

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

106452

**HALKA YERİNE SARGI KULLANILAN GÖLGE KUTUPLU
ASENKRON MOTORUN MİKRODENETLEYİCİ İLE DENETİMİ**

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

Elektrik Elektronik Müh. Abubekir ERDEM

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" Elektrik Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

106452

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30-05-2001

Tezin Savunma Tarihi : 26-06-2001

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Doç. Dr. İsmail H. ALTAŞ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Rifat YAZICI

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

TRABZON 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen başta tez hocam Sayın Prof. Dr. Sefa AKPINAR'a, Yrd. Doç. Dr. Yetkin Tatar'a ve diğer hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Abubekir ERDEM



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SEMBOLLER DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Bir Fazlı Asenkron Motorlar	1
1.2.1. Üniversal (Seri) Motor	2
1.2.2. Yardımcı Sargılı Motorlar	3
1.2.2.1. Kondansatörlü Yol Vermeli Motorlar	4
1.2.2.2. Sürekli Kondansatörlü Motorlar	5
1.2.2.3. Çift Kondansatörlü Motorlar	6
1.2.3. Relüktans Motor	7
1.2.4. Repülsiyon Motor	8
1.2.5. Küçük Senkron Motorlar	9
1.2.5.1. Kendi Kendine Yol Alabilen Relüktans Motorlar	9
1.2.5.2. Histerizis Motoru	11
2.GÖLGE KUTUPLU MOTORLAR	13
2.1. Giriş	13
2.2. Motorun Yapısı	13
2.3. Çalışma İlkesi	14
2.4. Değişik Yapıdaki Gölge Kutuplu Asenkron Motorlar	19
2.4.1. Gölge Kutuplu Motorlarda Magnetik Köprülerin Kullanılması	19
2.4.2. Üçlü Gölge Halkalı Motor	19
2.5. Gölge Kutuplu Motorlarda Devir Yönü ve Hız Kontrolü	20
2.5.1. Devir Yönü Kontrolü	20
2.5.1.1. Her Kutup İçin İki Sabit Gölge Kutup	20
2.5.1.2. Birbirinden Farklı İki Ana Sargı	21

2.5.1.3. Kapalı Devre Teşkil Eden Sürekli Bir Kutup Sargı Tipi Kullanmak	21
2.5.2. Hız Kontrolü	22
2.5.2.1. Kademeli Bir Reaktans Bobini Kullanmak	22
2.5.2.2. Kademeli Bir Oto Trafosu Kullanmak	22
2.5.2.3. Çok Uçlu Stator Sargısı Kullanmak	23
2.5.2.4. Alternatif Gerilim Kısıyıcı ile Hız Kontrolü	24
2.6. Gölge Kutuplu Motorların Karakteristikleri	24
2.6.1. Verim ve Moment Karakteristikleri Oranı	24
2.6.2. Kalkış Momentine Etki Eden Faktörlerin Karakteristikleri	26
2.6.2.1. Yardımcı Kısa Devre Halkanın Direnci(R_2)	26
2.6.2.2. Yardımcı Kısadevre Halkasının Akı Eksenine Açısı	27
2.6.2.3. Yardımcı Kısadevre Halkası ile Ana Sargı Arasındaki Ortak Endüktans(M_{12})	28
3. GÖLGE KUTUPLU ASENKRON MAKİNANIN d-q EKSEN TAKIMINDA DURUM DENKLEMLERİNİN ÇIKARILMASI	29
4. GÖLGE SARGIYA UYGULANAN GERİLİMİN FAZINI KAYDIRMA	34
4.1. Giriş	34
4.2. Mikrodenetleyici ile Faz Kaydırma	34
4.2.1. PIC16F84 Mikrodenetleyicisi	34
4.2.2. Programın Açıklaması	36
4.3. Operasyonel Amplifikatör ile Faz Kaydırma	37
5. MATEMATİKSEL BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
5.1. Giriş	40
5.2. Tek Girişli Gölge Kutuplu Motorun Dinamik Davranışı	40
5.3. İki Girişli Gölge Kutuplu Motorun Dinamik Davranışı	40
6. SONUÇ	49
6.1. İrdeleme	49
6.2. Sonuçlar	49
6.3. Öneriler	50
7. KAYNAKLAR	51
8. EKLER	53
9. ÖZGEÇMİŞ	70

ÖZET

Başlama momenti ve verimi küçük olmasına rağmen gölge kutuplu asenkron motorlar küçük güçlü sürücü sistemlerinde yaygın olarak kullanılırlar.

Şayet başlama momenti arttırılabilirse, hız kontrolü ve rotorun yön değiştirilmesi sağlanırsa gölge kutuplu asenkron motorun kullanma alanı genişler.

Daha önce yapılan bir çalışmanın (Akpınar,Kaya,1992) devamı niteliğinde olan bu çalışmada gölge kutuplu tek fazlı asenkron motorun, kısa devre halkası yerine konulan sargı üzerinden denetimi elektronik bir sürme devresiyle ve mikrodenetleyici ile yapılmıştır. Denetimi yapılan motorun başlama momentinin arttırılması, hızının yönü ve değeri değiştirilmiştir.

Gölge kutuplu asenkron motorda yukarıda anlatılan uygulamaları incelemek amacıyla, mikrodenetleyici ve elektronik sürme devresi yardımıyla faz kaydırma işlemini ve MATLAB programıyla gölge kutuplu motorun dinamik davranışı incelenmiştir. Elde edilen deneysel ve işlemsel sonuçlar, önerilen metodun geçerliliğini doğrulamak için karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gölge Kutuplu Asenkron Motor, Faz Kaydırma, Mikrodenetleyici

SUMMARY

Microcontroller Based Control of a Shaded Pole Induction Motor Using a Winding Instead of the Ring

Shaded-pole induction motors are widely used in drive systems requiring low power, although they have low starting torque and low efficiency.

The application areas of the shaded-pole induction motors can be expanded, if they are provided with the possibility of increased starting torque, speed control and reversible rotation of the rotor.

In this thesis, increased starting torque, speed control and reversible rotation of single phase shaded-pole induction motor is studied by using a winding instead of the short-circuited ring. The motor is controlled using an electronic drive circuit along with a microcontroller.

In order to investigate the operating conditions of the shaded pole induction motor mentioned above a phase shifting process is applied using microcontroller and electronic driver circuit. Dynamic behavior of the shaded-pole motor is also investigated by simulating the motor model in a environment. The experimental and simulation results obtained have been compared to validate the proposed method.

Key Words: Shaded-Pole Induction Motor, Phase Shifting, Microcontroller

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Alternatif akım seri motorun Hız-Moment karakteristiği	2
Şekil 2. a) Yardımcı sargılı asenkron motor b) Fazör diyagramı	3
Şekil 3. a) Kondansatör yol vermeli motor b) Fazör diyagramı	4
Şekil 4. a) Sürekli kondansatörlü motor b) Fazör diyagramı	5
Şekil 5. Çift kondansatörlü motor	6
Şekil 6. Relüktans motorun yapısı	7
Şekil 7. Repülsiyon motor	8
Şekil 8. Dört kutuplu relüktans tipi senkron motor	10
Şekil 9. İki kutuplu histerizis motoru	12
Şekil 10. Gölge kutuplu motorun yapısı	14
Şekil 11. Gölge kutup olayının manyetik yapı üzerinde gösterimi	15
Şekil 12. Gölge kutuplu motor	16
Şekil 13. Gölge kutup motorundaki akı (ana alan akımı artarken)	17
Şekil 14. Gölge kutup motorundaki akı (ana alan akımı maksimum)	17
Şekil 15. Gölge kutup motorundaki akı (ana alan akımı azalırken)	18
Şekil 16. Gölge kutup motorundaki akı (ana alan akımı yön değiştirirken)	18
Şekil 17. Manyetik köprü kullanarak imal edilmiş dört kutuplu motor	19
Şekil 18. Üçlü gölge halkalı biçimde tasarlanmış gölge kutuplu motor	20
Şekil 19. Çift gölge bobinli gölge kutuplu motorun devir yönü kontrolü	21
Şekil 20. Çift kutup sargılı gölge kutuplu motorun devir yönü kontrolü	21
Şekil 21. Sürekli stator sargılı gölge kutuplu motorun devir yönü kontrolü	22
Şekil 22. Seri reaktans bobini ile hız kontrolü	22
Şekil 23. Oto trafo ile hız kontrolü	23
Şekil 24. Bobinden kademeli uçlar çıkarıp şebeke geriliminin uygulanışı ile hız kontrolü	23
Şekil 25. a) Alternatif gerilim kıyıcı ile hız kontrolü b) Motor üzerine düşen gerilimin değişimi	24
Şekil 26. Hız-Moment ve Verim değişimi	25
Şekil 27. Gölge kutuplu motorun kalkış momentinin ve başlangıçta çektiği akımın yardımcı kısa devre halkasının direnci ile değişimi	26
Şekil 28. γ ile α 'nın gösterimi	27

Şekil 29. γ 'ya bağlı olarak M_b 'nin değişimi	28
Şekil 30. M_{12} ortak endüktansının M_b başlangıç momentine etkisi	28
Şekil 31. Gölge kutuplu motorun d-q eksen sisteminde gösterimi	29
Şekil 32. Gölge sargıya uygulanan geriliminin blok diyagramı	34
Şekil 33. PIC16F84'ün pin görünüşü	35
Şekil 34. Mikrodenetleyici ile faz kaydırma devresinin blok diyagramı	36
Şekil 35. Ana sargıya uygulanan referans gerilimine karşın mikrodenetleyicinin çıkışı	37
Şekil 36. Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırma devresinin blok diyagramı	38
Şekil 37. a) Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırma devresi b) V_i ve V_0 eğrileri	39
Şekil 38. Gölge kutubu halkalı makinanın deneysel Hız-Zaman karakteristiği	42
Şekil 39. Gölge kutubu halkalı makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği	42
Şekil 40. Gölge kutubu halkalı makinanın işlemsel Moment-Zaman karakteristiği	43
Şekil 41. Gölge kutubu halkalı makinanın işlemsel Hız-Moment karakteristiği	43
Şekil 42. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın deneysel Hız-Zaman karakteristiği	44
Şekil 43. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği	44
Şekil 44. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın işlemsel Moment-Zaman karakteristiği	45
Şekil 45. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın işlemsel Hız-Moment karakteristiği	45
Şekil 46. Gölge sargıya uygulanan faz farklı gerilimler ile kontrol edilen makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği	46
Şekil 47. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile dönme yönü ters çevrilirken makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği	46
Şekil 48. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile dönme yönü ters çevrilirken makinanın işlemsel Moment-Zaman karakteristiği	47
Şekil 49. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile dönme yönü ters çevrilirken makinanın işlemsel Hız-Moment karakteristiği	47
Şekil 50. İki defa yön değiştirilen gölge kutuplu makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği	48

Şekil 51. İki defa yön değiştirilen gölge kutuplu makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği	48
Ek şekil 1. Mikrodenetleyici ile gerçekleştirilen faz kaydırma devresi	62
Ek şekil 2. Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırma devresi	63
Ek şekil 3. Sinüs çevrim tablosundaki değerlerin zaman üzerinde değişimi	64



SEMBOLLER DİZİNİ

f	: Frekans
j	: Eylemsizlik momenti
L_H	: Stator kutbu ile rotor arasındaki ortak indüktans
L_{1k}	: Ana sargı kaçak indüktansı
L_{2k}	: Gölge sargı kaçak indüktansı
L_{rk}	: Rotor sargı kaçak indüktansı
L_1	: Ana sargı öz indüktansı
L_2	: Gölge sargı öz indüktansı
L_r	: Rotor sargı öz indüktansı
M_{1r}	: Rotor ile ana sargı arasındaki ortak indüktans
M_{2r}	: Rotor ile gölge sargı arasındaki ortak indüktans
M_{12}	: Gölge sargı ile ana sargı arasındaki ortak indüktans
N_1	: Ana sargı sipir sayısı
N_2	: Gölge sargı sipir sayısı
n_N	: Nominal hız
p	: Çift kutup sayısı
P_N	: Nominal güç
R_1	: Ana sargı direnci
R_2	: Gölge sargı direnci
R_r	: Rotor direnci
T_e	: Geliştirilen moment
T_L	: Yük momenti
U_N	: Nominal gerilim
α	: Ana sargı ile gölge kutup akı eksenleri arasındaki açı
ξ_1	: Gölge kutup yok sayılarak hesaplanan ana sargının sargı faktörü
ξ_2	: Gölge sargının sargı faktörü
τ_r	: Rotor sargı faktörü

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Gölge kutuplu asenkron motorlar küçük güçlerde (1/20 BG 'den küçük) yaygın olarak kullanılırlar. Bunun başlıca nedenleri bakıma, onarıma, yardımcı aygıtlara ihtiyaç duymamaları ve ucuz olmalarıdır. Bu üstünlüklerine karşın kalkış momentleri, verimleri (%5-%35)küçük ve kısa devre halkası tek olanların devir yönünü değiştirme imkanının olmaması gibi arzu edilmeyen özellikleri de bulunmaktadır.

Eğer devir yönü ve hız ayarı değiştirilebilirse şüphesiz bu motorların kullanım alanları da artacaktır. Devir yönünü ve hızını değiştirebilmek için daha önce yapılmış bir çalışmada (Akpınar, Kaya, 1992) kısa devre halka yerine bir sargı kullanılmıştır. Bu sargı vasıtasıyla motorun dış ortama bir kapısı daha açılmış olur. Bu kapıdan uygulanan gerilimin uyarma sargısına göre fazını kaydırarak hız ayarı ve devir yönü değişikliği sağlanabilir.

Bu çalışmada, gölge kutuplu asenkron motorda açılan bu ikinci kapının geriliminin fazını mikrodenetleyici ve elektronik devre yardımıyla kaydırarak başlama momentinin artırılması metodu, dönme yönünün tersine çevirme ve motorun hız kontrolü sunulmuştur. Ayrıca iki girişli gölge kutuplu motorun dinamik davranışının analizi bir metotla ortaya konmuştur.

1.2. Bir Fazlı Asenkron Motorlar

Bir fazlı asenkron motorlar endüstride, atölyelerde ve evlerde kullanılan taşınabilir el tezgahları, fan, süpürge, teyp, pikap, mutfak aletleri ve klima cihazları gibi küçük güçlü iş makineleri için ihtiyaç duyulan çevirme gücü, genellikle 1 BG den küçük güçlü, bir fazlı asenkron motorları ile sağlanır.

Bu tür motorların boyutlandırılması ve karakteristik değerlerinin hesabı, büyük güçlü üç fazlı asenkron motorlara göre oldukça farklıdır. Bir fazlı asenkron motorların yapıları basit olmakla birlikte, işletme özelliklerini teorik analizi oldukça zordur. Bu nedenle gücü 1 BG den küçük bir fazlı motorları boyutlandırıldıktan sonra prototip olarak imal edilir ve deneysel yollar ile bütün işletme özellikleri araştırılır. Buna göre boyutlandırma hesapları tekrar gözden geçirilerek en uygun motor türü elde edildikten sonra seri üretime geçilir.

Bir fazlı asenkron motorların sınıflandırılması yol alma ve çalışma özelliklerine göre yapılır. Motorların seçimi gereken yol alma, çalışma momentine, çalışma sürelerine (aralıklı ve devamlı) ve stator sargılarının alacağı akıma göre yapılır.

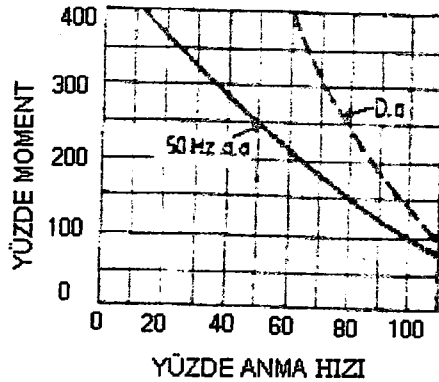
Bir fazlı motor çeşitleri şunlardır :

- 1- Üniversal (seri) motor
- 2- Yardımcı sargılı motor
- 3- Relüktans motor
- 4- Repülsiyon motor
- 5- Küçük senkron motor
- 6- Yardımcı (Gölge) kutuplu motor

1.2.1. Üniversal (Seri) Motor

Stator ve rotor manyetik gövdeleri saç paketlerinden oluşan alternatif akım seri motoru, hem alternatif akım hem de doğru akım ile ve benzer karakteristik özellikler göstererek çalışabildiğinden bu motorlara “üniversal motorlar” da denir. Motora alternatif kaynak gerilimi uygulandığında, rotor ve statorda oluşan manyetik alanlar her an aynı yönlerde bulunurlar ve dolayısı ile her an aynı yönde etki eden ve kaynak frekansının iki katı frekans ile bir döndürme momenti oluşur.

Alternatif akım seri motorları, eylemsizlik momenti küçük, devir sayısı büyük (1500 ile 15000 d/d) olan taşınabilir el tezgahlarında ve elektrikli süpürgelerde kullanılır. Üniversal motorun alternatif akım ve doğru akım kaynaklarında beslenmesi durumlarına ait moment/hız karakteristikleri şekil 1.'de görülmektedir. Karakteristiklerin birbirinden az veya çok farklı oldukları görülmektedir.



Şekil 1. Alternatif akım seri motorun Hız-Moment karakteristiği

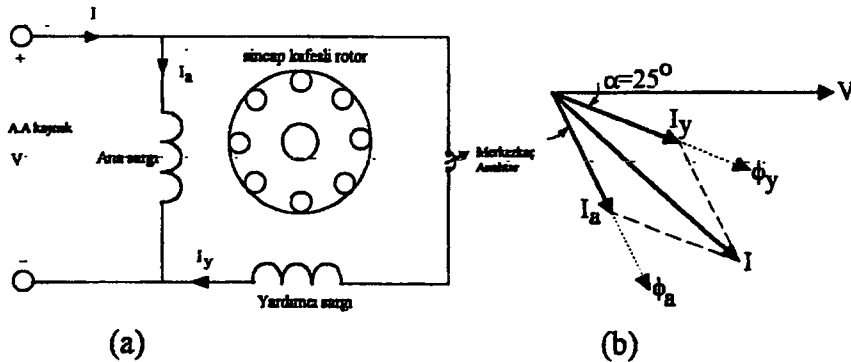
Üniversal motorlarda hız kontrolü için yarı iletkenli hız kontrol sistemleri kullanılır. Çok yüksek hızlarda çalışan bu motorlarda birim güç başına maliyet düşüktür. Bu tür motorların çalışmaları oldukça sesli olup, 1BG den küçük olanlarının ömürleri kısadır. (Ateş,Peşint,1990)

Üniversal motorlar çok çeşitli yerlerde kullanılırlar. Yüksek devirleri sebebi ile elektrik süpürgelerinde tercih edilirler. Evlerde kullanılan kahve değirmenlerinde, karıştırıcılarda, vantilatörlerde, matkaplarda, dikiş makinalarında, saç kurutma makinalarında, sirenlerde, seyyar taşıma ve zımpara makinalarında üniversal motorlar kullanılır.

1.2.2. Yardımcı Sargılı Motorlar

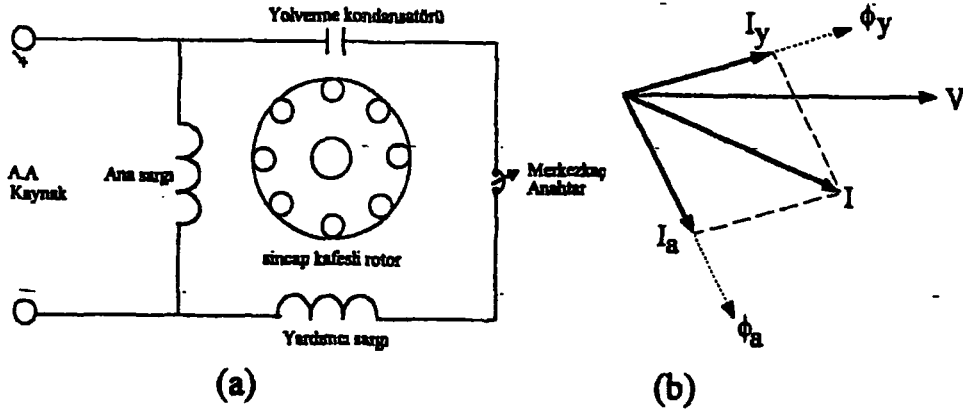
Birbirine 90° elektriki açı ile yerleştirilmiş iki farklı stator sargısından oluşan motorlara yardımcı sargılı (bölünmüş fazlı) motor denir. Motor devri senkron hızın %75-80'ine ulaştığında başlatma (yol verme-santrifüj) anahtarı yardımcı sargıyı devreden çıkarır. Bu anahtar merkezkaç kuvvetiyle açılır. Bu tip motorun rotoru sincap kafeslidir. Yol alma süresince iki sargı birbirine ve aynı zamanda besleme kaynağına paralel bağlanmıştır. Şekil 2.a.'da bu tip bir motorun elektrik devresi gösterilmiştir.

Bir fazlı asenkron motorlar ana sargısında daima kalın kesitli bakır iletkenler kullanılır, böylece I^2R kayıpları düşük tutulur. Bu sargının spin sayısı oldukça büyüktür. Yol alma anında endüktif rezistans (reaktans) yüksek ve direnç düşüktür. Bunun sonucu ana sargı akımı (I_a) uygulanan gerilim (V) den oldukça geridedir (Şekil 2.b.). Bu tip motorlarda yardımcı sargı ise ana sargının tersine ince kesitli ve az sipin sayılı bakır iletkenlerden sarılır, dolayısıyla ana sargıya göre daha yüksek dirence ve daha düşük reaktansa sahiptir. Bunun sonucu yol alma durumunda I_y akımı ile V gerilimi arasındaki faz farkı çok azdır. I_a ve I_y arasında oluşan faz açısı α başlama momentini üretir. Hat akımı I ise I_a ve I_y ' nin fazör toplamına eşittir.



Şekil 2. a)Yardımcı sargılı asenkron motor, b) Fazör diyagramı

1.2.2.1 Kondansatörlü Yol Vermeli Motorlar



Şekil 3. a) Kondansatör yol vermeli motor b) Fazör diyagramı

Yardımcı sargılı motorun yardımcı sargısına bir kondansatör seri bağlı ise bu tip motor kondansatör yol vermeli motor olarak adlandırılır. Bu tip motorların 3 çeşidi vardır. Bunlardan birisi şu anda anlatılan motordur. Kondansatör yardımcı sargı ile birlikte sadece yol alma (başlama) süresince devrededir. Bu tip motorun bağlantı şeması şekil 3.a.'da gösterilmiştir. Motor, yardımcı sargılı motora benzemesine rağmen daha yüksek moment sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tip motorlar 0.125 HP ve üzerindeki güçler için oldukça iyi bilinen motorlardır. 0.33 HP ve üzerindeki güçler için kondansatör başlatmalı motorlar iki gerilime göre sarılabilirler. Böylece hem 110 hem de 220 volt kaynak geriliminde çalışabilirler. Bu durumda ana sargı iki kısımdan oluşur ve bunlar 220V için seri olarak bağlanırken 110V için paralel bağlanırlar.

Kondansatör yol vermeli motorlarda, normal yardımcı sargılı motora göre yardımcı sargı sipin sayısı daha fazla olup ana sargı sipin sayısı kadar olabilir. Kondansatör seçiminde I_a ile I_y arasında 80° civarında bir faz farkı olmasına dikkat edilmelidir. Bu açı yardımcı sargılı motorlarda 25° dolayındadır. Bu açıklamalara göre, aynı moment şartlarında yardımcı sargı akımı normal yardımcı sargılı bir fazlı motorun yardımcı sargı akımından iki kat azdır. Bundan dolayı bu tip motorun ısınması daha yavaştır. Aynı zamanda yol alma akımı da daha düşüktür, normal yük akımının yaklaşık 4-5 katı kadardır.

Yüksek başlama momenti ve düşük yardımcı sargı akımına sahip olan kondansatör yol vermeli motorlar çok sık veya yüklü olarak başlama gerektiren uygulamalar için çok uygundur. Başlama momenti daha yüksek olmasına rağmen kondansatör yol vermeli ve yardımcı sargılı bir fazlı motorlar normal devir sayılarına ulaştıktan sonra aynı yük

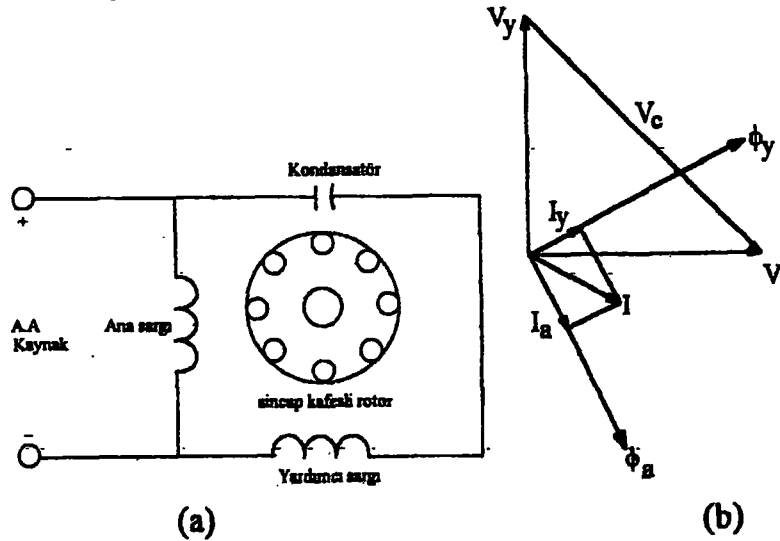
karakteristiğine sahiptirler. Çünkü belirli devir sayısı üzerinde her iki motorda da sadece ana sargılar kalmaktadır.

Kondansatör yol vermeli motorlar yüksek başlama gerektiren kompresörlerde, büyük vantilatörler, pompalar ve yüksek ataletli yüklerde kullanılır ve 120W ile 1.5KW arasındaki güçlerde üretilirler. Kalkınma süresince ana ve yardımcı sargılar birlikte çok yüksek başlama momenti üretirler. Motor yeterli hıza ulaştıktan sonra merkezkaç anahtar açılarak yardımcı sargı ve kondansatörü devre dışı bırakır. Sadece ana sargı moment üretmeye devam eder. Yardımcı sargı ve kondansatörün devreden çıkarılması ile birlikte üretilen moment aniden düşer. Fakat motor yol almasına normal yük devrine ulaşıncaya kadar devam eder.

1.2.2.2. Sürekli Kondansatörlü Motorlar

Bu tip motorlar kondansatör yol vermeli motorların diğer bir çeşidi olup yardımcı sargıya seri bağlı kondansatör çalışma süresince hep devrede kalır ve böylece merkez kaç anahtarına gerek kalmaz. Bu motorlar özel amaçlı uygulamalarda, küçük moment gereken yerlerde kullanılırlar ve 10^{-3} - 3/4 HP güçlerde üretilirler. Şekil 1.4.a.'da sürekli kondansatörlü bir motorun devre şeması gösterilmiştir.

Sürekli kondansatörlü motor iki fazlı motor gibi olmasına rağmen bir fazlı şebekeden beslenmektedir. İki sargıya sahip olan bu motorda, sargının birisi direk şebekeye bağlıdır. Diğer sargı ve seri bağlı olan kondansatör de kaynağa direk bağlıdır ve ana sargıya göre ince kesitli ve çok spirlidirler.



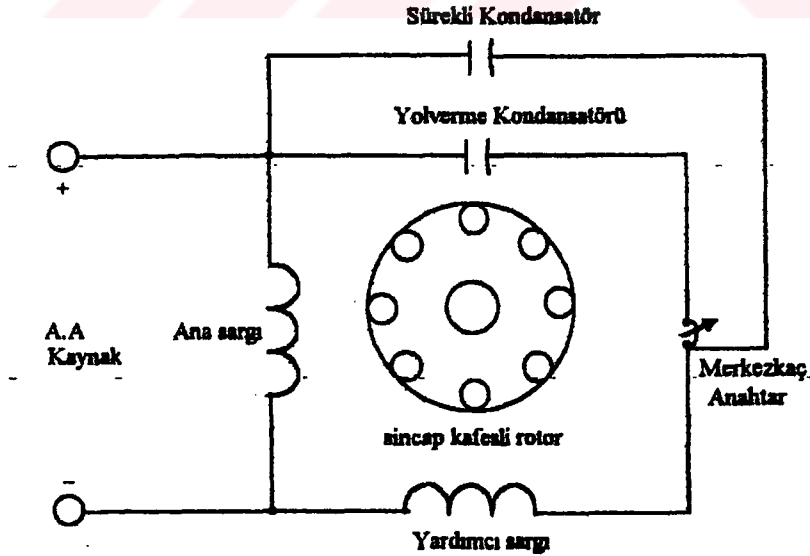
Şekil 4. a) Sürekli kondansatörlü motor b) Fazör diyagramı

Bu motorlar sesiz çalışmalarından dolayı hastanelerde, stüdyolarda ve sessizliğin önemli olduğu yerlerde sabit değerdeki yükleri sürmek için kullanılırlar. Kondansatör yol vermeli motorlara göre daha yüksek güç katsayısı sahip olan sürekli kondansatörlü motorlar her hangi bir merkezkaç anahtarı gerektirmemektedirler. Fakat bu motorların başlama momentleri düşüktür.

Moment tam yükte çalışırken sargıların ürettikleri manyetik alanlar ϕ_a ve ϕ_y eşit olup aralarında 90° faz farkı vardır. Bundan dolayı bu motorlarda titreşim olmamaktadır. Sürekli kondansatörlü motorlar 500W 'ın altındaki güçlerde üretilmektedirler.

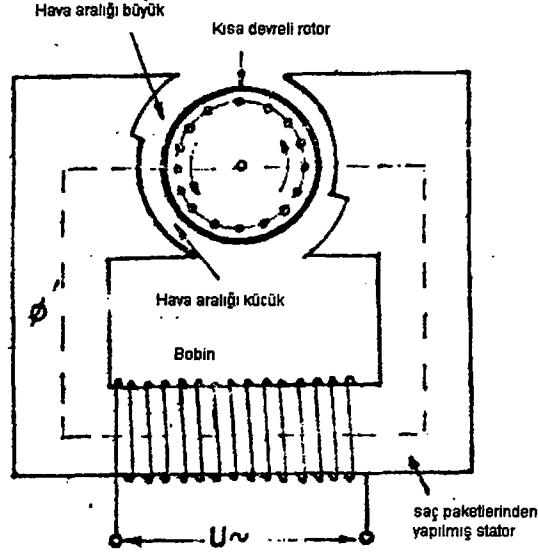
1.2.2.3. Çift Kondansatörlü Motorlar

Çift kondansatörlü motorlar ise kondansatör yol vermeli bir fazlı motorların başka bir çeşididir. Sürekli kondansatörlü motorda bahsedilen düşük başlama momenti sakıncasını gidermek için tasarlanmıştır. Bu tip motorda yardımcı sargıya seri bağlı ve değerleri farklı iki kondansatör kullanılır. Şekil 5.'de kondansatör değeri değiştirmenin yolu gösterilmiştir. Bu tip motorlar yol alma süresince yüksek bir kapasitans değerine, normal çalışma sırasında ise düşük bir kapasitans değerinde çalışırlar.



Şekil 5. Çift kondansatörlü motor

1.2.3. Relüktans Motor



Şekil 6. Relüktans motorun yapısı

Relüktans motorlar yapıları bakımından gölge kutuplu motorlara benzerler. Statoru şekil 6.'da görüldüğü gibi saç parçalarından paketlenerek yapılmışlardır. Gölge kutuplu motordaki çıkıntılı kutuplardaki bakır halkalar yerine, kutup yüzeylerinin bir kısmı hava aralığı fazla olacak şekilde oyulmuştur. Ortadaki rotor ile kutuplar arasında kutbun bir kısmında hava aralığı çok küçük, diğer kısmında ise hava aralığı büyüktür. Hava aralığı büyük olan kısım manyetik akının geçişine büyük direnç gösterir. Çok küçük olan hava aralığı ise manyetik akının geçişine daha küçük manyetik direnç (relüktans) gösterir.

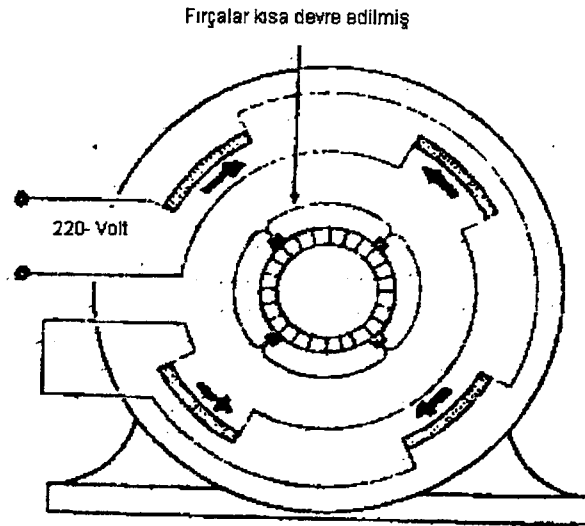
Relüktans motorun çalışması gölge kutuplu motorun çalışmasına benzer. Stator sargısına bir alternatif emk uygulanınca bobinden bir sinüsoidal bir akım geçer, değişen bir manyetik akı meydana gelir. Statorun N kutbundan S kutbuna doğru giden kuvvet çizgileri, büyük hava aralığından geçerken büyük bir manyetik dirençle, küçük hava aralığında geçerken de daha küçük bir manyetik dirençle karşılaşılır. Dolayısıyla kutupların manyetik akıları, kutup yüzeylerinde daha küçük manyetik direnç gösteren kısma doğru kayarlar. O halde, kutupların manyetik akıları her yarım periyotta yön değiştirirler, aynı zamanda manyetik akı kutup yüzeyinde geniş hava aralıklı kısımdan küçük hava aralıklı kısma doğru kayar. Kutupların meydana getirdiği manyetik akının bu kayması, gölge kutuplu motorların kutuplardaki akı kaymasına benzetilebilir. Kutupların ortasındaki kısa devreli rotor, manyetik akının kutup yüzeyindeki hareketine uyarak döner.

Relüktans motorların başlama momentleri gölge kutuplu motorlardan daha küçüktür ve bu motorların aşırı yük kapasiteleri, verimleri çok küçüktür. Relüktans motorların devir yönleri daima geniş hava aralıklı kısımdan dar hava aralıklı kısma doğrudur. Bu motorların devir yönü değiştirilemez. Relüktans motorun devir sayısı, oto trafo ve seri reaktans bobini yardımı ile motora uygulanan gerilim değiştirilerek ayarlanır. Bu motorlar küçük ebatta yapılırlar. Başlama ve aşırı yük momentlerinin düşük olması gerekli olan yerlerde kullanılırlar.

1.2.4. Repülsiyon Motor

Repülsiyon motorların statorları yardımcı sargılı motorların veya üç fazlı asenkron motorların statorlarına benzer. Yalnız ana sargısı olan bir yardımcı sargılı motorun statoru, repülsiyon motorun statorundan hiçbir farkı yoktur. Repülsiyon motorların statoruna yerleştirilen bir fazlı sargı yardımcı sargılı motorlarda olduğu gibidir. Bobinler el sargı şeklindedir. Repülsiyon motorun rotoru, doğru akım dinamo ve motor endüvisinin aynıdır. Yalnız repülsiyon motorlarda fırçalar kısa devre edilmiştir.

Normal repülsiyon motorların ve repülsiyon startlı asenkron motorların ilk kalkınma momentleri, kondansatörlü yardımcı sargılı motorların ilk kalkınma momentleri kadardır. Bu motorların ilk kalkınma momentleri %300 ile %350 tam yük döndürme momenti civarındadır. Repülsiyon motorların ilk kalkınma akımları, kondansatörlü yardımcı sargılı motorların ilk kalkınma akımlarından ortalama %30-%40 daha küçüktür.



Şekil 1.7. Repülsiyon motor

Dolayısıyla, repülsiyon motorun uçlarındaki, kalkınmadaki gerilim dalgalanması daha küçüktür. Repülsiyon startlı asenkron motorların tam yük altındaki devir sayıları, boş çalışmadaki devir sayılarından %2.5-%5 kadar düşük olur. Bu motorlar sabit devirli motorlar sınıfına girerler. Normal repülsiyon motorların rotorunda santrifüj kuvvetle fırçaları kaydırma ve kolektör dilimlerini kısa devre etme düzeneği yoktur. Normal repülsiyon motorların devirleri, üniversal motorlarda olduğu gibi, yüklerle değişir. Devir sayısı şebeke frekansına ve statorun kutup sayısına bağlı değildir. Normal repülsiyon motorun ve repülsiyon startlı asenkron motorun devir yönü, fırçaları kutup eksenin sağ ve sol tarafına kaydırmak suretiyle değiştirilir. Normal repülsiyon motorların devir sayıları, fırçaları kaydırarak ayarlanır. Repülsiyon startlı asenkron motorun devir sayısı şebeke frekansına ve motorun kutup sayısına bağlıdır.

Repülsiyon startlı asenkron motorlar yüksek kalkınma momenti istenen yerlerde, kondansatörlü yardımcı sargılı motorlar gibi kullanırlar. Yardımcı sargılı motorlardan önce repülsiyon motorlar bir fazlı motorların içinde endüstride en fazla kullanılan motorlar idi. Pahalı olmaları sebebi ile daha ucuz olan yardımcı sargılı motorlar repülsiyon motorların yerlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

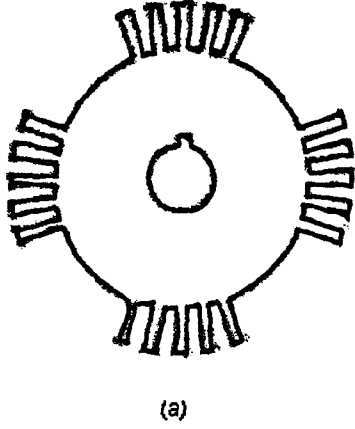
Repülsiyon startlı asenkron motorlar 1.5 BG ve daha küçük güçte yapılırlar. Su türbinlerinde matkaplarda, çamaşır makinasında, aspiratörlerde kullanılırlar.

1.2.5. Küçük Senkron Motorlar

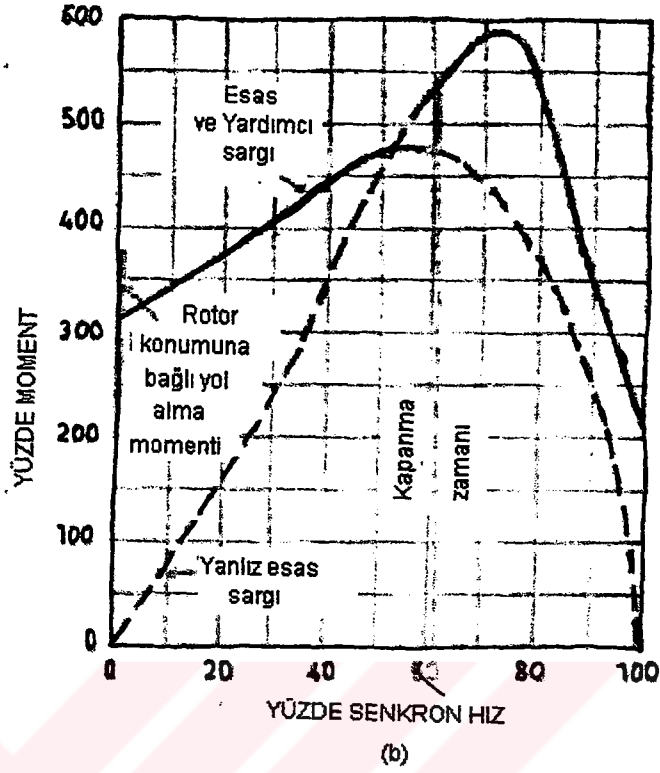
Gücü 1BG den küçük olan bir fazlı senkron motorlar, relüktans türü veya histerezis türü endüksiyon motorları şeklinde gerçekleştirilir.

1.2.5.1. Kendi Kendine Yol Alabilen Relüktans Motorlar

Bir fazlı asenkron motorun rotoruna şekil 8.a.'da görüldüğü gibi özel bir geometrik yapı verilerek kendi kendine yol alabilen relüktans türü senkron motorlar yapılabilir. Gerçekten rotorun yapılışı nedeni ile hava aralığı relüktansı, rotorun açısal konumunun bir fonksiyonu olarak değişir ve rotor senkron hız ile döndüğü zaman, stator bobin eksen konumu ile ilgili olarak bir relüktans momenti oluşur. Şekil 8.a.'de görülen rotor, stator sargısı 4 kutuplu olan bir relüktans motoruna göre tasarlanmıştır. Rotor çevresinde bir kısım çubuklar kaldırılarak çevre boyunca değişken bir hava aralığı elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8. Dört kutuplu relüktans tipi senkron motor
a) Rotorun yapılışı b) Moment-Hız karakteristiği

Stator sargısına bir gerilim uygulandığında rotor, en küçük relüktans konumuna gelmeye çalışacağından bir döndürme momenti oluşur ve motor kendi kendine yol alır. Yüknün küçük değerlerde olması durumunda çok küçük bir kayma ile çalışmaya devam eder.

Relüktans motorun çalışması sırasında, alternatif akımın pozitif periyodu süresince rotor hızlanır, negatif periyodu süresince ise yavaşlamaya çalışır. Yük momentinin küçük, rotor eylemsizlik momentinin yeterli derecede büyük olması durumunda, pozitif periyot süresince rotor senkron hızın üzerine çıkmaya çalışır. Bu nedenle relüktans motorunun moment-hız karakteristiği şekil 8.b.'de görüldüğü gibi olur.

Moment-hız karakteristiğinde görüleceği gibi yol alma momenti, rotorun konumuna bağlı olarak değişken olmakla birlikte oldukça büyüktür. Buna ek olarak motor devrilme momentinin de oldukça büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durumun elverişli bir senkron motor karakteristiğinin elde edilebilmesi için relüktans tipi senkron motor boyutlarının, aynı güçteki endüksiyon motoru boyutlarına göre daha düşük seçilmesinden ileri geldiği açıktır. (Ateş,Peşint,1990)

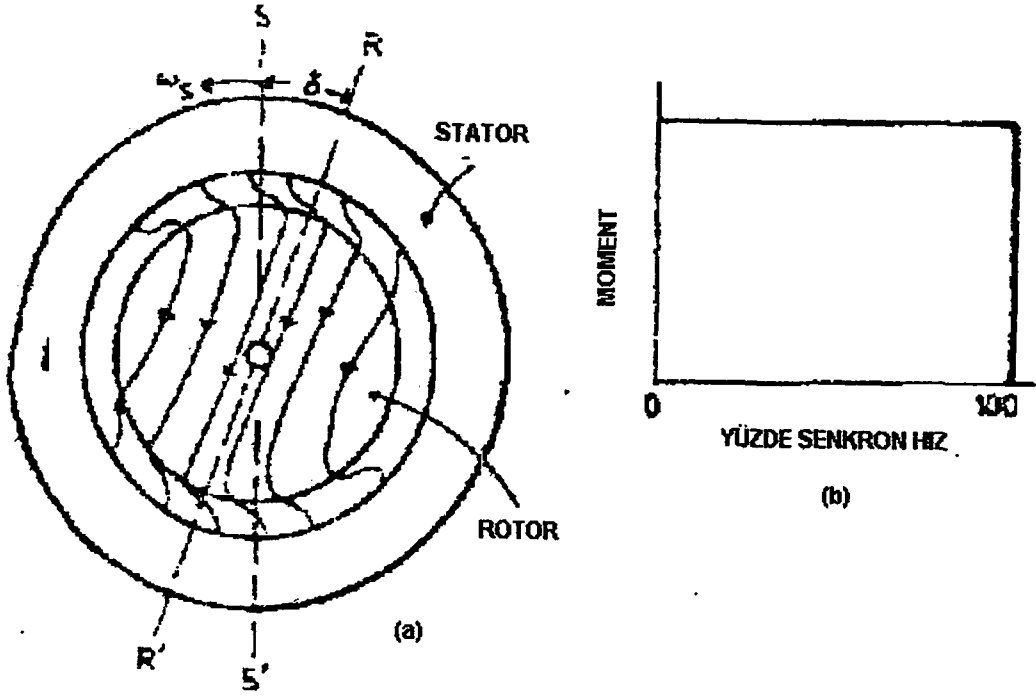
1.2.5.2. Histerezis Motoru

Histerezis olayından yararlanarak mekanik bir döndürme momenti elde edilmesi imkanı vardır. Histerezis motorunun rotoru, sert manyetik çelikten yuvarlak, oluksuz ve sargısız olarak yapılır. Stator sargılarına kaynak gerilimi uygulandığında, meydana gelen sinüzoidal manyetik alan nedeni ile rotor gövdesindeki kayıplar önemli derecede artar. Bu tür motorda stator sargısı devamlı yardımcı sargılı kondansatörlü yapılır. Devamlı devrede bulunan kondansatörün kapasitesi o şekilde seçilir ki, histerisiz motoru, iki fazlı dengeli bir endüksiyon motoru özelliği gösterir. Böylece hava aralığında yaklaşık olarak değişmeyen genlikli bir manyetik döner alan oluşur ve bu alan rotorun senkron hızı ile dönmesini sağlayan bir döndürme momenti meydana getirir.

Şekil 9.'da iki kutuplu bir histerisiz motoruna ait moment-hız karakteristiği ile hava aralığı manyetik akısının oluşumu görülmektedir. Stator mmk dalgası eksenine SS' hava aralığında senkron hız ile döner. Histerezis olayı nedeni ile rotor gövdesinin mıknatıslanması, stator mmk dalgasına göre gecikir ve dolayısıyla rotor manyetik akı dalgası eksenine RR', senkron hızı ile birlikte dönmekle birlikte, stator mmk dalgası eksenine göre δ açısı kadar geride kalır. Rotorun hareketsiz durumunda yol alma moment, stator mmk temel dalgası bileşeni ile rotor manyetik akısı ve δ açısının sinüsünün çarpımı ile orantılı olup, bu açıya aynı zamanda moment açısı da denir.

Histerezis motorunda rotor, manyetik bakımından sertleştirilmiş krom veya kobalt alaşımli çelikten yapıldığından rotor gövdesinde, mıknatıslanma eksenine ile bağımlı olmayan yüksek değerde histerisiz kaybı oluşur. Ancak rotor gövdesinde fuko kayıplarının sınırlandırılması gerektiğinden, rotor gövdesinin aynı zamanda yüksek bir elektriksel direnç göstermesi gerekir. Örneğin yüksek frekanslı kaynak geriliminin kullanılması durumlarında rotor gövdesi, sinterize edilmiş veya sentetik reçine ile alaşımli çelik tozundan oluşturulmuş çelik saçlardan yapılır. (Ateş,Peşint,1990)

Bu iki tip senkron motorlarda çok küçük güçte yapılarla, avuç içine sığabilir. Güçleri 3-5 veya 10 watt civarındadır. Bu motorların devir sayıları sabittir. Devir sayısı şebeke frekansına bağlıdır. Bu motorlar çok sessiz çalışırlar. Zaman rölelerinde senkron motorlar kullanılır. Bir fazlı alternatif akımla çalışan zaman saatlerindeki motorlar histerezis senkron motorlardır.



Şekil 9. İki kutuplu histerezis motoru

a) Şematik kesiti b) İdealleştirilmiş Hız – Moment karakteristiği

2. GÖLGE KUTUPLU MOTORLAR

2.1. Giriş

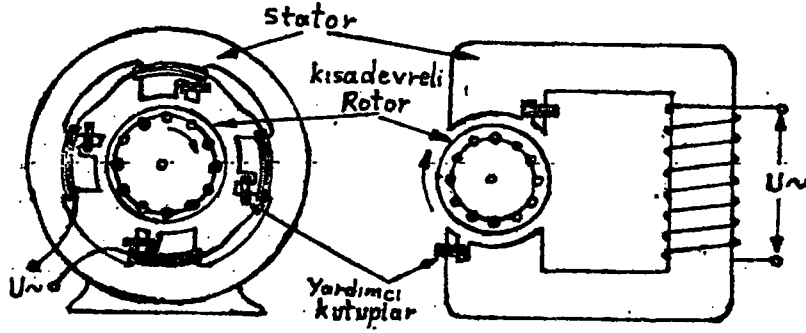
Gölge kutuplu indüksiyon motoru, küçük güç (1/20 BG veya daha az) güç gerektiren kullanımlar için, bugün dünyada oldukça yaygın olarak kullanılır. 0.0007 BG kadar küçük boyutlarda yapılır, gerçi çok yaygın olarak kullanılmamasına rağmen 1/20 BG den 1/4 BG' ne kadar oranlı bir şekilde üretilmiştir. Bir indüksiyon motoru olarak, fırça ,kollektör, anahtar ve bilezik gibi herhangi bir yardımcı elamanı olmadığı için küçük güçlerde tercih edilir. Hatta daha önemlisi düşünülebilir ki tek fazlı bir motor olarak kontak, kondansatör veya hareketli anahtar parçası yoktur ve çok özel kullanımlar hariç yardımcı sargılar da yoktur. Son durum açıkça gösteriyor ki, bu tek fazlı indüksiyon motor doğal olarak kendinden başlamalıdır. Dahası, yukarıdaki parçaların eksikliğin anlamı gölge kutuplu motorun pahalı olması değildir. Çok küçük verime sahiptir. Çok küçük boyutlarda yaklaşık %5 gibi bir verime sahiptir, ve sadece 1/20 hp için yaklaşık %35 kadar yüksek olur. Ayrıca başlama momentleri düşük, güç faktörü çok azdır, fakat düşük güç girdisinden dolayı bunlardan hiçbiri ciddi bir dezavantaj değildir. Düşük başlangıç değeri, sağlam yapısı, güvenilirliği ve kolay bakımlılığı bu motoru tercih etmemizin en büyük sebepleridir. (Rosenblatt,Friedmann,1998)

Gölge kutuplu asenkron motorlar aspiratörler, vantilatörler, ısıtıcılar, para atılarak kola, vb. satın alınan makinelerde, slayt projektörlerinde, fotokopi makinalarında, reklam panolarında ve küçük ev aletlerinde yaygın olarak kullanım yerleri vardır. Bu tip motorlarda ilginç olan şey şudur ki kilitli rotor akımı tam-yük akımdan sadece bir miktar fazladır, öyle ki güç eksikliğinden dolayı motorun durması zararlı bir şey değildir.

2.2. Motorun Yapısı

Gölge kutuplu asenkron motor, ana sargının oluşturduğu manyetik alanın pozisyonunun yardımcı kısa devre sargısı tarafından değiştirilmesi ilkesinden yararlanarak hazırlanmış, bir fazlı bir asenkron motor gibi düşünülebilir.

Bu motorun genel tasarımında şekil 10.'de gösterildiği gibi stator çıkıntılı kutup olarak saç paketlerinden yapılır. Kutupların birer kenarına yarık açılmış ve buraya bakır halka takılmış olup bu sargı transformatörün sekonderi gibi çalışır. Çıkıntılı kutuplara bobinler yerleştirilir. Rotor ise kısa devreli rotordur. Sincap kafesli asenkron motorun rotorundan bir farkı yoktur.



Şekil 10. Gölge kutuplu motorun yapısı

Uygulamada küçük güçlerde ve devir sayısı ayarı statorun sarım sayısının değiştirilerek yapılanla boyunduruk tipte, büyük güçlerde ise yuvarlak stator çekirdekli tipte olanlar kullanılır.

Gölge kutuplu motorlarda yardımcı kısa devre sargısı öyle yerleştirilmelidir ki , ana sargı ile aralarındaki elektriksel açı 90° den büyük olmamalı, aynı zamanda 0° den küçük olmamalıdır ki ana sargı akısında farklı bir doğrultuda etki yapsın. Burada açı 90° den büyük olduğu takdirde ana sargı akısı yön değiştirdiğinde kısa devre halkasında gerilim indükleme olayı ilk anda başlayamaz. İki sargı arasındaki bu açı , rotorun kutupları gördüğü eksenler arasındaki merkez açıdır.

Bu motorlar uygulamada amaca uygun olarak yapılan özel yapı değişiklikleriyle kullanılırlar. Örneğin, uçları dışarı çıkarılmış çift yardımcı kısa devre sargısı kullanarak devir yönünü değiştirmek veya relüktans etkisinde yararlanarak başlangıç momentini arttırmak mümkündür.

2.3. Çalışma İlkesi

Gölge kutup kullanmanın amacı ana kutuptan geçen manyetik akının belirli bir bölgedeki kısmının fazını geciktirmektir. Böylece ana kutbun gölge kutup dışında kalan kısmındaki manyetik akı maksimum değerine gölge kutup akısından önce ulaşır. Gölge kutup ve ana kutbun geri kalan kısmının manyetik akıları arasında faz farkının oluşmasından dolayı motor bir yol alma momenti üretir.

Şekil 11.a.'da manyetik yapı üzerinden gölge kutup olayı açıklanacaktır. Eğer demir nüvenin relüktansı ihmal edilirse şekil 11.b.'deki eşdeğer devre elde edilir. Her iki hava aralığında ϕ_s ve ϕ_m 'in eşit olduğu görülür. Ana sargı bir alternatif akım kaynağına bağlı ise ana sargının MMF ($F_1=N_1 \times I_1$) sinüzoidaldir. Şekil 11.d.'deki motor yapısı şekil 11.a.'ya

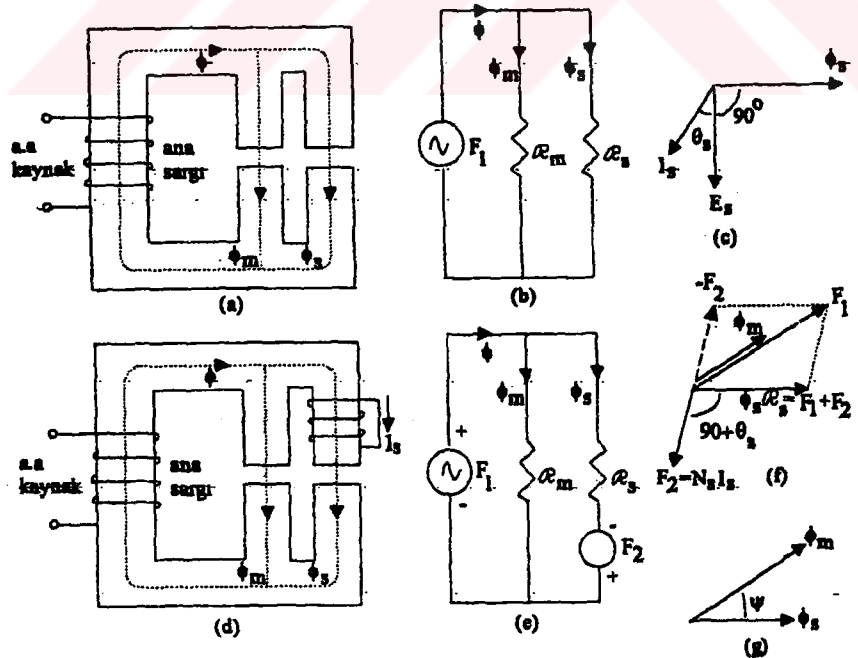
benzerdir. Tek farklılık sağdaki kola N_S spirli bir sargının yerleştirilmiş olmasıdır. Bu sargıya gölge sargı denmekte ve bu sargının uçları kısa devre edilmektedir. ϕ_S 'nin sinüzoidal değişimi sonucu gölge sargıda bir EMK (E_S) üretilmekte olup bu gerilim ϕ_S 'den 90° geri fazdadır. Böylece gölge sargı içinde bir I_S akımı meydana getirmekte ve bu akım E_S 'den θ_S açısı kadar geri fazda olmaktadır. Gölge kutup akımınınin faz açısı ;

$$\theta_S = \arctan(\omega L_S / R_S)$$

şeklindedir. Burada ω kaynağın açısal hızı, L_S ve R_S ise gölge bobininin indüktansı ve direncidir. Şekil 11.c.'de ϕ_S , E_S ve I_S fazör diyagramları gösterilmiştir. Gölge sargının $F_2 = N_S \times I_S$ ile ifade edilen bir MMF ürettiği görülmektedir. MMF değeri I_S akımına bağlı (oranlı) ve bu akımla aynı fazdadır. Şekil 11.e.'deki manyetik eşdeğer devre gölge kutubun etkisini göstermektedir. Sağ kol relüktansının (R_S) MMF'ı ;

$$\phi_S \times R_S = F_1 + F_2$$

şeklindedir. Şekil 11.f.'den açıkça görülüyor ki F_2 'den $\phi_S \times R_S$ çıkarılırsa F_1 elde edilir. F_1 'nin ϕ_m ile aynı fazda olduğu da şekil 11.f.'den görülmektedir. Gölge sargının etkisi ile ϕ_S ve ϕ_m arasında belirli ψ açısında (ϕ_S geri) bir faz farkı meydana getirdiği açıkça görülmektedir. Şekil 11.g.'de gösterilen bu durum gölge kutuplu motorların çalışma prensibinin temelidir. (Bal, 1996).



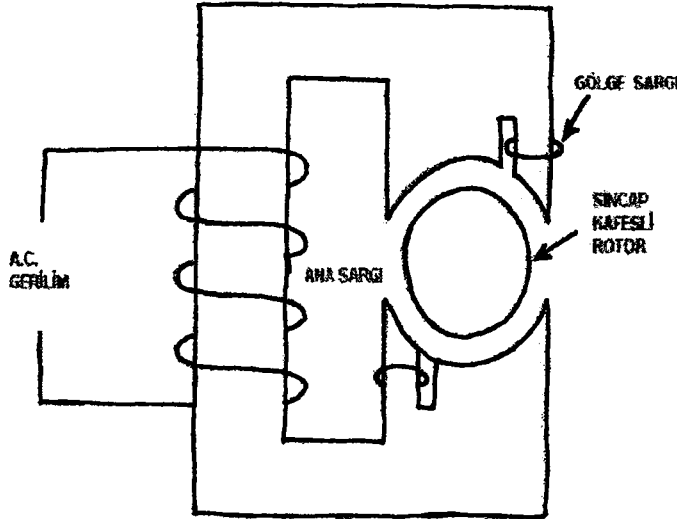
Şekil 11. Gölge kutup olayının manyetik yapı üzerinde gösterimi

Motorun çalışmasını şimdi de, uygulanan alternatif akımın değişimine karşılık, kutuplardaki akı değişimine bakarak inceleyelim.

Diğer alternatif akım motorları gibi gölge kutuplu asenkron motorlarda birincil sargının oluşturduğu döner alanın etkisiyle hareket ederler. Burada döner alanı oluşturma metodu diğer tür motorlarından biraz farklıdır. İki fazlı motorda iki farklı alan uzayda ve zamanda 90° farklı yerleştirilmeleri sonucu oluşturulan MMK ile motor gerçekleşmektedir. Sürekli ayırık fazlı kapasitörlü motorlarda uzayda 90° ve zamanda 90° den daha az bir elektriksel açı gösteren iki alan vardır. Ancak tam bir döner alan elde etmek için uzayda 90° açıyla sargıların yerleştirilmelerine gerek yoktur. Sadece iki parça alanın uzayda ve zamanda birbirlerinden farklı olmaları yeterlidir. Gölge kutuplu motorlarda iki parça alan uzayda 90° den az ve zamanda 90° den fazla bir açı farkıyla yerleştirilmişlerdir. Gölge kutuplu motor gerçekte ayırık faz tiplidir.

Şekil 12.'de gösterilen bu motorun en basit tiplerinden birini sınyarak daha kolay anlatabiliriz.

Belirgin kutuplu yapım, tek uyarmalı ana-alan sargısında olduğu gibi neredeyse daima kullanılır. Her kutup iki parçadır. Bir kutup üzerinde bir bakır şeridi olan veya üzerinde kısa devre bileziği olan küçük parçalar bulunur. Bu kısa devre sargı gölge sargı olarak da bilinir ve genelde bir spir olmasına rağmen daha fazlada olabilir.



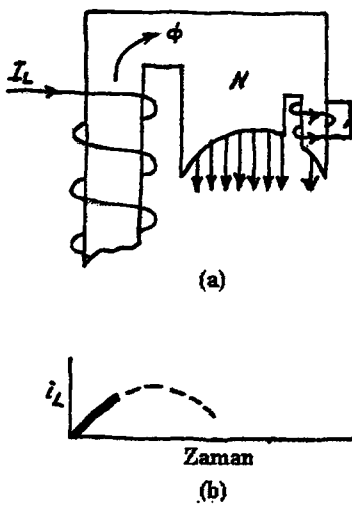
Şekil 12. Gölge kutuplu motor

Ana alan sargısına alternatif akım uygulandığı zaman merkezde bir akı değişimi oluşur.

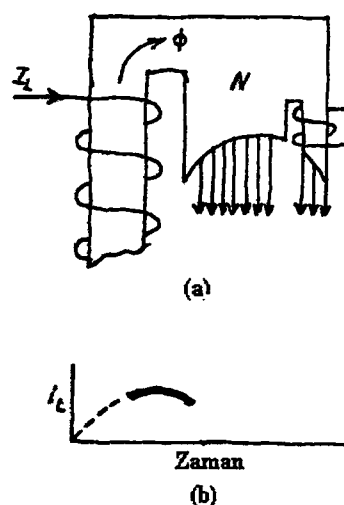
Bu akı değişimi gölge sargıda gerilim indüklemeye sebep olur ve $(E = -N \frac{d\phi}{dt})$ bu indüklenen gerilim merkez akısına zıt yönde bir gölge sargı akımına sebep olur. Kutbun gölge kısmındaki akı kutbun ana parçasındaki akıyı izler. Aynı zamanda, ana akı ve gölge kutbu akısı, 90°'den küçük olmasına rağmen bariz bir şekilde uzayda yerleşir. İki alan arasında hem zaman ve hem de boşluğun yerleşiminden dolayı, dönüş alanının ayarlama şartları vardır. (kötü veya tamamlanmış olması önemli değil). Moment bu yüzden rotorlarında gelişir.

Stator etrafındaki akının hareketi aşağıdaki açıklamalarda ve şekil 13.- 16.'de daha açık bir şekilde gösterilmiştir. Gölge sargı iki spir veriliyor iken sadece bir ayırık-kutup gösterilmiştir.

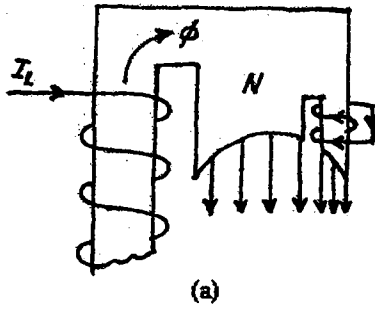
1. Şekil 13.b.'de gösterilen hat akımı ilk çeyrek dairesi boyunca artarsa, gölge sargısında indüklenen gerilimden kaynaklanan akım oluşan akıya zıttır. Bu akım şekil 13.a.'da gösterildi. Bu yüzden gölge sargının zıt elektro motor kuvveti, kutbun gölgesiz parçasında ana akının yoğun olmasına sebep olur.
2. Şekil 14.b'de gösterildiği gibi, hat akımı maksimum pozitif değerine ulaştığı zaman, akı da max değerindedir, fakat oluşan akıda hiç bir değişme yoktur. Böylece gölge sargıda hiç akım yoktur ve akı, gölge parçası dahil tüm kutupta eşit olarak dağılmıştır. Ayrıca, alan eksenini kutbun gölge parçasına doğru kayar.



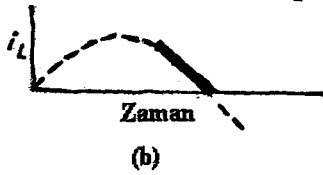
Şekil 13. Gölge-kutup motorundaki akı
(ana alan akımı artarken)



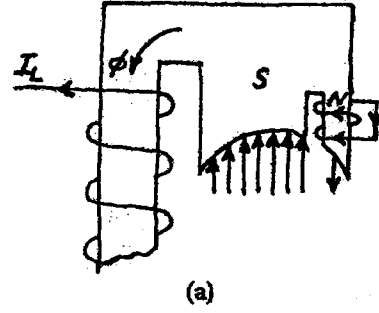
Şekil 14. Gölge-kutup motorundaki akı
(ana alan akımı maksimum)



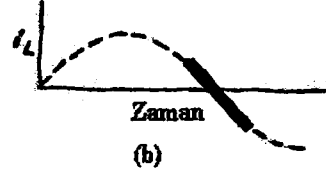
(a)



(b)



(a)



(b)

Şekil 15. Gölge-kutup motorundaki akı
(ana alan akımı azalırken)

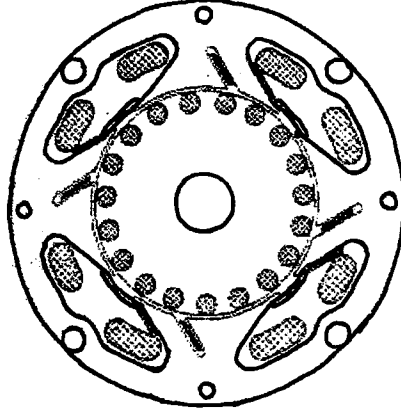
Şekil 16. Gölge-kutup motorundaki akı
(ana alan akımı yön değiştirirken)

- Hat akım azaldığında, gölge sargısındaki akım, akının devamlılığını sağlayacak bir yönde, yani azalmanın zıddına olmalıdır, ve bu yüzden şekil 15.a.'da gösterildiği gibi tersine döner. Akı kutbun ana kısmında azalırken gölge kutup parçasında toplanır. Alan gölge parçasına doğru kayar.
- Son olarak, ana alan akımı tersine dönerken, kutbun geri kalanının polar itesi çoktan tersine dönmesine rağmen, gölge sargıdaki akım kutbun o parçasındaki akının devamını sağlar. Bu şekil 16.a.'da gösterildi. Bu andan bir süre sonra, ana-alanın ve gölge kutup parçasında hareket eden gölge sargıların elektro motor kuvveti tam olarak eşit ve zıt olacak ve gölge kutbuna doğru sıfır akıyla sonuçlanır. Akı döngüsü sonrasında kendi içerisinde devam eder, şimdi ilk olarak zıt yönde başlar.

Şekil 13.'den-şekil 16.'e kadar olan deneyler gösteriyor ki akı, gölgesiz parçadan gölgeli parçaya doğru, döner alan etkisi ile kutupta hareket eder. Bu ise uzayda bir döner alan oluşmasını ifade eder. Gölge kutuplu asenkron motorlarda alanın genliğinin uzayda konum değiştirmesi kutup altı ile sınırlıdır. Elde edilen döner alanın hareketi, diğer tür motorlarınkine oranla daha sınırlıdır. Yani alan dağılımının değişimi düzgün değil, eliptik bir değişim gösterir. Bu ise 3. Harmoniklerin artmasına sebep olur. Dolayısıyla çekirdek kayıpları artar.(Rosenblatt,Friedmann,1998)

2.4. Değişik Yapıdaki Gölge Kutuplu Asenkron Motorlar

2.4.1. Gölge Kutuplu Motorlarda Manyetik Köprülerin Kullanılması



Şekil 17. Manyetik köprü kullanarak imal edilmiş 4 kutuplu motor

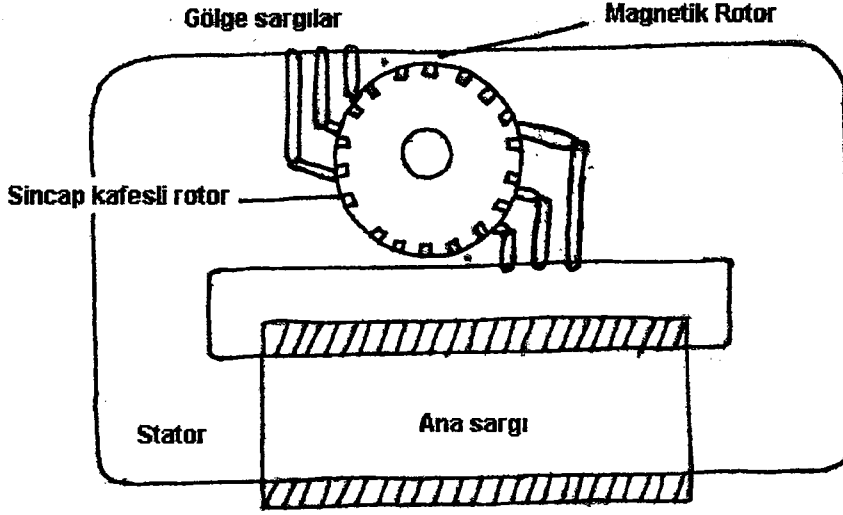
Büyük güçlü motorlar için popüler bir yapı düşüncesindedir. Genellikle bu tip imal edilen motorlar 4 veya 6 kutupludur. Her bir kutbun yardımcı kısa devre sargıları dönüş yönünde ana kutbun önünde bulunur. Ana kutup sargıları diğer makinalardaki gibi yerleştirilir. Manyetik köprüler, örneğin; demir gibi bir metalden yapılmış ise motorun verimini düzeltir.

Şekil 17. sabit ve sürekli bir manyetik köprünün tasarlanmış şeklini göstermektedir. Burada stator çekirdeği iki parçadan yapılmıştır. (Dış çember kısım ve stator sargıları taşıyan kısım) Burada kutup kenarları düz ve her iki kenar birbirine paraleldir. Şekil 17.'de görüldüğü gibi 4 yardımcı kısa devre sargısı ve 4 ana sargı (stator sargısı) vardır. Ana sargılar kutuplar üzerinde kolaylıkla döndürülebilir.

Gölge sargılar, üretim aşamasında stator çekirdeğinde bırakılan deliklere (çekirdekten yalıtılmış olarak) iletken malzemesi dökülerek yapılabildiği gibi, bu sargılar için ayrılan delik veya yarığa sonradan bilezik geçirilerek de yapılabilir.

2.4.2. Üçlü Gölge Halkalı Motor

Şekil 18.'da ana kutbun çevresindeki farklı her kutupta üçlü gölge halkaları kullanılmış bir motor gösterilmiştir. Burada üç halka, "Basit Halka" olarak ta bilinen tek bir büyük halka gibi düşünülebilir.



Şekil 18. Üçlü gölge halkalı biçimde tasarlanmış gölge kutuplu motor

Üçlü gölge halkalı durumda, büyük gölge halkası bütün akıya neden olur ve kutbun akısının arkasındaki zamanda akının (kendi üzerindeki) gecikmiş olarak artmasını sağlar. Burada gölge orta halka devreye girer ve bu akının kendi üzerine düşen kısmını geciktirir. Daha sonra ise üçüncü halka devreye girer ve orta halka akısının kendi üzerine düşen kısmını geciktirir. Böylece kutup ayağı altındaki akı gölgelenmiş kısım dahil dört parçaya bölünmüş olur. Görüldüğü üzere tek bir sargının oluşturduğu akı uzayda ve zamanda dörde bölünmüş olur. Bu sistemle imal edilen motorlarda alan değişimi daha düzgün olur. (Nasar, 1987)

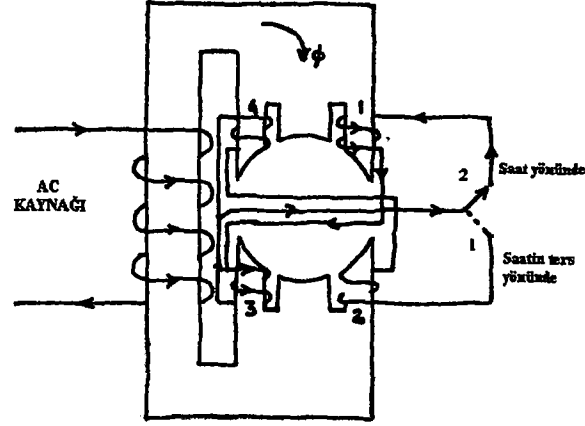
2.5. Gölge Kutuplu Motorlarda Devir Yönü ve Hız Kontrolü

2.5.1. Devir Yönü Kontrolü

Gölge kutuplu motorlarda devir yönü kontrolü üç yolla yapılır.

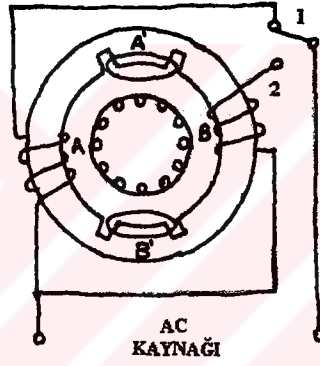
2.5.1.1. Her Kutup İçin İki Sabit Gölge Kutup

İki ayrı gölge bobini kullanarak yapılan devir yönü kontrolü şekil 19.'de gösterilmiştir. Sistemde kullanılan anahtar, durumuna göre her devir yönü kontrolü için gölge bobinlerini ayrı ayrı devreye sokmakta ve bu suretle akı kayma yönünü dolayısıyla devir yönünü değiştirmektedir. Motor anahtarı '1' konumunda iken saatin tersi yönünde, '2' konumunda iken saat ile aynı yönde döner.



Şekil 19. Çift gölge bobinli gölge kutuplu motorun devir yönü kontrolü

2.5.1.2. Birbirinden Farklı İki Ana Sargı

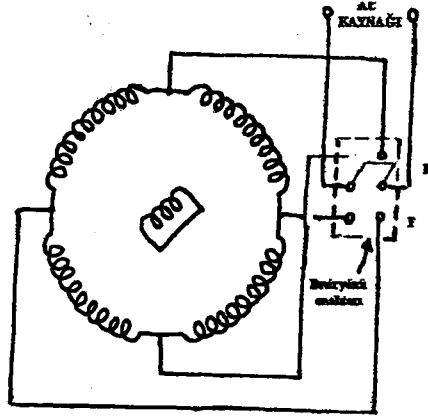


Şekil 20. Çift kutup sargılı gölge kutuplu motorun devir yönü kontrolü

Şekil 20.'de iki kutup sargısı kullanarak gerçekleştirilen devir yönü kontrol diyagramı görülmektedir. Bu sistemde her iki ana sargı, birbirine 90° elektriksel açıyla yerleştirilmiştir. Gölge bobini ise her iki sargıya göre 45° elektriksel açıyla yerleştirilmiştir. Anahtarın '1' ve '2' durumlarında stator sargıları ayrı ayrı devreye girmekte değişik devir yönü elde edilmektedir. (Kosow,1991)

2.5.1.3. Kapalı Devre Teşkil Eden Sürekli Bir Kutup Sargı Tipi Kullanmak

Şekil 21. 'de ise sürekli stator sargısı kullanarak gerçekleştirilen devir yönü kontrol diyagramı görülmektedir. Çift durumlu anahtar R veya F durumunda iken stator sargılardan geçen akımın yönü, birbirinden 90° elektriksel açı farkı olup, gölge bobinide her iki durumda stator sargılarına 45° elektriksel açıyla yerleştirildiğinden değişik devir yönü elde edilmektedir.

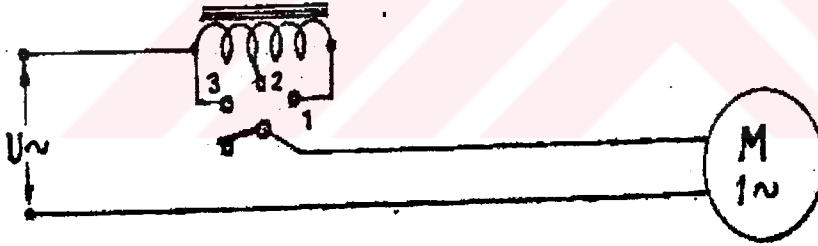


Şekil 21. Sürekli stator sargılı gölge kutuplu motorun devir yönü kontrolü

2.5.2 Hız Kontrolü

Gölge kutuplu motorlarda hız kontrolü statora uygulanan gerilimi değiştirmek suretiyle yapılır. Motora uygulanan gerilim dört şekilde değiştirilebilir.

2.5.2.1. Kademeli Bir Reaktans Bobini Kullanmak

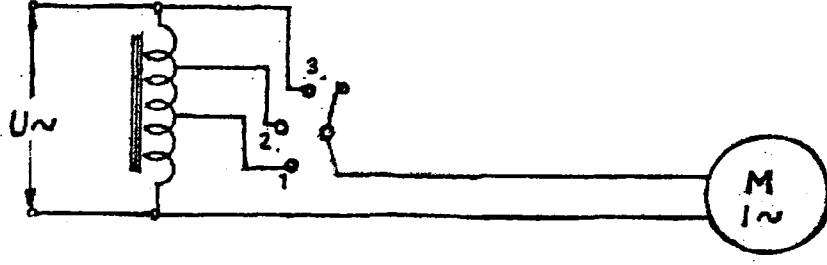


Şekil 22. Seri reaktans bobini ile hız kontrolü

Gölge kutuplu motorların hız kontrolünde kullanılan yöntemlerden biri motor devresine seri çok uçlu bir reaktans kullanmaktır. Şekil 22.'de üç durumlu bir anahtar yardımıyla reaktans bobini, direk besleme devresine bağlanmıştır. Anahtarın 3.konumunda motor direk besleme devresine bağlandığından en yüksek hıza sahip olmaktadır. Anahtar sırasıyla 2 ve 1 konumuna getirildiğinde reaktans bobininin bir kısmı devrede olduğundan motor gerilimi ve ona bağlı olarak hız düşmektedir.

2.5.2.2. Kademeli Bir Oto Trafosu Kullanmak

Gölge kutuplu motorlarda hız kontrolü oto transformatör kullanarak da yapılabilir. Şekil 23.'de görüldüğü gibi çok durumlu anahtarın hareket kolu, kontaklar zerinde

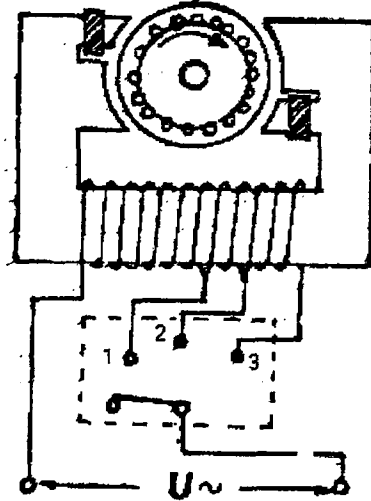


Şekil 23. Oto trafo ile hız kontrolü

anahtar 3 konumunda iken motora tatbik edilen gerilim en büyük olduğundan hız da en büyüktür. Anahtar sırasıyla 2 ve 1 konumuna getirildiğinde oto transformatörün bir kısmı devrede olduğundan motor gerilimi ve ona bağlı olarak hız düşmektedir.

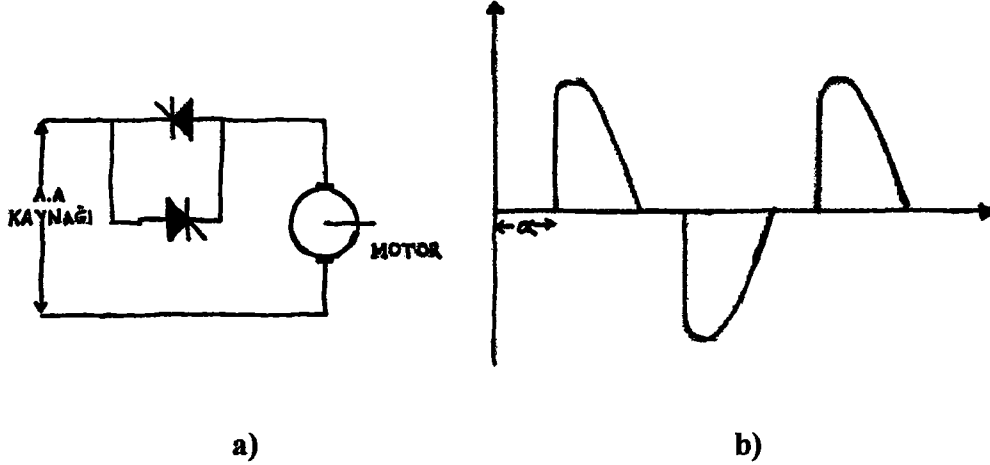
2.5.2.3 Çok Uçlu Stator Sargısı Kullanmak

Uygulamada kullanılan küçük tip gölge kutuplu motorlarda şekil 24.'de görülen çok uçlu sarım şekli kullanılır. Devrede bulunan anahtar, besleme gerilimini sargıların tamamına veya çeşitli bölümlerine uygulayarak statora uygulanan gerilimi değiştirir. Buna bağlı olarak hız kontrolünü sağlar. Bu sistemde sargıların tamamı devrede iken hız en düşük değerinde, sargıların en az kısmı devrede iken hız en yüksek değerindedir. Çünkü sarım sayısı azaldıkça siper başına düşen gerilim artar. Sargının meydana getirdiği manyetik akı sayısı, bir spirin akımı ,dolayısıyla gerilimi ile orantılı olduğundan sarım sayısındaki azalma manyetik akının artmasına neden olur. Bu sebeple motor momenti ve hızı artar. Aksine sarım sayısının azalması hızın azalmasına neden olur.



Şekil 24. Bobinden kademeli uçlar çıkarıp şebeke geriliminin uygulanışı ile hız kontrolü

2.5.2.4 Alternatif Gerilim Kıyıcı İle Hız kontrolü



Şekil 25. a) Alternatif gerilim kıyıcı ile hız kontrolü
b) Motor üzerine düşen gerilimin değişimi

Hız kontrolünde kullanılan diğer yöntem Alternatif Gerilim Kıyıcılarla kontroldür. Bu yöntem büyük güçlü gölge kutuplu asenkron motorlar için kullanılır. Bu yöntemde kayıplar azaldığı için tercih edilir. Aynı zamanda oto transformatörü ve reaktans bobinine göre, anahtarın konum değiştirmesinde oluşacak arktan kurtarıldığı için daha güvenlidir. Yalnız burada A.G.K' dan çıkan kıyılmış gerilim tam bir sinüs olmadığı için harmoniklerin artması söz konusudur ki; üçüncü harmonik bu motorda büyük sorun meydana getirmektedir. Şekil 25.a.'de bulunan A.G.K ile hız kontrolü ve şekil 25.b.'de A.G.K tetikleme devresi ve motor üzerine düşen gerilimin dalga şekli verilmiştir. Burada kullanılan tetikleme devresi ile gerilimin etkin değerini θ 'dan maksimum değerine kadar değiştirebiliriz. Bu sistemle motorun hızını yaklaşık olarak nominal hızın yarısından nominal hıza kadar kontrol edebiliriz.

2.6 Gölge Kutuplu Motorların Karakteristikleri

2.6.1 Verim ve Moment Karakteristikleri Oranı

Gölge kutuplu motorlarda verim, moment karakteristiklerinin çeşitli kısımlarında hesaplanır. Bu motorlarda küçük güçlü olanların (20-30W'lık) verimi %30-40 civarındadır. Daha büyük güçte olanların (40-200W'lık) %40-60 verimle çalışmaktadırlar.

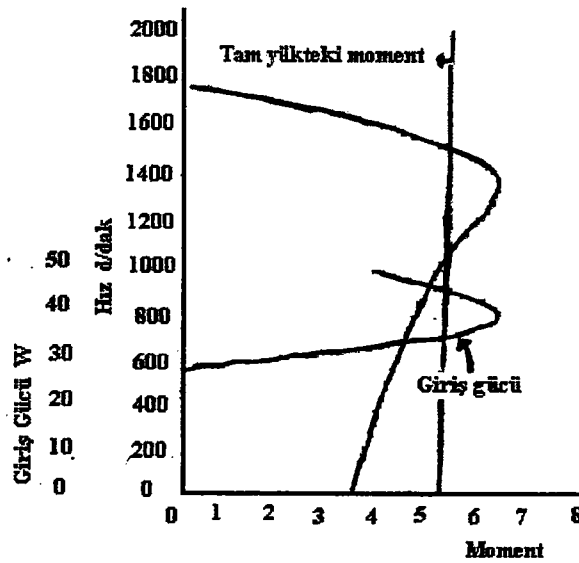
Bu motorlardan gücü 1/20 BG (36W) den 1/4BG (184W) 'ne kadar olanları yuvarlak kutuplu tasarlanırlar. Bunların 4,6 veya 8 kutupludurlar. 40mBG (29.4W) veya daha küçük

güçlüer boyunduruklu motor tipinde tasarlanırlar. Bu tiplerin sadece iki kutbu vardır. Boyunduruklu stator çekirdeğine sahip olanlarında manyetik köprü ile kutup uçlarının birleştirilmiş olanları vardır. Boyunduruklu motorların 60 Hz için tam yükteki hızı 2000 ile 3000 dev/dak. arasındadır. Bir fanı süren gölge kutuplu asenkron motorun çalışma hızı, uygulanan gerilimin veya devre parametrelerinin ve makine özelliklerinin değişmesiyle veya her ikisinin değişmesiyle değişebilir. Bu değişim etkin relüktanslı ve kapasitör uyarmalı motorların (fan gibi yükler için) değişiminden daha fazladır.

Şekil 26.'da 8 mBG gücünde bir motorun hız moment ve verim değişimi çizilmiştir. Buradaki hız moment eğrisinin diğer tür endüksiyon motorların eğrilerine benzediği görülmektedir.

Şekil 26.'da olduğu gibi, senkron hızın 1/3 'ünde eğri bir hilal bölgesi oluşturmuştur. Bu hilal motorun üçüncü harmoniğinden dolayı oluşmaktadır. Gölge kutuplu motorlarda bu hilal bölgesi bazen şekil 26.'de gösterilenden daha geniştir. Bazen motor boşta çalışmada bile bu hilal bölgesine yakalanabilir.

Gölge kutuplu motorlarda kilitli rotor momentleri düşüktür. Büyük yük momentlerinde ürettikleri moment küçük yük momentlerinden daha küçüktür. Normal yükün ancak %35'inde kalkış yapanlar olduğu gibi, %90'ından kalkış yapabilenlerde vardır. Devrilme momentleri %120 ile %150 arasında değişir. %120 'lik bir yük ancak fan gibi kalkış momenti düşük bir yük olmalıdır.



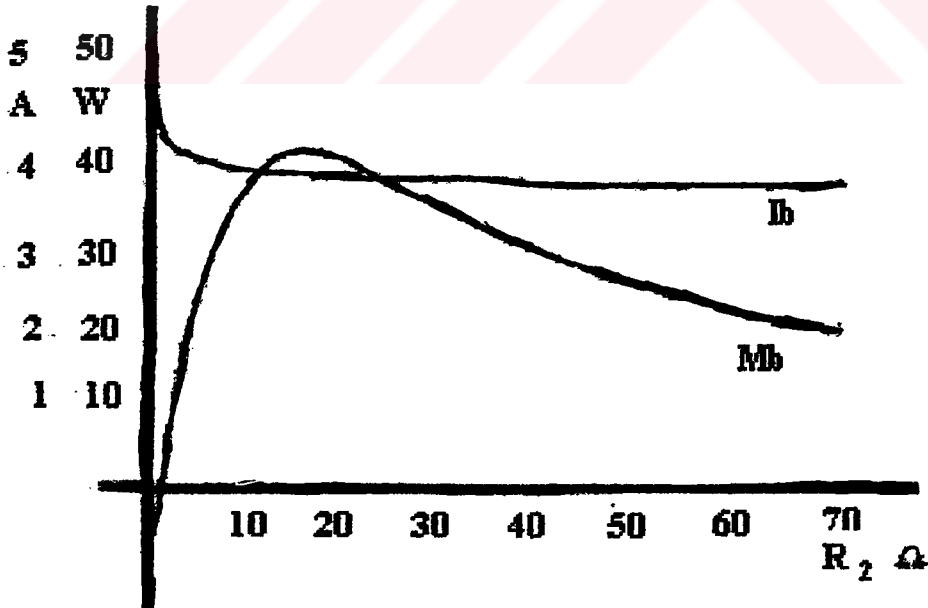
Şekil 26. Hız-Moment ve Verim değişimi

Bir çok gölge kutuplu motor soğutmaya ihtiyaç göstermez. Bazıları üzerine hava üflemeyle soğutulurlar. Bu motorların bazı tipleri en fazla 5-30 dakika gibi kısa zaman aralıklarında çalışabilirler. Bu tip motorlarda kilitli rotor deneyinde alınan sıcaklık değeri 150°C 'yi aşmadığı zaman motor empedansının değişmediği varsayılarak, bir ısı koruyucuya gerek duyulmaz.

2.6.2. Kalkış Momentine Etki Eden Faktörlerin Karakteristikleri

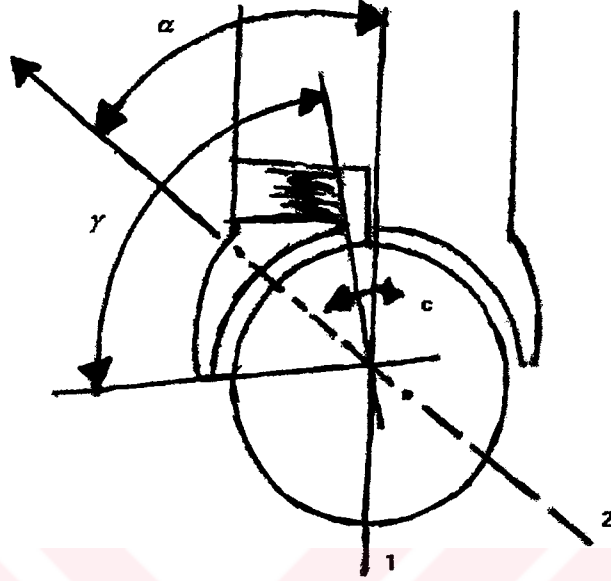
2.6.2.1. Yardımcı Kısa Devre Halkanın Direnci (R_2)

Bu motorların yardımcı kısa devre sargı dirençlerinin kalkış momentlerine etkisi büyüktür. Bu etki şekil 27.'de görülmektedir. Yardımcı kısa devre sargısının direnci $R_2=0\ \Omega$ iken ters yönde kalkış momenti elde edildiği, $R_2=2\ \Omega$ da kalkış momenti $M_b=0$ olduğu ve $R_2=15\ \Omega$ olduğunda en büyük kalkış momenti elde edildiği görülmektedir. Daha sonra $R_2=60-70\ \Omega$ 'a kadar arttırıldığında yardımcı kısa devre halkasının akımı azalmakta buna bağlı olarak kalkış momentinde bir düşme gözlenmektedir. Kalkış momentine rotor direncinin etkisi diğer asenkron motorlarındaki gibidir. Rotor direnci arttırıldıkça kalkış momenti artar.



Şekil 27. Gölge kutuplu motorun kalkış momentinin ve başlangıçta çektiği akımın yardımcı kısa devre halkasının direnci ile değişimi

2.6.2.2. Yardımcı Kısa devre Halkasının Akı Eksenini Açısı



Şekil 28. γ ile α 'nın gösterimi

Kalkış momentine etki eden diğer bir faktörde şekil 28'de gösterilen, ana sargı ile gölge kutup akı eksenini arasındaki α açısıdır. Bu bölümde kalkış momentine etkisi grafiksel olarak incelenmiştir.

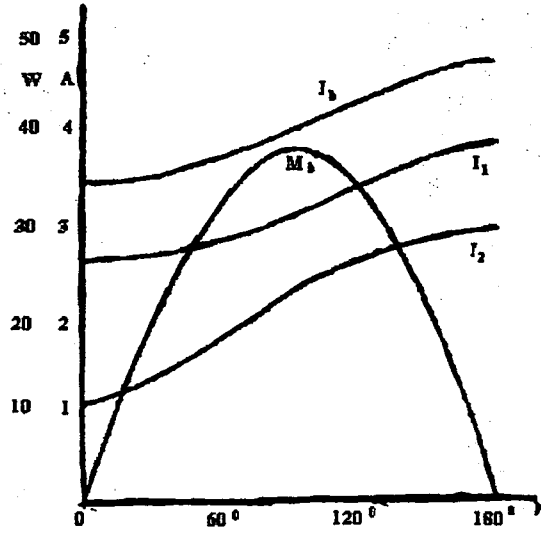
Bir kutupta gölge kutbun akısının eksenini bulmak için gölge sargının kutup ayağı altındaki yayın rotor tarafından görülen merkez açısına bakılır. Bu açı γ ile gösterilir ve $\gamma = 90^\circ$ ise $k=1$ 'dir. (k bir katsayı) Bu durumda;

$$\alpha = 90^\circ \left(1 - \frac{k}{2}\right)$$

ile hesap edilir. Burada dikkat edilecek bir durum gölge kutup adımının ana sargı ekseninden ne kadar açı farkıyla ilerden başladığıdır. Bu durum şekil 28.'de gösterilmiştir. Şayet bu açı 0° ise yukarıdaki direkt geçerlidir. Ancak adım başlangıcı ile ana sargı eksenini arasında bir c açısı varsa bu durumda

$$\alpha = c + 90^\circ \left(1 - \frac{k}{2}\right)$$

ile hesaplanır.

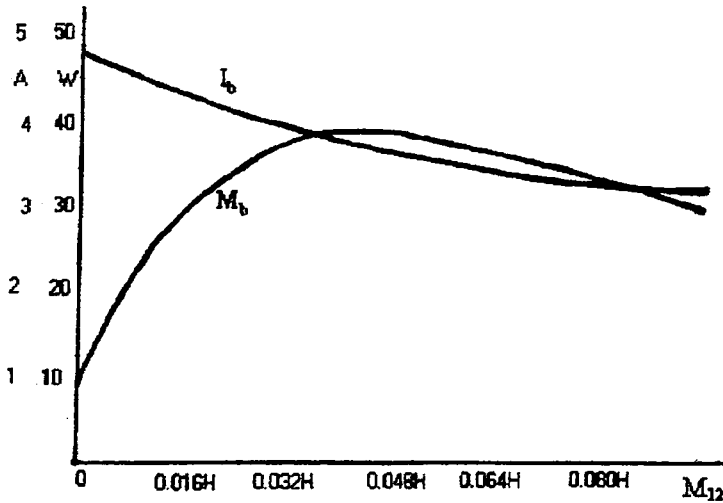


Şekil 29. γ 'ya bağlı olarak M_b ' nin değişimi

Kalkış momentine γ açısının etkisinin değişimi Şekil 29.'de gösterilmektedir. Burada görüldüğü gibi $\gamma=0^\circ$ de $M_b=0$, $\gamma=108^\circ$ 'de maksimum ve $\gamma=180^\circ$ 'de M_b tekrar sıfır olmaktadır. γ açısı ve buna bağlı olarak α açısı arttıkça I_1 ve I_2 artmaktadır. Yine I_b başlangıç akımı da artmaktadır.

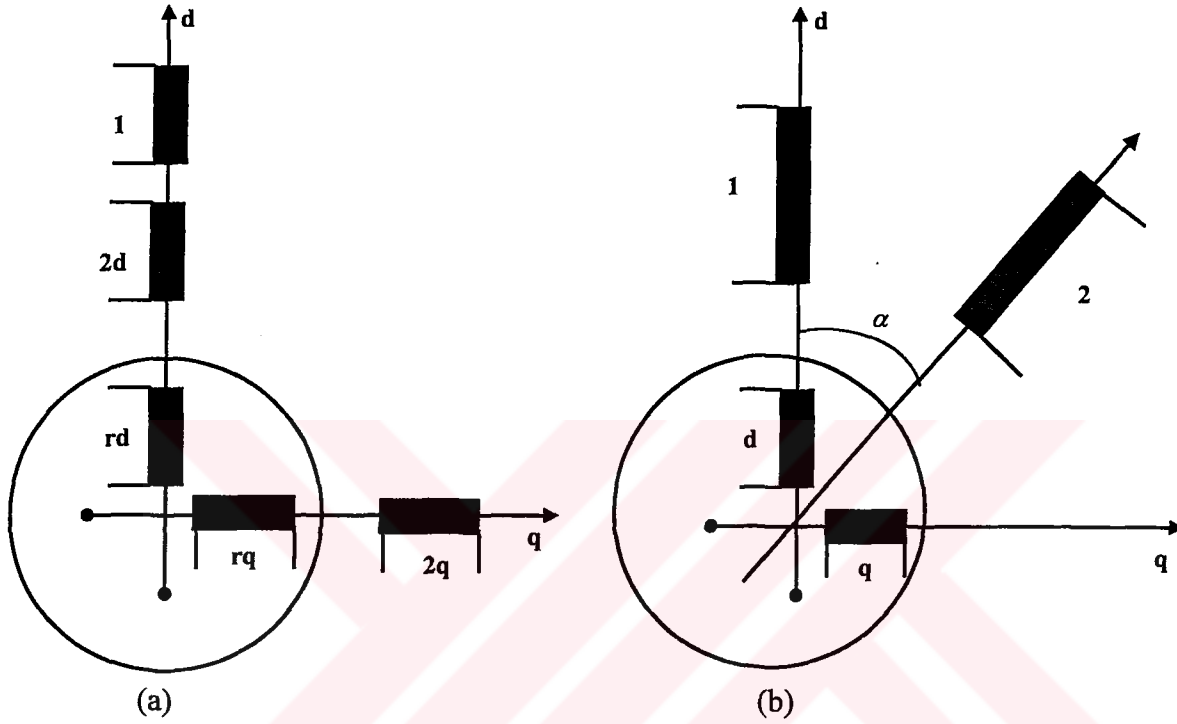
2.6.2.3. Yardımcı Kısa devre Halkası ile Ana Sargı Arasındaki Ortak Endüktans (M_{12})

Ana sargı ile yardımcı kısa devre halkası arasındaki M_{12} ortak endüktansının artmasıyla başlangıç momentini Şekil 30.'deki değişmeyi gösterir. Maksimum kalkış momentini $M_{12}=0.0477 \text{ H}$ ' de elde edilmiştir.



Şekil 30. M_{12} ortak endüktansının M_b başlangıç momentine etkisi

3. GÖLGE KUTUPLU ASENKRON MAKİNANIN d-q EKSEN TAKIMINDA DURUM DENKLEMLERİNİN ÇIKARILMASI



Şekil 31. Gölge kutuplu motorun d-q eksen sisteminde gösterimi

Genelleştirilmiş elektrik makinaları kuramı kullanılarak şekil 31.a. 'da gösterilen gölge kutuplu motorun (Akpınar,Kaya,1992) durum denklemlerini elde etmek için,

$$[V]=[Z(p)].[I] \quad (1)$$

şeklindeki denklemleri şu şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_{2d} \\ V_{2q} \\ V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + L_1 p & M_{12d} p & 0 & M_{1r} p & 0 \\ M_{12d} p & R_2 + L_2 p & 0 & M_{2rd} p & 0 \\ 0 & 0 & R_2 + L_2 p & 0 & M_{2rq} p \\ M_{1r} p & M_{2rd} p & M_{2rq} \cdot We & R_r + L_r p & L_r \cdot We \\ -M_{1r} \cdot We & -M_{2rd} \cdot We & M_{2rq} p & -L_r \cdot We & R_r + L_r p \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_{2d} \\ I_{2q} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix}$$

Burada $P=d/dt$ olarak alınmıştır. Şekil 31.a.'daki I_{2d} ve I_{2q} akımları şekil 31.b.'de gösterilen pozisyon açısı α ve I_2 akımları cinsinden şöyle yazılabilir.

$$I_{2d} = I_2 \cdot \cos \alpha$$

$$I_{2q} = I_2 \cdot \sin \alpha$$

Bu yüzden şekil 31.a. ve şekil 31.b.'deki akımlar arasındaki ilişki,

$$[I]=[C].[I'] \quad (2)$$

şekilde kurulabilir. Buradan transformasyon matrisi,

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_{2d} \\ I_{2q} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix}$$

$$[C]_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

elde edilir. [C] ve onun transpozesi $[C]_t$ ile şekil 3.1.b. deki $[Z'(p)]$ empedans matrisini,

$$[Z'(p)]=[C]_t.[Z(p)].[C] \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$$[Z'(p)] = \begin{bmatrix} R_1 + L_1 p & M_{12d} \cdot \cos \alpha \cdot p & M_{1r} p & 0 \\ M_{12d} \cos \alpha \cdot p & R_2 + (L_{2d} \cdot \cos^2 \alpha + L_{2q} \sin^2 \alpha) \cdot p & M_{2rd} \cdot \cos \alpha \cdot p & M_{2rq} \cdot \sin \alpha \cdot p \\ M_{1r} p & M_{2rd} \cos \alpha \cdot p + M_{2rq} \cdot We \cdot \sin \alpha & R_r + L_r p & L_r \cdot We \\ -M_{1r} \cdot We & -M_{2rd} \cdot We \cdot \cos \alpha + M_{2rq} \cdot \sin \alpha \cdot p & -L_r \cdot We & R_r + L_r p \end{bmatrix}$$

Böylece,

$$[V]=[Z'(p)].[I'] \quad (5)$$

ile şekil 31.b.'ye geçmiş olunur.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + L_1 p & M_{12d} \cdot \cos \alpha \cdot p & M_{1r} p & 0 \\ M_{12d} \cos \alpha \cdot p & R_2 + (L_{2d} \cdot \cos^2 \alpha + L_{2q} \sin^2 \alpha) \cdot p & M_{2rd} \cdot \cos \alpha \cdot p & M_{2rq} \cdot \sin \alpha \cdot p \\ M_{1r} p & M_{2rd} \cos \alpha \cdot p + M_{2rq} \cdot We \cdot \sin \alpha & R_r + L_r p & L_r \cdot We \\ -M_{1r} \cdot We & -M_{2rd} \cdot We \cdot \cos \alpha + M_{2rq} \cdot \sin \alpha \cdot p & -L_r \cdot We & R_r + L_r p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix}$$

$[V']=[Z'(p)].[I']$ denklem takımını,

$$A.p[I']=B.[I']+C \quad (6)$$

şekline dönüştürülürse,

$$\begin{bmatrix} L_1 & M_{12d} \cdot \cos \alpha & M_{1r} & 0 \\ M_{12d} \cdot \cos \alpha & L_{2d} \cdot \cos^2 \alpha + L_{2q} \cdot \sin^2 \alpha & M_{2rd} \cdot \cos \alpha & M_{2rq} \cdot \sin \alpha \\ M_{1r} & M_{2rd} \cdot \cos \alpha & L_r & 0 \\ 0 & M_{2rq} \cdot \sin \alpha & 0 & L_r \end{bmatrix} \cdot P \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -R_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -R_2 & 0 & 0 \\ 0 & -M_{2rq} \cdot We \cdot \sin \alpha & -R_r & -L_r \cdot We \\ M_{1r} \cdot We & M_{2rd} \cdot We \cdot \cos \alpha & L_r \cdot We & -R_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_d \\ V_q \end{bmatrix}$$

elde edilir. A matrisinin inversini alıp $A.p[I']=B.[I']+C$ denklem takımının her iki tarafıyla çarpılırsa,

$$p[I']=A^{-1} \cdot B.[I']+A^{-1} \cdot C \quad (7)$$

ifadesi elde edilir.

$$a=L_1$$

$$b=M_{12d} \cdot \cos \alpha$$

$$c=M_{1r}$$

$$e=L_{2d} \cdot \cos^2 \alpha + L_{2q} \cdot \sin^2 \alpha$$

$$f=M_{2rd} \cdot \cos \alpha$$

$$q=M_{2rq} \cdot \sin \alpha$$

$$k=L_r$$

$$z=M_{2rq} \cdot \sin \alpha$$

olarak kabul edersek A matrisi şöyle olur.

$$A = \begin{bmatrix} a & b & c & 0 \\ b & e & f & q \\ c & f & k & 0 \\ 0 & z & 0 & k \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\text{Det}A = a \cdot e \cdot k^2 - z \cdot k \cdot q \cdot a - a \cdot k \cdot f^2 - b^2 \cdot k^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot f \cdot k + c^2 \cdot z \cdot q - e \cdot k \cdot c^2$$

$$a_{11} = (e.k^2 - z.k.q - k.f^2) / \text{DetA}$$

$$a_{12} = (f.c.k - b.k^2) / \text{DetA}$$

$$a_{13} = (b.f.k + c.q.z - c.e.k) / \text{DetA}$$

$$a_{14} = (b.z.k - c.z.f) / \text{DetA}$$

$$a_{21} = (c.f.k - b.k^2) / \text{DetA}$$

$$a_{22} = (a.k^2 - k.c^2) / \text{DetA}$$

$$a_{23} = (b.c.k - a.f.k) / \text{DetA}$$

$$a_{24} = (z.c^2 - a.z.k) / \text{DetA}$$

$$a_{31} = (b.f.k + c.g.z - c.e.k) / \text{DetA}$$

$$a_{32} = (b.c.k - a.f.k) / \text{DetA}$$

$$a_{33} = (a.e.k - k.b^2 - a.q.z) / \text{DetA}$$

$$a_{34} = (a.f.z - b.c.z) / \text{DetA}$$

$$a_{41} = (b.q.k - c.q.f) / \text{DetA}$$

$$a_{42} = (q.c^2 - a.q.k) / \text{DetA}$$

$$a_{43} = (a.f.q - b.c.q) / \text{DetA}$$

$$a_{44} = (a.e.k + 2.b.c.f - e.c^2 - k.b^2 - a.f^2) / \text{DetA}$$

olarak kabul edersek A^{-1} matrisi şöyle olur.

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & a_{41} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & a_{42} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_{43} \\ a_{14} & a_{24} & a_{34} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Bu ifade, $p[I'] = A^{-1} \cdot B \cdot [I'] + A^{-1} \cdot C$ şeklinde düzenlenilirse şekil 31.b. deki makine için durum denklemleri şu şekilde elde edebiliriz.

$$pI_1 = (-R_1.a_{11} + We.M_{1r}.a_{41}).I_1 + (-R_2.a_{21} - a_{31}.M_{2rq}.We.\sin\alpha + M_{2rd}.We.\cos\alpha.a_{41})I_2 + (-R_r.a_{31} + L_r.We.a_{41}).I_d + (-L_r.We.a_{31} - R_r.a_{41}).I_q + a_{11}.V_1 + a_{21}.V_2 + a_{31}.V_d + a_{41}.V_q \quad (10)$$

$$pI_2 = (-R_1.a_{12} + We.M_{1r}.a_{42}).I_1 + (-R_2.a_{22} - a_{32}.M_{2rq}.We.\sin\alpha + M_{2rd}.We.\cos\alpha.a_{42})I_2 + (-R_r.a_{32} + L_r.We.a_{42}).I_d + (-L_r.We.a_{32} - R_r.a_{42}).I_q + a_{12}.V_1 + a_{22}.V_2 + a_{32}.V_d + a_{42}.V_q \quad (11)$$

$$pI_d = (-R_1.a_{13} + We.M_{1r}.a_{43}).I_1 + (-R_2.a_{23} - a_{33}.M_{2rq}.We.\sin\alpha + M_{2rd}.We.\cos\alpha.a_{43})I_2 + (-R_r.a_{33} + L_r.We.a_{43}).I_d + (-L_r.We.a_{33} - R_r.a_{43}).I_q + a_{13}.V_1 + a_{23}.V_2 + a_{33}.V_d + a_{43}.V_q \quad (12)$$

$$pI_q = (-R_1.a_{14} + We.M_{1r}.a_{44}).I_1 + (-R_2.a_{24} - a_{34}.M_{2rq}.We.\sin\alpha + M_{2rd}.We.\cos\alpha.a_{44})I_2 + (-R_r.a_{34} + L_r.We.a_{44}).I_d + (-L_r.We.a_{34} - R_r.a_{44}).I_q + a_{14}.V_1 + a_{24}.V_2 + a_{34}.V_d + a_{44}.V_q \quad (13)$$

Bilinmelidir ki, makinanın dinamik davranışını tahmin etmek için (10), (11), (12), (13) eşitliklerine ek bir eşitlik gerekmektedir. Bu yüzden hareketin mekanik denklemi de hesaba katılmalıdır.

Moment ifadesinde gerekli olan [G] katsayı matrisini elde etmek için,

$$[Z'(p)] = [R] + [L].P + We.[G] \quad (14)$$

şeklinde ayrıştırırsak [G]'yi bulabiliriz. Burada moment

$$T_e = [I']_t.[G].[I'] \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir.

$$T_e = \begin{bmatrix} I_1 & I_2 & I_d & I_q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{2rq} \cdot \sin \alpha & 0 & L_r \\ -M_{1r} & -M_{2rd} \cdot \cos \alpha & -L_r & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix}$$

$$T_e = M_{2rq} \cdot \sin \alpha \cdot I_2 \cdot I_d - M_{1r} \cdot I_1 \cdot I_q - M_{2rd} \cdot \cos \alpha \cdot I_2 \cdot I_q \quad (16)$$

elde edilir. Ayrıca moment şu şekilde de ifade edilebilir.

$$T_e = (J/p_0) \cdot dWe/dt + T_L \quad (17)$$

Burada dWe/dt 'yi çekersek şu ifadeyi elde ederiz.

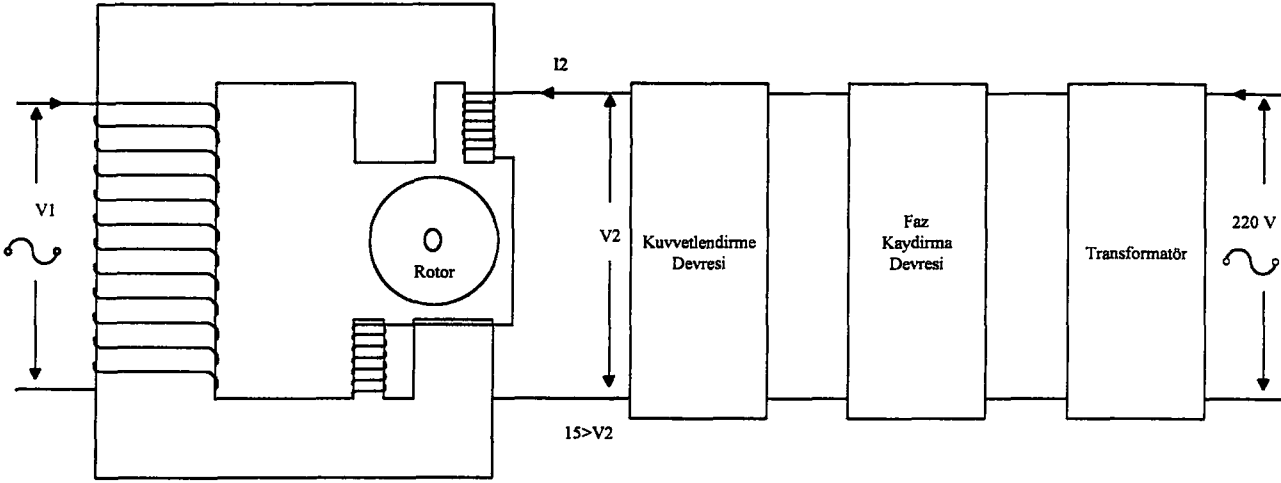
$$dWe/dt = P \cdot We = P_0/J \cdot (T_e - T_L) \quad (18)$$

Burada T_e , T_L , J ve $2P_0$ sırasıyla geliştirilen moment, yük momenti, atalet momenti ve kutup sayısını gösterir.

Gölge kutuplu makinanın dinamik davranışını analiz etmek için (10), (11), (12), (13), (18) diferansiyel denklemleri sabit değişkenleri I_1 , I_2 , I_d , I_q ve elektriksel açısal hız $We = d\theta/dt$ ilk şartlar altında dört adımlı Runge - Kutta yöntemiyle çözüldü ve Ek 1.'de verilen MATLAB programı yardımıyla simülasyonu yapıldı.

4. GÖLGE SARGIYA UYGULANAN GERİLİMİN FAZINI KAYDIRMA

4.1. Giriş



Şekil 32. Gölge sargıya uygulanan geriliminin blok diyagramı

Gölge kutuplu asenkron motorun başlama momentinin artırılması, dönme yönünü tersine çevirmek için kısa devre halka yerine, halkanın aynı kesitsel alanına sahip bir sargı yerleştirilir. Bu sargının uçlarına şekil 32. 'de gösterildiği gibi $\pm 180^\circ$ arasında faz kaydırıcı devreye bağlanır. Bu yüzden V_1 'e oranla V_2 'nin faz farkını değiştirmek mümkün olacaktır. Faz kaydırma işlemi iki yapılabiliriz.

- 1- Mikrodenetleyici ile faz kaydırma
- 2- Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırma

4.2. Mikrodenetleyici İle Faz Kaydırma

4.2.1. PIC16F84 Mikrodenetleyicisi

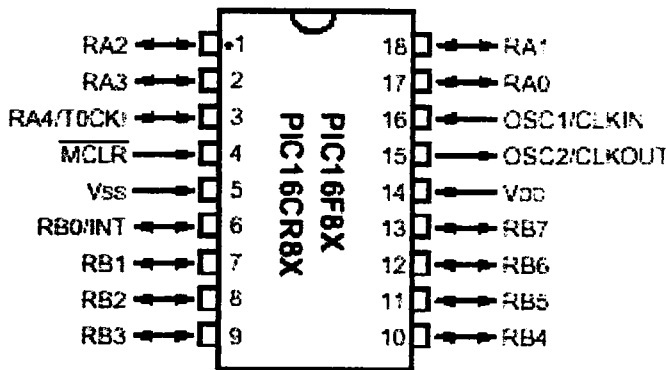
Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, I/O ünitesinin tek bir chip içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici (microcontroller) denir. Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroişlemciler göre çok daha basit ve ucuzdur. Mikroişlemci ile kontrol edilecek bir sistemi kurmak için en azından şu üniteler bulunmalıdır; CPU, RAM, I/O ve bu üniteler arasındaki veri alışverişini kurmak için veri yolu (data bus) gerekmektedir. Elbette bu üniteleri yerleştirmek için baskılı devreyi unutmamak

gerekmektedir. Mikrodenetleyici ile kontrol edilecek sistemde ise yukarıda saydığımız üniteler yerine geçecek tek bir chip (mikrodenetleyici) ve birde devre kartı kullanmak yetecektir. Tek chip kullanarak elektronik çözümler üretmenin maliyeti daha düşük olacağı kesindir. Ayrıcada kullanım ve programlama kolaylığı da ikinci bir avantajdır. İşte bu nedenlerden dolayı son zamanlarda bilgisayar kontrolü gerektiren elektronik uygulamalarda, mikroişlemci yerine mikrodenetleyici kullanma eğilimi artmıştır.(Predko,1998)

8 bit'lik bir mikrodenetleyici olan PIC Amerikan Microchip şirketinin ürünüdür. PIC adını ingilizcedeki Peripheral Interface Controller (Çevresel üniteleri denetleyici arabirim) cümlesindeki kelimelerin baş harflerinden almış olan bir mikrodenetleyicidir. RISC mimarisi adı verilen bir yöntem kullanarak üretildiklerinden bir PIC'i programlamak için kullanılacak olan komutlar oldukça kolay ve sayı olarak ta azdır.

Bu uygulamada Flash belleğe sahip olan ve programlayıcı donanımının çok ucuz ve kolay bulunan PIC'in 16F84 serisini kullandım. PIC16F84 mikrodenetleyicisi toplam 35 komut kullanılarak programlanabilmektedir.

CMOS teknolojisi ile üretilmiş olan PIC16F84 çok az enerji harcar. Flash belleğe sahip olması nedeniyle clock girişine uygulanan sinyal kesildiğinde registerleri içerisindeki veri aynen kalır. Clock sinyali tekrar verildiğinde PIC içerisindeki program kaldığı yerden itibaren çalışmaya başlar. RA0-RA4 pinleri ve RB0-RB7 pinleri I/O portlarıdır. Bu portlardan girilen dijital sinyaller vasıtasıyla PIC içerisinde çalışan programa veri girilmiş olur. Program verileri değerlendirerek portları kullanmak suretiyle dış ortama dijital sinyaller gönderir. PIC16F84'in besleme gerilimi 5ve 14 nolu pinlerden uygulanır. Bir çok kesme özelliği bulunan mikrodenetleyicinin 20MHz'e kadar çalışma frekansına sahiptir.



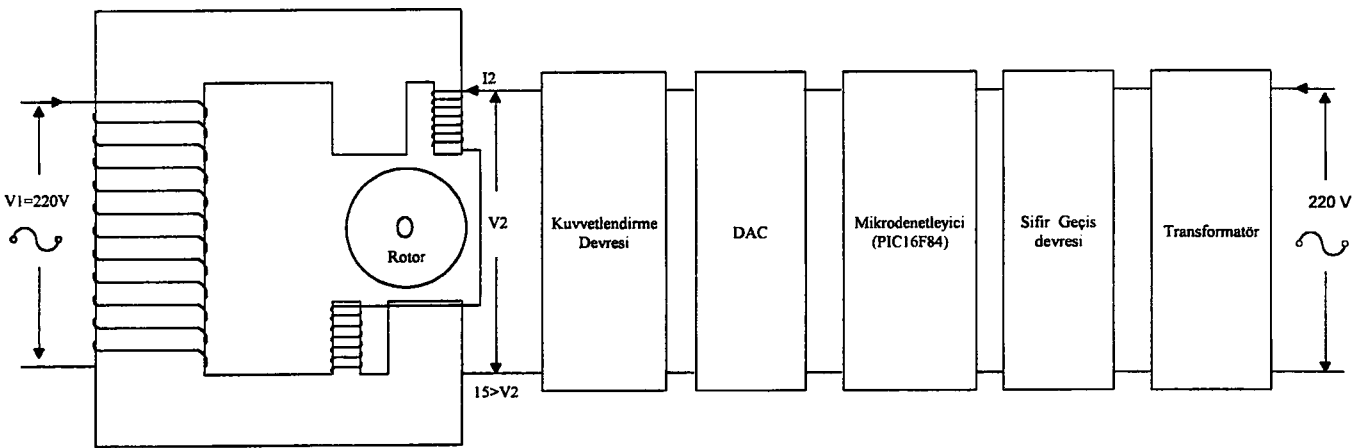
Şekil 33. PIC16F84'ün pin görünüşü

PIC16F84 mikrodenetleyicisinin belleği, Program ve RAM belleği olmak üzere iki ayrı bellek bloğundan oluşur. RISC işlemci olarak tanıtılmasının nedeni de budur. Çünkü Harvard mimarisi ile üretilen RISC işlemcilerde program belleği ile data belleği birbirinden farklıdır. Oysa mikroişlemcilerde böyle bir ayırım yoktur. Buda demektir ki; Mikroişlemciler mikrodenetleyicilerine göre komut işlemede daha yavaşlardır. PIC16F84'ün 1kbyte'lık program belleği vardır. Her bir bellek hücresi içerisinde 14 bit uzunluğundaki program komutları saklanır. 0x00-04F adres aralığında ayrılmış olan RAM belleği vardır. Bu bellek içerisindeki file registerleri içerisinde yerleştirilen veriler PIC16F84 CPU' sunun çalışmasını kontrol ederler. File registerlerinin bellek uzunluğu 8bit'tir.(Altınbaşak,2000)

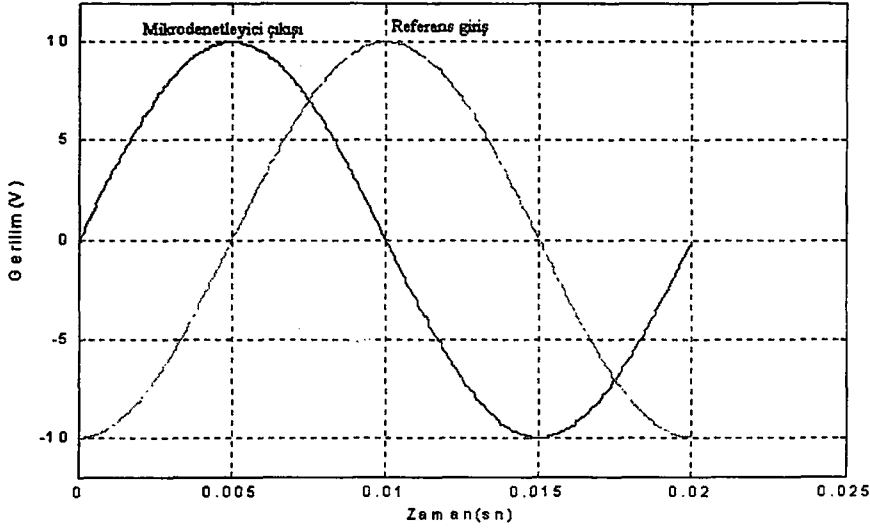
4.2.2. Programın Açıklaması

Gölge kutuplu asenkron motorun gölge sargısına, ana sargıya uygulanan referans gerilime göre $\pm 90^0$ 'lik faz farklı bir gerilim uygulamak için blok diyagramı şekil 34 'de , devrenin açık şeması ek şekil 1.'de gösterilen devre dizayn edilmiştir. Faz farkı elde etmek için Microchip firmasının PIC16F84 serili mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Ek şekil 1.'de verilen devrede; ana sargıya uygulanan gerilim transformatör yardımıyla düşürülerek sıfır geçiş anını algılayacak bir devre yardımıyla PIC16F84 mikrodenetleyicisinin RA2 portuna uygulanmıştır. RA3 portuna bağlı olan buton yardımıyla mikrodenetleyici -90^0 faz farklı sinüs üretiyorken $+90^0$ faz farklı bir sinüs üretmek için kullanılmıştır. Mikrodenetleyicinin 8 bitlik B portu çıkış, 5 bitlik A portu giriş seçilmiştir.



Şekil 34. Mikrodenetleyici ile faz kaydırma devresinin blok diyagramı

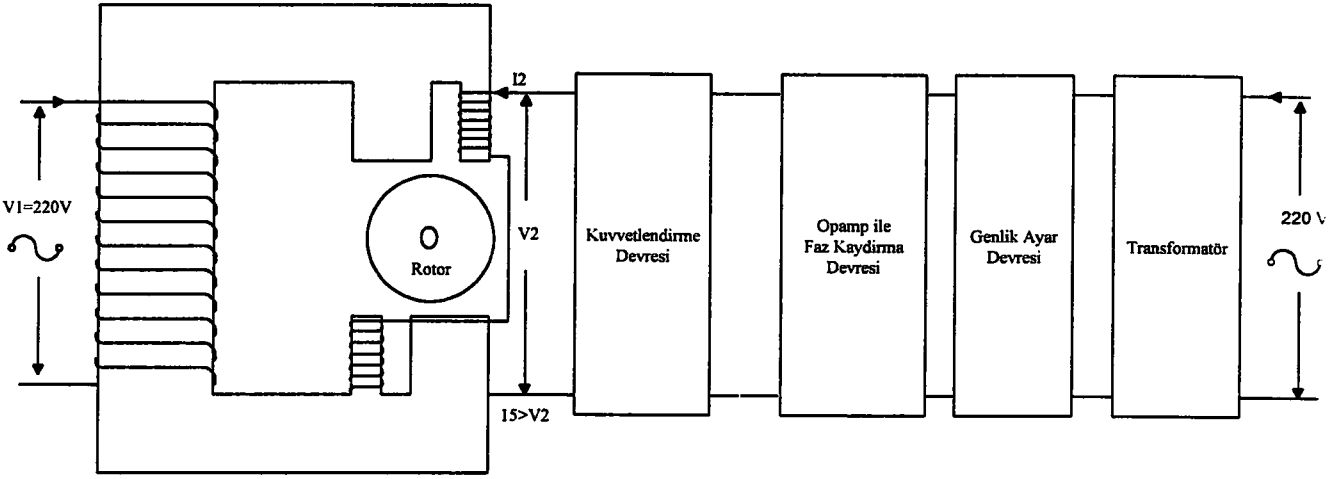


Şekil 35. Ana sargıya uygulanan referans gerilimine karşın mikrodenetleyicinin çıkışı

Devreye enerji verildiğinde mikrodenetleyici sıfır geçişi (yükselen kenar) algıladıktan sonra -90° (geri faz) bir faz farkı elde etmek için 5ms'lik bir gecikme sağlanır. Bu gecikme sonunda sinüs çevrim tablosundaki ilk veri B portuna gönderilir ve $50 \mu s$ 'lik bir gecikmeyle tablodaki diğer veriler sırasıyla B portuna gönderilir. Her periyot (20ms)'de bir bu işlem tekrarlanır. RA3 butonuna basıldığında mikrodenetleyici tekrar sıfır geçişini algılayarak, $+90^{\circ}$ (ileri faz)'lık bir faz farkı elde etmek için 15 ms'lik bir gecikme oluşturulur. Bu gecikme sonunda tekrar sinüs çevrim tablosundaki verileri $50 \mu s$ 'lik gecikmelerle B portuna gönderir. DAC (Sayısal Analog Dönüştürücü) yardımıyla, B portundan alınan verileri analog değere çevirmek için kullanılmıştır. Alınan bu gerilim bir kuvvetlendirme devresi yardımıyla motorun gölge sargısına uygulanmıştır. PIC16F84 mikrodenetleyicisi ile yazılan program ek 2.'de verilmiştir. Bu program çalıştırıldığında gölge sargıya uygulamak için elde edilen çıkış gerilimi şekil 35.'de gösterilmiştir.

4.3. Operasyonel Amplifikatör İle Faz Kaydırma

Gölge kutuplu asenkron motorun ana sargısına uygulanan gerilim referans alınarak gölge sargının fazını operasyonel amplifikatör yardımıyla kaydırabiliriz. Operasyonel amplifikatör ile yaklaşık olarak $\pm 180^{\circ}$ arasında faz kaydırmayı gerçekleştiren devrenin şekil 36.'de blok diyagramı, devrenin açık şeması ise ek şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 36. Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırma devresinin blok diyagramı

Ek şekil 2.'de verilen devrede; ana sargıya uygulanan gerilim, transformatör yardımıyla düşürülüp, R_1 , R_2 , R_3 gerilim bölücü dirençler üzerinden P_1 potansiyometresi yardımıyla fazı kaydırılacak gerilimin genliği ayarlanır. Bu gerilim P_2 potansiyometresi ile yaklaşık olarak 0° ile -180° arasında faz kaydırmayı, P_3 potansiyometresi ile de yaklaşık olarak 0° ile $+180^\circ$ arasında faz kaydırmayı gerçekleştirebiliriz. Fazı kaydırılan gerilimi kuvvetlendirme devresi üzerinden gölge sargıya uygularız.

Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırmayı şekil 37.a. 'da gösterilen örnek bir devre üzerinde inceleyelim. Bu devredeki R dirençleri $10k\Omega$ ile $220k\Omega$ arasındaki değerlere ayarlanabilen eşit değerli dirençlerdir. Şekil 37.a.'deki devreden

$$\frac{V_i - V_2}{R} = \frac{V_2 - V_0}{R}, V_0 = 2V_2 - V_i \text{ ve } V_2 = V_3 = \frac{V_i}{1 + sC_i R_i} \text{ ile}$$

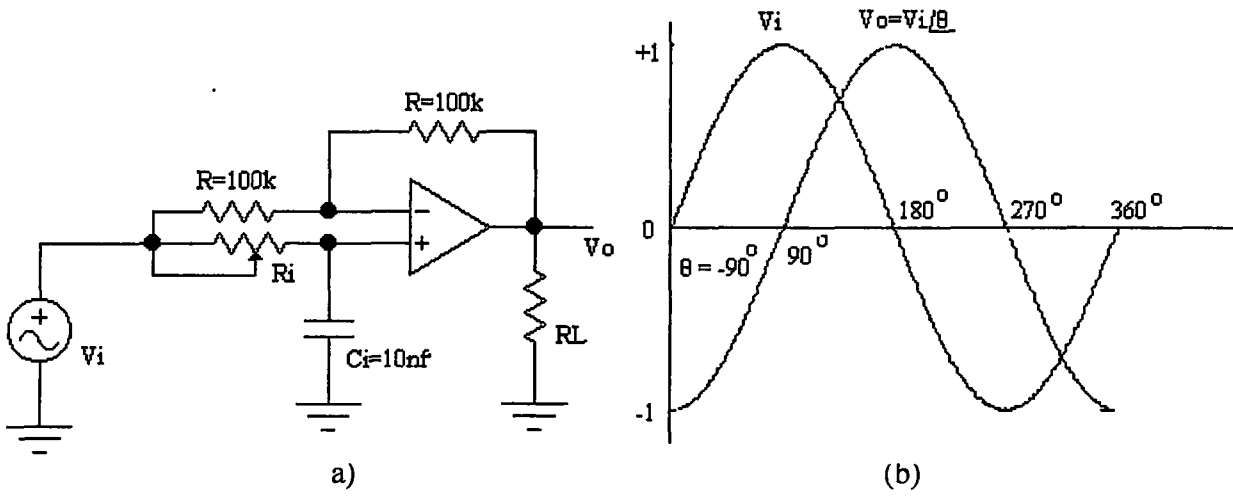
$$V_0 = V_i e^{-j2\arctg(WR_i C_i)} \text{ buradan } \theta = -2\arctg(2\pi f R_i C_i) \text{ elde edilir.}$$

Eğer f , R_i ve C_i biliniyorsa θ açısı hesaplanabilir. $f=50\text{Hz}$ 'de $C_i=10\text{nf}$ 'lık kondansatörle -90° 'lik bir faz farkı oluşturacak R_i direnci ,

$$R_i = -\frac{\text{tg}(\theta/2)}{2\pi f C_i} = 318k\Omega$$

değerinde olmalıdır.

Şekil 37.b.'de giriş ve çıkış dalga şekilleri görülmektedir. R_i direncini değiştirerek θ açısını $-180^\circ < \theta < 180^\circ$ arasında değiştirebiliriz. Şekil 37.a.'deki R_i direnci ile C_i 'nin yerleri değiştirilirse pozitif faz açısı elde edilir.(Pastacı,1998)



Şekil 37. a) Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırma devresi
b) V_i ve V_o eğrileri

5. MATEMATİKSEL BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Giriş

Bu bölümde, kısa devre halka yerine, aynı kesitsel alana sahip bir sargı yerleştirilen tek ve çift girişli gölge kutuplu asenkron motorun dinamik davranışı bölüm 3'de elde edilen (10), (11), (12), (13), (18) diferansiyel denklemleri sabit değişkenleri I_1, I_2, I_d, I_q ve elektriksel açısal hız $\omega_e = d\theta/dt$ ilk şartlar altında dört adımlı Runge - Kutta yöntemiyle çözüldü ve ek 1.'de verilen MATLAB (The math works inc.,1992) programı yardımıyla simülasyonu başarılab, deneysel sonuçlarla doğruluğu gösterilmiştir.

Deneysel sonuçlar, takogenerator'den alınan veriler DMS2 seti yardımıyla bilgisayar ortamında görüntülenmiştir.

DMS2 (Data Management System), elektrik makinalarını da içeren alçak gerilim güç sistemlerinde ölçüm yapmak amacıyla kullanılan analog ve digital ölçü aletlerinin yerini alarak bilgisayar ortamında bu işaretlerin görüntülenmesini ve işlenmesini sağlar.

5.2. Tek Girişli Gölge Kutuplu Motorun Dinamik Davranışı

Tek girişli gölge kutuplu motorun dinamik performansını tahmin etmek için kısa devre halka yerine yerleştirilen sargıya $V_2=0$ uygulanmıştır. Şekil 38., 39., 40., 41.'de işlemsel ve deneysel elde edilen Hız- Zaman, Moment-Zaman ve Hız-Moment karakteristikler gösterilmiştir.

5.3. İki Girişli Gölge Kutuplu Motorun Dinamik Davranışı

İki girişli gölge kutuplu motorun dinamik performansını tahmin etmek için kısa devre halka yerine yerleştirilen aynı kesitsel alana sahip sargı şekil 32.'de gösterildiği gibi $\mp 180^\circ$ faz kaydırıcı bir devreye bağlanır. Bu faz kaydırma şekil 34.'de blok diyagramı gösterilen mikrodenetleyici yardımı ile veya Şekil 36.'de blok diyagramı gösterilen operasyonel amplifikatörler ile gerçekleştirilebilir. Böylece V_1 'i referans olarak V_2 'nin faz farkını değiştirmek mümkün olacaktır.

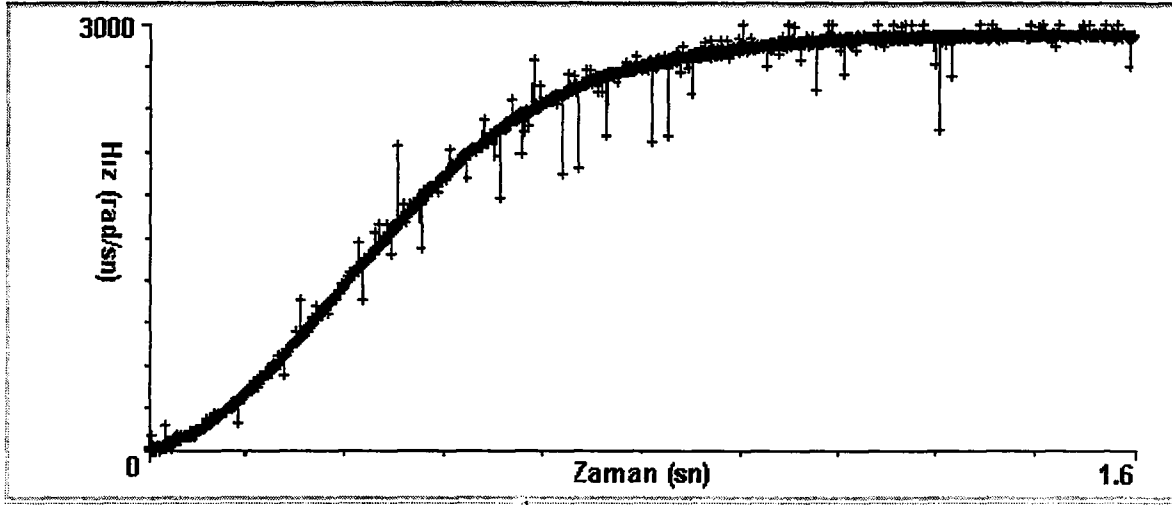
Şekil 42., 43., 44., 45.'de işlemsel ve deneysel elde edilen Hız-Zaman, Moment-Zaman ve Hız-Moment karakteristikler gösterilmiştir. Şekil 44'de görüldüğü gibi başlama

momenti tek girişli motorun başlama momentinden büyüktür. Şekil 46'da V_1 'e göre V_2 'nin fazını $-\frac{\pi}{6}$, $-\frac{\pi}{4}$, $-\frac{\pi}{3}$, $-\frac{\pi}{2}$ kaydırarak elde edilen Hız-Zaman karakteristiği gösterilmiştir.

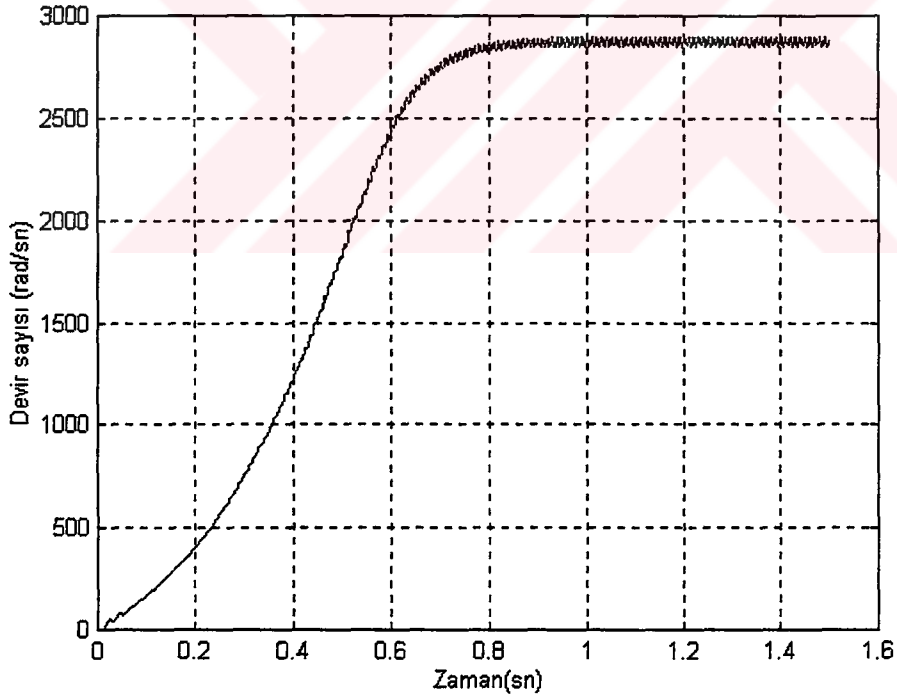
Tek girişli ($V_2=0$) motorun dönme yönü ters çevrilemez. Fakat V_2 geriliminin faz açısını $-180 \leq \theta \leq 180$ arasında değiştirerek dönme yönünü ters çevirebiliriz. Şekil 47.'de gösterildiği gibi makine $V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ ile hızlanırken (ileri çalışma modu) şayet

V_2 'nin faz açısı aniden $(+\frac{\pi}{2})^0$ kaydırılırsa motor ilk olarak bir süre için frenleme momenti geliştirecektir, sonra ters yönde çalışmaya başlayacaktır.(ters çalışma modu) V_2 'nin faz açısını kaydırmakla döner alanın yönü tersine döner. Bu arada hız ters yönde ivmelenerek dönmeye devam eder. Yani motor ileri yön frenleme modunda çalışıyor. Şayet rotor sıfır hızına ulaştığı zaman beslemeyi keşerek makine hareket modunun ters yönünde ivmelenmeye başlar. Şekil 47., 48., 49.'de işlemsel elde edilen Hız-Zaman, Moment-Zaman ve Hız-Moment karakteristikler gösterilmiştir.

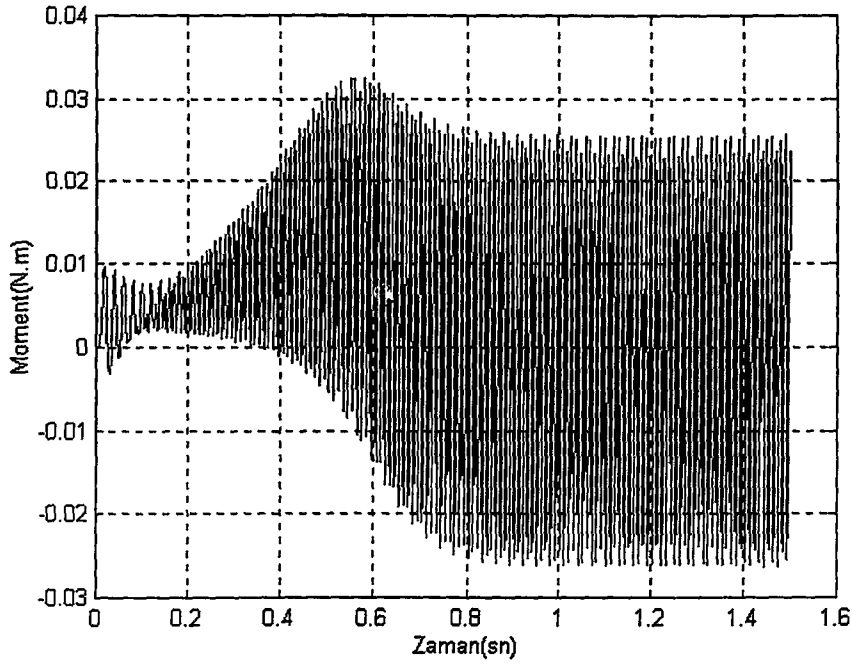
Şayet makine ters hareket yönünde çalışırken V_2 'nin faz açısı $(-\frac{\pi}{2})^0$ kaydırılırsa makine fren modunun ters yönüyle ileri hareket moduna doğru hızlanmaya başlar. Böylece gölge kutuplu motoru dört bölgede çalıştırmış oluruz. Bununla ilgili Hız-Zaman ve Hız-Moment karakteristikleri şekil 50. ve 51.'de gösterilmiştir.



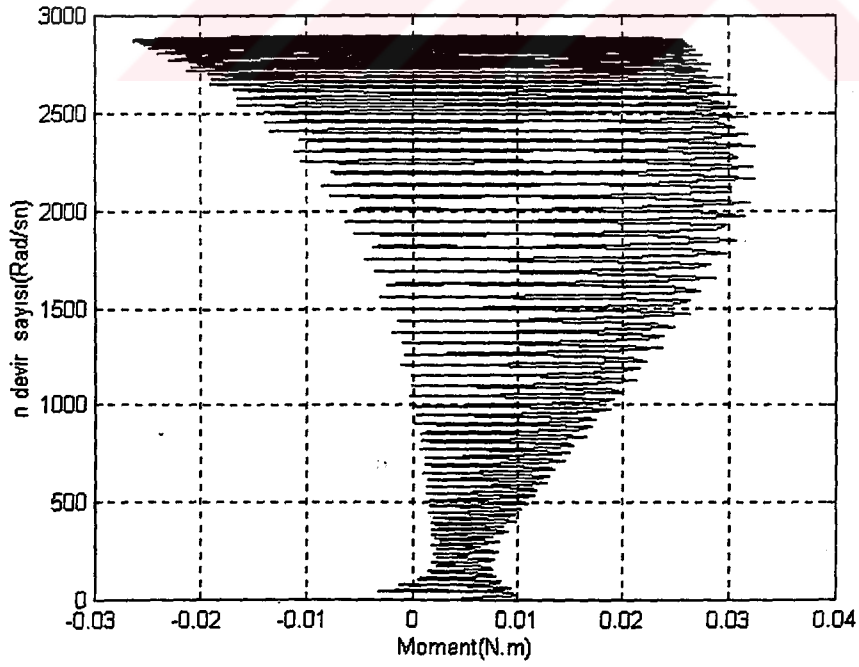
Şekil 38. Gölge kutubu halkalı makinanın deneysel Hız-Zaman karakteristiği
($V_2=0$, $T_L=0$)



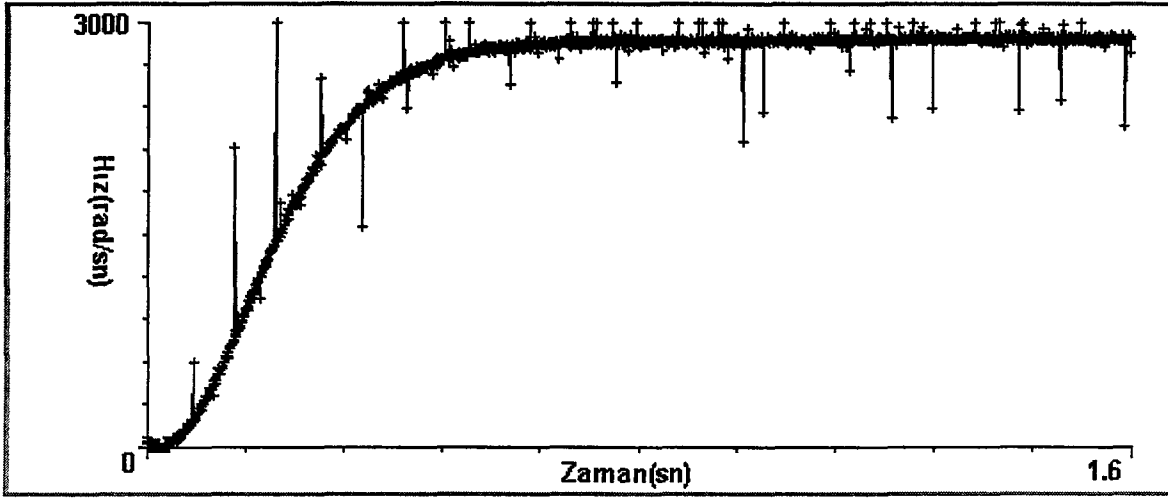
Şekil 39. Gölge kutubu halkalı makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği
($V_2=0$, $T_L=0$)



Şekil 40. Gölge kutubu halkalı makinanın işlemsel Moment-Zaman karakteristiği
($V_2=0$, $T_L=0$)

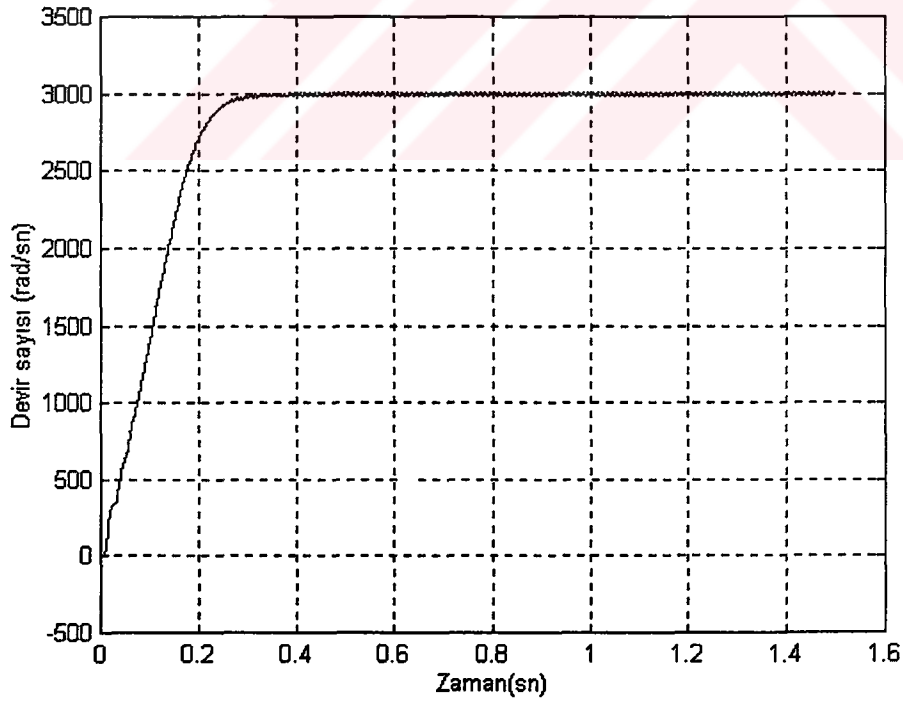


Şekil 41. Gölge kutubu halkalı makinanın işlemsel Hız-Moment karakteristiği
($V_2=0$, $T_L=0$)



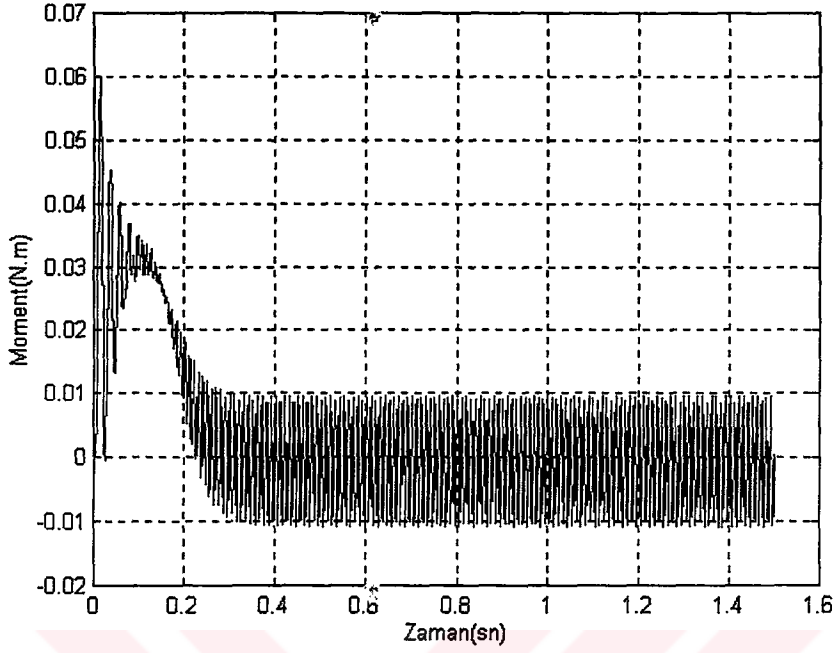
Şekil 42. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın deneysel

Hız-Zaman karakteristiği ($V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)



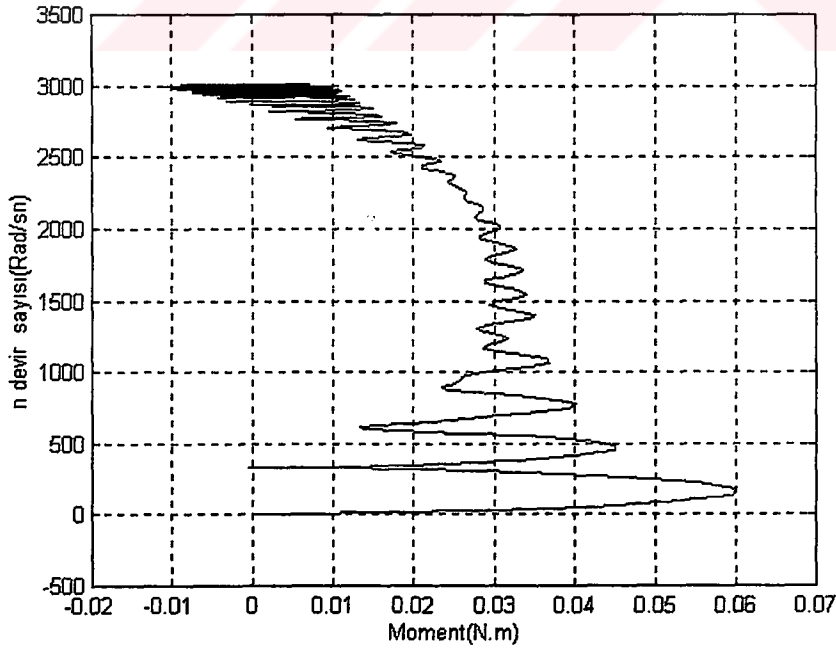
Şekil 43. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın işlemsel

Hız-Zaman karakteristiği ($V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)



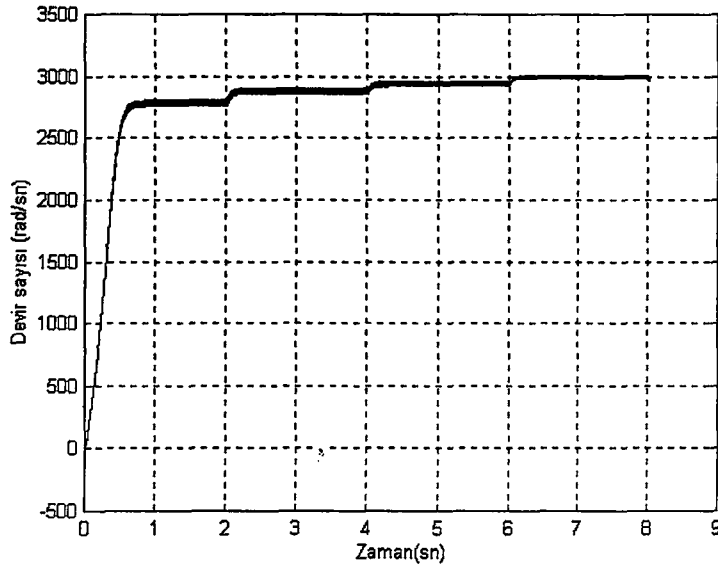
Şekil 44. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın işlemsel

Moment-Zaman karakteristiği ($V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$, $T_L = 0$)



Şekil 45. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile kontrol edilen makinanın işlemsel

Hız- Moment karakteristiği ($V_2 = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$, $T_L = 0$)

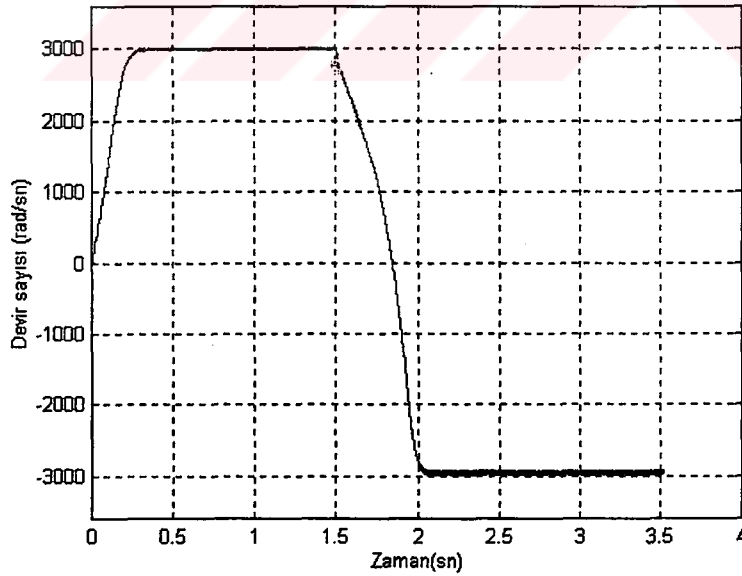


Şekil 46. Gölge sargıya uygulanan faz farklı gerilimler ile kontrol edilen makinanın

işlemsel Hız- Zaman karakteristiği ($t=0-2\text{sn}'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{6})$,

$t=2-4\text{sn}'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{4})$, $t=4-6\text{sn}'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{3})$,

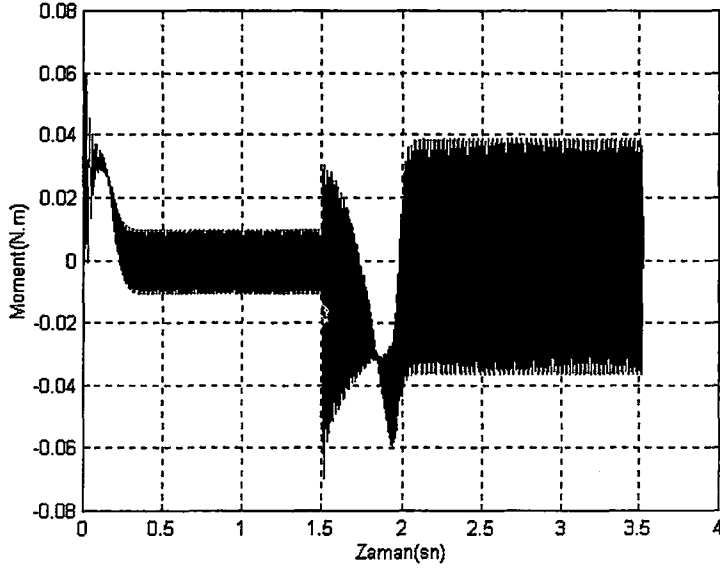
$t=6-8\text{sn}'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)



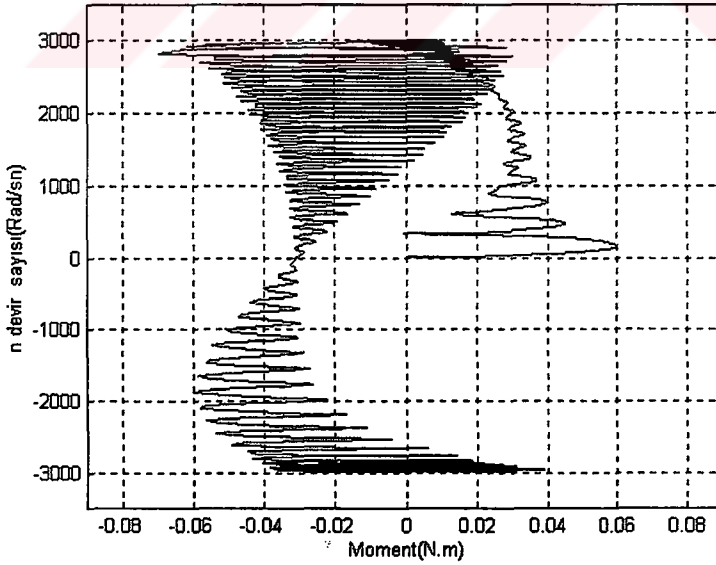
Şekil 47. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile dönme yönü ters çevrilirken makinanın

işlemsel Hız- Zaman karakteristiği ($t=0-1.5\text{sn}'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt-\frac{\pi}{2})$,

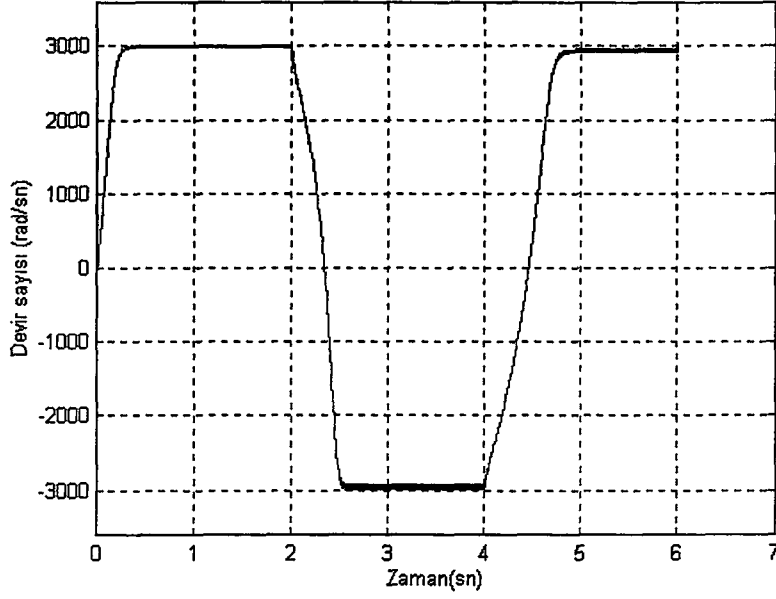
$t=1.5-3.5\text{sn}'de V_2= 8\sqrt{2} \sin(wt + \frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)



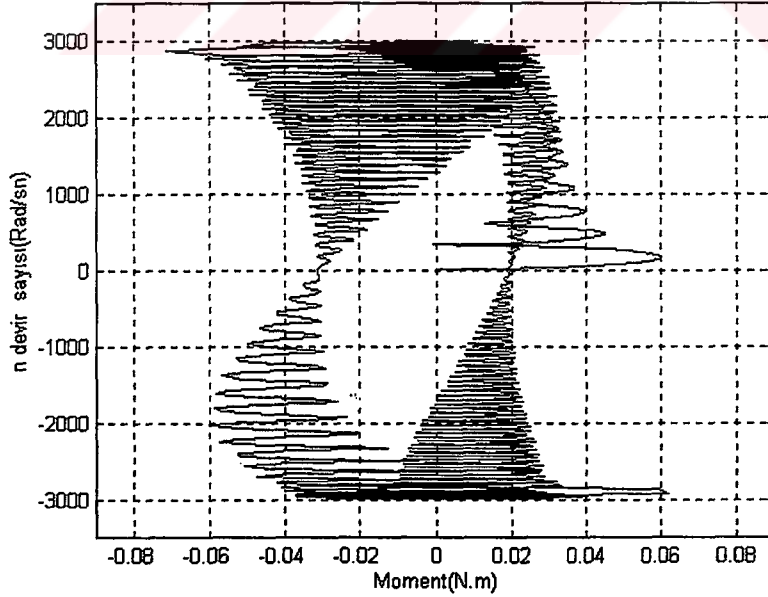
Şekil 48. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile dönme yönü ters çevrilirken makinanın işlemsel Moment-Zaman karakteristiği ($t=0-2\text{sn}'de V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$,
 $t=1.5-3.5\text{sn}'de V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)



Şekil 49. Gölge sargıya uygulanan gerilim ile dönme yönü ters çevrilirken makinanın işlemsel Hız- Moment karakteristiği ($t=0-2\text{sn}'de V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$,
 $t=1.5-3.5\text{sn}'de V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)



Şekil 50. İki defa yön değiştirilen gölge kutuplu makinanın işlemsel Hız-Zaman karakteristiği ($t=0-2\text{sn}$ ve $4-6\text{sn}$ 'de $V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$,
 $t=2-4\text{sn}$ 'de $V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)



Şekil 51. İki defa yön değiştirilen gölge kutuplu makinanın işlemsel Hız-Moment Karakteristiği ($t=0-2\text{sn}$ ve $4-6\text{sn}$ 'de $V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$,
 $t=2-4\text{sn}$ 'de $V_2=8\sqrt{2}\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$, $T_L=0$)

6. SONUÇ

Bu bölümde motorun dinamik incelemeleri ve kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar irdelenecektir. Ayrıca çalışmaya ilişkin öneriler sunulacaktır.

6.1. İRDELEME

Kısa devre halka yerine halkanın aynı kesitsel alanına sahip bir sargı yerleştirilen gölge kutuplu asenkron motorun performansına ait önemli sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Gölge kutuplu motordaki döner alan diğer bir fazlı indüksiyon makinalarda olduğu gibi bazı harmonikler içerir. Bu harmonik içerikler ve bu yüzden nominal hızın yarısında oluşan Hans GORGEUS olayının etkisi azalır.

İkinci bir girişle başlama momenti yaklaşık olarak altı kat artmıştır.

V_1 'e göre V_2 'nin fazını $-\frac{\pi}{6}$, $-\frac{\pi}{4}$, $-\frac{\pi}{3}$, $-\frac{\pi}{2}$ kaydırarak motorun hızı artar.

Gölge kutuplu motor dört bölgesi çalışırken;

Ana sargı tarafından akım yön değiştirirken çekilen akım artar. Fakat bu zararlı değildir. Çünkü bu sargı yeterli dirence sahiptir.

İleri fren modunda motor daha yüksek harmoniklere sahip bir fren momenti üretir ve beslemeden çekilen reaktif güç artar.

Geri hareket modunda geliştirilen moment ileri hareket modundakine oranla daha fazla harmonik içerir.

Geri fren modunda fren momenti, harmonikleri hariç tutarsak ileri frenleme modundaki ile aynı olur.

Geri fren modunda, ileri hareket moduna geçiş esnasında $n=0$ 'daki moment yaklaşık olarak başlama momentine eşittir.

6.2. SONUÇLAR

Gölge kutuplu asenkron motorda açılan ikinci kapının gerilimin fazını mikrodenetleyici ve elektronik bir sürme devresi yardımıyla kaydırarak elde edilen benzetim ve deneysel sonuçlara göre,

1- Gölge kutuplu makinanın dinamik performansı d-q eksen gösterimi ile tahmin edilebilir ve hatanın sınırı %10'dan daha az olur.

Kısa devre olmayan bir sargı ikinci bir girişle motora destek sağlar. Buna göre;

- 2- Başlama ve fren momenti artar.
- 3- Döner alanın ve rotorun yönü tersine çevrilebilir
- 4- Rotorun hızı ayarlanabilir.

6.3. ÖNERİLER

Bu çalışmada gölge kutuplu tek fazlı asenkron motorda başlama momentinin artırılması, dönme yönünü tersine çevirme ve hız kontrolü amaçlanmıştır. Yapılan teorik ve deneysel sonuçlar yukarıda anlatılan açıklamaları doğrulamış ve sonuçlar arasında büyük uyum sağlanmıştır. Gölge sargıya uygulanan gerilimin fazını mikrodenetleyici ve elektronik devre yardımıyla kaydırarak gölge kutuplu motorun performansı iyileştirilebilir.

Yapılan bu kontrolle devir yönü ve hız ayarı değiştirememeye dezavantajı ortadan kaldırılabilir. Ayrıca bakıma, onarıma, yardımcı aygıtlara ihtiyaç duymamaları ve ucuz olma gibi avantajlarını da göz önüne alınarak, kullanım kolaylığı olması sebebiyle küçük güçlerde tercih edebilir.

KAYNAKLAR

Akpınar, S., Sayısal Çözümleme, 1996, KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Ders Notları, No:45, Trabzon.

Akpınar, S., Kaya, İ., 1992, A Method of Increasing the Starting Torque, Reversing the Direction and Controlling the Speed for the Shaded Pole Induction Motor, Electric Machines and Power Systems, 20:321-338.

Altınbaşak, O., 2000, Mikrodenetleyiciler ve PIC programlama, Altaş Yayınevi, İstanbul.

Ateş, M.H., Peşint, M.A., 1990, Elektrik Makinaların Esasları, Gazi Üniversitesi Basımevi, Ankara.

Bal, G., 1996, Özel Elektrik Makinaları Ders Notları, Ankara.

Desai, B.G., Mathew, M.A., 1971, Transient Analysis of Shaded pole Motor, IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. Pas-90, No:2, 484-494.

Kosow, L.I., 1991, Electric Machinery and Transformer, Prentice-Hall, Inc.

Krause, P.C., 1987, Analysis of Electric Machinery, McGraw Hill.

Lock, K. S., 1984, Analysis of the Steady-State Performance of the Reluctance-Augmented Shaded Pole Motor, IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. Pas-103, No:9, 2625-2632.

Lock, K. S., 1987, Thyristor Control of Shaded Pole Induction Motors, Electric Machines and Power Systems, 13: 185-193.

Nasar, S.A, 1987, Handbook of Electric Machines, Mc Graw-Hill Book Co.

Osheiba, A. M., Ahmed, K.A., Azizur Rahman, M., 1991, Performance Prediction of Shaded Pole Induction Motors, IEEE Transaction on Industry Application, Vol.27, No:5, 876-882.

Pastacı, H., 1998, Elektronik Devreler, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Perret, R., Poloujadoff, M., 1976, Characteristics Analysis of Shaded Pole Induction motors, IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. Pas-95, No:4, 1347-1353.

Predko, M., 1998, Programming and Customizing the PIC Microcontroller, McGraw Hill.

Rosenblatt, J., Friedman, M.H., 1998, Direct and Alternating Current Machinery, Merrill Pub. Co.

Sarioğlu, M.K., 1983, Elektrik Makinaların Temelleri, Asenkron Makinalar Cilt-3, Çağlayan kitabevi, İstanbul.

1992, The Math Works Inc., The Student Edition of MATLAB

1997, Embedded Control Handbook, Microchip Technology Inc.,

8. EKLER

EK 1. Gölge Kutuplu Motorun Dinamik Davranışını İnceleyen Matlap Programı

```
Clear
TL=0;
alfa=22*45/(180*7);
L1=9.89;
L2d=7.317*cos(alfa);
L2q=7.317*sin(alfa);
Lr=9.89;
M12d=6.7*cos(alfa);
M1r= 7.53;
M2rd=4.29*cos(alfa);
M2rq=4.29*sin(alfa);
R1=310;
R2=1012;
Rr=974;
p0=1;
j=0.0000185;

Vd=0;
Vq=0;
h=0.0015;

a=L1;
b=M12d*cos(alfa);
c=M1r;
e=L2d*(cos(alfa))^2+L2q*(sin(alfa))^2;
f=M2rd*cos(alfa);
g=M2rq*sin(alfa);
k=Lr;
z=M2rq*sin(alfa);

deta=a*e*k^2-z*k*g*a-k*a*f^2-(b*k)^2+2*b*c*f*k+c^2*z*g-c^2*e*k;
a11=(e*k^2-z*k*g-f^2*k)/deta;
a12=(f*c*k-b*k^2)/deta;
a13=(b*f*k+c*g*z-c*e*k)/deta;
a14=(b*z*k-c*z*f)/deta;

a21=(c*f*k-b*k^2)/deta;
a22=(a*k^2-c^2*k)/deta;
a23=(b*c*k-a*f*k)/deta;
a24=(c^2*g-a*k*g)/deta;

a31=(b*f*k+g*c*z-c*e*k)/deta;
a32=(b*c*k-a*f*k)/deta;
a33=(a*e*k-b^2*k-a*g*z)/deta;
a34=(a*f*g-b*c*g)/deta;

a41=(b*z*k-c*z*f)/deta;
a42=(c^2*z-a*z*k)/deta;
a43=(a*f*z-b*c*z)/deta;
a44=(a*e*k+2*b*c*f-e*c^2-b^2*k-a*f^2)/deta;
```

(Ek 1.'in devamı)

```
V10=0;
V20=0;
I10=0;
I20=0;
Id0=0;
Iq0=0;
W0=0;
t0=0;
```

```
for k=1:1:3000
t=t0;
V1=V10;
V2=V20;
I1a=I10;
I2a=I20;
Ida=Id0;
Iqa=Iq0;
Wa=W0;
A1=h* ((-R1*a11+Wa*M1r*a41)*I1a+(-a21*R2-a31*M2rq*sin(alfa)*Wa+
a41*M2rd*cos(alfa)*Wa)*I2a+(-Rr*a31+Lr*a41*Wa)*Ida+(-Lr*a31*Wa-Rr*a41)*Iqa+
a11*V1+a21*V2+a31*Vd+a41*Vq);
A2=h* ((-R1*a12+Wa*M1r*a42)*I1a+(-a22*R2-a32*M2rq*sin(alfa)*Wa+
a42*M2rd*cos(alfa)*Wa)*I2a+(-Rr*a32+Lr*a42*Wa)*Ida+(-Lr*a32*Wa-Rr*a42)*Iqa+
a12*V1+a22*V2+a32*Vd+a42*Vq);
A3=h* ((-R1*a13+Wa*M1r*a43)*I1a+(-a23*R2-a33*M2rq*sin(alfa)*Wa+
a43*M2rd*cos(alfa)*Wa)*I2a+(-Rr*a33+Lr*a43*Wa)*Ida+(-Lr*a33*Wa-Rr*a43)*Iqa+
a13*V1+a23*V2+a33*Vd+a43*Vq);
A4=h* ((-R1*a14+Wa*M1r*a44)*I1a+(-a24*R2-a34*M2rq*sin(alfa)*Wa+
a44*M2rd*cos(alfa)*Wa)*I2a+(-Rr*a34+Lr*a44*Wa)*Ida+(-Lr*a34*Wa-Rr*a44)*Iqa+
a14*V1+a24*V2+a34*Vd+a44*Vq);
A5=h* ((M2rq*sin(alfa)*I2a*Ida-M1r*I1a*Iqa-M2rd*cos(alfa)*I2a*Iqa-TL)*p0/j);
```

```
I1b=I10+A1/2;
I2b=I20+A2/2;
Idb=Id0+A3/2;
Iqb=Iq0+A4/2;
Wb=W0+A5/2;
B1=h* ((-R1*a11+Wb*M1r*a41)*I1b+(-a21*R2-a31*M2rq*sin(alfa)*Wb+
a41*M2rd*cos(alfa)*Wb)*I2b+(-Rr*a31+Lr*a41*Wb)*Idb+(-Lr*a31*Wb-Rr*a41)*Iqb+
a11*V1+a21*V2+a31*Vd+a41*Vq);
B2=h* ((-R1*a12+Wb*M1r*a42)*I1b+(-a22*R2-a32*M2rq*sin(alfa)*Wb+
a42*M2rd*cos(alfa)*Wb)*I2b+(-Rr*a32+Lr*a42*Wb)*Idb+(-Lr*a32*Wb-Rr*a42)*Iqb+
a12*V1+a22*V2+a32*Vd+a42*Vq);
B3=h* ((-R1*a13+Wb*M1r*a43)*I1b+(-a23*R2-a33*M2rq*sin(alfa)*Wb+
a43*M2rd*cos(alfa)*Wb)*I2b+(-Rr*a33+Lr*a43*Wb)*Idb+(-Lr*a33*Wb-Rr*a43)*Iqb+
a13*V1+a23*V2+a33*Vd+a43*Vq);
B4=h* ((-R1*a14+Wb*M1r*a44)*I1b+(-a24*R2-a34*M2rq*sin(alfa)*Wb+
a44*M2rd*cos(alfa)*Wb)*I2b+(-Rr*a34+Lr*a44*Wb)*Idb+(-Lr*a34*Wb-Rr*a44)*Iqb+
a14*V1+a24*V2+a34*Vd+a44*Vq);
B5=h* ((M2rq*sin(alfa)*I2b*Idb-M1r*I1b*Iqb-M2rd*cos(alfa)*I2b*Iqb-TL)*p0/j);
```


(Ek 1.'in devamı)

```

I1c=I10+B1/2;
I2c=I20+B2/2;
Idc=Id0+B3/2;
Iqc=Iq0+B4/2;
Wc=W0+B5/2;
C1=h*((-R1*a11+Wc*M1r*a41)*I1c+(-a21*R2-a31*M2rq*sin(alfa)*Wc+
a41*M2rd*cos(alfa)*Wc)*I2c+(-Rr*a31+Lr*a41*Wc)*Idc+(-Lr*a31*Wc-Rr*a41)*Iqc+
a11*V1+a21*V2+a31*Vd+a41*Vq);
C2=h*((-R1*a12+Wc*M1r*a42)*I1c+(-a22*R2-a32*M2rq*sin(alfa)*Wc+
a42*M2rd*cos(alfa)*Wc)*I2c+(-Rr*a32+Lr*a42*Wc)*Idc+(-Lr*a32*Wc-Rr*a42)*Iqc+
a12*V1+a22*V2+a32*Vd+a42*Vq);
C3=h*((-R1*a13+Wc*M1r*a43)*I1c+(-a23*R2-a33*M2rq*sin(alfa)*Wc+
a43*M2rd*cos(alfa)*Wc)*I2c+(-Rr*a33+Lr*a43*Wc)*Idc+(-Lr*a33*Wc-Rr*a43)*Iqc+
a13*V1+a23*V2+a33*Vd+a43*Vq);
C4=h*((-R1*a14+Wc*M1r*a44)*I1c+(-a24*R2-a34*M2rq*sin(alfa)*Wc+
a44*M2rd*cos(alfa)*Wc)*I2c+(-Rr*a34+Lr*a44*Wc)*Idc+(-Lr*a34*Wc-Rr*a44)*Iqc+
a14*V1+a24*V2+a34*Vd+a44*Vq);
C5=h*((M2rq*sin(alfa)*I2c*Idc-M1r*I1c*Iqc-M2rd*cos(alfa)*I2c*Iqc-TL)*p0/j);

I1d=I10+C1;
I2d=I20+C2;
Idd=Id0+C3;
Iqd=Iq0+C4;
Wd=W0+C5;
D1=h*((-R1*a11+Wd*M1r*a41)*I1d+(-a21*R2-a31*M2rq*sin(alfa)*Wd+
a41*M2rd*cos(alfa)*Wd)*I2d+(-Rr*a31+Lr*a41*Wd)*Idd+(-Lr*a31*Wd-Rr*a41)*Iqd+
a11*V1+a21*V2+a31*Vd+a41*Vq);
D2=h*((-R1*a12+Wd*M1r*a42)*I1d+(-a22*R2-a32*M2rq*sin(alfa)*Wd+
a42*M2rd*cos(alfa)*Wd)*I2d+(-Rr*a32+Lr*a42*Wd)*Idd+(-Lr*a32*Wd-Rr*a42)*Iqd+
a12*V1+a22*V2+a32*Vd+a42*Vq);
D3=h*((-R1*a13+Wd*M1r*a43)*I1d+(-a23*R2-a33*M2rq*sin(alfa)*Wd+
a43*M2rd*cos(alfa)*Wd)*I2d+(-Rr*a33+Lr*a43*Wd)*Idd+(-Lr*a33*Wd-Rr*a43)*Iqd+
a13*V1+a23*V2+a33*Vd+a43*Vq);
D4=h*((-R1*a14+Wd*M1r*a44)*I1d+(-a24*R2-a34*M2rq*sin(alfa)*Wd+
a44*M2rd*cos(alfa)*Wd)*I2d+(-Rr*a34+Lr*a44*Wd)*Idd+(-Lr*a34*Wd-Rr*a44)*Iqd+
a14*V1+a24*V2+a34*Vd+a44*Vq);
D5=h*((M2rq*sin(alfa)*I2d*Idd-M1r*I1d*Iqd-M2rd*cos(alfa)*I2d*Iqd-TL)*p0/j);

I1(k)=I10+(A1+2*B1+2*C1+D1)/6;
I2(k)=I20+(A2+2*B2+2*C2+D2)/6;
Id(k)=Id0+(A3+2*B3+2*C3+D3)/6;
Iq(k)=Iq0+(A4+2*B4+2*C4+D4)/6;
W(k)=W0+(A5+2*B5+2*C5+D5)/6;
V1ciz(k)=1.4142*220*sin(314*t);
if t<=2
    V2ciz(k)=1.4142*288*sin(314*t-3.14*90/180);
elseif t<=4
    V2ciz(k)=1.4142*288*sin(314*t+3.14*(90)/180);
elseif t<=6
    V2ciz(k)=1.4142*288*sin(314*t-3.14*(90)/180);
else
    V2ciz(k)=1.4142*288*sin(314*t-3.14*90/180);
End

```

(Ek 1.'in devamı)

```
Te(k)=(M2rq*sin(alfa)*I2(k)*Id(k)-M1r*I1(k)*Iq(k)-
M2rd*cos(alfa)*I2(k)*Iq(k));
```

```
n(k)=60*W(k)/(2*3.14);
```

```
tciz(k)=t+h;
V10=V1ciz(k);
V20=V2ciz(k);
```

```
t0=tciz(k);
I10=I1(k);
I20=I2(k);
Id0=Id(k);
Iq0=Iq(k);
W0=W(k);
```

```
end
```

```
plot(tciz,n);
xlabel('Zaman(sn)');
ylabel('Devir sayısı (rad/sn)');
grid
zoom
pause
```

```
plot(tciz,Te);
xlabel('Zaman(sn)');
ylabel('Moment(N.m)');
grid
zoom
pause
```

```
plot(Te,n);
xlabel('Moment(N.m)');
ylabel('n devir sayısı(Rad/sn)');
grid
zoom
pause
```

EK 2. PIC16F84 Mikrodenetleyicisi ile Faz Kaydırma Programı

```
LIST P=16F84
INCLUDE "P16F84.INC"
```

```
OFSET      EQU h'0C'
SAYAC1     EQU h'0D'
SAYAC2     EQU h'0E'
SAYAC3     EQU h'0F'
SAYI       EQU h'10'
ARTIDOKSAN EQU h'11'
ORG h'00'
GOTO BASLA
```

TABLO

```
ADDWF PCL, F
RETLW h'FF'
RETLW h'FF' ;1
RETLW h'FF'
RETLW h'FF'
RETLW h'FF'
RETLW h'FF'
RETLW h'FF'
RETLW h'FE'
RETLW h'FE'
RETLW h'FE'
RETLW h'FE'
RETLW h'FD' ;11
RETLW h'FD'
RETLW h'FD'
RETLW h'FC'
RETLW h'FC'
RETLW h'FB'
RETLW h'FB'
RETLW h'FB'
RETLW h'FA'
RETLW h'F9'
RETLW h'F9' ;21
RETLW h'F8'
RETLW h'F7'
RETLW h'F7'
RETLW h'F6'
RETLW h'F5'
RETLW h'F5'
RETLW h'F4'
RETLW h'F3'
RETLW h'F2'
RETLW h'F1' ;31
RETLW h'F0'
RETLW h'EF'
RETLW h'EE'
```

(Ek 2.'in devamı)

RETLW h'ED'
RETLW h'EC'
RETLW h'EB'
RETLW h'EA'
RETLW h'E9'
RETLW h'E8'
RETLW h'E7' ;41
RETLW h'E6'
RETLW h'E4'
RETLW h'E3'
RETLW h'E2'
RETLW h'E1'
RETLW h'DF'
RETLW h'DE'
RETLW h'DD'
RETLW h'DB'
RETLW h'DA' ;51
RETLW h'D8'
RETLW h'D7'
RETLW h'D5'
RETLW h'D4'
RETLW h'D2'
RETLW h'D1'
RETLW h'CF'
RETLW h'CE'
RETLW h'CC'
RETLW h'CB' ;61
RETLW h'C9'
RETLW h'C7'
RETLW h'C6'
RETLW h'C4'
RETLW h'C2'
RETLW h'C1'
RETLW h'BF'
RETLW h'BD'
RETLW h'BB'
RETLW h'BA' ;71
RETLW h'B8'
RETLW h'B6'
RETLW h'B4'
RETLW h'B2'
RETLW h'B1'
RETLW h'AF'
RETLW h'AD'
RETLW h'AB'
RETLW h'A9'
RETLW h'A7' ;81
RETLW h'A5'
RETLW h'A3'
RETLW h'A2'
RETLW h'A0'

(Ek 2.'in devamı)

```

RETLW h'9E'
RETLW h'9C'
RETLW h'9A'
RETLW h'98'
RETLW h'96'
RETLW h'94' ;91
RETLW h'92'
RETLW h'90'
RETLW h'8E'
RETLW h'8C'
RETLW h'8A'
RETLW h'88'
RETLW h'86'
RETLW h'84'
RETLW h'82'
RETLW h'80' ;101

```

BASLA

```

CLRF PORTB
BSF STATUS, 5
CLRF TRISB
MOVLW h'FF'
MOVWF TRISA
BCF STATUS, 5
MOVLW h'00'
MOVWF ARTIDOKSAN

```

DONGU

```

BTFSZ PORTA, 2
GOTO DONGU

```

DONGU1

```

BTFSZ PORTA, 2
GOTO DONGU1
BTFSZ ARTIDOKSAN,0
GOTO ARTIGEC

```

```

MOVLW h'0B'
MOVWF SAYAC1

```

DON

```

MOVLW h'96'
MOVWF SAYAC2

```

DON1

```

DECFSZ SAYAC2, F
GOTO DON1
DECFSZ SAYAC1, F
GOTO DON
GOTO SAYKIL

```

ARTIGEC

```

MOVLW h'13'
MOVWF SAYAC1

```

GEC1

```

MOVLW h'FF'

```

(Ek 2.'in devamı)

```

MOVWF  SAYAC2
GEC2
  DECFSZ  SAYAC2, F
  GOTO    GEC2
  DECFSZ  SAYAC1, F
  GOTO    GEC1

```

```

SAYKIL
  MOVLW  d'101'
  MOVWF  OFSET

```

```

GIT1
  MOVF   OFSET, W
  CALL  TABLO
  NOP
  NOP
  NOP
  MOVWF  PORTB
  CALL  GECIKME
  NOP
  NOP
  NOP
  DECFSZ  OFSET, F
  GOTO    GIT1

  MOVLW  d'02'
  MOVWF  OFSET

```

```

GIT2
  MOVF   OFSET, W
  CALL  TABLO
  NOP
  NOP
  MOVWF  PORTB
  CALL  GECIKME
  NOP
  MOVF   OFSET, W
  SUBLW  d'101'
  BTFSC  STATUS, 2
  GOTO   GIT21
  INCF   OFSET, F
  GOTO   GIT2

```

```

GIT21
  MOVLW  d'100'
  MOVWF  OFSET

```

```

GIT3
  MOVF   OFSET, W
  CALL  TABLO
  MOVWF  SAYI
  COMF  SAYI, W

```

(Ek 2.'in devamı)

```
MOVWF PORTB
CALL GECIKME
NOP
MOVF OFSET, W
SUBLW d'01'
BTFSC STATUS, 2
GOTO GIT31
DEC F
GOTO GIT3
```

GIT31

```
MOVLW d'02'
MOVWF OFSET
```

GIT4

```
MOVF OFSET, W
CALL TABLO
MOVWF SAYI
COMF SAYI, W
MOVWF PORTB
CALL GECIKME
NOP
MOVF OFSET, W
INCF OFSET, F
SUBLW d'100'
BTFSC STATUS, 2
GOTO GIT1
GOTO GIT4
```

GECIKME

```
MOVLW H'07'
MOVWF SAYAC3
BTFSC ARTIDOKSAN, 1
GOTO GECIK
BTFSC PORTA, 3
GOTO GEC
MOVLW h'03'
MOVWF ARTIDOKSAN
GOTO DONGU
```

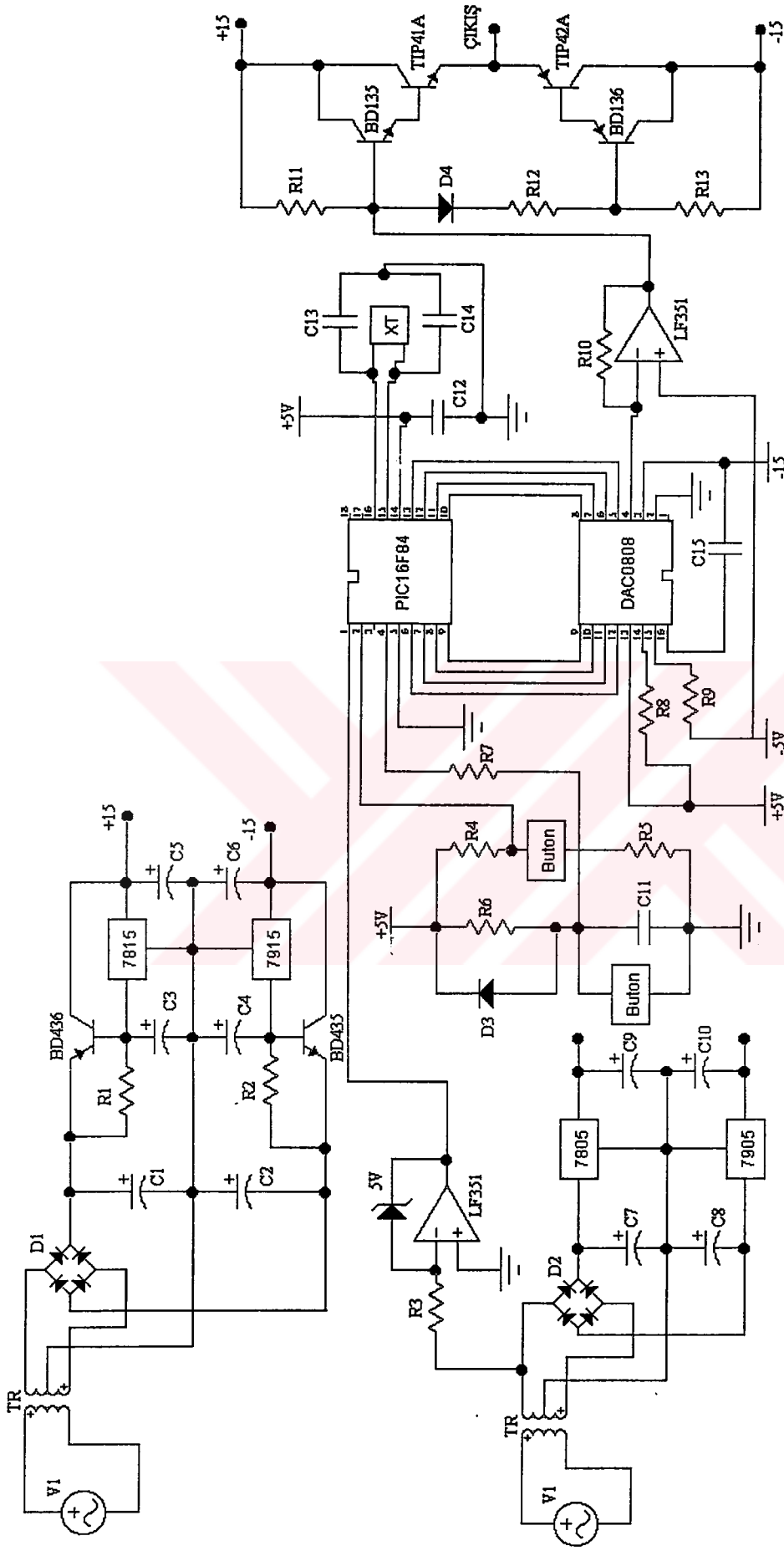
GECIK

```
NOP
NOP
```

GEC

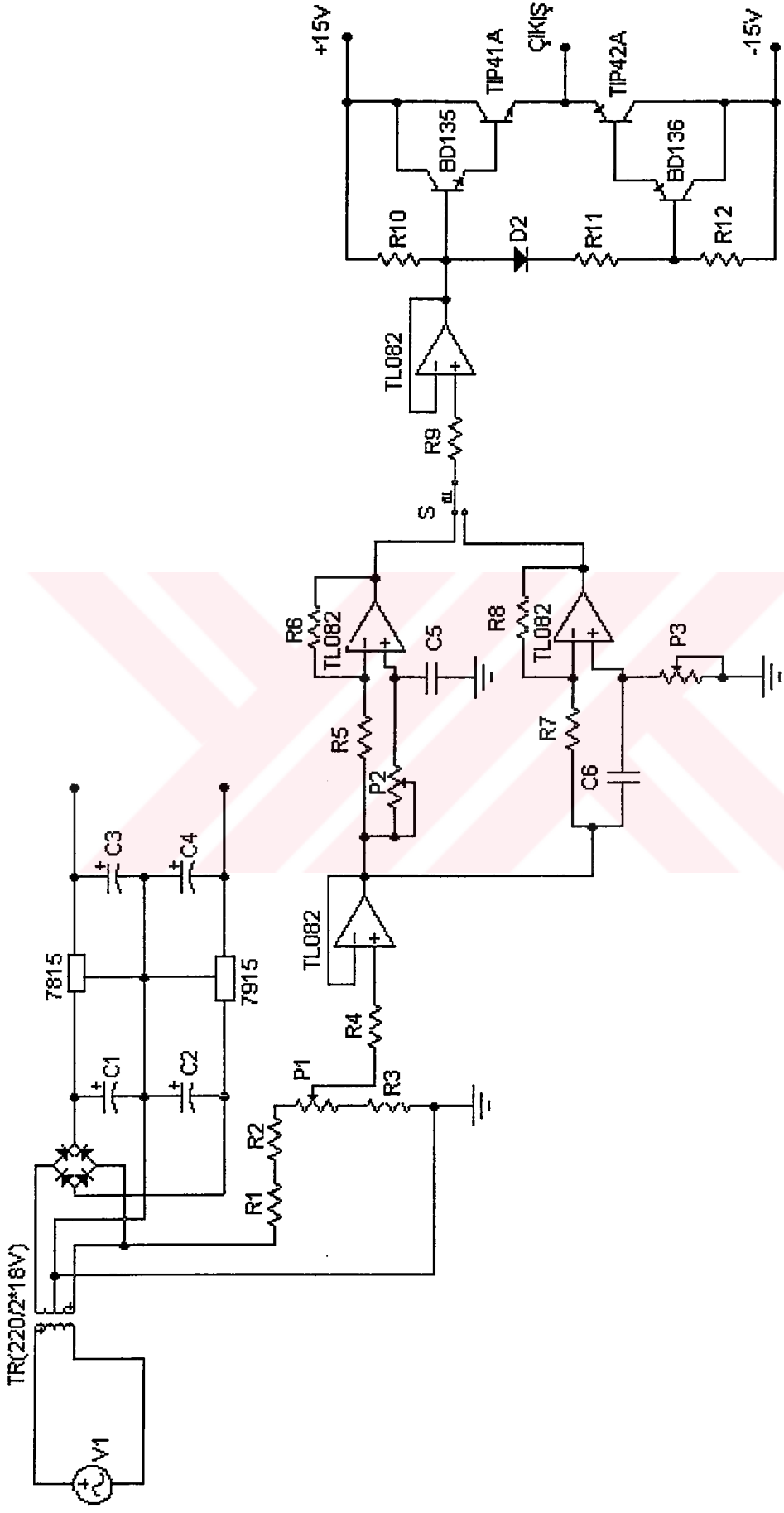
```
DECFSZ SAYAC3, F
GOTO GEC
NOP
RETURN
END
```

EK 3.



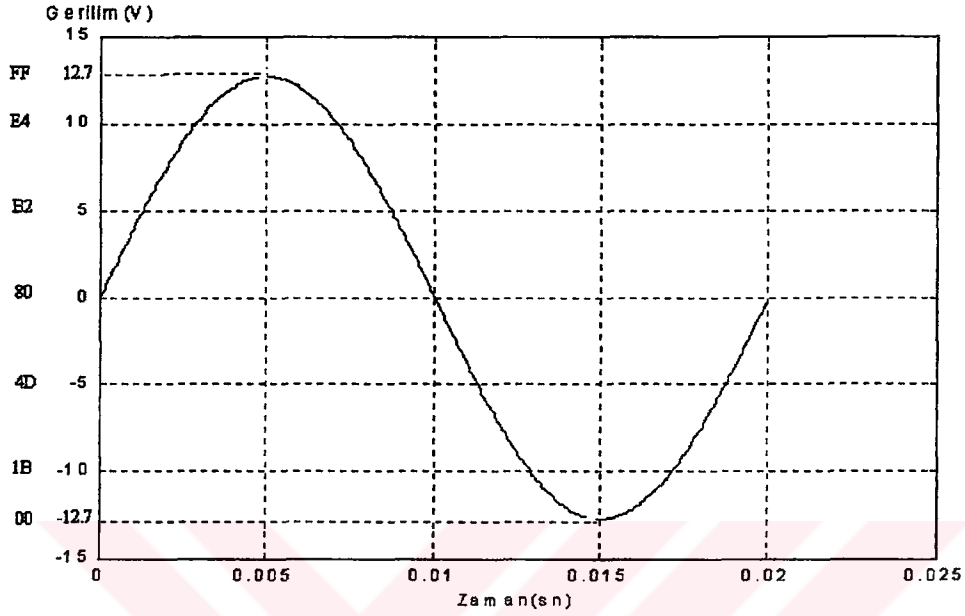
Ek şekil 1. Mikrodenetleyici ile gerçekleştirilen faz kaydırma devresi

EK 4.



Ek şekil 2. Operasyonel amplifikatör ile faz kaydırma devresi

EK 5. Sinüs Çevrim Tablosu



Ek şekil 3. Sinüs çevrim tablosundaki değerlerin zaman üzerindeki değişimi

Ek şekil 3.' de örnekleme $50 \mu s$ 'de bir alınmıştır. Alınan bu değerlerin tamamını şu şekilde gösterebiliriz.

No:	Mikrodenetleyici (Dijital) Çıkışı:	Dijital Analog Çevirici Çıkışı(V):
1	FF	12.7
2	FF	12.7
3	FF	12.7
4	FF	12.7
5	FF	12.7
6	FF	12.7
7	FE	12.6
8	FE	12.6
9	FE	12.6
10	FE	12.6
11	FD	12.5
12	FD	12.5
13	FD	12.5
14	FC	12.4
15	FC	12.4
16	FB	12.3
17	FB	12.3
18	FB	12.3
19	FA	12.2
20	F9	12.1
21	F9	12.1
22	F8	12.0
23	F7	11.9
24	F7	11.9
25	F6	11.8

(Ek 5.'in devamı)

26	F5	11.7
27	F5	11.7
28	F4	11.6
29	F3	11.5
30	F2	11.4
31	F1	11.3
32	F0	11.2
33	EF	11.1
34	EE	11.0
35	ED	10.9
36	EC	10.8
37	EB	10.7
38	EA	10.6
39	E9	10.5
40	E8	10.4
41	E7	10.3
42	E6	10.2
43	E4	10.0
44	E3	9.9
45	E2	9.8
46	E1	9.7
47	DF	9.5
48	DE	9.4
49	DD	9.3
50	DB	9.1
51	DA	9.0
52	D8	8.8
53	D7	8.7
54	D5	8.5
55	D4	8.4
56	D2	8.2
57	D1	8.1
58	CF	7.9
59	CE	7.8
60	CC	7.6
61	CB	7.5
62	C9	7.3
63	C7	7.1
64	C6	7.0
65	C4	6.8
66	C2	6.6
67	C1	6.5
68	BF	6.3
69	BD	6.1
70	BB	5.9
71	BA	5.8
72	B8	5.6
73	B6	5.4
74	B4	5.2
75	B2	5.0
76	B1	4.9
77	AF	4.7
78	AD	4.5
79	AB	4.3
80	A9	4.1
81	A7	3.9

(Ek 5.'in devamı)

82	A5	3.7
83	A3	3.5
84	A2	3.4
85	A0	3.2
86	9E	3.0
87	9C	2.8
88	9A	2.6
89	98	2.4
90	96	2.2
91	94	2.0
92	92	1.8
93	90	1.6
94	8E	1.4
95	8C	1.2
96	8A	1.0
97	88	0.8
98	86	0.6
99	84	0.4
100	82	0.2
101	80	0.0
102	7D	-0.2
103	7B	-0.4
104	79	-0.6
105	77	-0.8
106	75	-1.0
107	73	-1.2
108	71	-1.4
109	6F	-1.6
110	6D	-1.8
111	6B	-2.0
112	69	-2.2
113	67	-2.4
114	65	-2.6
115	63	-2.8
116	61	-3.0
117	5F	-3.2
118	5D	-3.4
119	5C	-3.5
120	5A	-3.7
121	58	-3.9
122	56	-4.1
123	54	-4.3
124	52	-4.5
125	50	-4.7
126	4E	-4.9
127	4D	-5.0
128	4B	-5.2
129	49	-5.4
130	47	-5.6
131	45	-5.8
132	44	-5.9
133	42	-6.1
134	40	-6.3
135	3E	-6.5
136	3D	-6.6
137	3B	-6.8

(Ek 5.'in devamı)

138	39	-7.0
139	38	-7.1
140	36	-7.3
141	34	-7.5
142	33	-7.6
143	31	-7.8
144	30	-7.9
145	2E	-8.1
146	2D	-8.2
147	2B	-8.4
148	2A	-8.5
149	28	-8.7
150	27	-8.8
151	25	-9.0
152	24	-9.1
153	22	-9.3
154	21	-9.4
155	20	-9.5
156	1E	-9.7
157	1D	-9.8
158	1C	-9.9
159	1B	-10.0
160	19	-10.2
161	18	-10.3
162	17	-10.4
163	16	-10.5
164	15	-10.6
165	14	-10.7
166	13	-10.8
167	12	-10.9
168	11	-11.0
169	10	-11.1
170	1F	-11.2
171	0E	-11.3
172	0D	-11.4
173	0C	-11.5
174	0B	-11.6
175	0A	-11.7
176	0A	-11.7
177	09	-11.8
178	08	-11.9
179	08	-11.9
180	07	-12.0
181	06	-12.1
182	06	-12.1
183	05	-12.2
184	04	-12.3
185	04	-12.3
186	04	-12.3
187	03	-12.4
188	03	-12.4
189	02	-12.5
190	02	-12.5
191	02	-12.5
192	01	-12.6
193	01	-12.6

(Ek 5.'in devamı)

194	01	-12.6
195	01	-12.6
196	00	-12.7
197	00	-12.7
198	00	-12.7
199	00	-12.7
200	00	-12.7
201	00	-12.7



EK 6. Motor Parametreleri

a) Nominal değerler

$$U_N = 220V \quad P_N = 5W \quad n_N = 2900 \text{ d/d} \quad f = 50\text{Hz}$$

b) Sargıların dirençleri

$$R_1 = 310 \Omega \quad R_2 = 1012 \Omega \quad R_r = 974 \Omega$$

c) Kutup, sipir sayıları ve pozisyon açısı

$$2p = 2 \quad N_1 = 4000 \quad N_2 = 75 \quad \alpha = 45^\circ$$

d) Eylemsizlik momenti

$$j = 0,0000185 \text{ kg.m}^2$$

e) Öz ve ortak indüktanslar

$$\xi_1 = 0,95 \quad \xi_2 = \xi_1 \cdot \cos \alpha = 0,52 \quad \tau_r = 0,95$$

$$L_H = 7,9263H \quad L_{1k} = 2,36H \quad L_{2k} = 2,8H \quad L_{rk} = 2,36H$$

$$L_1 = L_{1k} + \xi_1 \cdot L_H = 9,89H$$

$$L_2 = L_{2k} + \xi_2 \cdot L_H = 7,317H \quad L_{2d} = L_2 \cdot \cos \alpha \quad L_{2q} = L_2 \cdot \sin \alpha$$

$$L_r = L_{rk} + \tau_r \cdot L_H = 9,89H$$

$$M_{1r} = \xi_1 \cdot L_H = 7,53H$$

$$M_{2r} = \xi_2 \cdot L_H = 4,29H \quad M_{2rd} = M_{2r} \cdot \cos \alpha \quad M_{2rq} = M_{2r} \cdot \sin \alpha$$

$$M_{12} = 6,7H$$

9. ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Elazığ'ın Özgören köyünde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1996 yılında Fırat Üniversitesi Elektrik Elektronik mühendisliği bölümünden mezun olup aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesinde Elektrik anabilim dalında yüksek lisans programına başladı. 1996-1998 yıllarında Samsun Havza Teknik lisesinde, 1998-2000 yıllarında Trabzon Akçaabat Teknik lisesinde Elektrik öğretmeni olarak çalıştı. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümüne Araştırma görevlisi olarak girdi ve halen devam etmektedir.

