referans gerilim değerine ulaşmadığı bir durum söz konusu olabilir. Bu durumda yeni yaklaşımın motoru koruyacak bir özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla, bir fazlı asenkron motorun yol alma süresinin yaklaşık 5-6 saniye sonunda, yardımcı sargı gerilimi ne olursa olsun, yeni yaklaşımın yol alma kondansatörünün devre dışı bırakması gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen özellikleri aşağıda belirtildiği üzere maddeler halinde özetleyebiliriz;

- Farklı kaynak gerilim değerleri için referans açma gerilim değerinin belirlenmesi
- Yardımcı sargı geriliminin ölçülmesi

- Yardımcı sargı geriliminin, belirlenen referans açma gerilimine ulaştığında yol alma kondansatörünü devre dışı bırakılması
- Rotorun kilitli kalması durumu gibi nedenlerde yardımcı sargı geriliminin belirlenen referans açma gerilim değerine ulaşamaması durumunda, motorun korunması için güvenli bir zaman diliminde enerjinin kesilebilmesi

Tüm işlemlerin yapılabilmesi için, içerisinde karşılaştırmacı modülü olan, referans yardımcı sargı gerilim değerlerini girebileceğimiz yeterli hafızaya sahip, yol alma kondansatörüne seri bağlı olacak, yarı iletken anahtar devre ateşleyebilecek yetenekte bir mikroişlemci kullanılma durumu ortaya çıkmıştır. Tüm motor sargı ve kondansatör bağlantılarının röle üzerinden yapılması düşünüldüğü için, rölenin güç katının bu akım seviyelerine dayanabilmesi ve diğer bölümlerinde bu yüksek gerilimde izole edilmiş olması gerekmektedir. Mikroışlemciden gelecek işaret neticesinde yol alma kondansatörünü devre dışı bırakacak bir yarı iletken güç elektroniği anahtarına da ihtiyaç vardır. Motorun kilitli rotor pozisyonunda kaldığı durumda, yardımcı sargı geriliminin referans açma gerilim değerine ulaşmaması halinde, motorun korunması amacı ile, yarı iletken anahtarın devreyi kesmesi beklenmektedir. Bu nedenle bir “zamanlayıcı”nın da kullanılması gerekmektedir. Son olarak da devre bırakılacak olan yol alma kondansatörünün üzerinde birikmiş olan enerjinin boşaltılması gerekmektedir. Bunu sağlamak için de elektronik röle içerisinde, bu enerjiyi güvenli bir şekilde boşaltacak bir devrenin var olması gerekmektedir. Tablo 4.1’de elektronik röleden beklenen fonksiyonlar ve bu fonksiyonların nasıl yerine getirilebileceğine dair yaklaşımları içeren bilgiler sunulmuştur.

Tüm bu yaklaşımların ışığı altın ortaya koyulan elektronik rölenin yapısı ve işlevleri EK 1’de sunulmuştur. Bu bölümde yukarıda verilen yaklaşımların tümünü kapsayacak şekilde, elektronik rölenin temel çalışma prensibini şu şekilde özetleyebiliriz.

”Motora gerilim uygulandığında elektronik röle içerdiği mikroişlemci ile şebeke gerilimini ölçer. Ölçülen şebeke gerilimine karşılık gelen yardımcı sargı ve kondansatör referans açma gerilim değerleri mikroişlemci tarafından belirlenir ve yol alma kondansatörü devreye sokulur. Elektronik röle gerilim uygulandığı andan itibaren motorun yardımcı sargı ve kondansatör gerilimlerini ölçerek belirlenen referans gerilimleri ile kıyaslar. Referans gerilimleriyle ölçülen gerilimler aynı

olduğunda elektronik röle, yol alma kondansatörüne seri bağlı olan yarı iletken anahtar vasıtasıyla yol alma kondansatörünü devre dışı bırakır ve kondansatör üzerindeki gerilimi deşarj eder. Yardımcı sargı ve/veya kondansatör gerilimleri belirlenen referans gerilim değerlerine ulaşmamış ise mikroişlemci, yol alma kondansatörünün devreye girmesinden belirli bir süre sonra yol alma kondansatörünü zamanlayıcı ile devre dışı bırakılır [11].

Tablo 4.1 : Elektronik röleden beklenen fonksiyonlar ve gerçekleştirilebilme yaklaşımları

ELEKTRONİK RÖLEDEN BEKLENEN FONKSİYON	BU FONKSİYONUN NASIL GERÇEKLEŞTİRİLEBİLECEĞİ
Yardımcı sargı geriliminin ölçülmesi	Elektronik röle içerisinde yapılacak bir devre ile (direnç+optokuplör)
Yardımcı sargı geriliminin referans açma gerilimi ile karşılaştırılması	Karşılaştırma girişi olan bir mikro işlemci yardımı ile
Farklı kaynak gerilimleri için referans açma gerilimlerinin tablo halinde verilmesi	Mikro işlemci içerisine "lookup table" yazılım yardımı ile
Yardımcı sargı geriliminin referans açma gerilim değerine ulaştığında yardımcı sargının devre dışı bırakılması	Mikro işlemcinin karşılatıcı çıkışından verilen sinyal ve bir adet yarı iletken anahtar yardımı ile
Devre dışı bırakılan kondansatörün boşaltılması	Elektronik röle içerisindeki bir devre ile kondansatörün direç üzerinden boşaltılması
Motorun kilitli kalma durumunda yo alma kondansatörünün güvenli bir zaman aralığında, yardımcı sargı gerilimi ne olursa olsun, devre dışı bırakılması	Bir zamanlayıcı (Timer) yardımı ile
En yüksek güce sahip motor akımında sorunsuz çalışabilmeli	Elektronik röle bağlantı klemensi ve güç katının belirlenen akımlara dayanıklı olması

4.3. Bir Fazlı Asenkron Motorun Matematiksel Modellenmesi

Tezin önceki bölümlerinde de vurgulandığı üzere, tezin amacı daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda verim değerini düşürmeden daha yüksek yol verme momenti elde edilebilmesi için çift kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda merkezkaç anahtarının yerine kullanılabilecek bir elektronik röle yaklaşımının getirilmesi ve simülasyonun gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla bir fazlı

asenكرون motorun özellikle yol alma esnasındaki karakteristiğini elde etmemize yardımcı olacak denklem takımlarının elde edilmesi gerekmektedir.

Bir fazlı asenkron motorun geçici hal durumlarını incelemek amacıyla ortaya koyulan yaklaşımlardan birisi de, Karuse tarafından ele alınan d-q modelidir. Bu model neticesinde, motor parametreleri birbirine dik iki eksen takımı (d-q)  zerinde tanımlanır. Bir fazlı asenkron motorun rotor gerilimleri, rotor yapısının sincap kafesli olması nedeniyle, sıfırdır. Stator gerilimleri ise dengesizdir. Bu tez çalışmasında, referans eksen takımı olarak durağan eksen takımı kullanılmıştır. Bunun yanı sıra rotor eksen takımı ya da senkron hızla dönen eksen takımları da referans eksen takımları seçilebilir [1-3].

Bir fazlı asenkron motoru, her iki fazında yani ana sargı ve yardımcı sargının bir fazlı alternatif kaynaktan beslenen, simetrik olmayan iki fazlı asenkron motor gibi düşünmek mümkündür. Bu nedenle, bir fazlı asenkron motorun denkelme takımlarının elde edilmesi için öncelikli olarak simetrik olmayan iki fazlı asenkron motorun matematiksel modeli elde edilecektir. Bu modelin, kondansatör gerilim ve akım denklemleri ile genişletilmesi ile kapasitif yol vermeli bir fazlı asenkron motorun matematiksel modeline ulaşılabilir.

Matematiksel modelleme esnasında, motor manyetik devresinin lineer olduğu dolayısıyla doymanın etkisinin ihmal edildiği, stator sargılarının harmonik içermeyen manyeto motor kuvveti üretebildiği ve buna uygun olarak stator oluklarına dağıldığı kabulleri yapılmıştır.

şekil 4.4’de gösterilen simetrik olmayan iki fazlı asenkron motorda stator sargıları d_s ve q_s olarak gösterilmiştir. Bu ifadeler aslında ana ve yardımcı sargıyı ifade etmektedirler. Birbirlerinden 90° lik bir açıyla yerleştirilmiş olan bu sargılardan q_s ana sargıyı d_s yardımcı sargıyı ifade etmektedir. Simetrik olmayan bu sargıların sarım sayıları ve dirençleri de farklılık gösterir. Bu nedenle q_s sargısının direncini r_{q_s} ve sarım sayısını N_{q_s} semblleri ile ifade edebiliriz. Aynı şekilde yardımcı sargı direnci r_{d_s} , sarım sayısı da N_{d_s} dir.

şekil 4.4’de verilen motor için stator ve rotor gerilimleri aşağıda verildiği şekilde yazılabilir.

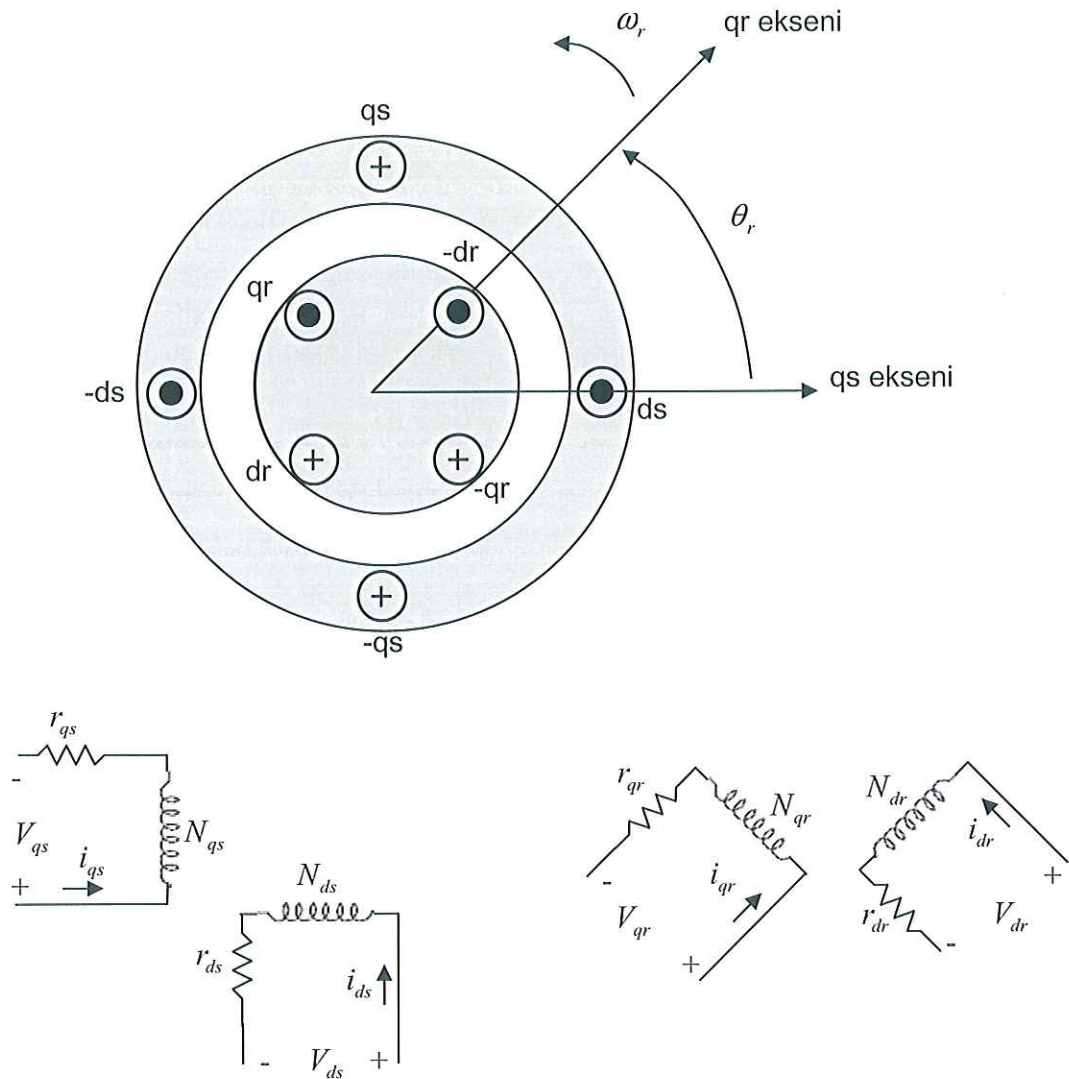
$$v_{qs} = i_{qs} r_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} \quad \text{V}$$

$$v_{ds} = i_{ds} r_{ds} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} \quad \text{V}$$

$$v_{qr} = i_{qr} r_{qr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} \quad \text{V}$$

$$v_{dr} = i_{dr} r_{dr} + \frac{d\lambda_{dr}}{dt} \quad \text{V}$$

(4.1)



Şekil 4.4 : Simetrik olmayan iki fazlı asenkron motor

Yukarı da verilen eşitliklerde;

- v_{ds}, v_{qs} : d-q eksenli stator gerilimleri
 v_{dr}, v_{qr} : d-q eksenli rotor gerilimleri
 i_{ds}, i_{qs} : d-q eksenli stator akımları
 i_{dr}, i_{qr} : d-q eksenli rotor akımları
 r_{ds}, r_{qs} : d-q eksenli stator dirençleri
 r_{dr}, r_{qr} : d-q eksenli rotor dirençleri
 $\lambda_{ds}, \lambda_{qs}$: d-q eksenli stator halkalama akıları
 $\lambda_{dr}, \lambda_{qr}$: d-q eksenli rotor halkalama akıları

olarak tanımlanmıştır.

Şekil4.4’de verilen eksen takımları ve aralarındaki θ_r açısı göz önünde bulundurularak, stator ve rotor halkalama akıları şu şekilde yazılabilir;

$$\begin{aligned}
 \lambda_{qs} &= L_{qsqs} i_{qs} + L_{qsqr} \cos \theta_r i_{qr} + L_{qsdr} \sin \theta_r i_{dr} \\
 \lambda_{ds} &= L_{dsds} i_{ds} - L_{dsqr} \sin \theta_r i_{qr} + L_{dsdr} \cos \theta_r i_{dr} \\
 \lambda_{qr} &= L_{qrqs} \cos \theta_r i_{qs} - L_{qrds} \sin \theta_r i_{ds} + L_{qrqr} i_{qr} \\
 \lambda_{dr} &= L_{drqs} \sin \theta_r i_{qs} + L_{drds} \cos \theta_r i_{ds} + L_{drdr} i_{dr}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Yukarıda verilen halkalama akıları, sonraki aşamalarda gerekli olacak olan matrisel biçimde aşağıda verildiği şekilde gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} \lambda_{qs} \\ \lambda_{ds} \\ \lambda_{qr} \\ \lambda_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{qsqs} & & L_{qsqr} \cos \theta_r & L_{qsdr} \sin \theta_r \\ & L_{dsds} & -L_{dsqr} \sin \theta_r & L_{dsdr} \cos \theta_r \\ L_{qrqs} \cos \theta_r & -L_{qrds} \sin \theta_r & L_{qrqr} & \\ L_{drqs} \sin \theta_r & L_{drds} \cos \theta_r & & L_{drdr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

Modellemenin başlangıcında yaptığımız manyetik devrenin lineer olması ve hava aralığının uniform olmasını da gözönünde bulundurarak, (4.3)’de verilen endüktans ifadeleri stator ve rotor sarım sayıları ve hava aralığı relüktansı R_g cinsinden yazılabilir.

$$\begin{aligned}
L_{qsqs} &= L_{lqs} + \frac{N_{qs}^2}{R_g} & L_{dsds} &= L_{lds} + \frac{N_{ds}^2}{R_g} \\
L_{qsqr} &= \frac{N_{qs} N_{qr}}{R_g} & L_{qsdr} &= \frac{N_{qs} N_{dr}}{R_g} \\
L_{dsqr} &= \frac{N_{ds} N_{qr}}{R_g} & L_{dsdr} &= \frac{N_{ds} N_{dr}}{R_g} \\
L_{qrqr} &= L_{lqr} + \frac{N_{qr}^2}{R_g} & L_{drdr} &= L_{ldr} + \frac{N_{dr}^2}{R_g}
\end{aligned} \tag{4.4}$$

Yukarıda verilen eşitliklerde $L_{lqs}, L_{lds}, L_{lqr}$ ve L_{ldr} ifadeleri sırasıyla stator q eksen, stator d eksen, rotor q eksen ve rotor d eksen kaçak endüktans değerlerini ifade etmektedir. Simetrik bir sincap kafesli rotor için $N_{qr} = N_{dr}$ ve $L_{lqr} = L_{ldr}$ olduğundan, bu ifadeler için sadece N_r ve L_{lr} ifadeleri kullanılabilir.

Stator qs sargısının q ekseninde, stator ds sargısının d ekseninde olduğu, durağan stator d-q eksen takımını referans eksen takımı seçtiğimizden ötürü, rotor d-q sargılar da bu referans eksen takımına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda verilen eşitlik kullanılabilir.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} f_{qr}^s \\ f_{dr}^s \end{bmatrix} &= \underbrace{\begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix}}_{T_{qd}(\theta_r)} \begin{bmatrix} f_{qr}^r \\ f_{dr}^r \end{bmatrix} \tag{4.5}
\end{aligned}$$

Bu eşitlikte verilen değişken f sembolü, rotor qr ve dr sargılarına ait gerilim, akım veya halkalam akıları olabilir. Daha önce de belirtildiği gibi θ_r , qs ekseninden ölçülen, qs sargı ile qr sargı eksenleri arasındaki açıyı ifade etmektedir.

Yukarıda verilen eşitliklerle rotor qr ve dr sargılarının referans d-q eksen takımına dönüşümü yapılmıştır. Bunun yanı sıra, stator qs ve ds sargılarına ait sarım sayılarının farklı olması nedeniyle, bunlar arasında da bir indirgeme yapılması

gerekmektedir. Bu amaçla, stator ds sargı parametreleri qs sargısına indirgeme yapılması uygun görülmüştür.

Parametrelerde kullanılan notasyonu sadeleştirmek ve daha anlaşılır kılınmak için, bir değişkendeki (fs) ifadesi rotor değişkenlerinin stator dq eksenine dönüştürüldüğünü, (f') ifadesi de stator qs sargısına indirgenmiş büyüklükleri ifade edecektir.

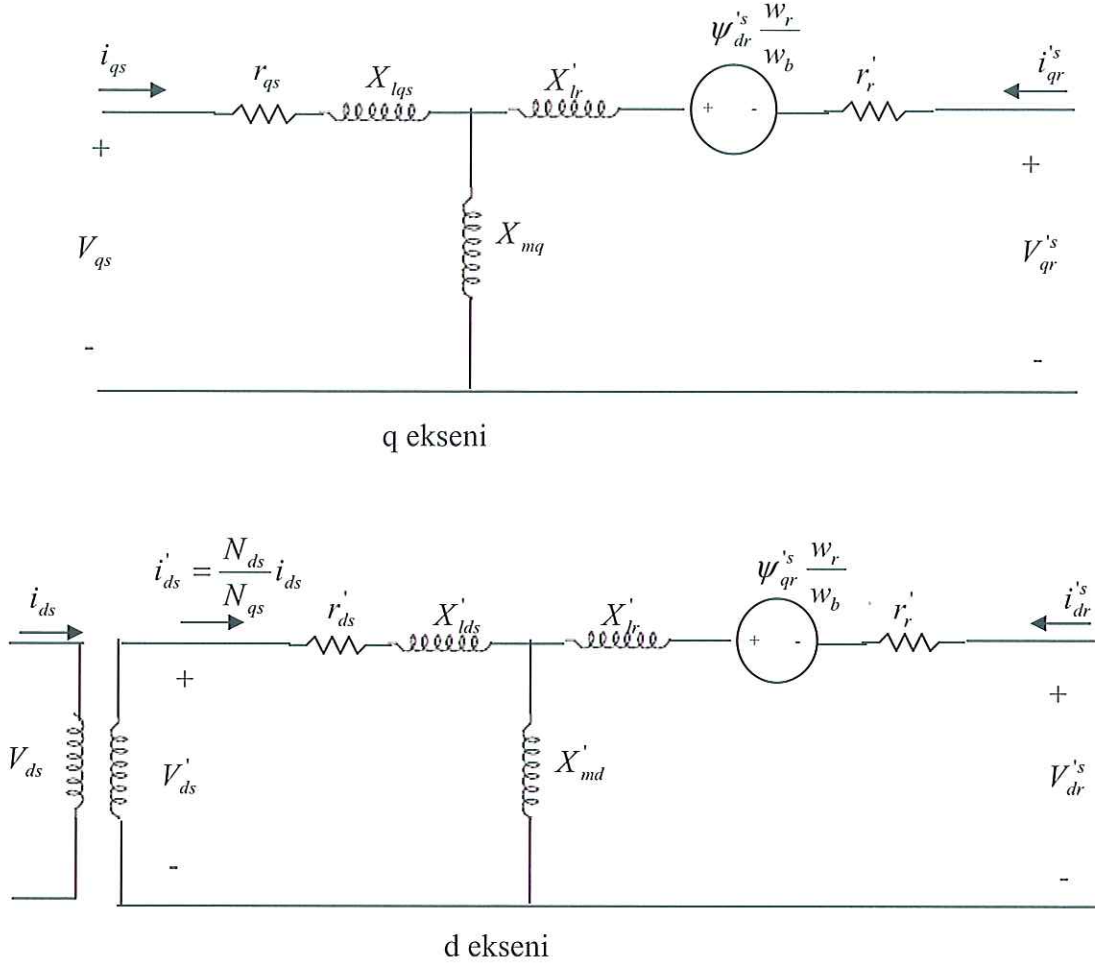
Rotor büyüklüklerinin stator dq eksenine dönüştürülmesi ve ds sargı büyüklüklerinin qs'e indirgenmesi durumunda (3.2)'de verilen eşitlikler aşağıda verilen duruma geçeceklerdir.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{qs} &= L_{lqs} i_{qs} + L_{mg} (i_{qs} + i_{qr}^{'s}) \\
 \lambda_{ds}^{'s} &= L_{lds}^{'s} i_{ds}^{'s} + L_{mg} (i_{ds}^{'s} + i_{dr}^{'s}) \\
 \lambda_{qr}^{'s} &= L_{lq}^{'s} i_{qr}^{'s} + L_{mg} (i_{qs} + i_{qr}^{'s}) \\
 \lambda_{dr}^{'s} &= L_{ld}^{'s} i_{dr}^{'s} + L_{mg} (i_{ds}^{'s} + i_{dr}^{'s})
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

(4.1)'de verilen gerilim eşitlikleri dönüştürülmüş ve indirgenmiş parametreler cinsinden yeniden yazılacak olursa;

$$\begin{aligned}
 v_{qs} &= r_{qs} i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} \\
 v_{ds}^{'s} &= r_{ds}^{'s} i_{ds}^{'s} + \frac{d\lambda_{ds}^{'s}}{dt} \\
 v_{qr}^{'s} &= r_r^{'s} i_{qr}^{'s} - \lambda_{dr}^{'s} \frac{d\theta_r}{dt} + \frac{d\lambda_{qr}^{'s}}{dt} \\
 v_{dr}^{'s} &= r_r^{'s} i_{dr}^{'s} - \lambda_{qr}^{'s} \frac{d\theta_r}{dt} + \frac{d\lambda_{dr}^{'s}}{dt}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Tüm eşitliklerden yola çıkarak oluşturulan simetrik olmayan iki fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi Şekil 4.5’de sunulmuştur. Verilen eşitlik ve eşdeğer devrede kullanılan sargı parametreleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.5 : Bir fazlı asenkron motor için de kullanılabilecek simetrik olmayan iki fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi

$$v_{ds}' = \frac{N_{qs}}{N_{ds}} v_{ds}$$

$$i_{ds}' = \frac{N_{ds}}{N_{qs}} i_{ds}$$

$$L_{mg} = N_{qs}^2 P_g$$

$$L_{md}' = \left(\frac{N_{qs}}{N_{ds}} \right)^2 N_{ds}^2 P_g = L_{mq}$$

$$L'_{lds} = \left(\frac{N_{qs}}{N_{ds}} \right)^2 L_{lds}$$

$$r'_{ds} = \left(\frac{N_{qs}}{N_{ds}} \right)^2 r_{ds}$$

$$L'_{lr} = \left(\frac{N_{qs}}{N_r} \right)^2 L_{lr}$$

$$r'_r = \left(\frac{N_{qs}}{N_r} \right)^2 r_r$$

$$v'_{qr} = \frac{N_{qs}}{N_r} v_{qr}^s$$

$$v'_{dr} = \frac{N_{qs}}{N_r} v_{dr}^s$$

$$i'_{qr} = \frac{N_r}{N_{qs}} i_{qr}^s$$

$$i'_{dr} = \frac{N_r}{N_{qs}} i_{dr}^s$$

$$\lambda'_{qr} = \frac{N_{qs}}{N_r} \lambda_{qr}^s$$

$$\lambda'_{dr} = \frac{N_{qs}}{N_r} \lambda_{dr}^s$$

Stator ve rotor sargılarının anlık güç toplamı (4.8) eşitliği ile verilebilir.

$$P_{in} = v_{qs} i_{qs} + v'_{ds} i'_{ds} + v'_{qr} i'_{qr} + v'_{dr} i'_{dr} \quad \text{W} \quad (4.8)$$

(4.7) verilen gerilim eşitliklerinin kullanılması ve gerekli enerji dönüşümlerinin yapılması neticesinde motorun endükelemiş olduğu moment ifadesine ulaşılabilir.

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{P}{2} (\lambda'_{qr} i'_{dr} - \lambda'_{dr} i'_{qr}) \quad \text{Nm} \\ &= \frac{P}{2} L_{mq} (\lambda i'_{dr} i_{qs} - i'_{qr} i'_{ds}) \quad \text{Nm} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Bir fazlı asenkron motor için eşdeğer devre modeli elde edilmiştir. Simülasyon çalışması için gerekli olan durum uzay modelinin elde edilmesi için (4.1)'de verilen gerilim eşitliklerinin (4.6) eşitliklerinin yardımıyla açılması ve diferansiyel denklem takımlarının elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

$$v_{qs} = r_{qs} i_{qs} + \frac{d(L_{lqs} i_{qs} + L_{mq} (i_{qs} + i'_{qr}))}{dt}$$

$$v_{qs} = r_{qs} i_{qs} + (L_{lqs} + L_{mq}) \frac{di_{qs}}{dt} + L_{mq} \frac{di_{qr}^s}{dt} \quad (4.10)$$

$$v_{ds}^s = r_{ds}^s i_{ds}^s + \frac{d(L_{lds}^s i_{ds}^s + L_{mq} (i_{ds}^s + i_{ds}^s))}{dt}$$

$$v_{ds}^s = r_{ds}^s i_{ds}^s + (L_{lds}^s + L_{mq}) \frac{di_{ds}^s}{dt} + L_{mq} \frac{di_{dr}^s}{dt} \quad (4.11)$$

$$v_{qr}^s = r_{qr}^s i_{qr}^s - \left[L_{lr}^s i_{dr}^s + L_{mq} (i_{ds}^s + i_{dr}^s) \frac{d\theta_r}{dt} \right] + \frac{d(L_{lr}^s i_{qr}^s + L_{mq} (i_{qs}^s + i_{qr}^s))}{dt}$$

$$v_{qr}^s = r_{qr}^s i_{qr}^s + L_{mq} \frac{di_{qs}^s}{dt} + (L_{lr}^s + L_{mq}) \frac{di_{qr}^s}{dt} - L_{mq} \frac{d\theta_r}{dt} i_{ds}^s - (L_{lr}^s + L_{mq}) \frac{d\theta_r}{dt} i_{dr}^s \quad (4.12)$$

$$v_{dr}^s = r_{dr}^s i_{dr}^s - \left[L_{lr}^s i_{dr}^s + L_{mq} (i_{qs}^s + i_{qr}^s) \frac{d\theta_r}{dt} \right] + \frac{d(L_{lr}^s i_{dr}^s + L_{mq} (i_{ds}^s + i_{dr}^s))}{dt}$$

$$v_{dr}^s = r_{dr}^s i_{dr}^s + L_{mq} \frac{di_{ds}^s}{dt} + (L_{lr}^s + L_{mq}) \frac{di_{dr}^s}{dt} + L_{mq} \frac{d\theta_r}{dt} i_{qs}^s - (L_{lr}^s + L_{mq}) \frac{d\theta_r}{dt} i_{qr}^s \quad (4.13)$$

Aynı şekilde (4.9) da verilen moment eşitliği düzenlenecek olur ise;

$$T_m = \frac{P}{2} L_{mq} (\lambda i_{dr}^s i_{qs}^s - i_{qr}^s i_{ds}^s) = J \frac{dw_r}{dt} + T_y \quad (4.14)$$

Bu eşitlikte J motor eylemsizlik momentini, w_r rotor hızını, T_y yük momentini ifade etmektedir [1-3].

Laplace dönüşümü ve transfer fonksiyonu kavramına dayanan klasik kontrol teorisi, tek giriş ve tek çıkışlı, zamanla değişmeyen parametrelere sahip sistemlerin analizi için uygun bir tekniktir. Asenkron motorun simülasyonunda veya analizinde klasik kontrol teorisinden bilinen ve lineer sistemler için uygulanan frekans s-domaini yöntemleri kullanılmaz. Çünkü, bu tekniklerle yalnız tek giriş ve tek çıkışlı sistemlerin davranışları incelenebilir. Ancak, asenkron motorlar çok girişli ve çıkışlı bir elektromekanik sistemler olduklarından, bu giriş ve çıkışların birbirleriyle etkileşimleri olacaktır. Asenkron motor gibi birden fazla giriş ve çıkışa sahip, lineer olmayan ve zamanla değişken parametrelili veya lineer çok değişkenli sistemler,

durum uzayı kavramına dayanan kontrol teorisi ile analiz edilirler.

Bu kontrol teorisinde durum kavramı büyük önem taşımaktadır. Sistemin herhangi bir t anındaki değeri veya hali durum olarak tanımlanır. Sistemin durumları ise durum değişkeni adı verilen bir grup değişken ile belirlenmiştir. İçinde n adet durum değişkeni bulunduran bir sistem için n boyutlu bir durum uzayına sahiptir denir [1-3].

Yukarıda durum uzayı hakkında verilen bilgilerden sonra sistemi tanımlayacak denklemlerin aşağıda verileceği gibi tanımlandığı varsayılabilir.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (4.15)$$

Burada X durum değişkenleri vektörünü, U kaynak vektörünü, A sistem matrisini ve B giriş matrisini göstermektedir.

Buradaki amacımız, ilerki bölümlerde çeşitli bir fazlı asenkron motor uygulaması için referans teşkil edecek olan simetrik olmayan iki fazlı asenkron motorun durum uzay modelinin kurulmasıdır.

(4.10), (4.11), (4.12), (4.13), (4.14) eşitliklerinde verilen ifadelerin yeniden düzenlemesi sonucunda görüleceği gibi, stator ve rotor akımları ile rotor hızı durum değişkenleri, stator ve rotor gerilimleri ile yük momenti kaynak fonksiyonlarını oluşturacaktır. Bu durumda sistem beş boyutlu bir durum uzayı modeli ile ifade edilebilecektir.

Denklemler takımının yukarıda söylenenler ışığında yeniden düzenlenmesi ve durum değişkenlerinin denklemlerin sol tarafında toplanması gerekmektedir. Bu durumda (4.16)-(4.20) eşitlikleri elde edilecektir.

$$(L_{lqs} + L_{mq}) \frac{di_{qs}}{dt} + L_{mq} \frac{di_{qr}^s}{dt} = v_{qs} - r_{qs} i_{qs} \quad (4.16)$$

$$(L_{lds} + L_{mq}) \frac{di_{ds}}{dt} + L_{mq} \frac{di_{dr}^s}{dt} = v_{ds} - r_{ds} i_{ds} \quad (4.17)$$

$$L_{mq} \frac{di_{qs}}{dt} + (L_{lr} + L_{mq}) \frac{di_{qr}^s}{dt} = v_{qr}^s - r_r^s i_{qr}^s - L_{mq} \frac{d\theta_r}{dt} i_{ds}^s + (L_{lr} + L_{mq}) \frac{d\theta_r}{dt} i_{dr}^s \quad (4.18)$$

$$L_{mq} \frac{di'_{ds}}{dt} + (L'_{lr} + L_{mq}) \frac{di'_{dr}}{dt} = v'_{dr} - r'_r i'_{dr} - L_{mq} \frac{d\theta_r}{dt} i'_{qs} + (L'_{lr} + L_{mq}) \frac{d\theta_r}{dt} i'_{qr} \quad (4.19)$$

$$J \frac{dw_r}{dt} = \frac{P}{2} L_{mq} (\lambda i'_{dr} i'_{qs} - i'_{qr} i'_{ds}) - T_y \quad (4.20)$$

(4.15)'de verilen gösterime uyum olarak, yukarıda verilen denklem takımları da düzenlenebilir. Bu durumda, durum değişkenlerinin solunda yer alan K matrisi sabit katsayılar matrisidir. Eşitliğin sağ tarafında yer alacak olan matrisler, sol taraftaki katsayılar matrisinin çarpılması ile bir fazlı asenkron motor için düşünülen durum uzay modeli ve analizi elde edilmiş olacaktır.

Genel gösterimi yapılan durum uzay modelindeki A matrisi içerisinde rotor hızı ve motor akımlarını barındırmaktadır. Bu durumda A matrisi lineer olmayan bir matristir. Durum değişkeni ve kaynak fonksiyonları aşağıda verildiği üzere tekrar tanımlanacak olur ise;

$$X^T = [i'_{qs} \quad i'_{ds} \quad i'_{qr} \quad i'_{dr} \quad w_r] \quad (4.21)$$

$$U^T = [v'_{qs} \quad v'_{ds} \quad v'_{qr} \quad v'_{dr} \quad T_y] \quad (4.22)$$

(4.22) eşitliğinde verilen kaynak matrisinde yer alan v'_{qr} ve v'_{dr} rotor gerilimleri, rotorun sincap kafesli olmasından dolayı “sıfır” alınacaklardır. Bir fazlı asenkron motorun boşa yani yüksüz çalışması durumunda ise T_y ile ifade edilen yük momenti de sıfır alınabilir.

Tüm bu açıklamaların ışığı altında endüktif yol vermeli bir fazlı asenkron motor için durum uzay modeli matrisel olarak (4.23) eşitliğinde gösterilmiştir [1-3].

$$\begin{bmatrix} L'_{lqs} + L_{mq} & 0 & L_{mq} & 0 & 0 \\ 0 & L'_{lds} + L_{mq} & 0 & L_{mq} & 0 \\ L_{mq} & 0 & L'_{lrs} + L_{mq} & 0 & 0 \\ 0 & L_{mq} & 0 & L'_{lrs} + L_{mq} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i'_{qs} \\ i'_{ds} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \\ w_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r'_{qs} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -r'_{ds} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{d\theta_r}{dt} L_{mq} & -r'_r & \frac{d\theta_r}{dt} (L'_{lr} + L_{mq}) & 0 \\ -\frac{d\theta_r}{dt} L_{mq} & 0 & -\frac{d\theta_r}{dt} (L'_{lr} + L_{mq}) & -r'_r & 0 \\ 0 & -\frac{i'_{qr} P L_{mq}}{2J} & 0 & \frac{i'_{qs} P L_{mq}}{2J} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_{qs} \\ i'_{ds} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \\ w_r \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \\ V_{qr} \\ V_{dr} \\ M_{yük} \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

4.4. Simülasyon Çalışması

Tezin bu ayırıtına kadar, bir fazlı asenkron motorun çalışma ilkesi incelenmiş, genel yapısı ve tipleri ele alınmış ve son olarak da matematiksel modellemesi elde edilmiştir. Bu bölümde de önceki bölümlerde anlatılanlar ve elde edilen denklem takımlarından yola çıkarak bir fazlı asenkron motorun simülasyon çalışması yer alacaktır. Tezin amacı olan elektronik röleli motorun simülasyon çalışmasından önce, daha faydalı olacağı kanaatiyle, merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motorun, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun ve çift kondansatörlü (yol verme ve daimi) bir fazlı motorların simülasyon çalışmalarına yer verilecektir. Sonuç bölümünde tüm bu simülasyon çalışmalarının sonuçları karşılaştırmalı bir tablo halinde sunulmuştur.

Bu çalışmalar esnasında, kullanılan programlar aşağıda tanımlanmıştır.

Matlab (versiyon 6.5)

Flux-2D, sonlu elemanlar temelli, manyetik analiz programı.

SPEED-PC IMD, motor temel parametrelerinden (laminasyon, sargı v.b.) motor performans analiz programı.

Bölüm 4.3’de elde edilmiş matematiksel model Matlab programı bünyesinde kullanılmıştır. Flux-2D ve SPEED programları ise motor parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu bölümde bu programlar yardımıyla hesaplanmış motor parametreleri ile deney sonucundan elde edilmiş motor parametreleri de kıyaslanmıştır. Buradaki asıl amaç, simülasyon programlarının kullanılarak bir motorun analiz edilmesidir.

4.4.1. Merkezkaç Anahtarlı Bir Fazlı Asenkron Motorun Simülasyonu

Tezin bu bölümünde merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motorun simülasyon sonuçları ve deney sonuçları incelenecektir. Motor simülasyonunu gerçekleyebilmek için, bir fazlı asenkron motorun için elde edilen (4.23) numaralı eşitlik, kondansatör denklemlerini de içeren yeni denklem takımları kurulacaktır. Simülasyon çalışması ve deneyleri yapılacak olan motor Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi tarafından 2002 yılında üretilmekte olan 5KC97A100 model numaralı merkezkaç anahtar sistemine sahip bir fazlı asenkron motor kullanılacaktır.

Simülasyon sonuçlarına geçmeden, (4.23)'de verilen matrisel denklem takımının, kapasitif yol vermeli bir fazlı asenkron motor için uygun hale getirelim.

Ana sargıya paralel bağlı durumda olan yardımcı sargıya seri bağlanacak olan kondansatöre ilişkin gerilim denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$v_c = R_c i_a + \frac{wX_c}{p} i_a \quad (4.24)$$

Burada, v_c kondansatör gerilimini, i_a yardımcı sargı akımını ve X_c kondansatör reaktansını göstermektedir.

Bölüm 4.3 de verilen d-q modelinde yardımcı sargı için ds eksen takımı seçildiği için (4.24) eşitliği de kullanılarak yardımcı sargı gerilimi şu şekilde yazılabilir;

$$v_{ds} = v'_{ds} - v_c \quad (4.25)$$

$$v_{ds} = v'_{ds} - R_c i'_{ds} - \frac{wX_c}{p} i'_{ds} \quad (4.26)$$

Endüktif yol vermeli bir fazlı asenkron motor için verilen (4.23) eşitliği, (4.25) de verilen eşitliğin ilave edilmesi ile, kapasitif yol vermeli bir fazlı asenkron motorun denklem takımı elde edilmiş olur. Rotor devresi kısa devre olduğundan, rotor gerilimleri bu çalışmada da "0" değerinde olacaktır [1,2].

$$\begin{bmatrix} L_{lqs} + L_{mq} & 0 & L_{mq} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{lds} + L_{mq} & 0 & L_{mq} & 0 & 0 \\ L_{mq} & 0 & L_{lr} + L_{mq} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{mq} & 0 & L_{lr} + L_{mq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & R_c & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \\ w_r \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r'_{qs} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -r'_{ds} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{d\theta_r}{dt} L_{mq} & -r'_r & \frac{d\theta_r}{dt} (L_{lr} + L_{mq}) & 0 & 0 \\ -\frac{d\theta_r}{dt} L_{mq} & 0 & -\frac{d\theta_r}{dt} (L_{lr} + L_{mq}) & -r'_r & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{i_{qr}^{ss} PL_{mq}}{2J} & 0 & \frac{i_{qs}^{ss} PL_{mq}}{2J} & 0 & 0 \\ 0 & -w_b X_c & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \\ w_r \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{J} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds}' \\ V_{qs}' \\ V_{qr}' \\ M_{yük} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

Motoru ait etiket değeri aşağıda verilmiştir.

Motor Tipi : 5KC97A100

Motor Giriş Gücü : 1.10 kW

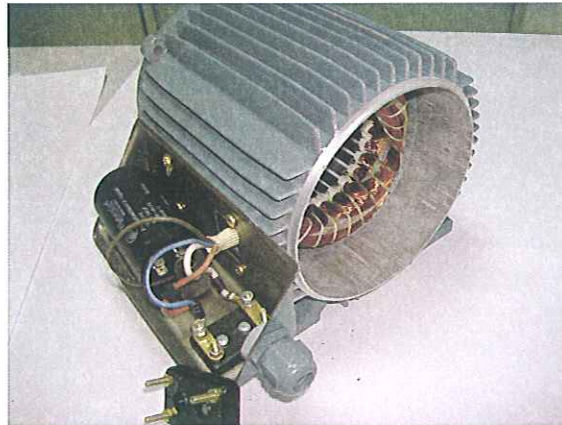
Motor Çıkış Gücü : 0.75 kW

Motor Nominal Gerilim : 220V

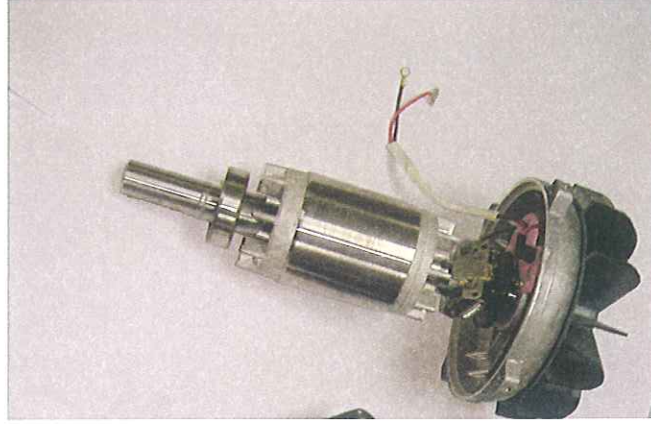
Motor Nominal Akım : 6.7 A

Yol Verme Kondansatör Değeri : 130μF

Yukarıda parametreleri verilen motora ilişkin, sargı parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak, önceki bölümlerde anlatılan Flux-2D ve SPEED programlarının yanı sıra, motorun laboratuvar test sonuçları kullanılmıştır.



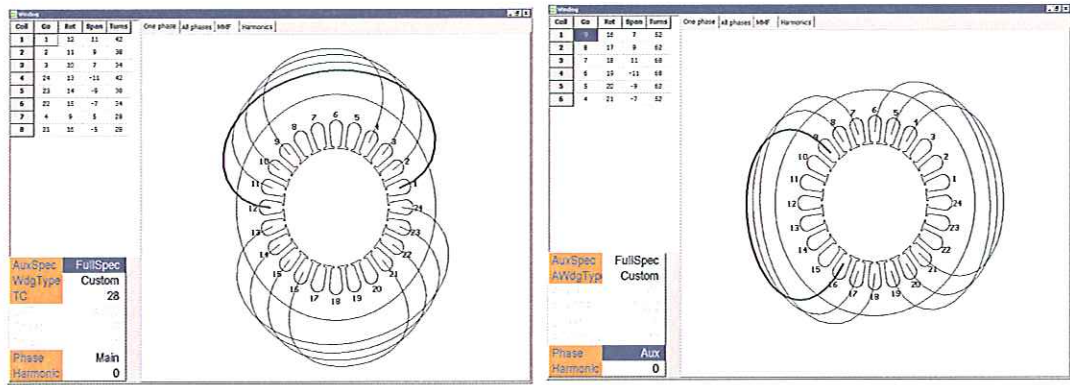
Şekil 4.6 : Merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motora ait stator gövde grubu ve kondansatörü



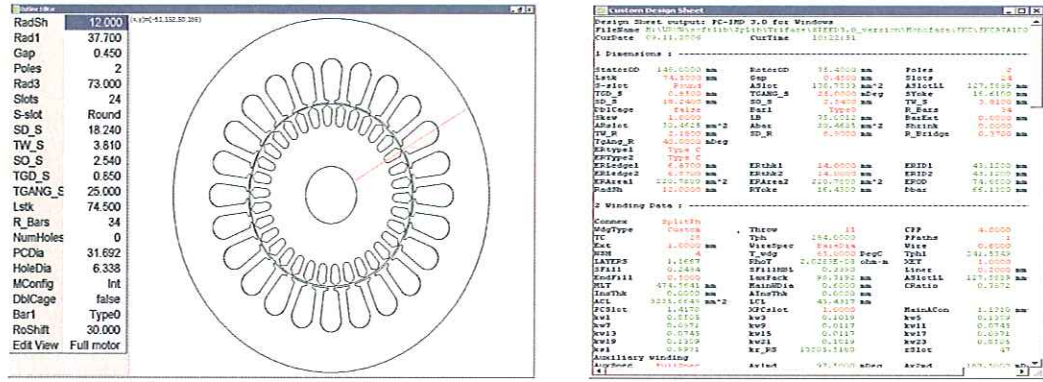
Şekil 4.7 : Merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motora ait rotor mil grubu ve merkezkaç mekanizması

Simülasyonu gerçekleştirilecek Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi tarafından 2002 yılında üretilmekte olan 5KC97A100 model numaralı merkezkaç anahtar sistemine sahip bir fazlı asenkron motor resimleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de sunulmuştur.

Öncelikli olarak, motor sargı parametrelerinin elde edilmesi için motor deneyleri kullanıldığı gibi, motor laminasyonu ve sarım bilgileri SPEED programına girilmiştir. Motor etiketinde belirtilen gerilim ve frekansta motor analizi gerçekleştirilmiştir. SPEED programında gerçekleştirilen analizlere ilişkin bilgiler Şekil 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8 : SPEED programında ana ve yardımcı sargı tanımlama



Şekil 4.9 : SPEED programında laminasyon tanımlama ve sonuç çıktıları

SPEED programından elde edilen bilgiler FLUX-2D programında da analiz edilerek aşağıda verilen motor değerleri elde edilmiştir. [4,5,11] Flux-2D programındaki analiz çalışmalarının detayı bir sonraki bölümde verilecektir.

Motor çıkış gücü : 0.75kW

Nominal gerilim : 220V

Nominal frekans : 50 Hz

2P: 2

J : 0.002 kgm²

w_b : 314 rad/s

$C_{yol\ alma}$ = 140 μ F

$N_a / N_m = 1,37 = k$

Ana sargı parametreleri;

$r_m = 2,19$ ohm

$X_{lm} = 4,50$ ohm

$X_m = 70$ ohm

Yardımcı sargı parametreleri;

$r_a = 14,45$ ohm

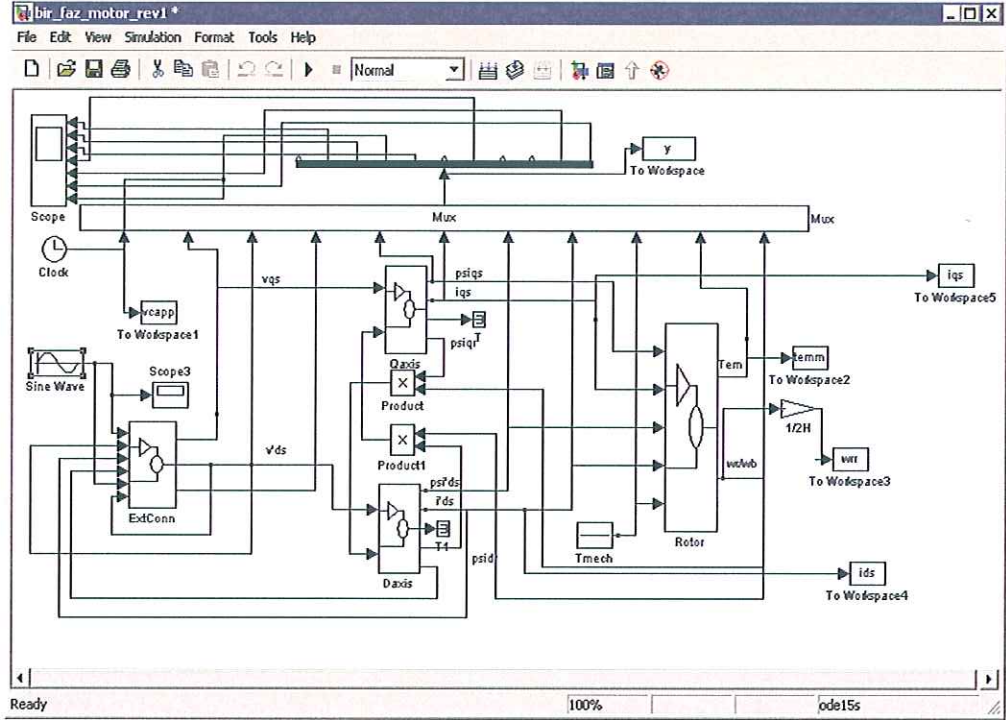
$X_{la} = 7,4$ ohm

Rotor sargı parametreleri;

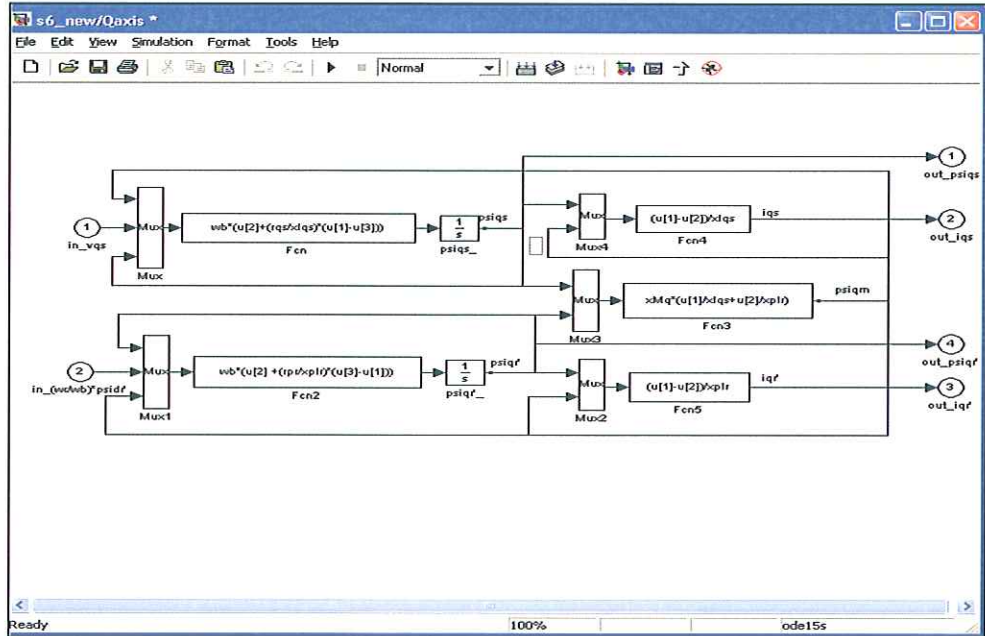
$r_r' = 2,6$ ohm

$X_{lr}' = 4,8$ ohm

Yukarıda verilen parametrelerin ve (4.26) numaralı eşitlikte verilen bir fazlı asenkron motor modelin Matlab simülasyon programına aktarılmasına ilişkin blok şemalar Şekil 4.10-Şekil 4.13’de verilmiştir.

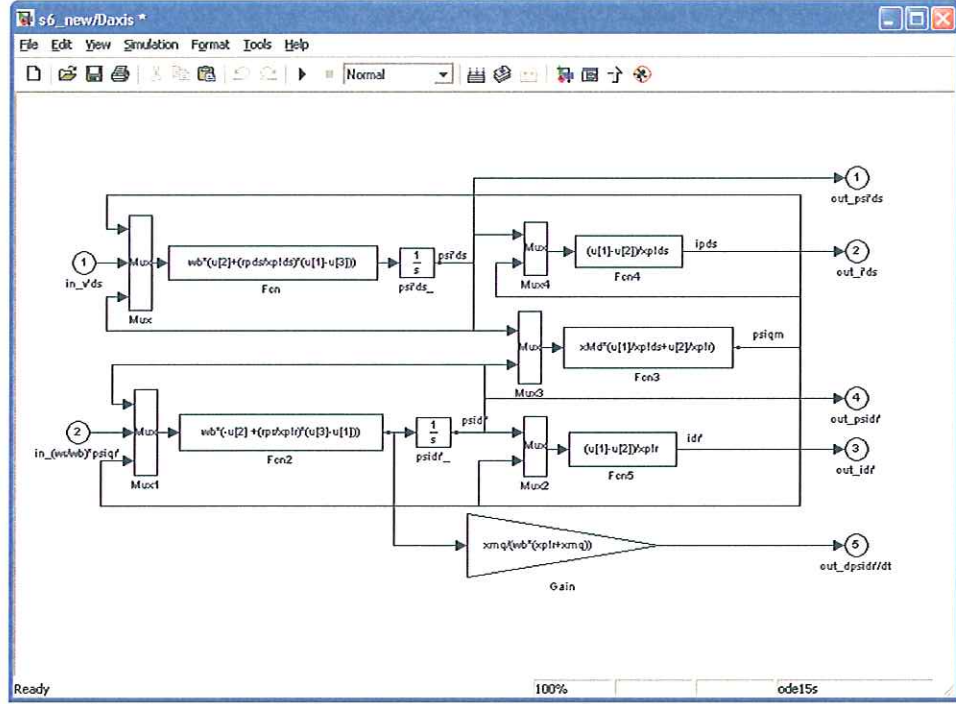


Şekil 4.10 : Matematiksel modelin Matlab simülasyon programına aktarılmasıyla elde edilen ana blok şema.

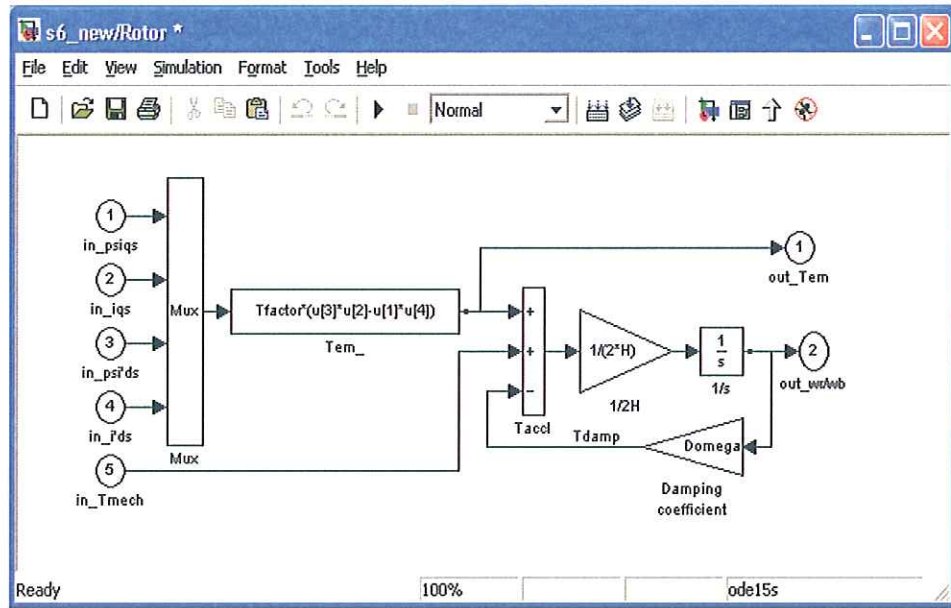


Şekil 4.11 : q eksenli denklem takımına ilişkin blok şema

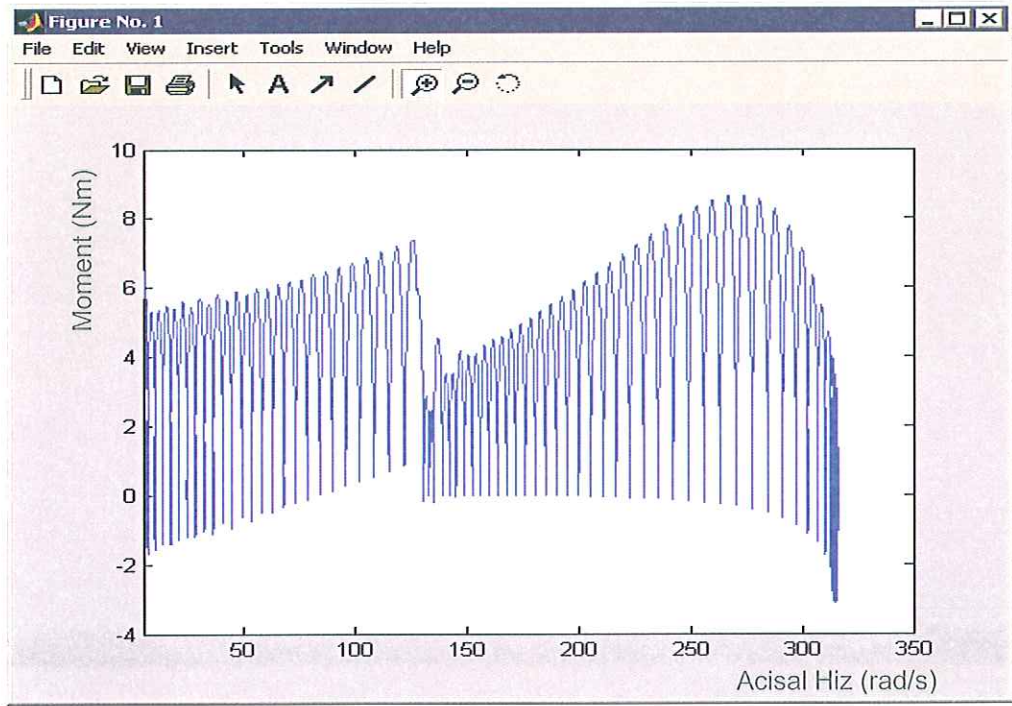
Simülasyon sonuçları neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.14-Şekil 4.17’de sunulmuştur.



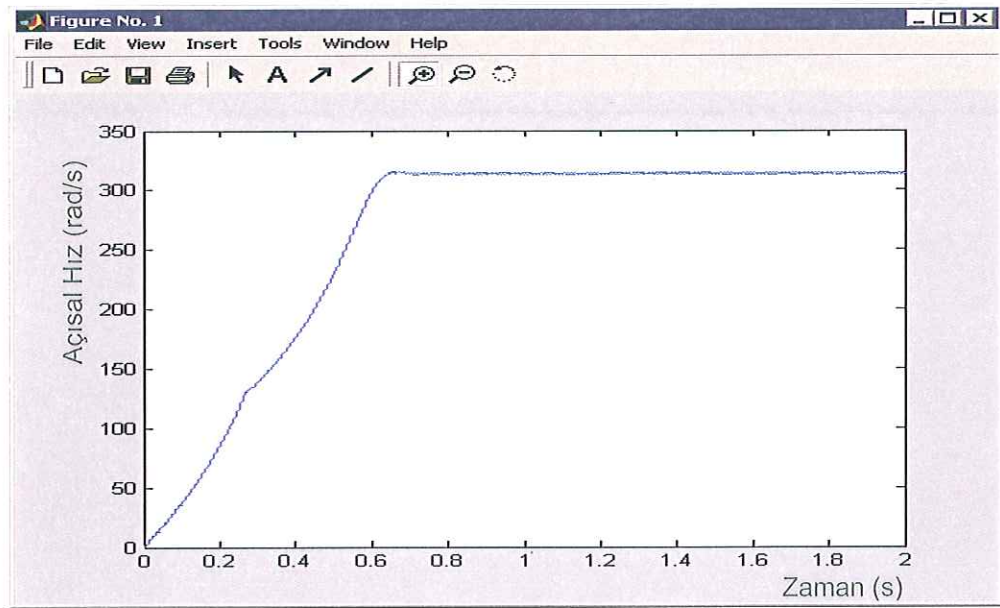
Şekil 4.12 : d eksenli denklem takımına ilişkin blok şema.



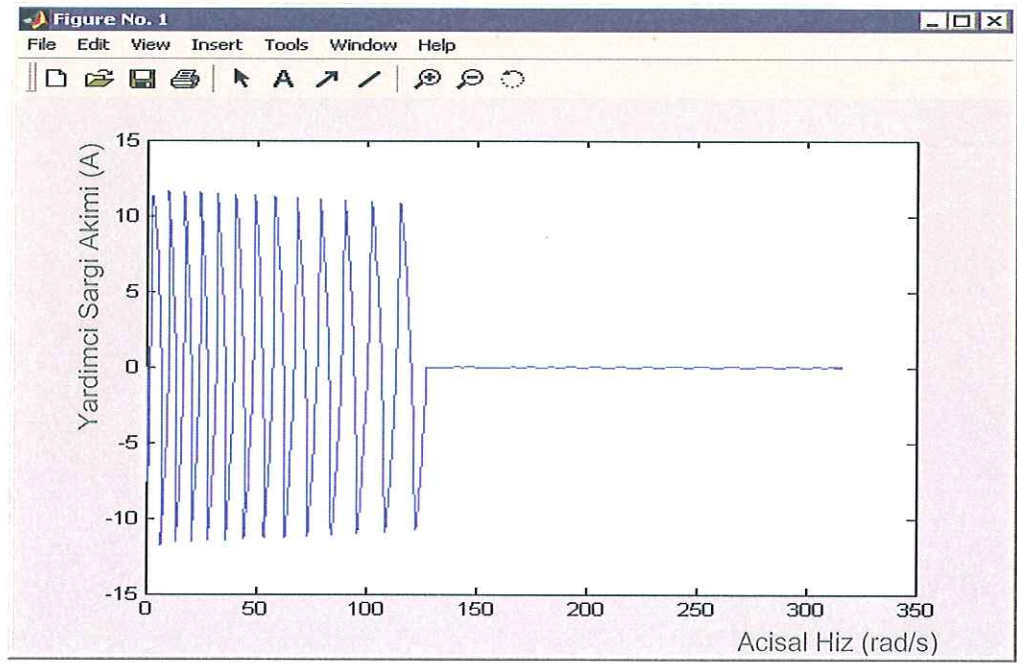
Şekil 4.13 : Rotor denklem takımına ilişkin blok şema.



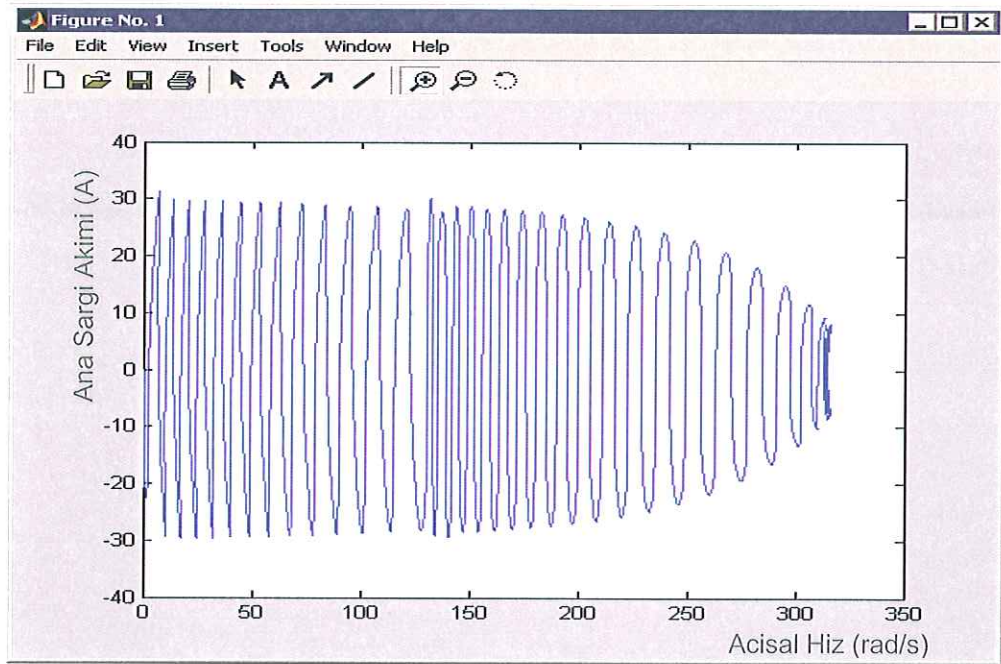
Şekil.4.14: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (moment-açısal hız eğrisi)



Şekil.4.15: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları (açıl hız-zaman eğrisi)

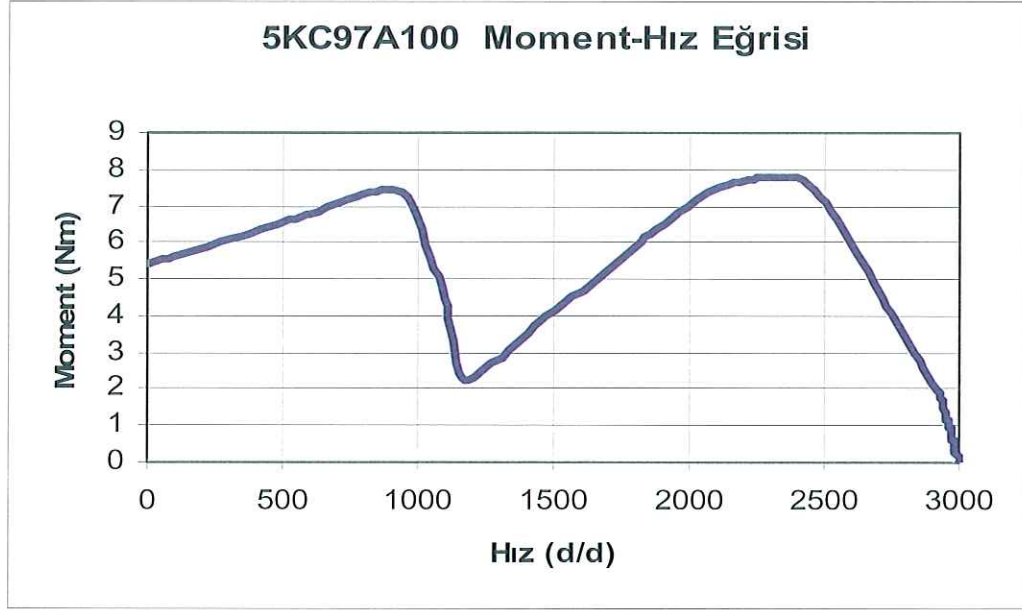


Şekil.4.16: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(yardımcı sargı akımı-açısal hız eğrisi)

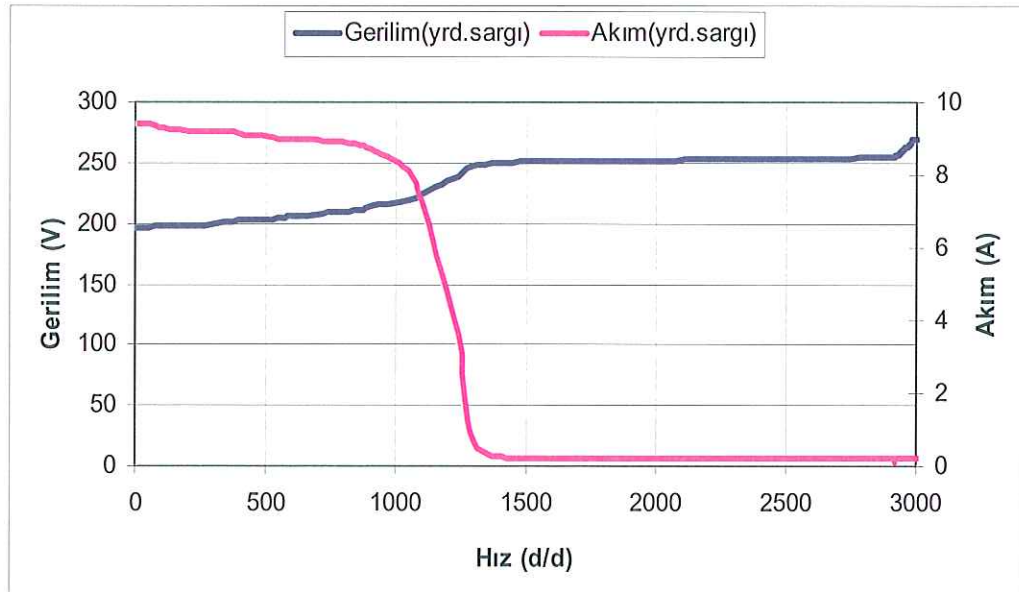


Şekil.4.17: Merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(ana sargı akımı-açısal hız eğrisi)

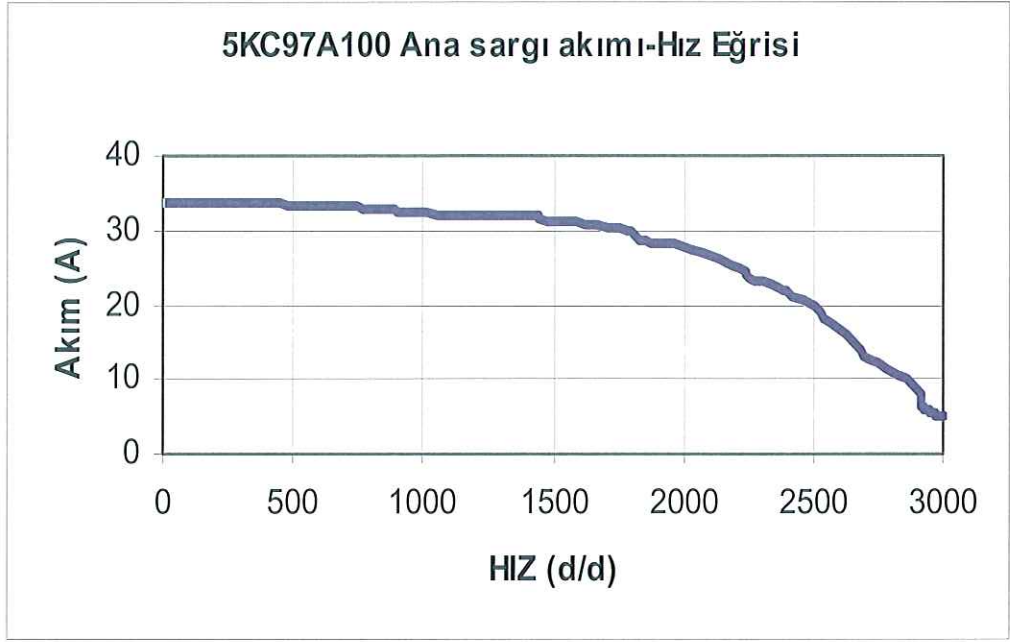
Simülasyon sonuçları verilen 5KC97A100 motorun Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi ürün geliştirme laboratuvarında gerçekleştirilen deney sonuçları aşağıda verilen şekillerde görüldüğü üzere elde edilmiştir.



Şekil.4.18 : 5KC97A100 motora ait deney sonuçları (moment-hız eğrisi)



Şekil.4.19 : 5KC97A100 motora ait deney sonuçları
(Yardımcı sargı akım, gerilim-hız eğrisi)

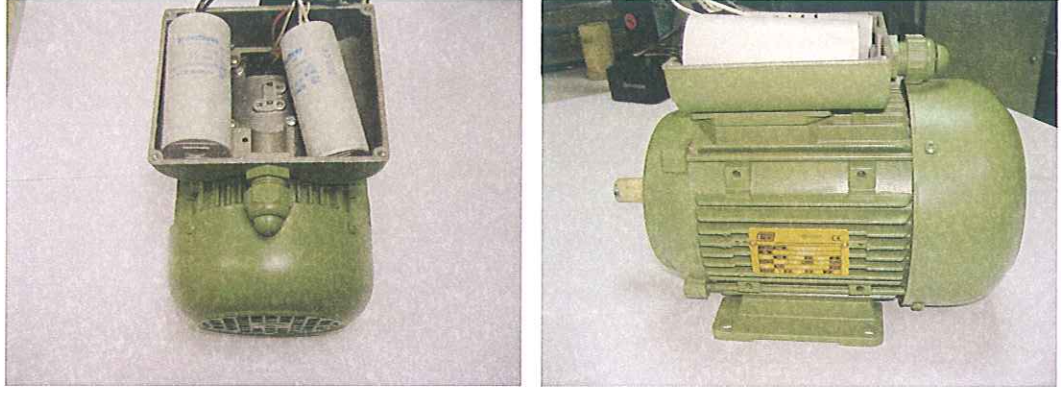


Şekil 4.20 : 5KC97A100 motora ait deney sonuçları (Ana sargı akımı-hız eğrisi)

4.4.2. Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun simülasyonu

Tezin bu bölümünde, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun simülasyon ve deney sonuçları verilecektir. Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyonu için bir önceki bölümde verilen merkezkaç anahtar mekanizmalı bir fazlı asenkron motor denklem takımları kullanılacaktır. Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyonunda, yardımcı sargı ve kondansatörün sürekli devrede kalacaktır. Bu nedenle merkezkaç mekanizmalı bir fazlı asenkron motorda yardımcı sargı ve kondansatörü devre dışı bırakan algoritma, daimi kondansatörlü motor simülasyonunda kullanılmayacaktır.

Simülasyon ve deney çalışmaları için Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesinde üretilmekte olan QM80M2B motor tipi kullanılacaktır. Şekil 4.21’de motor resimleri verilmiştir.



Şekil 4.21 : QM80M2B Daimi kondansatörlü motor

Motora ait etiket değerleri aşağıda verilmiştir [11].

Motor Tipi : QM80M2B

Motor Çıkış Gücü : 0.75 kW

Motor Nominal Gerilim : 220V

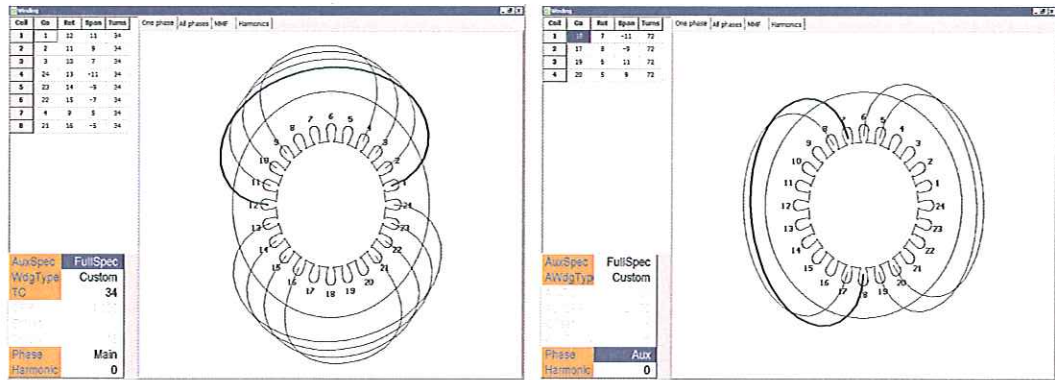
Motor Nominal Akım : 4.95 A

Güç Faktörü : 0.94

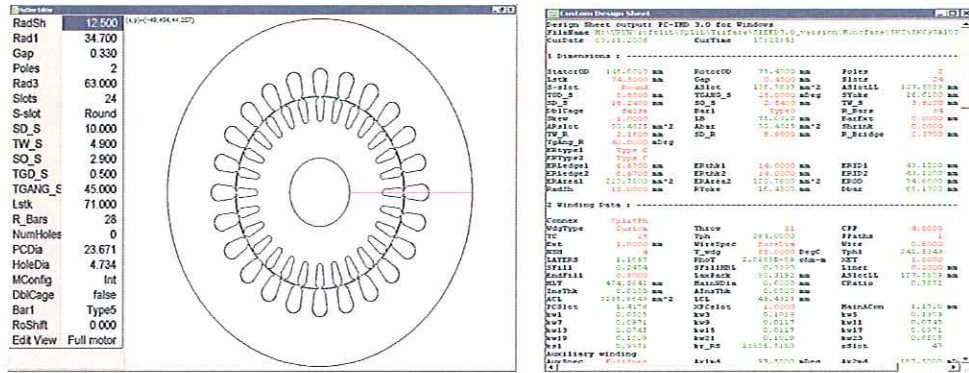
Daimi Kondansatör Değeri : 25µF

Yukarıda parametreleri verilen motora ilişkin, sargı parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak, önceki bölümlerde anlatılan Flux-2D ve SPEED programlarının yanı sıra, motorun laboratuvar test sonuçları kullanılmıştır.

Öncelikli olarak, motor laminasyonu ve sarım bilgileri SPEED programına girilmiştir. Motor etiketinde belirtilen gerilim ve frekansta motor analizi gerçekleştirilmiştir. SPEED programında gerçekleştirilen analizlere ilişkin bilgiler Şekil 4.22-4.25’de verilmiştir.

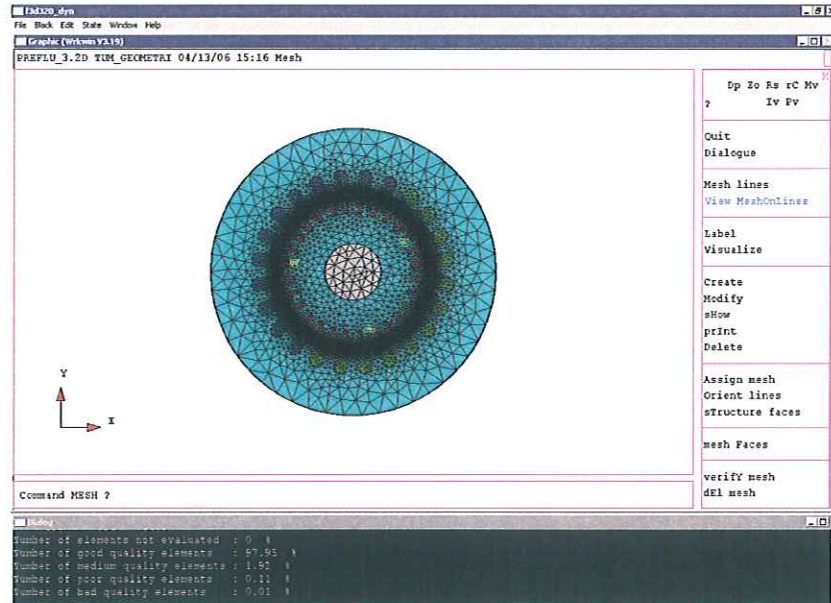


Şekil 4.22 : SPEED programında QM80M2B motorun ana ve yardımcı sargı

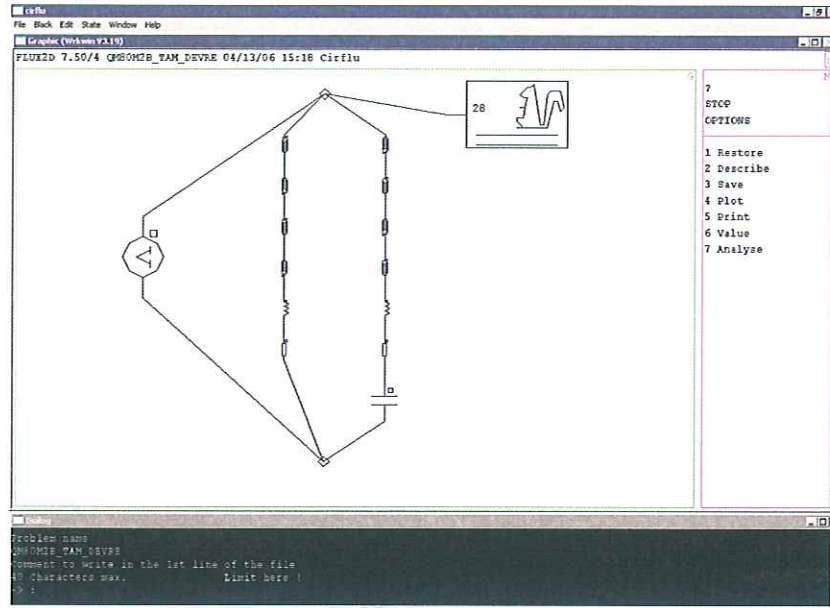


Şekil 4.23 : SPEED programında QM80M2B motorun laminasyon tanımlama ve sonuç çıktıları

Bir sonraki adım olarak Flux-2D de, yukarıda tanımlanan QM80M2B motora ilişkin analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu analiz neticesinde ana ve yardımcı sargıların öz endüktans değerleri, rotor ve stator sargıları arasındaki karşıt endüktans değerleri hesaplanmıştır. Flux-2D programı yardımıyla, değişken parametre olarak zamanın seçildiği ve hızın (kaymanın) seçildiği durumlar için, moment-zaman, moment hız eğrileri de elde edilmiştir. Flux-2D programında analiz öncesi yapılan çalışmalar Şekil 4.24-Şekil 4.26’da verilmiştir.

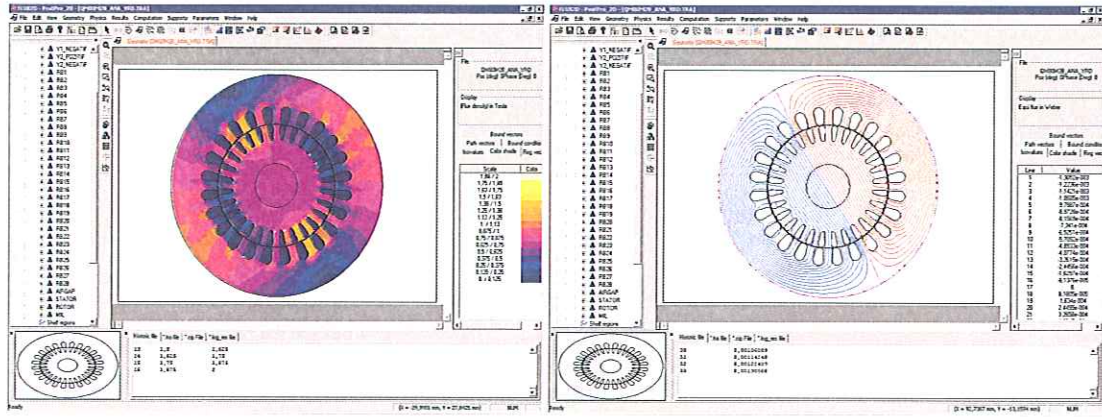


Şekil 4.24 : Flux-2D programında QM80M2B motor geometrisinin oluşturulması ve mesh analizinin gerçekleştirilmesi



Şekil 4.25 : Flux-2D programında motora bağlanacak olan daimi kondansatörlü devre

Yukarıda belirtilen ön hazırlık çalışmalarından sonra gerçekleştirilen, “Manyetodinamik” analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.



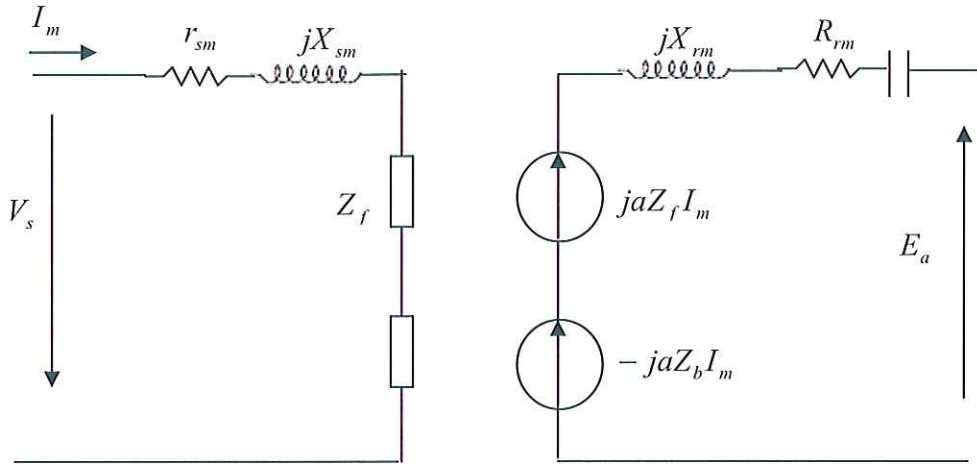
Şekil 4.26 : QM80M2B motora ait, FLUX 2D manyetik akı ve akı yoğunluğu analiz sonuçları

Manyetodinamik analiz neticesinde elde edilmiş veriler yardımıyla “Transient manyetik analiz” çalışması da gerçekleştirilmiştir. Tüm bu çalışmalar, motorun boşa çalışma koşulları göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

SPEED ve Flux-2D programları ile yapılan analizler ve ArçelikA.Ş. laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerin neticesinde QM80M2B motora ilişkin motor parametreleri, ana sargı, yardımcı sargı ve rotora ait direnç ve kaçak reaktans değerleri hesaplanmıştır.

Matematiksel modellemede kullanılacak olan motor parametrelerin aynı zamanda deney sonuçlarından yola çıkarak da hesaplanabilir. [9,20] Bir fazlı asenkron motora uygulanacak olan, boşa motor testi ve kilitli rotor testlerinden elde edilecek akım, gerilim ve güç değerleri bu amaç için kullanılacaktır. Öncelikli olarak ana sargı parametreleri belirlenecektir. Yardımcı sargı için de benzer testler yapılarak yardımcı sargı parametreleri de elde edilmiştir.

Motor devre parametrelerinin hesabında kullanılacak olan eşdeğer devre Şekil 4.27 de verilmiştir



Şekil 4.27 : Eşdeğer devre parametre hesabında kullanılan eşdeğer devre
(Yardımcı sargı açık devre)

Motor parametreleri belirlenecek olan Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi tarafından üretilen QM80M2B bir fazlı asenkron motora boşa test uygulanmıştır. Boşa test esnasında, yardımcı sargı uçları devreden çıkarılmış yani açık devre konumuna getirilmiştir. Ana sargıya, motor nominal gerilim değeri olan 220V tatbik edilerek yardımcı sargı uçlarından yardımcı sargı gerilim değeri ölçülmüştür. Yine boşa test uygulamasında motorun kaynaktan çekmekte olduğu boşa akım ve boşa güç değerleri ölçülmüştür.

Boşta test neticesinde;

$$V_{m0} = \text{Ana sargı gerilimi} = 222\text{V}$$

$$I_{m0} = \text{Ana sargı akım değeri} = 4,10\text{A}$$

$$P_{m0} = \text{Ana sargı güç değeri} = 230\text{ W}$$

$$E_a = \text{Yardımcı sargı boşta gerilim değeri} = 270\text{V}$$

olarak ölçülmüştür.

Kilitli rotor testi neticesinde;

$$V_{mk} = \text{Ana sargı gerilimi} = 215\text{V}$$

$$I_{mk} = \text{Ana sargı akım değeri} = 17,10\text{A}$$

$$P_{mk} = \text{Ana sargı boşta güç değeri} = 2920\text{ W}$$

$$R_{sm} = \text{Ana sargı direnci} = 4.1\text{ ohm}$$

olarak ölçülmüştür.

Ana sargı direncide test sonunda kilitli rotor testinde elde edilen güç ve akım değerleri ile ana sargı direnç değerinden yola çıkarak rotor direnci R_{rm} yaklaşık olarak şu şekilde hesaplanabilir.

$$R_{rm} \approx \frac{P_{mk}}{I_{mk}^2} - R_{sm}$$

$$R_{rm} = \frac{2920}{17,1^2} - 4,1 = 5,81\text{ ohm}$$

Stator kaçak reaktansı X_{sm} ve rotor kaçak reaktansı X_{rm} yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu kabul edilerek aşağıda verildiği üzere hesaplanabilir.

$$X_{sm} = X_{rm} \approx \sqrt{\left[\left(\frac{V_{mk}}{I_{mk}}\right)^2 - (R_{sm} + R_{rm})^2\right]} \quad (4.28)$$

$$X_{sm} = X_{rm} \approx \sqrt{\left[\left(\frac{215}{17,1}\right)^2 - (4,1 + 5,81)^2\right]} = 4,15\text{ ohm}$$

Boşta test sonucunda elde ettiğimiz değerlerden yola çıkarak da çevirme oranı a hesaplanabilir.

$$a = \sqrt{\frac{1.2 E_a^2}{V_{so}^2}} = 1,35 \quad (4.29)$$

Mıknastıslama reaktansı X_{mm} değeri de (4.30) da verilen eşitlik ile elde edilebilir.

$$X_{mm} = 2\sqrt{\frac{E_a^2}{a^2 I_{s0}^2} - \frac{R_{rm}^2}{16}} - X_{rm} \quad (4.30)$$

$$X_{mm} = 2\sqrt{\frac{275^2}{1,35^2 4,1^2} - \frac{5,81^2}{16}} - 4,15 = 94,9 \text{ ohm}$$

Ana sargı parametrelerinin elde edilmesi için uygulanan yöntem yardımcı sargı parametrelerinin elde edilmesi için de uygulanarak yardımcı sargı parametreleri elde edilmiştir.

Deney sonuçlarından ve simülasyon programlarından yola çıkarak elde edilen ve matematiksel modellemede kullanılacak olan motor parametreleri aşağıda verilmiştir [4,5,11].

Motor çıkış gücü : 0.75kW

Nominal gerilim : 220V

Nominal frekans : 50 Hz

2P: 2

J : 0.002 kgm²

ω_b : 314 rad/s

$C_{daimi} = 25 \mu F$

$N_a / N_m = 1,23 = k$

Ana sargı parametreleri;

$r_m = 4,18 \text{ ohm}$

$X_{lm} = 4,15 \text{ ohm}$

$X_m = 94,9 \text{ ohm}$

Yardımcı sargı parametreleri;

$r_a = 8,57 \text{ ohm}$

$X_{la} = 6,75 \text{ ohm}$

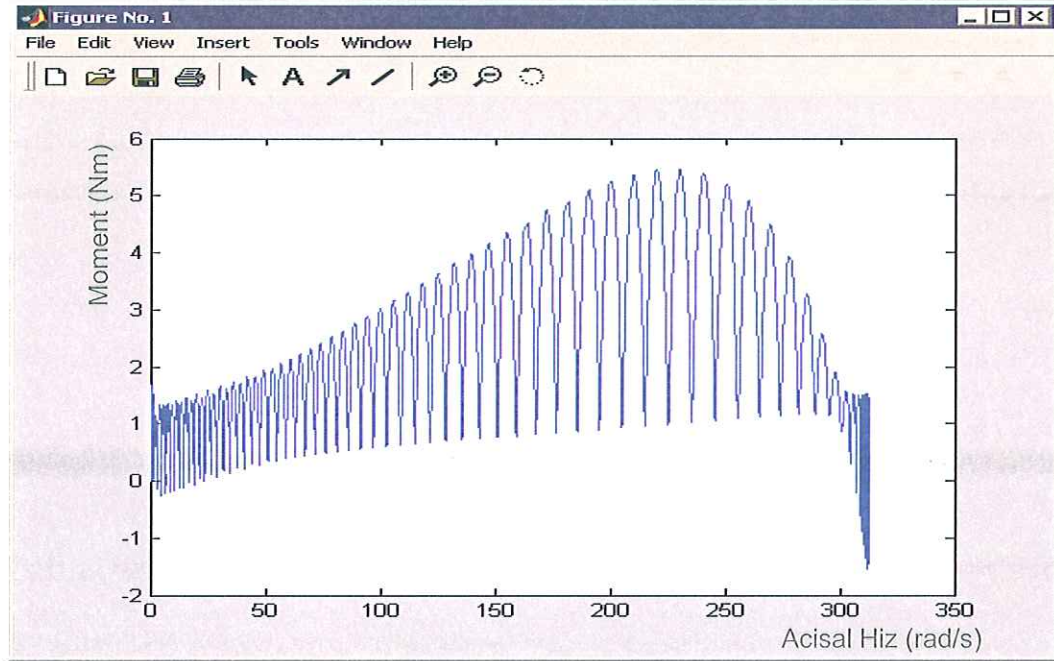
Rotor sargı parametreleri;

$r_r' = 5,81 \text{ ohm}$

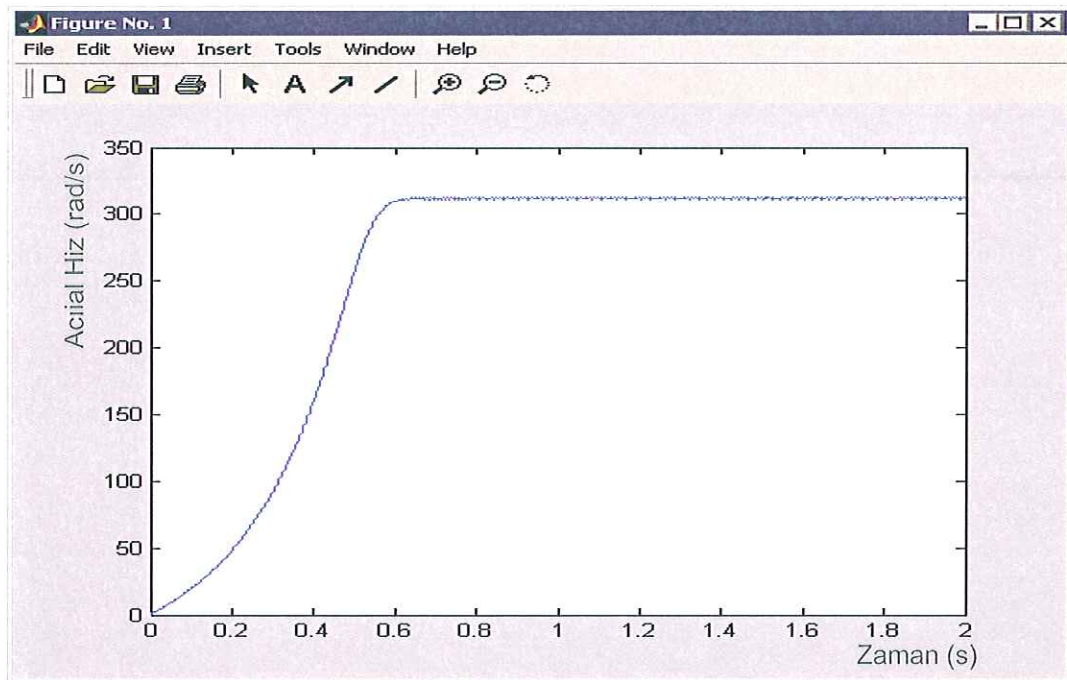
$X_{lr}' = 3,33 \text{ ohm}$

Yukarıda verilen parametrelerin ve (4.27) numaralı eşitlikte verilen daimi kondansatörlü tek fazlı asenkron motor modeli simülasyon programına aktarılması

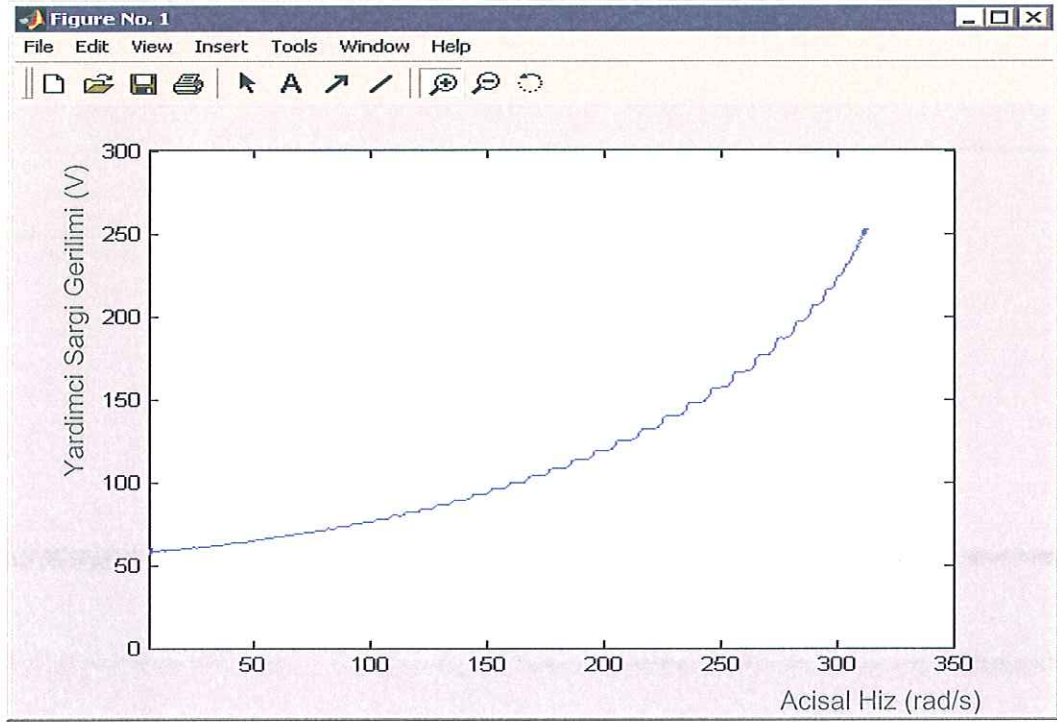
neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.28-Şekil 4.31’de verilmiştir.



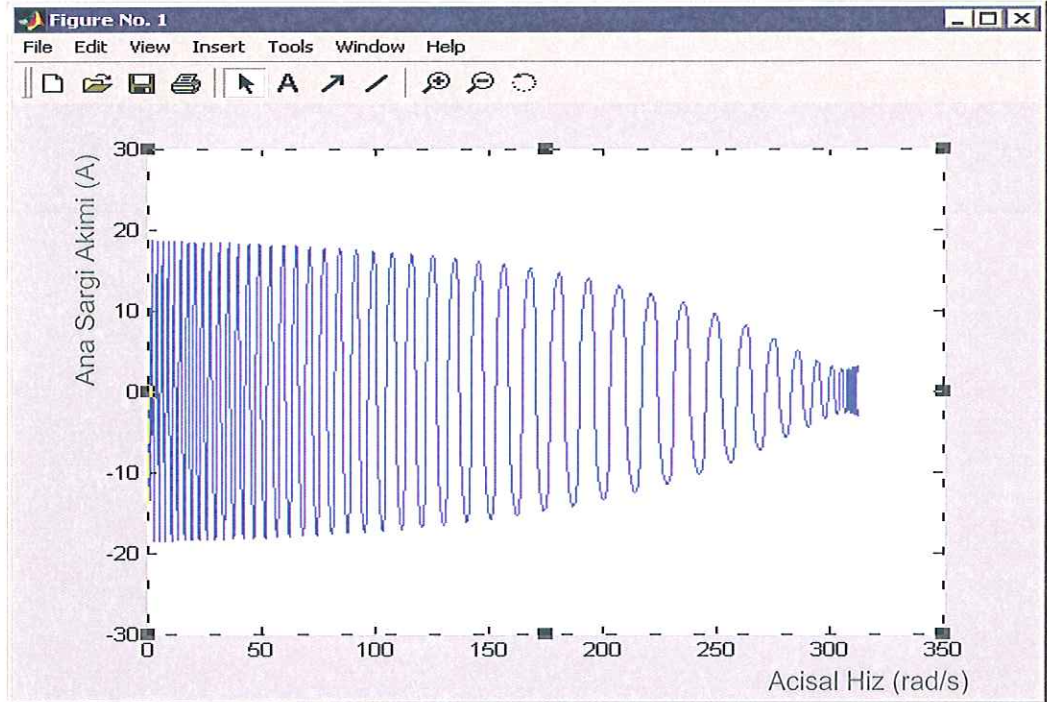
Şekil 4.28 : Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(moment-açısal hız eğrisi)



Şekil 4.29 : Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(rotor açısal hızı-zaman eğrisi)

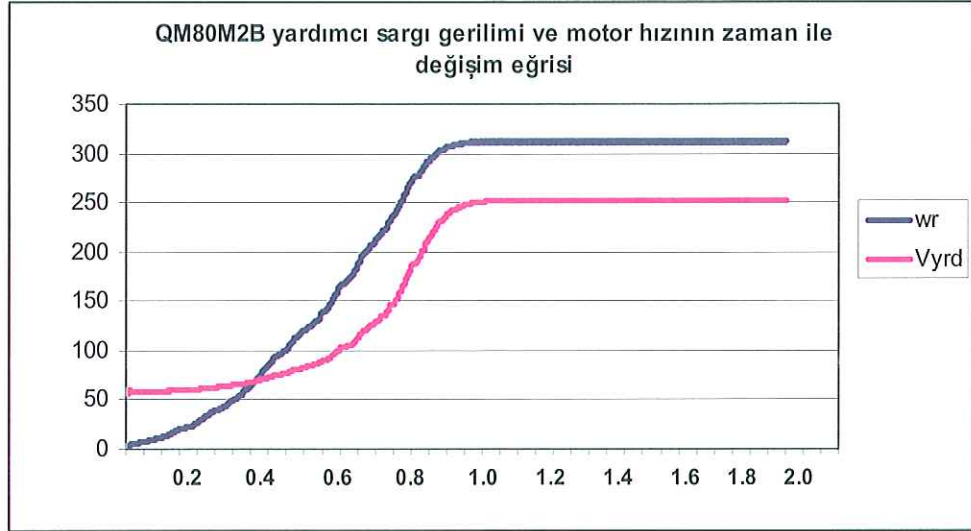


Şekil 4.30 : Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(Yardımcı sargı gerilimi-açısal hız eğrisi)



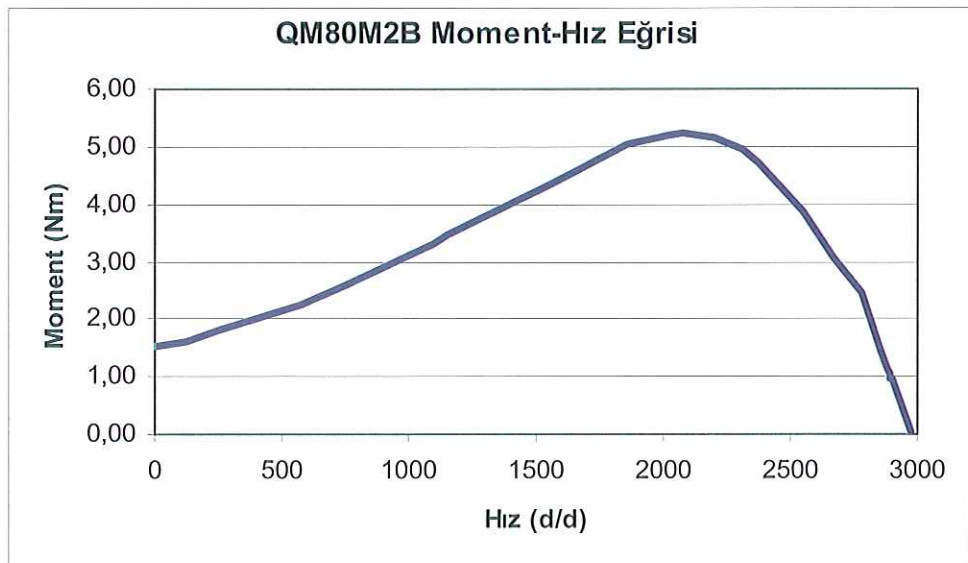
Şekil 4.31 : Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(Ana sargı akımı-açısal hız eğrisi)

Tez'in ilk bölümlerinde ortaya koyulan ve deneysel sonuçları verilen, yardımcı sargı gerilimi ile rotor hızı arasındaki ilişkiyi, simülasyon sonuçlarında da görebilmek adına Şekil 4.32'deki eğri sunulmuştur.

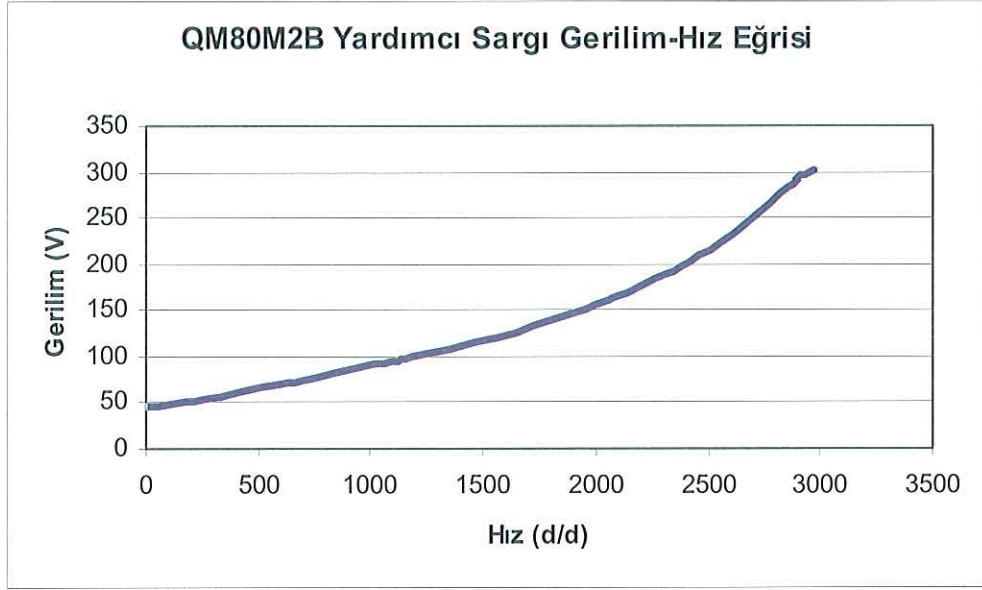


Şekil 4.32 : Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorda simülasyon sonuçları (yardımcı sargı gerilimi ile rotor hızı arasındaki ilişki)

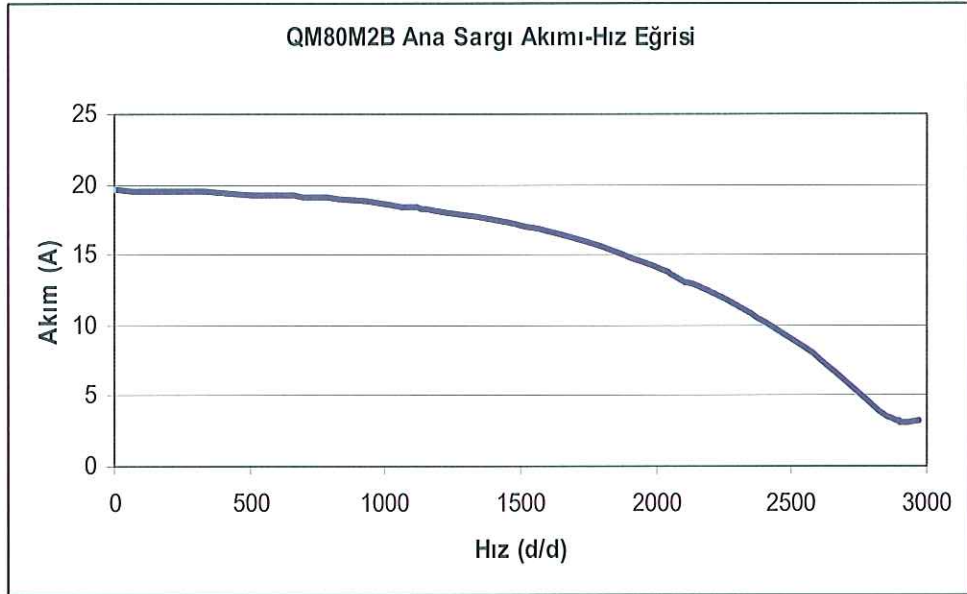
Simülasyon sonuçları verilen QM80M2B motorun Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi ürün geliştirme laboratuvarında gerçekleştirilen deney sonuçları Şekil 4.33-Şekil 4.36 da sunulmuştur.



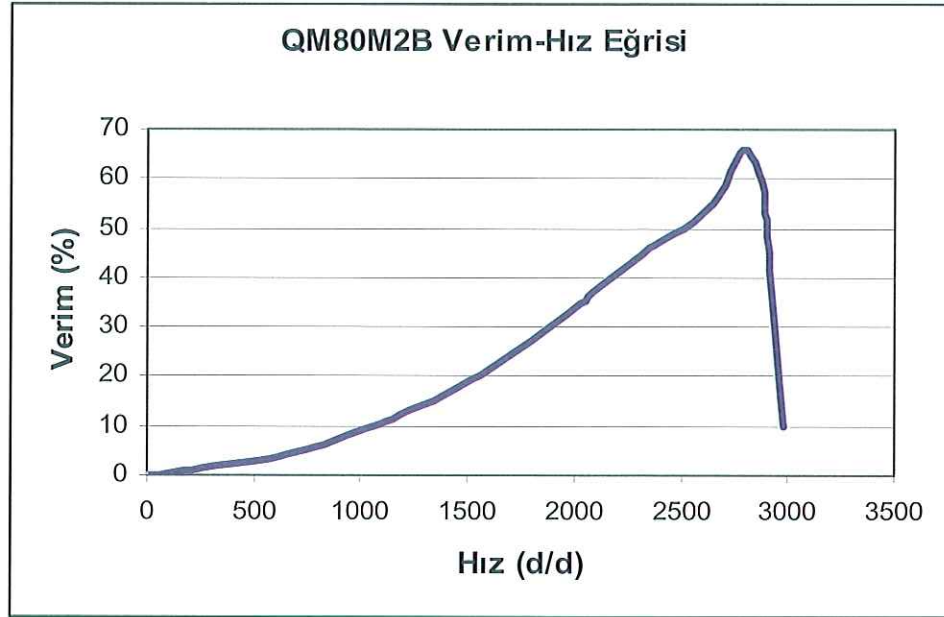
Şekil 4.33 : QM80M2B motora ait deney sonuçları (moment-hız eğrisi)



Şekil 4.34 : QM80M2B motora ait deney sonuçları
(Yardımcı sargı gerilim-hız eğrisi)



Şekil 4.35 : QM80M2B motora ait deney sonuçları
(Ana sargı akımı-hız eğrisi)



Şekil 4.36 : QM80M2B motora ait deney sonuçları (Verim-hız eğrisi)

4.4.3. Elektronik röleli (çift kondansatörlü) bir fazlı asenkron motorun simülasyonu

Tezin bu bölümüne kadar, bir fazlı asenkron motorun matematiksel modellemesi, endüktif yol vermeli, merkezkaç anahtar mekanizmalı ve kapasitif yol verme (daimi kondansatörlü) için gerçekleştirilmiştir. Her iki durum için de motor akım ve moment ifadeleri matrisel olarak (4.26) eşitliklerinde verilmiştir. Özellikle daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor için örnek kabul edilen QM80M2B motor tipi için, simülasyon programları yardımıyla, motor parametreleri hesaplanmış ve motor simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu noktadan itibaren, tez konusu olarak ortaya koyulan yeni yaklaşım metodu yani elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun simülasyonu üzerinde durulacaktır.

Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun matematiksel modeli olarak, daimi kondansatörlü motor için elde edilmiş (4.26) eşitliği kullanılabilir. Ancak, her iki kondansatöründe devrede olduğu yol alma esnasında, yol alma ve daimi kondansatörlerin paralel bağlı olduğundan ötürü, toplam kondansatör değeri olarak yol alma kondansatörü+daimi kondansatör eşitliğini kullanmak durumundayız. Yol alma kondansatörünün devre dışı bırakıldığı andan itibaren, motor karakteristiği, daimi kondansatörlü motor karakteristiği ile aynı olacaktır [11].

Simülasyon ve deney çalışmaları için Şekil 4.37’de verilen ve Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesinde üretilmekte olan QR80M2B motor tipi kullanılacaktır. Motora ait etiket değerleri aşağıda verilmiştir.

Motor Tipi : QR80M2B

Motor Çıkış Gücü : 0.75 kW

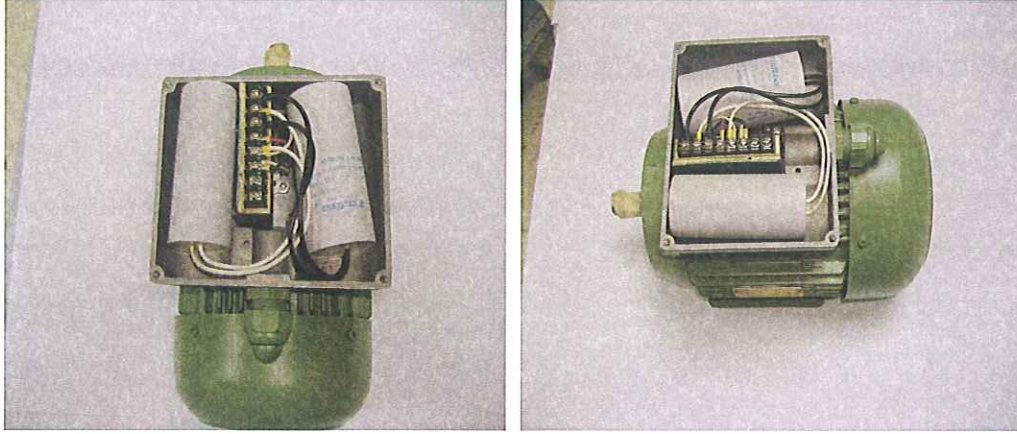
Motor Nominal Gerilim : 220V

Motor Nominal Akım : 4.95 A

Güç Faktörü : 0.94

Yol Alma Kondansatör Değeri : 35 μ F

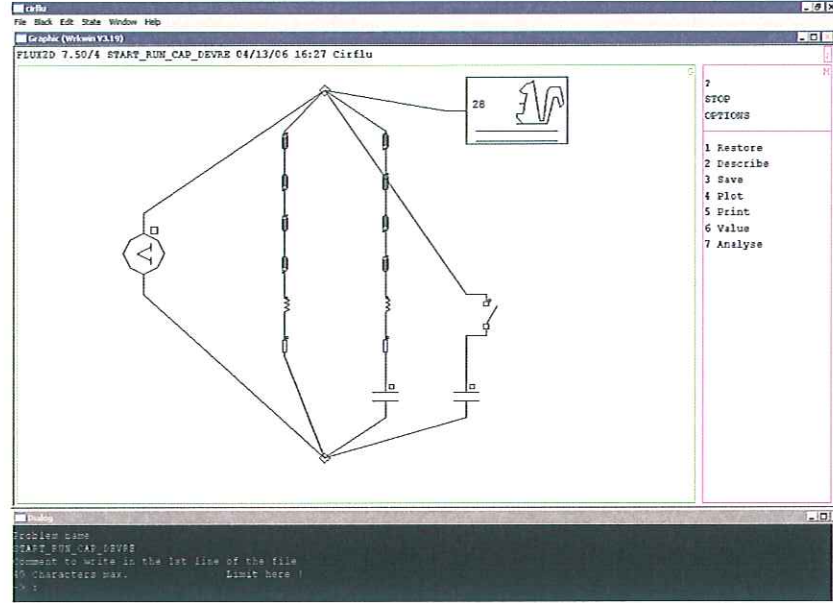
Daimi Kondansatör Değeri : 25 μ F



Şekil 4.37 : QR80M2B Elektronik röleli bir fazlı asenkron motor

Yukarıda parametreleri verilen motora ilişkin, sargı parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak, önceki bölümlerde anlatılan Flux-2D ve SPEED programlarının yanı sıra, motorun laboratuvar test sonuçları kullanılmıştır.

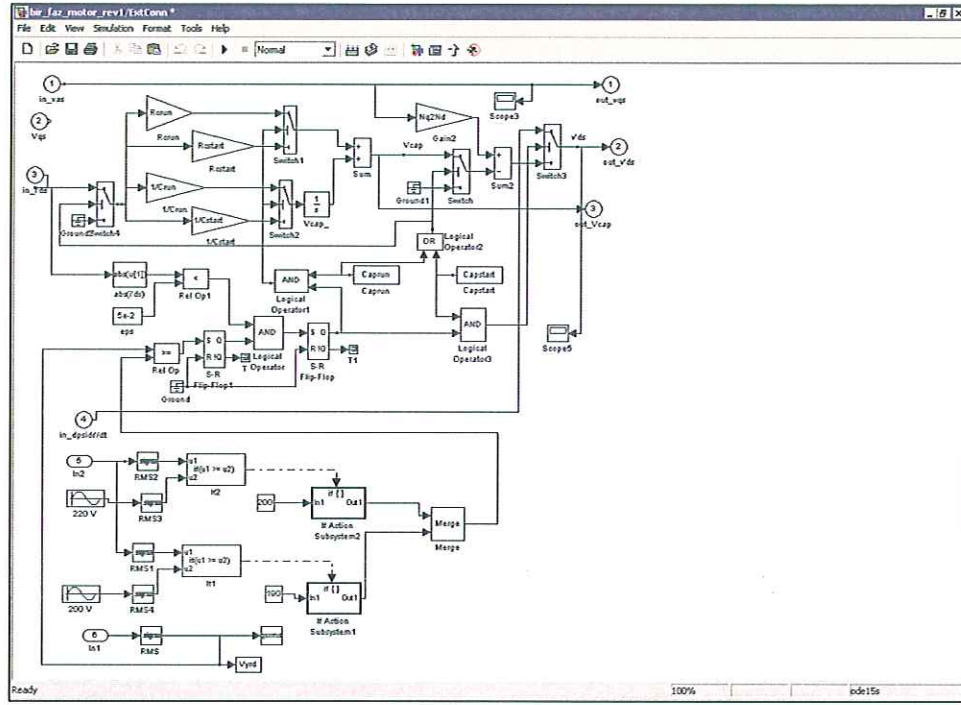
Çift kondansatörlü (yol verme ve daimi kondansatörlü) bir fazlı asenkron motorun analizi, daha önce ortaya koyulan çalışmalarda olduğu gibi, Flux-2D programında da gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Şekil 4.38’de verilen ilave devre kullanılmıştır.



Şekil 4.38 : Elektronik Röleli (çift kondansatörlü) bir fazlı asenkron motorun Flux-2D programındaki simülasyon çalışması için kullanılan devre modeli.

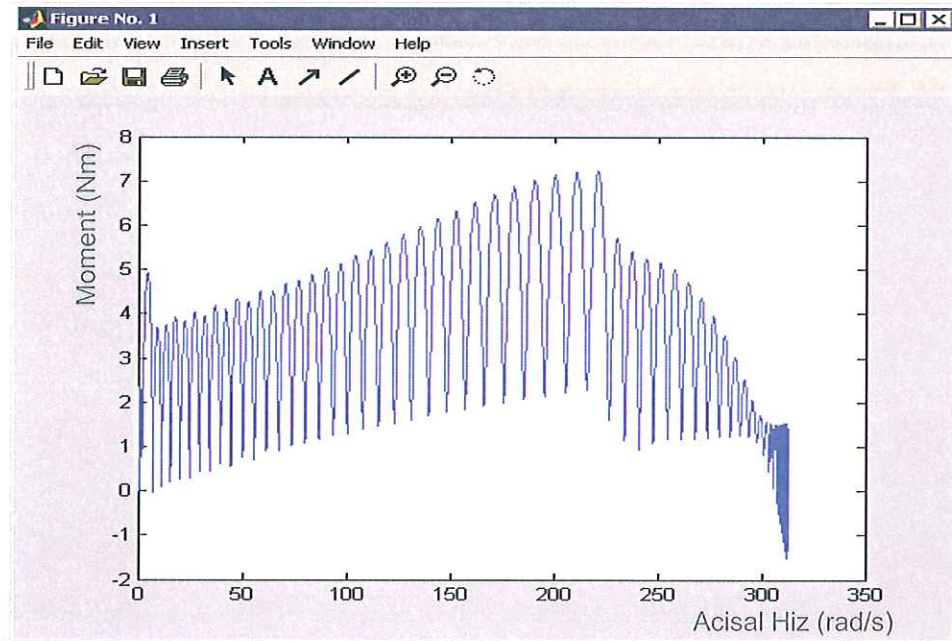
Programın getirmiş olduğu kısıtlamalar nedeniyle, devre de tanımlanan anahtarın açma noktası için yardımcı sargı gerilimini referans verebilme koşulu mümkün değildir. Bu nedenle, VisSim programında gerçekleştirilmiş simülasyon sonucunda elde edilen, yol verme kondansatörünün devre dışı bırakıldığı açma zamanı, Flux-2D programında tanımlanan anahtar için referans kabul edilmiştir. Çift kondansatörlü bir fazlı asenkron motor için öncelikli olarak manyetodinamik çözüm yapılmış, ardından transient manyetik çözüm gerçekleştirilmiştir.

MATLAB simülasyon programında elektronik röleyi simüle etmek amacıyla, öncelikli olarak, kaynak geriliminin izlenmesi ve ona uygun yardımcı gerilim değerlerinin atanması gerekmektedir. Bu amaçla sisteme bir kıyaslama tablosu ilave edilmiştir. Aynı zamanda kondansatördeki değişikliğin sisteme dahil edilebilmesi amacıyla, kondansatör değerinin yardımcı sargı gerilimindeki değişimine dolayısıyla referans açma gerilim değerine bağlı hale getirilmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen ve daimi kondansatörlü tek fazlı asenkron motorun simülasyonundan farklılık arz eden, mikro işlemci simülasyonu Şekil 4.39’da verilmiştir.

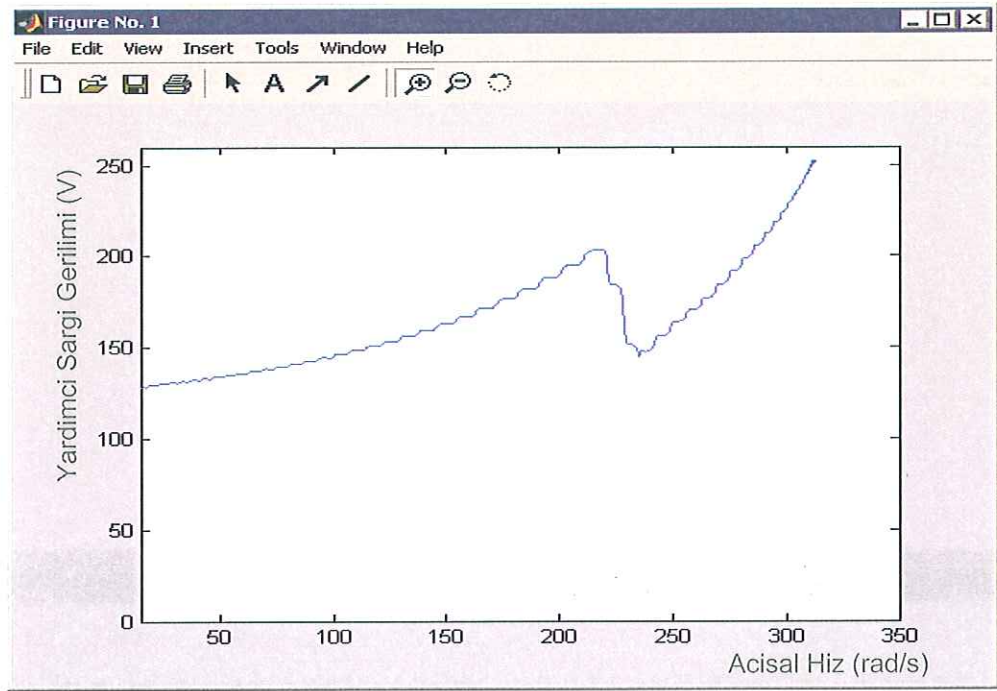


Şekil 4.39 : Elektronik Röleli (Yol alma ve daimi kondansatörlü) bir fazlı asenkron motor simülasyonu için gerçekleştirilmiş mikro işlemci simülasyonu

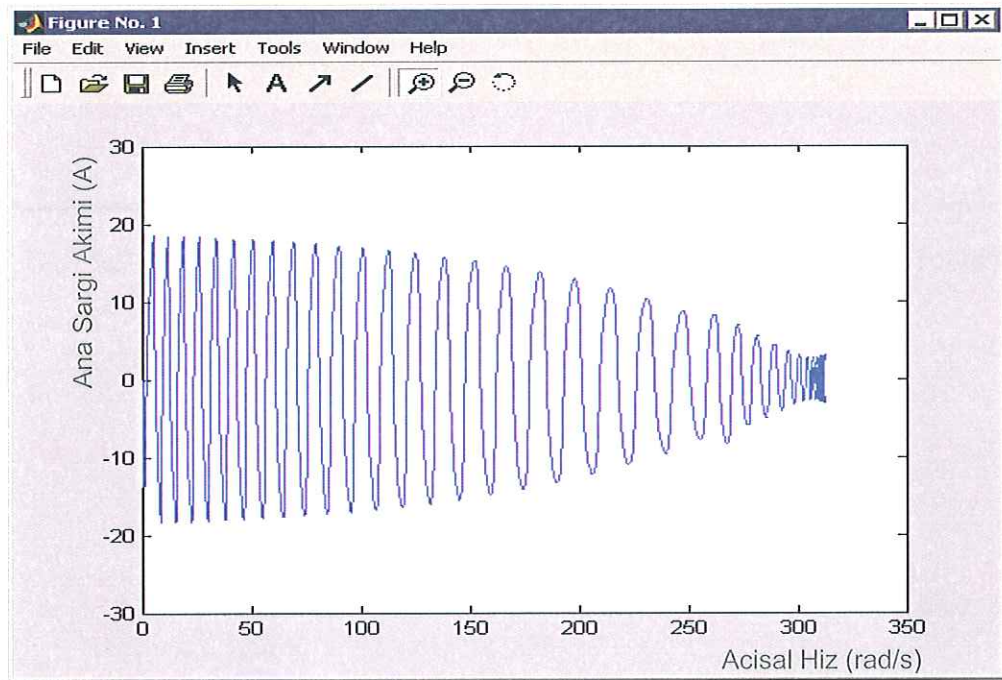
Yukarıda verilen mikro işlemci modeli ile birlikte analiz edilen yol verme ve daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motora (elektronik röleli motor) ait simülasyon sonuçları Şekil 4.40-Şekil 4.42’de sunulmuştur.



Şekil 4.40 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(Moment-Açıl Hız Eğrisi)

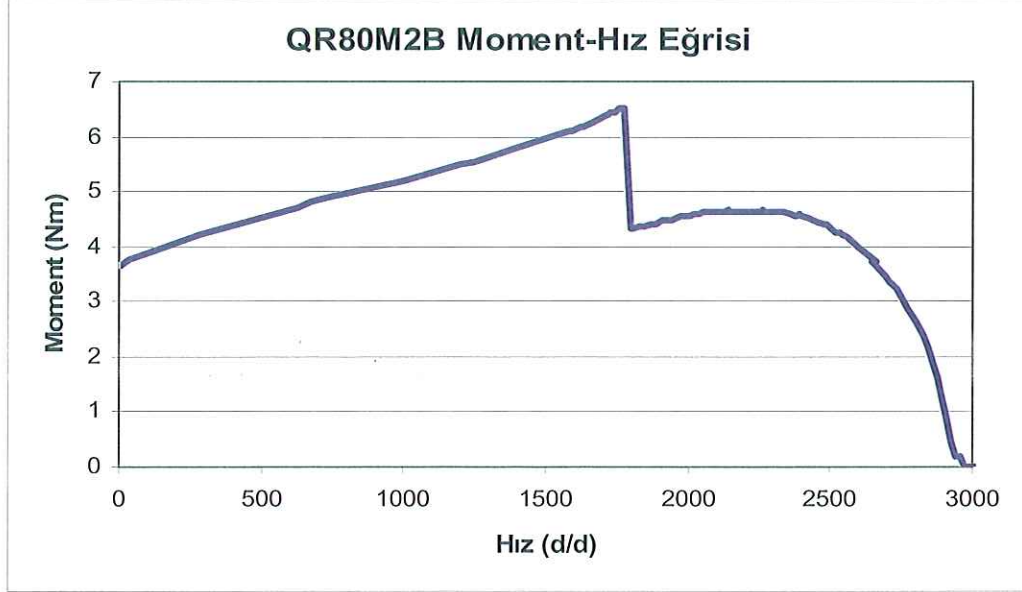


Şekil 4.41 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(Yardımcı Sargı Gerilimi-Açısal Hız Eğrisi)

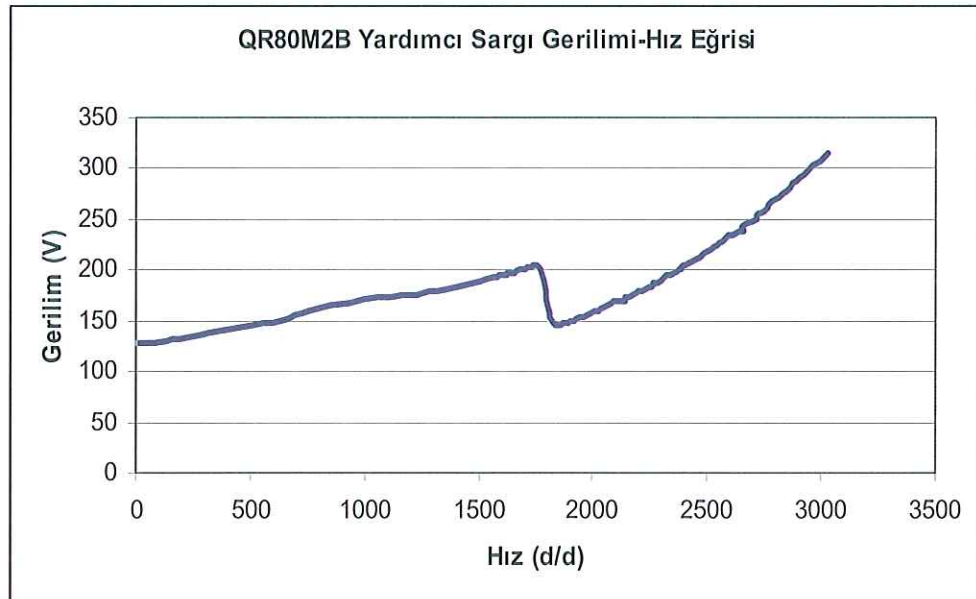


Şekil 4.42 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motor simülasyon sonuçları
(Ana Sargı Akımı-Açısal Hız Eğrisi)

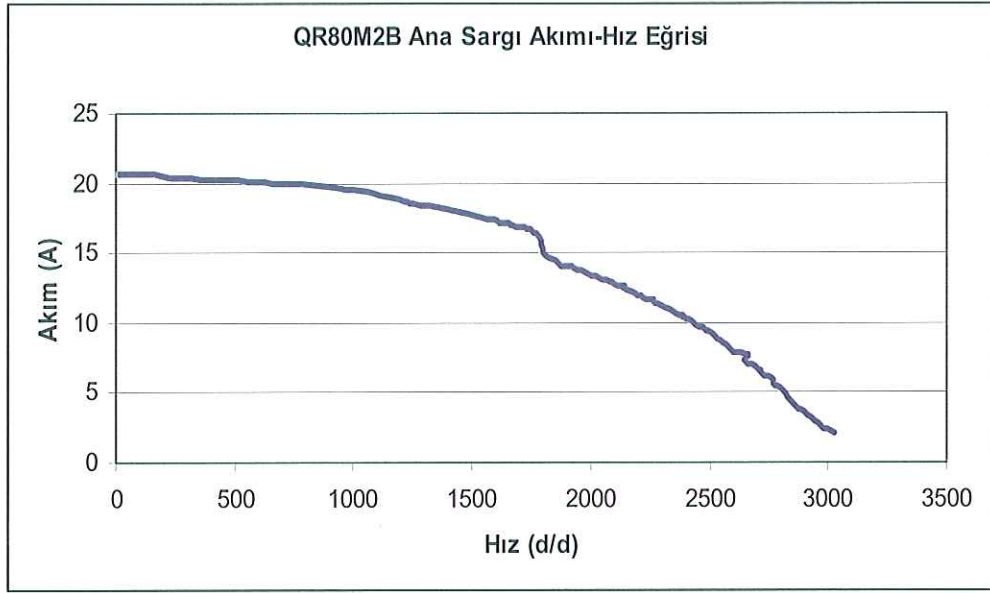
Simülasyon sonuçları verilen QR80M2B motorun Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi ürün geliştirme laboratuvarında gerçekleştirilen deney sonuçları Şekil 4.43-Şekil 4.46’da sunulmuştur.



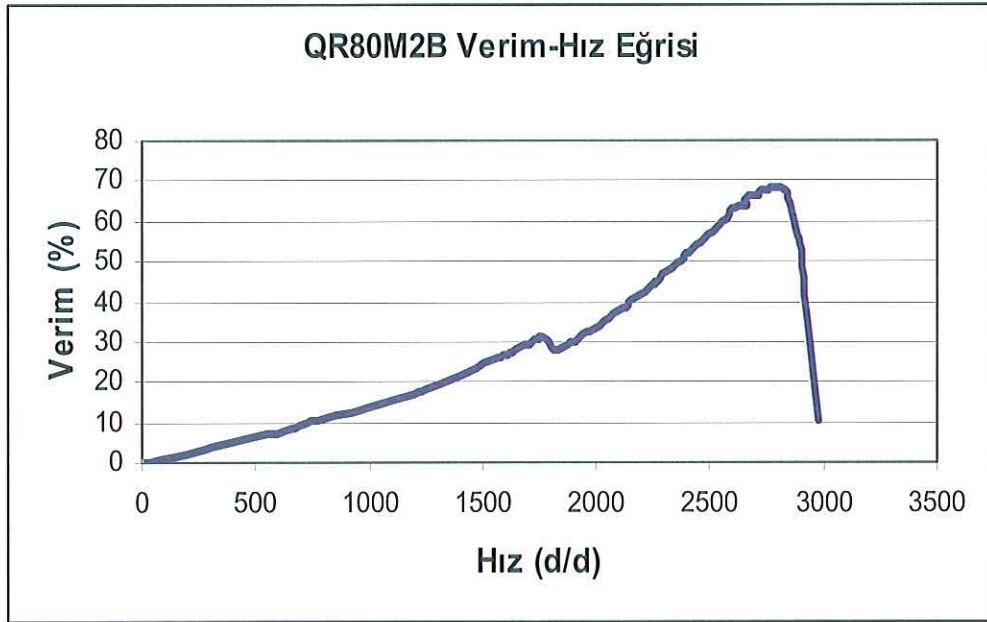
Şekil 4.43 : QR80M2B motora ait deney sonuçları
(moment-hız eğrisi)



Şekil 4.44 : QR80M2B motora ait deney sonuçları
(Yardımcı sargı gerilimi-hız eğrisi)



Şekil 4.45 : QR80M2B motora ait deney sonuçları
(Ana sargı akımı-hız eğrisi)



Şekil 4.46 : QR80M2B motora ait deney sonuçları
(Verim-hız eğrisi)

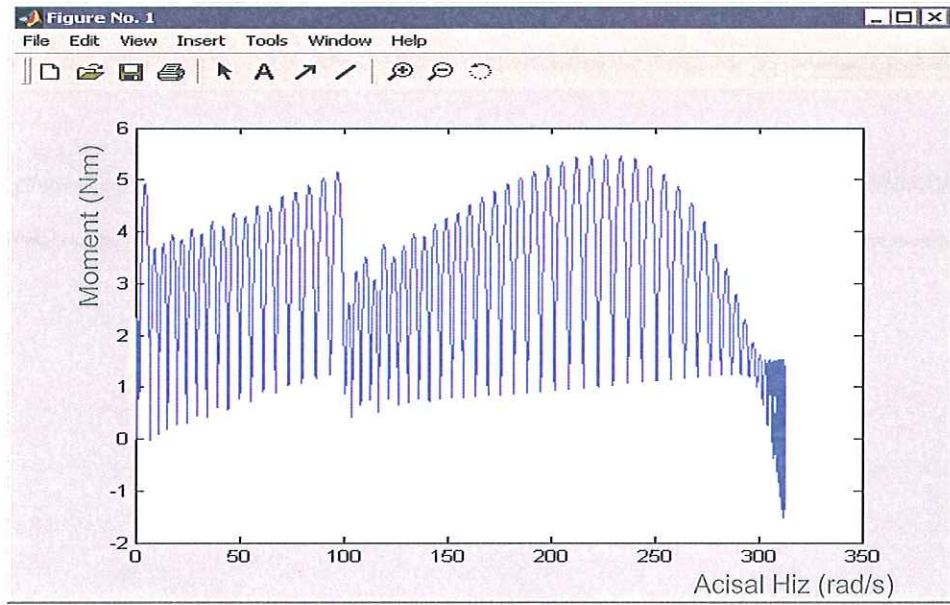
4.4.4. Elektronik röleli (çift kondansatörlü) bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtar kullanımı için simülasyon çalışması

Bölüm 4.4.3’de elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun simülasyon çalışması sunulmuştu. Bu bölümde ise, aynı motorda elektronik röle yerine

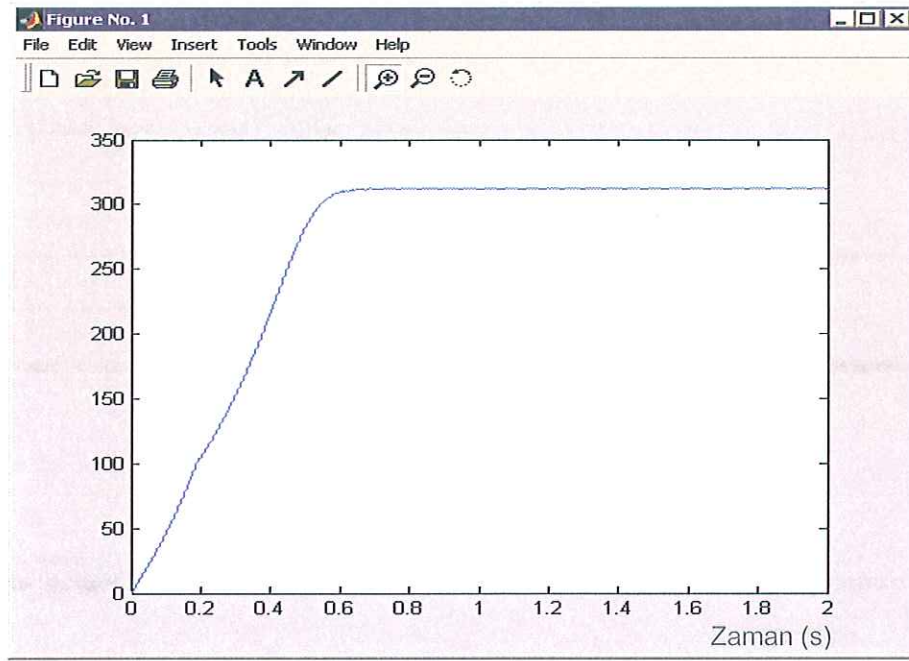
merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanılması ile elde edilen bir fazlı asenkron motorun simülasyonu sunulacaktır. Bu simülasyon ve deney çalışması neticesinde elektronik rölenin, merkezkaç anahtar mekanizmasının yerine kullanılabileceği gösterilmiş olacaktır.

Bölüm 4.4.3’de kullanılan QR80M2B motor parametreleri bu bölüm içinde kullanılacaktır. Simülasyon programında kullanılan elektronik röle blok şema yerine bölüm 4.4.1’de kullanılmış olan merkezkaç anahtar mekanizma blok şeması kullanılacaktır.

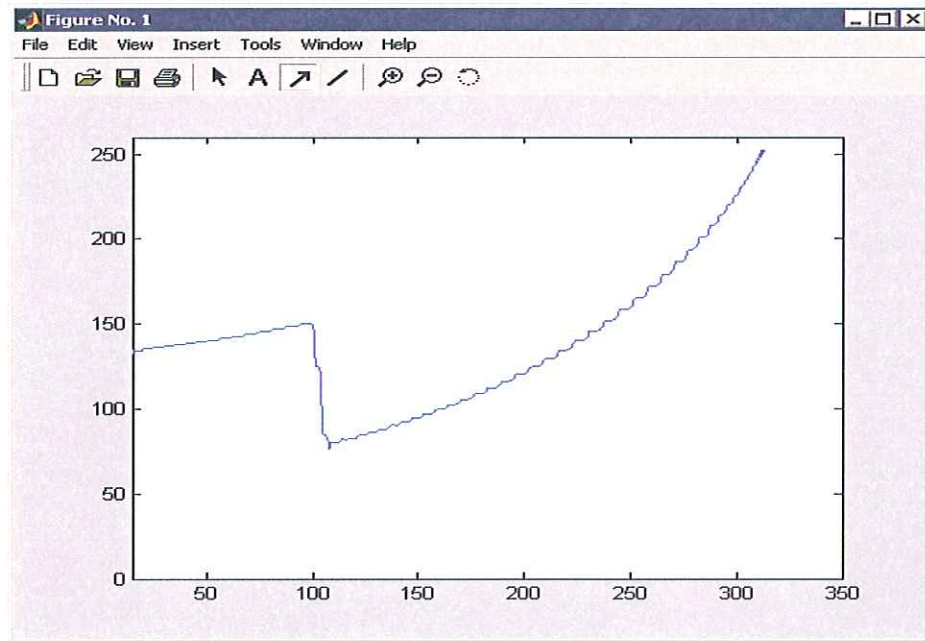
Yukarıda verilenlerden yola çıkarak elde edilen simülasyon sonuçları aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.47 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanımı durumunda simülasyon sonuçları (Moment-Açısal Hız Eğrisi)

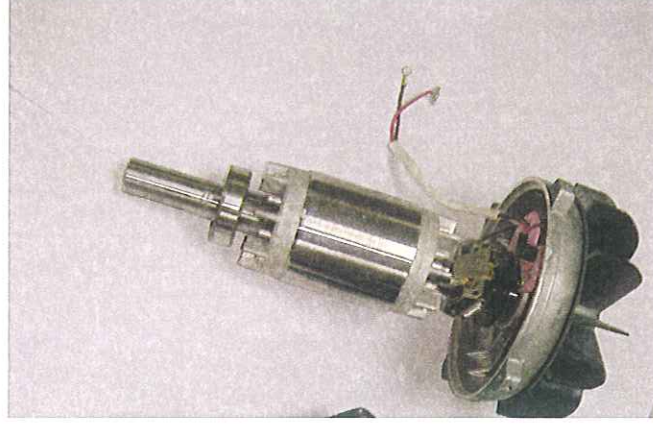


Şekil 4.48 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanımı durumunda simülasyon sonuçları
(Açısal Hız-Zaman Eğrisi)



Şekil 4.49 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanımı durumunda simülasyon sonuçları
(Yardımcı Sargı Gerilimi-Açısal Hız Eğrisi)

Deney alışmaları için kullanılan QR80M2B motora ait resimler aşağıda sunulmuştur. şekil 4.50’de görüleceği üzere motor miline bir adet merkezkaç anahtar mekanizması yerleştirilmiştir. şekil 4,51’de verilen stator gövde grubunda yer alan elektronik röle yapılan testlerde devre dışı bırakılmıştır.

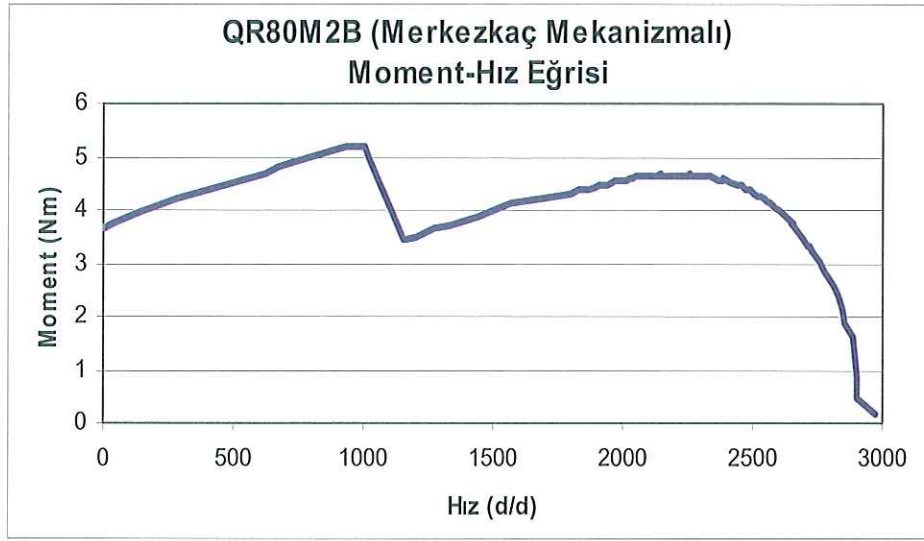


şekil 4.50 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motorda, merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanımı için mile monte edilen anahtar grubu.

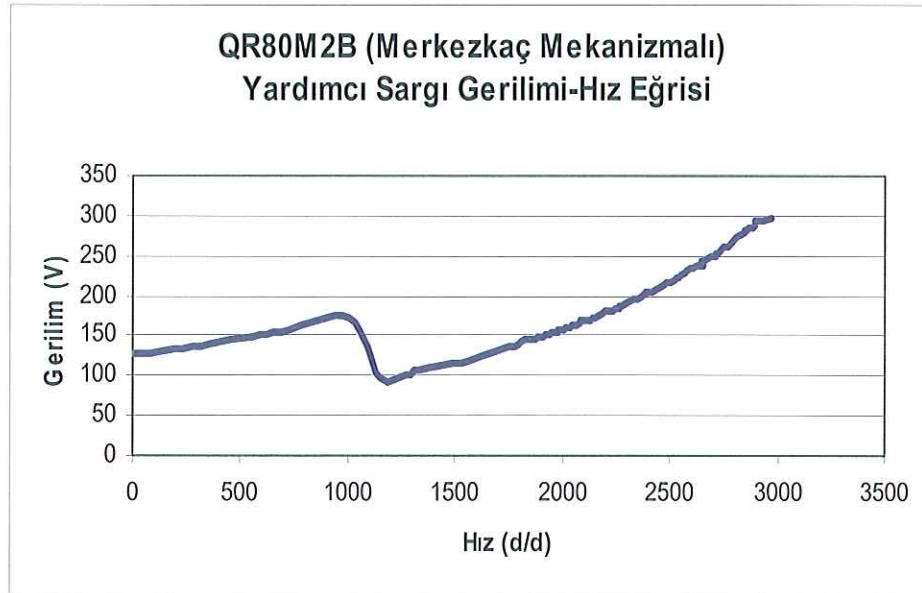


şekil 4.51 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motorda, merkezkaç anahtar mekanizmalı deney çalışmalarında kullanılan stator gövde grubu.

Yapılan deneyler sonuçları şekil 4.52 ve şekil4.53’de sunulmuştur.



Şekil 4.52 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanımı durumunda deney sonuçları
(Moment-Açısal Hız Eğrisi)



Şekil 4.53 : Elektronik Röleli bir fazlı asenkron motorda elektronik röle yerine merkezkaç anahtar mekanizmasının kullanımı durumunda deney sonuçları
(Yardımcı sargı gerilimi-Açısal Hız Eğrisi)

5. ELEKTRONİK RÖLE

Tezin önceki bölümlerinde simülasyon ve test çalışması gerçekleştirilen elektronik röle hakkında detay bilgi ve yapısal konstrüksiyonu bu bölümde sunulacaktır.

Merkezkaç anahtar mekanizmasının getirdiği kısıtlamaları ortadan kaldıracak, daimi kondansatörlü motorlardan yeterli yol alma momenti alınamadığı durumlarda, çift kondansatörlü (yol alma ve daimi kondansatörlü) bir fazlı asenkron motorlarda kullanılabilecek elektronik rölenin çalışma prensibi aşağıdaki gibi özetlenebilir;

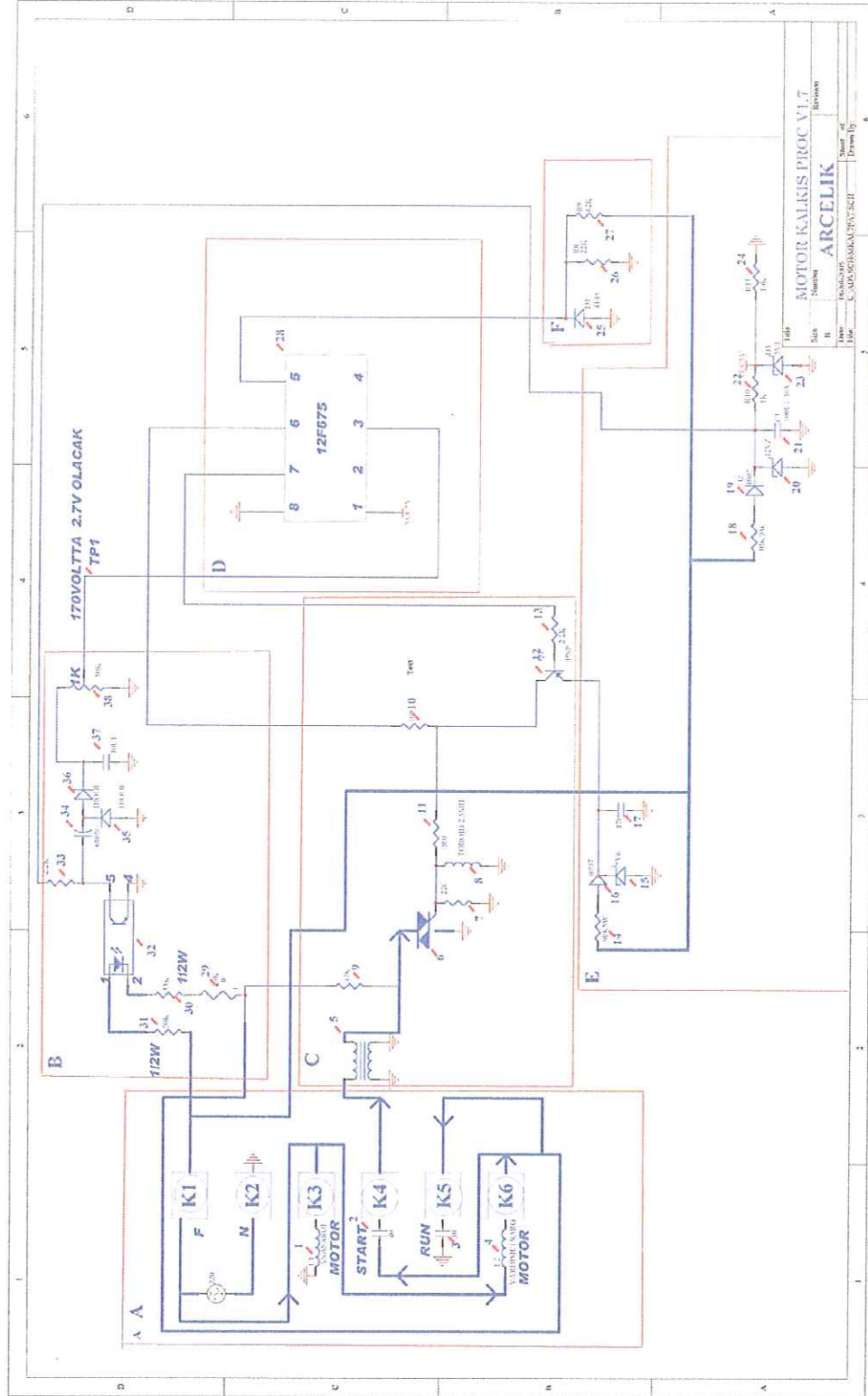
”Motora gerilim uygulandığında elektronik röle içerdiği mikroişlemci ile şebeke gerilimini ölçer. Ölçülen şebeke gerilimine karşılık gelen yardımcı sargı ve kondansatör referans açma gerilim değerleri mikroişlemci tarafından belirlenir ve yol alma kondansatörü devreye sokulur. Elektronik röle gerilim uygulandığı andan itibaren motorun yardımcı sargı ve kondansatör gerilimlerini ölçerek belirlenen referans gerilimleri ile kıyaslar. Referans gerilimleriyle ölçülen gerilimler aynı olduğunda elektronik röle, yol alma kondansatörüne seri bağlı olan yarı iletken anahtar vasıtasıyla yol alma kondansatörünü devre dışı bırakır ve kondansatör üzerindeki gerilimi deşarj eder. Yardımcı sargı ve/veya kondansatör gerilimleri belirlenen referans gerilim değerlerine ulaşmamış ise mikroişlemci, yol alma kondansatörünün devreye girmesinden belirli bir süre sonra yol alma kondansatörünü zamanlayıcı ile devre dışı bırakılır [8].

Elektronik rölenin ayrıntılı devre şeması Şekil 5.1’de sunulmuştur. Devre şemasının işleyişi ve yapısı şu şekilde özetlenebilir;

Devre temel olarak 5 ayrı kısımdan oluşmuştur.

A bölümü:

Bu bölüm temel olarak motor sargılarının ve kondansatörlerinin devre konnektörüne bağlanan kısmıdır.



Şekil 5.1 : Elektronik rölelinin devre şeması

K1 ve K2

konnektorlerine 170-240V. arası gerilim uygulanır. Motor ana sargısı K3 ile K2 arasındadır.K3 ile K6 arasında yardımcı sargı bağlanmıştır. K6 ve K4 arasında yol alma kondansatörü yer alır. Ve K5 le K2 arasında da daimi kondansatör bulunur. K4 ileride anlatılacağı gibi T1 toroidi üzerinden Triyak'a bağlanmıştır.

B bölümü:

Bu bölüm temel olarak yardımcı sargı üzerinde oluşan gerilimi ölçmeyi sağlar.Bu ölçümü mikro işlemci değerlendirecektir. R7(31) ve R8(30) üzerinden gelen yardımcı sargı gerilimi 03(32) optokuplörü ile devreden yalıtılır. R9(33) uçlarında motor devir sayısı ile artan veya eksilen bir gerilim oluşacaktır. Bu gerilim C4(34) kondansatörü ile gerilim dedektörü olarak çalışan D5(35) ve D6(36) tam dalga doğrultucusuna uygulanır. Optokuplörün diyot kısmına gerilim R7(31) ve TH(29)+R8(30) dan oluşan akım sınırlayıcı dirençlerle iletilir ve her türlü ısıdan optokuplörde veya ölçme sisteminde oluşabilecek kaymaları dengeleyerek ısı kararlılığını sağlar. C3(37) kondansatörü ölçüm geriliminde oluşan elektriksel parazitleri bastırır. R10(38) ayarlı direnci veya sabit konulabilecek gerilim bölücü yardımıyla mikro işlemci IC1 (28)'in 3.portuna uygulanır ve burada bu gerilim ölçülür ve değerlendirilir.

C bölümü:

Bu kısım triyak(6) ve ateşleme devresinden oluşur. Mikroko işlemci(28) 7 nolu portundan çıkan ateşleme gerilimi R5(13) üzerinden 02(12) nin base'ine uygulanır. Bu transistör iletime geçerek bu gerilimi R3(11) ile triyakın (6) gate'ine uygular. Triyakın hızlı iletime geçip hızlı kesime geçmesini de T2(8)ve R2(7) sağlar. İletime geçen triyak (6) T1 (5) toroidi üzerinden yol alma(2) kondansatörünü devreye sokar. Burada T1 (5)Toroidinin özel bir önemi vardır. Bu toroid primer ve sekonder olarak sarılır. Primerinden akım akarken oluşan elektriksel titreşimleri sekonderinin iki ucunda kısa devre oluşu ve toprağa bağlanmasıyla nötralize eder ve triyak üzerinde oluşabilecek yüksek gerilim değerlerini, ki bunlar çeşitli frekansta olabilir, yok ettiği için triyakın(6) bozulmasını önler. R4(10) direnci mikro işlemci(28)'nin 6 nolu çıkışı ile belirli zamanlarda sıfıra çekilerek triyakın ateşlenmesinde oluşabilecek bozunumları giderir. Ayrıca R1 (9) direncide yol alma kondansatörünü kondansatörünü boşaltır.

D bölümü:

Devrenin bu kısmı bütün sistemin kalbini oluşturur. Burada bir micro işlemci 12F675

kullanıldı. Osilator kısmı işlemci içinde ve RC olarak çalışmaktadır. İşemci once 5 portundan gelen 50 Hz periyodunun “O” geçiş anını algılar ve bu triyak(6)’ı bir dizi pulse ile ateşler. Ardından 3 nolu portunda oluşan gerilimi okur ve eğer referans değere ulaşmamış ise ateşlemeye devam eder. 5 sn'lik zaman dolduğunda istenilen referans değere ulaşılmasada ateşlemeyi bırakarak motor sargılarının aşırı yüklenmesini dolayısıyla yanmasını önler.

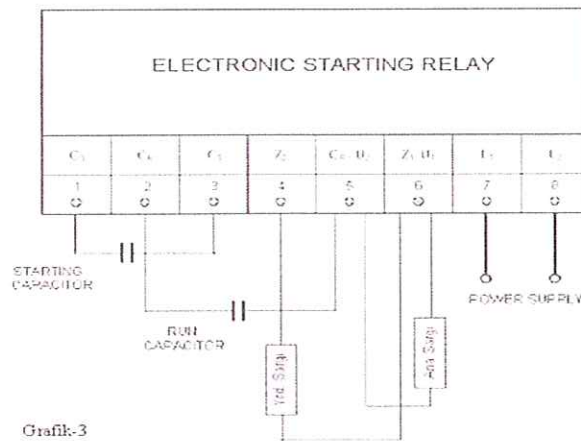
E bölümü:

Bu bölüm triyak ateşlemesi ve devre için gerekli gerilimi sağlar. Devreye ve motora gerilim uygulandığı zaman R11 (18) besleme direnci üzerinden geçen akım 02(19) diyoduyla yarım dalga olarak doğrultulur. Daha sonra 05(20) zeyner diyonu yardımıyla 12V değerinde sabit tutulur. C6(21) kondansatörü ise oluşan gerilim dalgalanmasını yaklaşık 0.5 vpp ye indirir. Bu ilk besleme gerilini 03(32) optokuplörünün çıkış transistörü için gerekli beslemeyi sağlar. İkinci olarak yine bu 12V değerindne R12(22) ve 03(23) 5.1 volt zeyner diyonu ile mikro işlemci(28) için gerekli olan 5V değeri oluşturulur. R13(24) direnci de motor gerilimi kesildiği zaman C6(21) besleme kondansatörünün hızlı bir şekilde boşalmasını sağlamaktır.

F bölümü:

Devrenin bu kısmı mikro işlemci için gerekli “O” geçiş periyodu için gerilim uyarlaması yapmaktadır. Gelen alternatif gerilim R15(27)ve R14(26) dan oluşan gerilim bölücü dirençler ile mikro işlemcinin dayanabileceği gerilim değerlerine indirilir. 04(25)diyonu da mikro işlemciye (28) ters yönde gerilim gelmesini önler ve 5 nolu portunu bu gerilimlere karşı korur.

Elektronik rölenin terminal bağlantısı Şekil 5.2.'de sunulmuştur.

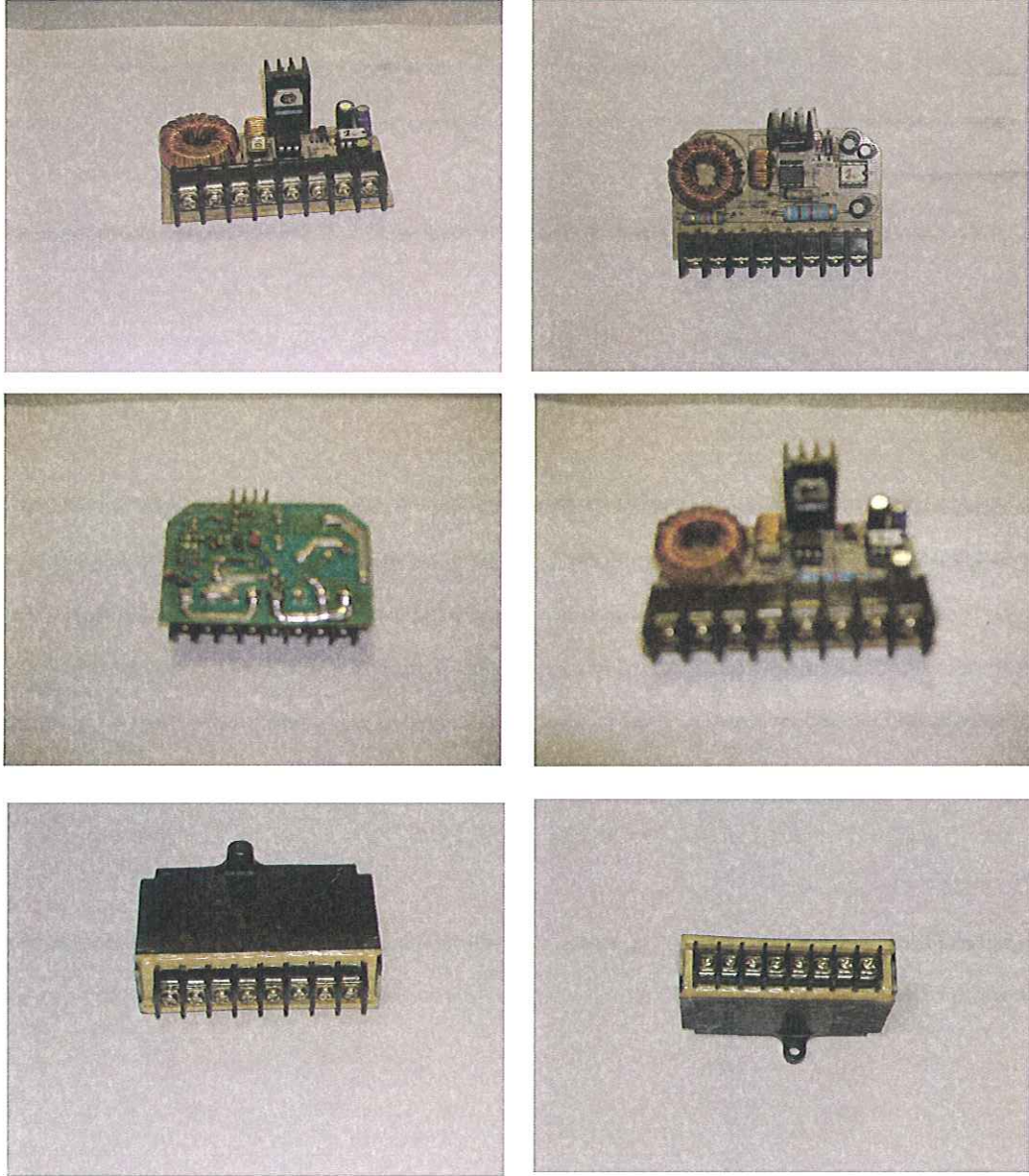


Şekil 5.2 : Elektronik röle terminal bağlantı şeması

Merkezkaç mekanizma grubu yerine kullanılması hedeflenen elektronik röle için aşağıda verilen çalışmalar incelenerek ve analiz edilerek röle için kontrol değerleri oluşturulmuştur.

- 1- Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi'nde üretilen 0.18kW-2.2kW 2 kutuplu bir fazlı asenkron motorların yol alma momenti ve periyodu incelenerek akım, gerilim ve güç değişimleri elde edilerek analiz edilmiştir.
- 2- Motora gerilim uygulandığında yol alma kondansatörü devrede olmalıdır.
- 3- Bir fazlı asenkron motorun yol alma esnasında motorun kaynaktan çekeceği yol alma akımı rölenin çalışmasını engellememelidir.
- 4- Yol alma kondansatörünün devre dışı bırakılacağı referans yardımcı sargı gerilim değerinin tüm motorlar için belirlenmiştir.
- 5- Yol alma kondansatörünün devrede kalabileceği maksimum zamam ve gerilim değeri tespit edilmiştir.
- 6- Röle, yol alma kondansatörünü devre dışı bıraktıktan sonra akım taşıyıcı olarak devreye seri bağlı şekilde kalmalıdır.
- 7 - Röle, yol alma kondansatörünü devre dışı bıraktıktan sonra kalkış kondansatörü üzerindeki gerilimi deşarj etmelidir.
- 8- Merkezkaç anahtar mekanizma grubu içeren motorların dinamo testleri yapılarak mevcut sistemin verileri alınmıştır.
- 9- Motorun yol alma anı için gereken moment değeri tespit edilip motor ve kondansatör açısından motor tasarımı ve seçilecek yol alma ve daimi kondansatör değeri μF ve gerilim değeri tespit edilmiştir.
- 5- Elde edilen veriler elektronik rölenin kart tasarımında girdi olarak kullanılmıştır.

Bu tezin konusun teşkil eden elektronik röle prototip resimleri Şekil 5.3'de sunulmuştur.



Şekil 5.3 : Elektronik röle prototip resimleri

Bir fazlı asenkron motorlarda yol alma kondansatörü ve/veya yardımcı sargının devre dışı bırakılmasını sağlayan sistemlere ilişkin yapısal patent çalışmalarında elde edilen bilgiler aşağıda sunulmuştur.

SEALEO UNIT PARTS CO firmasının 1996 yılında aldığı US5528120 numaralı patent çalışmasında, ana ve yardımcı sargının yanısıra yol alma ve daimi kondansatörü içeren bir fazlı asenkron motorlarda, yol alma kondansatörüne seri bağlı mekanik röle ile yol alma kondansatörünü devre dışı bırakan ve sistem içinde zaman sayacı bulunan, açma noktası ayarlanabilen elektromekanik yol alma rölesinden bahsedilmiştir.

KILO WATT CH, KB ELECTRONICS firmalarının 1989 yılında aldığı US4804901 numaralı patent çalışmasında, ana ve yardımcı sargısı olan bir fazlı asenkron motorlarda ana sargı akımına duyarlı sensör vasıtasıyla motora yol vermeyi sağlayan triyak içeren bir elektronik yol alma sisteminden bahsedilmiştir.

PT COMPANENTS firmasının 1988 yılında aldığı US4786850 numaralı patent çalışmasında, RC devresi ile oluşturulan zaman kayması ve triyak ile direkt olarak yol alma sargısına bağlanan bir elektronik yol alma sisteminden bahsedilmiştir.

ARMSTRONG L TO. Firmasının 1982 yılında aldığı US4366426 numaralı patentte zamana duyarlı fonksiyonu ile yol alma sargısını belli bir zaman sonra devre dışı bırakan bir sistemten bahsedilmiştir.

6.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motorlarda, verim değerinin düşürülmeden yol alma momentinin artırılması için çift kondansatörlü (yol alma ve daimi kondansatör) yapıya geçişte kullanılmak üzere mevcut merkezkaç anahtar mekanizmasına alternatif yeni bir yol verme mekanizmasının (elektronik röle) ortaya koyulması bu tezin amacı olmuştur. Bölüm 4.4’de merkezkaç anahtar mekanizmasına sahip bir fazlı asenkron motor, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Bölüm 4.3’de bir fazlı asenkron motorun matematiksel modeli elde edilmiştir. Simülasyon çalışması gerçekleştirilen bir fazlı motor tiplerinin birer adet prototipleri de laboratuvar ortamında test edilmiştir.

Öncelikli olarak, simülasyon sonuçları ve laboratuvar test sonuçlarının karşılaştırılması, simülasyonun doğruluğu açısından bize fikir vereceği düşüncesiyle, merkezkaç anahtar mekanizmalı, daimi kondansatörlü ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motor tipi için karşılaştırmalı tablolar oluşturulmuştur. Bu çalışma sırasıyla Tablo 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’de sunulmuştur.

Tablo 6.1 : Merkezkaç anahtarlı bir fazlı asenkron motor karşılaştırma tablosu

	Yol Alma Momenti Nm	Yol Alma Akımı A	Verim %	Yol Alma Kondansatörünün Devre Dışı Bırakıldığı Nokta d/d
SİMÜLASYON	5.3	31	62	1080
DENEY	5,4	33	63	1050

Tablo 6.2 : Daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor karşılaştırma tablosu

	Yol Alma Momenti Nm	Yol Alma Akımı A	Verim %	Yardımcı Sargı Gerilim Değeri (50 d/d) V	Yardımcı Sargı Gerilim Değeri (2800 d/d) V
SİMÜLASYON	1,42	18,6	66,4	55	240
DENEY	1,36	19,1	65,2	50	236

Tablo 6.3 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motor karşılaştırma tablosu

	Yol Alma Momenti Nm	Yol Alma Akımı A	Verim %	Yol Alma Kondansatörünün Devre Dışı Bırakıldığı Nokta d/d	Yol Alma Kondansatörünün Devre Dışı Bırakıldığı Nokta V
SİMÜLASYON	3,8	20,5	66,4	1800	205
DENEY	3,75	21,2	65,2	1750	200

Simülasyon ve deney sonuçlarından elde edilen bir diğer sonuç ise, aynı stator ana ve yardımcı sargısının kullanılarak, elektronik röleli bir fazlı asenkron motordan, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motora nazaran daha yüksek yol alma momentinin elde edilmesidir. Çünkü elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda, yol alma esnasına ilave bir yol alma kondansatörü devrededir. Bu noktayı vurgulamak amacıyla yani daimi kondansatörlü ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun performanslarının karşılaştırıldığı Tablo 6.4 olarak verilmiştir.

Tablo 6.4 : Daimi kondansatörlü ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motor performans karşılaştırma tablosu

	Yol Alma Momenti Nm	Yol Alma Akımı A	Verim %
DAİMİ KONDANSATÖRLÜ BİR FAZLI ASENKRON MOTOR (QM80M2B)	1,42	18,6	66,4
ELEKTRONİK RÖLELİ BİR FAZLI ASENKRON MOTOR (QR80M2B)	3,80	20,5	66,4

Tablo 6.4’den de görüleceği üzere, nominal moment çalışma noktasındaki verim değerinde bir düşüş olamadan, yol alma momentinde yaklaşık %250 oranında bir artış sağlanmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen bu değerler, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’den de verildiği üzere, deney sonuçlarında da görülmektedir. Daimi kondansatörlü ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motor arasındaki temel yapı farklılıkları Tablo 6.5’de sunulmuştur.

Tablo 6.5 : Daimi kondansatörlü ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun yapısal tasarım karşılaştırması

	Ana Sargı		Yardımcı Sargı		Yol Alma Kondansatörü	Daimi Kondansatör	Anahtar Mekanizması
	Sarım Sayısı	İletken	Sarım Sayısı	İletken	μF	μF	
DAİMİ KONDANSATÖRLÜ BİR FAZLI ASENKRON MOTOR (QM80M2B)	34	0,85	72	0,60	-	25	YOK
ELEKTRONİK RÖLELİ BİR FAZLI ASENKRON MOTOR (QR80M2B)	34	0,85	72	0,60	35	25	ELEKTRONİK RÖLE

Tez içerisinde de sürekli vurgulandığı üzere, yol alma ve daimi kondansatörlü (çift kondansatörlü) bir fazlı asenkron motorda mevcut merkezkaç mekanizmasının kullanılması halinde aşağıda verilen dezavantajlar ile karşı karşıya kalınacaktır;

- Mekanizma ömrü kısıtlıdır
- Arıza yapma olasılığı yüksektir.
- Çevresindeki tozlanma ve kimyasal etkilere duyarlıdır.
- Bazı uygulamalar için IP55, IP65 koruma sınıfına sahip motor kullanma zorunluluğu ortaya çıkar.
- Boyutlarından ötürü motor hacminin büyük tutulma zorunluluğu vardır.

Kullanılan mevcut sistemlerde, sadece belirli bir hızda devreyi açma özelliği olması nedeniyle;

- Kaynak gerilimindeki değişimlere cevap yeteneği yoktur.

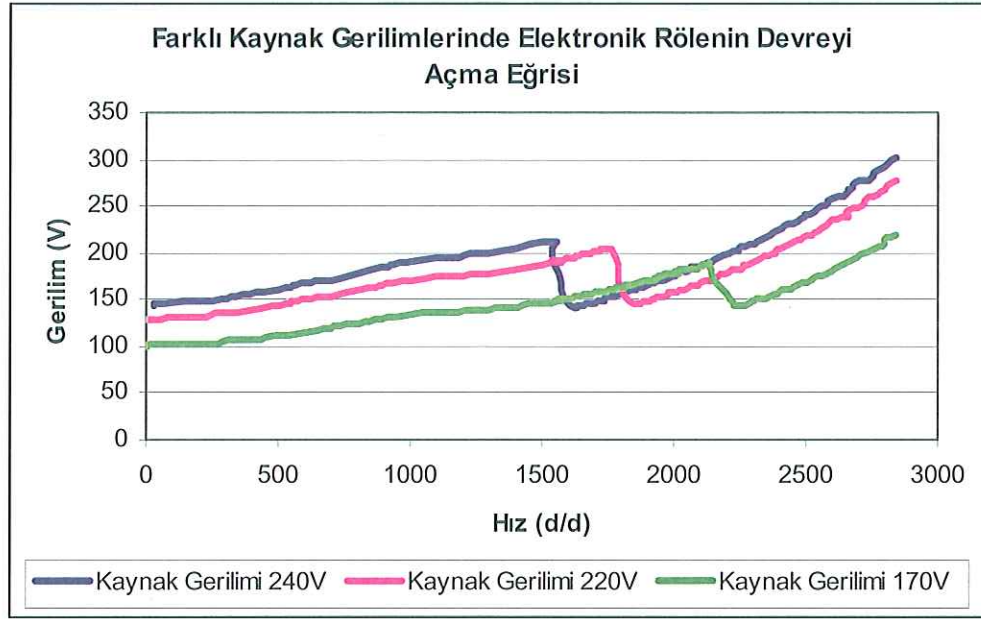
Yukarıda belirtilen hususların haricinde, Bölüm 4.1’de sunulduğu üzere, merkezkaç anahtar mekanizmasının rotor ve mile montajı için ilave bir bölgeye ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu nedenle mil boyu ve gövde boyu ve dolayısıyla toplam motor boyunda bir artış olacaktır. Bu artış da toplam motor ağırlığına ve malzeme kullanımına neden olacaktır. Netice itibariyle motor maliyetinin artması söz konusu olacaktır. Elektronik röle kullanımında ise, rölenin mevcut terminal kutusu içerisine montaj edilebilmesi nedeniyle mil, gövde ve motor uzunluk ve ağırlığında bir değişim olmayacaktır. Tablo 6.6’da merkezkaç anahtar kullanımı durumunda ve elektronik röle kullanımı durumunda mil ve gövde uzunlukları ile motor ağırlığı verilmiştir.

Tablo 6.6: Merkezkaç anahtarlı ve elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun malzeme ve motor ağırlığı karşılaştırması

	Mil Uzunluğu Mm	Mil Ağırlığı kg	Gövde Uzunluğu mm	Gövde Ağırlığı kg	Anahtar Mekanizma Ağırlığı kg	Motor Ağırlığı kg
MERKEZKAÇ ANAHTAR KULLANIMINDA	245	1,39	156,5	1,12	0,35	11,2
ELEKTRONİK RÖLE KULLANIMINDA	225,5	1,28	141,5	1,02	0,40	10,8

Merkezkaç anahtar mekanizmasının mekanik yapısı nedeniyle sadece nominal hızın yaklaşık %40-50 mertebesinde yol alma kondansatörünü devre dışı bıraktığı için kaynak (besleme) gerilimine karşı bir duyarlılığı yoktur. Ancak, elektronik röle yapısı gereğince besleme gerilimine uygun referans açma gerilim değerlerini belirlediğinden, besleme gerilimine karşı duyarlılık özelliği mevcuttur. Bu sayede, besleme geriliminde gerilim düşümü nedeniyle bir azalma söz konusu ise, yardımcı sargı veya kondansatörün optimum noktadan daha erken bir noktada devreden çıkarılması ana sargı momentinin yük momentini karşılayamaması yani motorun yol alamaması gibi bir sorun ile karşılaşılacaktır. Benzer şekilde, besleme gerilim değerinin nominal gerilim değerinden daha büyük olması durumunda, yardımcı sargının veya kondansatörün devreden geç çıkarılması halinde, yardımcı sargı ve kondansatör üzerinde aşırı gerilimler oluşacak ve çok sık start-stop yapılan bir uygulamada motor ömrünün kısılmasına neden olacaktır. Elektronik rölenin bu özelliğini ortaya koyan test sonuçları Şekil 6.1’de sunulmuştur.



Şekil 6.1 : Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun farklı kaynak gerilimindeki kondansatörü devre dışı bırakma anındaki yardımcı sargı gerilimi-hız eğrisi

Şekil 6.1’den de görüleceği üzere, kaynak geriliminin nominal gerilim değeri olan 220V mertebesinde olması durumunda, elektronik rölenin yol alma kondansatörünü devre dışı bıraktığı referans yardımcı sargı gerilim değeri yaklaşık 200V mertebesinde dir. Yardımcı sargı geriliminin bu değeri ulaşması yaklaşık 1600 d/d da gerçekleşmektedir. Kaynak geriliminin nominal gerilimden büyük olması durumunda ise yol alma kondansatörünün bir önceki duruma nazaran daha erken devre dışı bırakılması gerekmektedir. Bu nedenle referans yardımcı sargı gerilim değeri olarak 210V mertebesi elektronik röle tarafından kabul edilmiştir. Bu gerilim değeri motor yaklaşık 1500d/d da ulaşmıştır. Kaynak geriliminin nominal gerilimden daha düşük mertebede olması halinde ise, yol alma kondansatörünün daha geç devreden çıkarılması gerekmektedir. Buna uygun olarak, elektronik röle referans yardımcı gerilim değerini 190V olarak kabul etmiş ve bu değere 2100 d/d hız mertebesinde ulaşmıştır.

Tezin temel konusunu oluşturan elektronik rölenin yukarıda ve daha önceki bölümlerinde vurgulanan özelliklerini aşağıda verilen maddeler halinde özetleyebiliriz ;

- Bu tezde ortaya koyulan elektronik röle yol alma mekanizması motorun devir sayısını, yardımcı sargı gerilim değişimi ile izlemektedir. Bu fonksiyon yol alma kondansatörünü, yük momentine göre en uygun anda devreden çıkararak motoru ve sistemi zorlamaz. Motorun bağlı olduğu yük ihtiyacından fazlası verilmez.
- Elektronik rölenin merkezkaç anahtar mekanizma grubuna göre arıza oranı çok daha düşük ve bakımı yoktur. Merkezkaç anahtar mekanizma grubunda oluşan bir arıza yardımcı sargının veya yol alma kondansatörünün devre dışı kalamaması nedeniyle aşırı ısınmasına ve hatta motorun yanmasına sebebiyet verebilir. Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorda ise bu durum çift koruma ile yani yardımcı sargı gerilim kontrolü ve zaman sınırlayıcısı bertaraf edilmiştir.
- Hareketli mekanik parçası olmaması sebebiyle uzun ömürlü olması beklenmektedir.
- Elektronik röleli bir fazlı asenkron motorun hacmi, merkezkaç anahtar mekanizma grubuna sahip bir fazlı asenkron motora nazaran daha düşük olması beklenmektedir.
- Kaynak geriliminden izoleli kontrol devresi olark davranmaktadır.

Bu tez çalışması ile, daimi kondansatörlü bir fazlı asenkron motor kullanılan fakat daha yüksek yol alma momenti istenen uygulamalarda kullanılabilecek çift kondansatörlü (yol alma ve daimi kondansatör) motorlarda, merkezkaç mekanizması yerine kullanılabilecek bir elektronik röle yaklaşımı getirilmiştir. Bu röle sayesinde merkezkaç anahtar mekanizmasının dezavantajlarının ortadan kaldırılması ve besleme gerilimine duyarlı bir çalışma koşulu hedeflenmiştir.

Ortaya koyulan elektronik röle için aşağıda verilen hususlar göz önünde bulundurularak, verimliliği ve kullanım alanını arttırıcı, daha kullanıcı-dost bir yaklaşım getirilebilir.

- Bu tezde ortaya koyulan elektronik röle, yardımcı sargı gerilim değerini izleyerek optimum motor hızında yol alma kondansatörünü devre dışı bırakmaktadır. Altıncı Bölüm’de bahsedildiği üzere bu konuda alınmış patent ve yapılan çalışmalarda genellikle ana veya yardımcı sargı akımı referans alınmış olduğu görülmüştür. Bazı çalışmalarda ise sadece bir

zamanlayıcının kullanıldığı ve belirlenen bir süre zarfından sonra (3-6sn) yol alma kondasatörünü devre dışı bırakan elektronik veya elektro-mekanik sistemler kullanılmıştır.

- Tez çalışmasında kullanılan elektronik röelin simülasyon çalışması ve prototip testleri sadece, Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi'nde imal edilmiş olan 0.18kW–2.2kW 2 kutuplu bir fazlı asenkron motorlar üzerinde gerçekleştirilmiştir ve bu motorların parametreleri kullanılmıştır.
- Bu tezde ortaya koyulan elektronik rölede, farklı kaynak gerilim değerleri için referans açma yardımcı sargı gerilim değerleri, röle içerisindeki mikro işlemciye dışarıdan komut olarak girilmektedir. Türkiye'deki kaynak gerilim ve frekansının 220V / 50Hz olmasından ötürü 240-200-170V ve 50Hz frekansata çalışmaya uygundur. Farklı gerilim ve frekans çalışma koşulları için mevcut röle istenilen performansı veremeyecektir.
- Farklı gerilim ve frekans çalışma koşulları için, referans açma yardımcı sargı gerilim değerlerinin belirlenerek röleye değer olarak girilmesi gerekmektedir.
- Röle üzerine koyulabilecek bir kontrol ekranı ile kullanıcının kaynak gerilim ve frekans değerinin sisteme girmesi ve rölenin referans açma yardımcı sargı gerilim değerinin kendisinin hesaplayabilmesi ile daha verimli ve daha geniş bir uygulama alanında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Popecu, M.**, 2000. Induction Motor Modeling for Vector Control Purposes., Helsinki University, Helsinki.
- [2] **Ong, Chee-Mun.**, 1989. Dynamic Simulation Of Electric Machinery., Prentice-Hall PTR, New Jersey
- [3] **Krause, P.C.**, 1989. Electromechanical Motion Devices, McGraw-Hill Book Co, New York.
- [4] **University of Glasgow** Department of Electronics and Electrical Engineering, 2005. Speed Consortium PC-IMD 3.5.5. Users's Manual, Glasgow.
- [5] **Cedrat S.A.**, 2000. Flux-2D Version 7.3. Induction Machine Tutorial, New York.
- [6] **Sarma, M.S.**, 1985. Electric machines : steady-state theory and dynamic performance, W.C. Brown, Dubuque, Iowa.
- [7] **Hubert, C.I.**, 1991. Electric machines : theory, operation, applications, adjustment and control, Merrill, New York.
- [8] **Boduroğlu, T.**, 1999. Elektrik Makineleri Dersleri Kısım II, Beta Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- [9] **Sarioğlu, K.**, 1989. Elektrik Makinelerinin Temelleri, İ.T.Ü, İstanbul.
- [10] **Popescu, M. and Miller, T.J.E.**, 2005. Asynchronous Performance Analysis of a Single-Phase Capacitor-Start, Capacitor-Run Permanent Magnet Motor, IEE Transactions on Energy Conversion, vol.20, No.1.
- [11] **Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesi teknik doküman ve raporlar**
- [12] **Microchip Technology**, 2003. Electric Motors Fundamentals, Microchip Technology internal report, New York.
- [13] **Stadler K. and Kean J.**, 1994. Evaluation Techniques For Squirrel-Cage Rotors, Deltatronic Instruments , Austria.
- [14] **Jr. Blackburn H.**, 2000. An Analysis of the Various Motor Types Designed and Manufactured by Morill Motors, Morill Motor Technology , Italy.

- [15] **Twin City Fan Companies Ltd.**, 1999. Engineering Data, Internal report for information and recommendations for the engineer, London.
- [16] **J. Melfi M.**, 2003. AC Induction Motors as Part of Variable Speed Drive Systems, Reliance Electric.
- [17] <http://www.tee.com.tr/>
- [18] <http://www.abb.com/product/us/9AAC910009.aspx?country=US>
- [19] <http://www.sea.siemens.com/motors/product/mtallmotors.html#info>
- [20] **Boldea I. and Nasar A.S.**, 2002. The Induction Machine Handbook, CRC Pres, New York.

EK A

Bir fazlı asenkron motorun MATLAB simülasyon programında modellenmesi

```
Sb = 1100;    % Nominal güç VA
Prated = 1100; % Çıkış gücü W
Vrated = 220; % Nominal gerilim V
P = 2;        % Kutup sayısı
frated = 50;  % Nominal frekans Hz
wb = 2*pi*frated; % Temel elektriksel açısal hız
we = wb;
wbm = 2*wb/P;    % Temel mekaniksel açısal hız
Tb = Sb/wbm;     % Nominal moment
Zb = Vrated*Vrated/Sb;
Vm = Vrated*sqrt(2); % Gerilim tepe değeri
Vb = Vm; % Gerilim rms değeri

Nq2Nd = 1/1.706; % Ana sargı spir sayısının yrd.sargı spir sayısına oranı
rqs = 4.18;    % ana sargı direnci
xlqs = 4.15;   % ana sargı kaçak reaktansı
rds = 8.57;    % yardımcı sargı direnci
xlds = 6.75;   % yardımcı sargı kaçak reaktansı
rpds=(Nq2Nd^2)*rds;% ana sargıya indirgenmiş yrd.sargı direnci
xplds=(Nq2Nd^2)*xlds;% ana sargıya indirgenmiş yrd.sargı kaçak reaktansı
xplr = 3.33;   % ana sargıya indirgenmiş rotor kaçak reaktansı
rpr = 5.81;    % ana sargıya indirgenmiş rotor direnci
xmqs = 94.9;  % ana sargıya indirgenmiş mıknatıslama reaktansı
xMq = 1/(1/xmq + 1/xlqs + 1/xplr);
xMd = 1/(1/xmq + 1/xplds + 1/xplr);
J = 2.0e-2;    % rotor eylemsizlik momenti kg m2
```

H = J*wbm*wbm/(2*Sb); % rotor eylemsizlik sabiti sn.

zcstart = 0 - j*22.7; % yol alma kondansatörü Ohm

zcrun = 0 - j*0; % daimi kondansatör Ohm

wrs = 0.6*wb; % yol alma kondansatörünün devre dışı bırakılacağı hız değeri d/d

% Calculation of torque speed curve

Vqs = Vrated + j*0; % ana sargı geriliminin rms değeri

Vpds = Nq2Nd*(Vrated + j*0); % ana sargıya indirgenmiş yrd.sargı gerilimi

T = (1/sqrt(2))*[1 -j; 1 j]; % dönüşüm matrisi

V12 = T*[Vqs; Vpds]; % qs-ds dönüşüm matrisi

% Capacitor-start machine

zpcstart = (Nq2Nd^2)*zcstart; % ana sargıya indirgenmiş zcstart

zpcrun = 0 + j*eps; % ana sargıya indirgenmiş zcrun

zC = zpcstart;

Capstart = 1; % set flag

Caprun = 0; % set flag

wrsbywb = 0.60; % yol alma kondansatörünün devre dışı bırakıldığı hız

disp(' Capacitor-run machine')

zpcstart = 0 + j*eps; % ana sargıya indirgenmiş zcstart

zpcrun = (Nq2Nd^2)*zcrun; % ana sargıya indirgenmiş zcrun

zC = zpcrun;

Capstart = 0; % set flag

Caprun = 1; % set flag

wrsbywb = we; % yol alma kondansatörünün devre dışı bırakıldığı hız

end % if

disp(' Capacitor-start-run machine')

zpcstart = (Nq2Nd^2)*zcstart; % ana sargıya indirgenmiş zcstart

zpcrun = (Nq2Nd^2)*zcrun; % ana sargıya indirgenmiş zcrun

zC = zpcrun;

Capstart = 1; % set flag

Caprun = 1; % set flag

wrswbywb = 0.60; % yol alma kondansatörünün devre dışı bırakıldığı hız (*
elektronik röleli motorlarda yol alma kondansatörünün devre dışı bırakıldığı hız
değeri, yardımcı sargı gerilimi izlenerek tespit edilmektedir. Bu amaçla blok şemaya
röleyi simüle edebilecek ilave bir blok ilave edilmiştir.)

```
Rcrun = real(zpcrun); % daimi kondansatörün indirgenmiş direnci
Xcrun = imag(zpcrun); % daimi kondansatörün indirgenmiş reaktansı
Crun = -1/(wb*Xcrun); % daimi kondansatörün indirgenmiş kapasite değeri
Rcstart = real(zpcstart); % yol alma kondansatörün indirgenmiş direnci
Xcstart = imag(zpcstart); % yol alma kondansatörün indirgenmiş reaktansı
Cstart = -1/(wb*Xcstart); % yol alma kondansatörün indirgenmiş kapasite değeri
```

```
zqs = rqs + j*xlqs; % ana sargı öz empedansı
zcross = 0.5*(rpds + real(zC) - rqs) + j*0.5*(xplds + imag(zC) - xlqs);
```

% kayma değerinin tanımlanması

```
s = (1:-0.02:0);
```

```
N=length(s);
```

```
for n=1:N
```

```
    s1 = s(n); % pozitif kayma
```

```
    s2 = 2-s(n); % negatif kayma
```

```
    wr(n)=2*we*(1-s1)/P; % rotor hızı rad/sn
```

```
    if abs(s1) < eps; s1 = eps; end;
```

```
    zp1r = rpr/s1 + j*xplr;
```

```
    z1s = j*xmq*zp1r/(zp1r + j*xmq);
```

```
    if abs(s2) < eps; s2 = eps; end;
```

```
    zp2r = rpr/s2 + j*xplr;
```

```
    z2s = j*xmq*zp2r/(zp2r + j*xmq);
```

```
    z11 = zqs + z1s + zcross;
```

```
    z22 = zqs + z2s + zcross;
```

```
    zmat = [ z11 -zcross; -zcross z22 ];
```

```
    I12 = inv(zmat)*V12;
```

```

I1s = I12(1);
I2s = I12(2);
Iqd = inv(T)*[I1s; I2s];
Sin =[Vqs Vpds]*conj(Iqd);
Pin = real(Sin);
angIq(n) =angle(Iqd(1))*180/pi;
angId(n) =angle(Iqd(2))*180/pi;
magIq(n) =abs(Iqd(1));
magId(n) =abs(Iqd(2));
Ip1r = -j*xmq*I1s/(zp1r + j*xmq);
Ip2r = -j*xmq*I2s/(zp2r + j*xmq);
Tavg(n)=(P/(2*we))*(abs(Ip1r)^2*rpr/s1 - abs(Ip2r)^2*rpr/s2);
Pavg(n)=Tavg(n)*wr(n);
if abs(Pin) < eps; Pin = eps; end;
eff(n)=100*Pavg(n)/Pin;
end % n for loop

N=size(wr);
disp('Select loading during run up')
opt_load = menu('Loading? ','No-load','With step changes in loading')

% set up repeating sequence Tmech signal
if (opt_load == 1) % No-load
tstop = 0.7; % simulation run time
tmech_time =[0 tstop];
tmech_value =[0 0];
end
if (opt_load == 2) % Step changes in loading
tstop = 2.5; % simulation run time
tmech_time =[0 1.5 1.5 1.75 1.75 2.0 2.0 2.25 2.25 2.5];
tmech_value =[0 0 -Tb -Tb -Tb/2 -Tb/2 -Tb -Tb 0 0 ];
end

```


ÖZGEÇMİŞ

1978 Ankara doğumluyum. İlk, orta ve lise eğitimimi sırasıyla 1989 yılında Sokullu Mehmet Paşa İlköğretim Okulunda ve 1995 yılında Sokullu Mehmet Paşa Lisesinde tamamladım. 1995 yılında başladığım üniversite hayatımı, bir yıl İngilizce hazırlık eğitiminden sonra 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden, bölüm birincisi mezunu olarak tamamladım. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Programında yüksek lisans eğitimimi devam ettirmekteyim ve Arçelik A.Ş. Çok Amaçlı Motor İşletmesinde Ürün Geliştirme Mühendisi olarak çalışmaktayım.