

T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SENKRONLANAN BİLEZİKLİ ASENKRON MAKİNANIN
ASENKRON VE SENKRON SÜREKLİ ÇALIŞMA
DURUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS SEMİNERİ
ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Fırat Üniversitesi Merkez Kütüphanesi



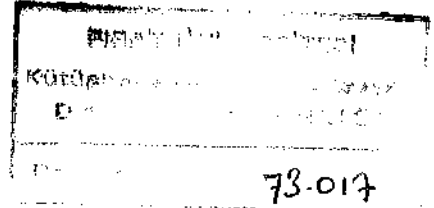
0068019

255.07.02.03.00.00/0068019

EM YL/9

**Mehmet İlyas BAYINDIR
Y. Lisans Öğrencisi**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR**



621.3136
B2945

ELAĞIĞ - 1995

BÖLÜM 1

1.1. Bilezikli Asenkron Motor

1.2. Senkron Makinalar

1.2.1. Yuvarlak Kutuplu Senkron Makinalar

1.2.2. Çıkık Kutuplu Senkron Makinalar

1.2.3. Daimi Manyetikli Senkron Makinalar

1.3. Senkronlanan Bilezikli Asenkron Motor

1.3.1. Senkronlanan Bilezikli Asenkron Motor İçin Değişik Rotor Bağlantı

Şekilleri

BÖLÜM 2

SENKRON VE ASENKRON ÇALIŞMA SÜREKLİ DURUM MODELLERİ

2.1. Asenkron Çalışma Sürekli Durum Modeli

2.1.1. Stator Direnci Tesli

2.1.2. Boşda Çalışma Deneyi

2.1.3. Kısa Devre Deneyi

2.1.4. Hesaplamalar ve Bilgisayar Programı

2.2. Senkron Çalışma Sürekli Durum Modeli

2.2.1. Boşda Çalışma Deneyi

2.2.2. Kısa Devre Deneyi

2.2.3. Senkron Empedansın Bulunması

2.2.4. Hesaplamalar ve Bilgisayar Programı

2.3. Sonuç

KAYNAKLAR

EK-A DENEY ŞEMASI

EK-B XYT recorder ile Çizilen Değişik Rotor Dirençleriyle Yol Alma Eğrileri

X_m : mıknatıslanma reaktansı
 R_{Fe} : demir kayıplarını temsil eden direnç
 P_0 : boşda çalışma gücü
 I_0 : boşda çalışma akımı veya orta kol akımı
 Z_k : kısa devre empedansı
 I_s : stator akımı
 I_r : rotor akımı
 R_1 : stator direnci
 R_2 : statora dönüştürülmüş rotor direnci
 X_1 : stator kaçak reaktansı
 X_2 : statora dönüştürülmüş rotor kaçak reaktansı
 M : moment
 P_{el} : elektriksel güç
 P_{mek} : mekanik güç
 E : endüklenen gerilim
 V_a : endüvi uç gerilimi
 V_n : nominal gerilim
 I_k : kısa devre akımı
 $E_{n,hava a.}$: hava aralığı doğrusu üzerindeki nominal gerilim değeri
 I_a' : nominal gerilimi endükleyen uyartımın kısa devre akımı
 Z_s : senkron empedans
 occ : açık devre karakteristiği
 scc : kısa devre karakteristiği

- Şekil 1.1 Rotor sargısı için Danielson bağlantısı
- Şekil 1.2. Senkron çalışma için rotor faz sargılarının seri bağlantı şekli
- Şekil 1.3 Rotor sargılarının bilezikler üzerinden seri bağlantısı
- Şekil 1.4. Senkron çalışma için kullanılabilecek diğer rotor bağlantılarından örnekler
- Şekil 2.1. Asenkron makina tam eşdeğer devresi
- Şekil 2.2. Senkron makina eşdeğer devresi
- Şekil 2.3. Kısa devre deneyi bağlantısı ve eğrisi
- Şekil 2.4. Doymuş senkron reaktans için açık ve kısa devre eğrilerinin incelenmesi
- Şekil 2.5. Seri uyartımlı senkronlanmış asenkron motorun fazör diyagramı
- Şekil 2.6 Asenkron çalışmada devir sayısına karşılık akım ve moment eğrileri
- Şekil 2.7. Asenkron çalışmada devir saayısı-Giriş gucu eğrisi
- Şekil 2.8. Asenkron çalışmada akım-moment eğrisi
- Şekil 2.9. Asenkron çalışmada çıkış gücü - verim eğrisi
- Şekil 2.10 Asenkron çalışmada güç faktörünün değişimi
- Şekil 2.11 Senkron çalışmada yük açısına karşılık akım ve moment eğrisi
- Şekil 2.12 Senkron çalışmada yük açısına karşılık giriş gücü ve güç faktörü eğrileri
- Şekil 2.13 Senkron çalışmada verim eğrisi
- Şekil 2.14 Senkron çalışmada akım ve momentin değişimi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Endüstride kullanılan elektrik makinalarından en sağlamı en az arıza yapanı, en ucuz olanı ve en çok kullanılanı asenkron makinalardır. Çalışma ilkesi bakımından bu makinalara indüksiyon makinaları da denir. Bu makinalar endüstride genellikle motor olarak çalıştırılırlar ; fakat belirli şartların sağlanması halinde generatör olarak da kullanılabilirler.

Asenkron makinaların , senkron makinalardan en büyük ayrımlarından biri, dönme hızının sabit olmayışdır. Bu hız , motor olarak çalışmada , senkron hızdan küçüktür. Makinanın adının asenkron makina oluşu bu özellikten ileri gelmektedir (Sarioğlu, 1983).

Asenkron makinalar rotor yapısı ve rotor sargılarının yapılışına göre iki gruba ayrılırlar.

- 1.Rotoru sincap kafesli (kısa devre) olan motorlar.
- 2.Rotoru bilezikli ve sargılı olan motorlar.

Bilezikli asenkron motorların rotor sargı uçları bilezik ve fırça sistemi ile dışarıya alınması sebebiyle, bu motorların üzerinde değişik çalışma şekilleri araştırılmıştır. Senkronlanan bilezikli asenkron motorla ilgili çalışma şekli de bunlardan bir tanesidir. Senkronlanan bilezikli asenkron motor ilk olarak İsveç ' te, asenkron motorun güç katsayısını düzeltmek amacı ile Danielson (1901), tarafından düşünüldü. Motora ilişkin ilk çalışmaların İsveç ' te yapılmasına rağmen motor İngiltere ' de geliştirildi ve endüstride uygulandı. Bu sebeble dünya literatüründe " British machine" olarak adlandırılır. Motorun tarihi

Sonuç olarak da gereken kalite ve soğutma yönüyle bu tip bir motorun pahalı olup şimdilik pratik olmadığı isbatlanmıştır.

1.1 Bilezikli Asenkron Motor

Bilezikli ve sincap kafesli asenkron motorların, statorları ile bunların taşıdığı stator sargıları genellikle aynı özellikte yapılır. Yani stator sac paketinin oluklarına yayılmış " simetrik üç fazlı sargılar " diye anılan ve senkron makina statorunda da kullanılan sargılardır. Sincap kafesli motorların rotor sargısı kısa devre edilmiş çubuklardan ibaret kafes şeklinde bir sargıdır. Dış devreye uç çıkarılmamıştır. Bu durum, rotor devresinin elektriksel yönden hemen hemen hiç bakım istememesi demek olduğu için, asenkron makinelerin pratikte en çok kullanılan elektrik makinası halini almasında payı büyüktür. Zira bu oran yüzde seksenin üstünde olup, bunun da büyük çoğunluğunu sincap kafesli asenkron makina teşkil etmektedir (İlhami Çetin, 1987).

Bilezikli motorlarda ise, rotorda yalıtılmış çok fazlı sargı vardır. Bu sargının uçları bilezik-fırça sistemi ile dış devreye bağlantılandırılmıştır. Rotorlarında genellikle üç fazlı sargılar vardır. Sargılar yalıtılarak rotor oluklarına yerleştirilir. Üç fazlı rotor sargısı yıldız olarak bağlanır ve yıldız noktası genellikle dışarıya çıkarılmaz. Mil üzerine bağlı ve milden yalıtılmış üç bilezik rotor ile birlikte dönerler. Rotorun üç fazlı sargısının giriş uçları bu bileziklere bağlanır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile rotor sargı sistemine, dış kaynaktan genliği ya da frekansı değiştirilebilen gerilim uygulanabildiği gibi, sargılara dışarıdan empedans da bağlanabilir.

Asenkron makinelerin rotor direncinin değerinin sabit olarak belirlenmesinde bir uzlaşma yerine gelmelidir. Normal çalışma şartları altında yüksek verim için küçük rotor direnci gerekir; küçük rotor direnciyle kalkınma

anında stator akımı büyük, güç faktörü ve kalkış momenti küçük olur. Sargılı rotor kullanımı uzlaştırıcı bir değer ihtiyacından kurtulmak için etkin bir yoldur. Yol alma süresince rotora dışarıdan seri olarak kademeli dirençler bağlanır. Netice olarak kalkınma momenti artacak ve akım azalacaktır. Zaten yol alma işleminden de beklenen budur (Fitzgerald, 1983). Deneylerimizde bu durumu açıklayıcı moment-devir sayısı eğrileri ölçekli olarak verilecektir. Seri bağlanan harici dirençler kısmen devreden çıkarılarak hızlanma aralığındaki moment değeri artırılır. Rotor sargıları kısa devre edilince sürekli çalışmaya geçilir. Eğer kalkış anında yüksek moment isteniyorsa devrilme momenti kalkış anında sağlanabilir. Böylece motor tam yük ile kalkınabilir. Bu durum bilezikli asenkron motorun başlıca üstünlüğüdür.

Burada bir avantaj da ısı şeklinde kaybolan enerjinin dış çevreye yayılması; motorun kendi içinde kalmamasıdır (El-Hawary, 1986).

Rotor sargıları normal alternatif akım sargıları veya iki tabakalı doğru akım sargısı tipinde olabilir. Bu sargılar, stator sargılarında olduğu gibi, normal iletkenlerden veya çubuk sargılardan oluşur. Rotor sargıları, çoğunlukla bir olukta en azından iki bobin yanı bulunan, iki tabakalı sargılardır. Bir rotor fazı bobininin bir yanı oluğun alt tabakasında, diğer yanı ise, başka bir oluğun üst tabakasında bulunur.

1.2. Senkron Makinalar

Senkron makinalar generatör ve motor olarak çalışmak üzere imal olunurlar. Bundan başka bağlı olduğu şebekeye çok büyük sığa gösterebilen dinamik sığa olarak çalışmak üzere de yapılabilirler. Bütün senkron makinaların enerji dönüşümü yapabilmesi için gerekli ve yeter şart, senkron hız

denilen sabit bir hızda dönmesidir. Çalışma karakteristiklerinde yük açısı ve güç faktörü en çok rol alır.

Sincap kafesli indüksiyon makinalarının maliyetleri ve arıza yapma oranları diğerlerine göre daha düşük kalmaktadır. Buna karşılık da bu makinaların verimleri ve güç faktörleri düşüktür. Dolayısıyla besleme tarafının görünür gücü yüksek olmak zorundadır. Verimin ve güç faktörünün önem kazandığı uygulamalarda indüksiyon makinasına alternatif, senkron makina olmaktadır. MW ' lar mertebesindeki güçlerle yapılan tahriklerde senkron motorlar alternatifsizdir. Bunun sebebi büyük güçlerde, doğru akım makinalarının komotatorünün kullanışsız hale gelmesi, indüksiyon makinasının veriminin daha da düşmesidir. Çünkü büyük makinalarda hava aralığı da aynı oranda büyüyeceğinden ve statorun rotorda indükleyeceği gerilimler de hava aralığıyla ters orantılı değiştiğinden indüksiyon makinalarının verimi düşük olacaktır. Senkron makinalarda indüksiyon makinalarından farklı olarak hava aralığının büyümesi fazla dezavantaj teşkil etmez. Çünkü hava aralığı akısının tamamı stator tarafından meydana getirilmez. Hatta hava aralığının büyümesiyle harmonikler azalır. Bunların yanında güç elektroniğinin yakın zamanlardaki gelişimi de önemlidir. Bu sayede senkron motorun devrinin hiç değişmemesi ve şok yüklerde kararlılığın bozulması problemleri de halledilebilmiştir. Değişik konverter topolojileri, çoğunlukla bir rotor pozisyon sensörüyle yapılan bir kapalı çevrim kontroluyla başarılan "Self Kontrollü Senkron Motor" tahrik sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Siemens firması 1968 ' de ilk incelemelerini yapmış, 1969 ' dan itibaren senkron motor kontrol yöntemlerini kullanmaya başlamıştır.

Bununla birlikte MW ' lar mertebesinde güçlerde, senkron motorun güç faktörünün iyileştirilmesiyle tristörlerin doğal komutasyonunun sağlanması mümkündür. Bu da komutasyon için gerekli ilave devrelerin kalkmasıyla maliyetten, hacimden, işletme ve bakım yönünden kazanç getirir. Bu yüzden büyük güçlerde, güç elektroniği ile beraber önemi hayli artmıştır.

Senkron motorun aynı güçteki bir doğru akım makinasına göre gürültüsü az, ağırlık ve ataleti küçüktür. Ancak sincap kafesli asenkron makinadan maliyetçe fazla, hacimce daha büyük ve de bakım ihtiyaçları daha fazladır. Buna karşılık rotoru sargılı veya daimi mıknatıslı senkron motorlarda ise verim ve güç faktörü daha iyidir.

Değişken hızlı tahriklerde, düşük güçlere gidildikçe daimi mıknatıslı (permanent magnet) motorlar tercih edilmektedir.

Senkron makinalar rotor yapısı ve rotordaki uyartım şekline göre üç grupta inceleyebiliriz.

- 1.Yuvarlak kutuplu senkron makinalar.
- 2.Çıkık kutuplu senkron makinalar.
- 3.Daimi mıknatıslarla uyartılmış senkron makinalar.

1.2.1. Yuvarlak Kutuplu Senkron Makinalar

Bu makinaların hem rotor çevresi hem de stator iç çevresi sabit yarıçaplı silindirik yüzeylerden oluşurlar. Başka bir deyimle, yuvarlak kutuplu senkron makinaların statoru ile rotoru arasında çapsal doğrultuda kalan hava aralığının boyu sabittir.Genellikle kutup sayısı küçük, senkron devir sayısı yüksek ve buna uygun olarak rotor çapı küçük , boyu uzun olarak imal edilirler.

Yuvarlak kutuplu senkron makinalar, sabit kısım stator ve dönen kısım rotor ve bunların taşıdıkları sargılardan oluşur. Rotorda doğru akımla beslenen uyartım sargısına ilaveten rotorun dış çevresi boyunca kısa devre edilmiş çubuklardan oluşan ve asenkron olarak kalkınmaya ve sürekli çalışmada kararlı çalışmayı devam ettirmeye imkan tanıyan amortisman sargıları vardır.

1.2.2. Çıkık Kutuplu Senkron Makinalar

Çıkık kutuplu senkron makinalar çapsal doğrultuda stator ile rotor arasında kalan hava aralığı her noktada sabit olmayan senkron makinalardır. Genellikle büyük kutup sayısında ve küçük senkron hızlar için imal edilirler. Buna uygun olarak da rotor çapı büyük ve boyu kısa olarak imal edilirler.

Çıkık kutuplu senkron makinalarda da yuvarlak kutuplu makinalar gibi, sabit kısım stator ve dönen kısım rotor ve bunların taşıdıkları rotor ve stator sargılarından oluşurlar (Sarioğlu, 1994).

Her iki tip makinada da rotor sargısı, uyartım veya alan sargısı olarak; stator sargısı ise indüklenme olayının meydana geldiği yer olması itibarıyla endüvi sargısı olarak da isimlendirilirler.

1.2.3. Daimi Mıknatıslı Senkron Makinalar

Makina yapımcıları tarafından bu motora "bir stator içinde iki motor " ismi verilmiştir. Stator yapısı yine döner alan makinalarının aynısıdır. Levha paketinden oluşan statorda döner alan sargısı bulunur. Bu makinaları diğer makinalardan ayıran tüm özellikler rotorundan gelmektedir (Aldemir, 1977).

Rotorda motorun kendiliğinden yol almasını sağlayacak yol verme kafesi bulunur. Rotorda ayrıca daimi mıknatıslar ve kaçak akı olukları yer almıştır. Daimi mıknatıslar uyartım görevini yaparak, makinanın senkron hızda

çalışmasını sağlarlar. Kaçak akı olukları ise stator alanlarına yayılma yolu olarak görev yaparlar ve böylece mıknatısları bu alanların mıknatıslanmayı giderici etkisinden korurlar. Kaçak akı oluklarının makina davranışı üzerindeki etkisi büyüktür. Mil ya magnetik olmayan malzemeden yapılır ya da rotor ile mil arasına magnetik geçirgenliği kötü olan bir tabaka yerleştirilir.

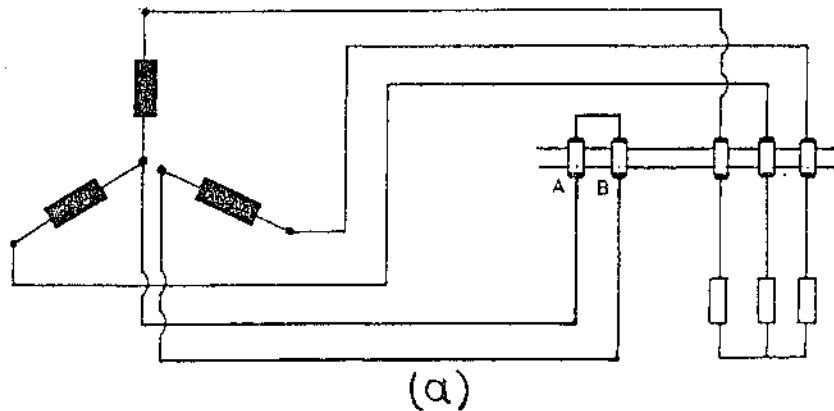
1.3. Senkronlanan Bilezikli Asenkron Motor

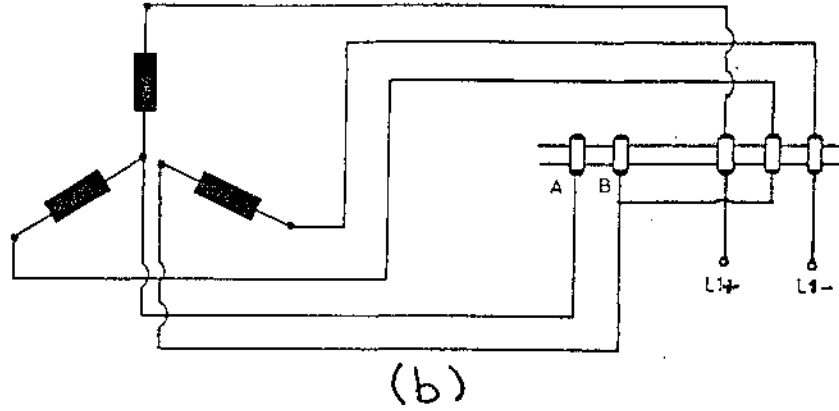
Senkronlanan asenkron motor, bilezikli asenkron motorla senkron motorun bir birleşimidir. Böylelikle asenkron motorun üstün kalkış özellikleri ile senkron motorun yüksek verim ve güç katsayısının düzeltilmesi gibi sürekli çalışma özellikleri bir araya getirilmiştir. Birleştirilen her iki motorun mahsurları ise, motorun yapısında değişiklikler yaparak en aza indirilmeye çalışılır. Yapı olarak bilezikli asenkron makinaya benzer. Ancak, rotor sargıları genelde bilezikli asenkron motordan farklıdır (İmeryüz ve Çetin, 1991). Senkronlanan asenkron motor, rotor devresine bağlanan yol verme dirençleri üzerinden asenkron olarak yol alır. Makina senkron hız yakınlığında çalışırken rotor sargısına doğru gerilim uygulayarak motor senkronlanır. Senkronlama süresince yuvarlak rotorlu senkron makina için geliştirilen ifadeler geçerlidir (Cottan, 1925).

Özel tasarlanmamış, bilezikli asenkron motorun rotor sargısında bağlantı değişikliği yapılarak elde edilen senkronlanan asenkron motorların senkron devrilme momentleri küçük ve yükleme aralığı sınırlıdır. Uyarım için rotorun doğru akım beslemesi, genellikle yük akımına bağlı köprü doğrultuculu devrelerle salanır. Özel tasarlanan senkronlanan bilezikli asenkron motorun maliyeti, senkron ve bilezikli asenkron motorların maliyetinden daha fazladır.

Danielson ' un senkron çalışma için kullandığı Şekil 1.1 'deki rotor sargı bağlantısı hala yaygın olarak kullanılmaktadır.

İmeryüz ve Çetin (1991), senkronlanan asenkron motorun senkron çalışma özelliklerinin iyileştirilmesi için Şekil 1.2 ' deki rotor bağlantısını düşünmüştür. Rotor sargısı yol alırken gücün artması için yıldız bağlanır, senkron çalışmada ise, rotor faz sargıları birbirine seri bağlanarak tek fazlı uyarma sargısı elde edilmiştir. Böylelikle senkronlanan bilezikli asenkron motorun uyarımı, senkron makinada olduğu gibi tek fazlı bir yapıya dönüştürülür ve uyarma sargısının etkinliği artırılır. Rotörün veya uyarımın magnetomotor kuvvet dağılımı daha kuvvetlenir. Rotor akımı aynı uyarım için daha küçük; gerilimini daha büyük seçilir. Büyük gerilimli küçük doğru akımın sağlanması dahkolaydır. Neticede uyarım gücü artmıştır. Çünkü motor daha verimli kullanılmış olacaktır. Bağlantının kullanılması için rotorda mekanik ve elektriksel değişiklikler yapılmalıdır. Rotorun yıldız noktası sökülüp sadece iki sargının birer ucu birleştirilir. Sonuçta rotorun miline beş adet bilezik-fırça yerleştirmek gerekecektir. Bundan sonra beş uç, kontaktörler yardımıyla önce yıldıza göre, ilk iki bilezik kendi arasında diğer üç bilezik kendi arasında kısa devre (büyük yük veya atalet momenti altında dirençler üzerinden) , sonra seri bağlantıya göre dört bilezik-fırça yardımıyla (iki sargının birleştirilmiş ortak ucu boşta) makina senkronlanacaktır (Şekil 1.3 a,b).





Şekil 1.3 Rotor sargılarının bilezikler yoluyla seri bağlantısı

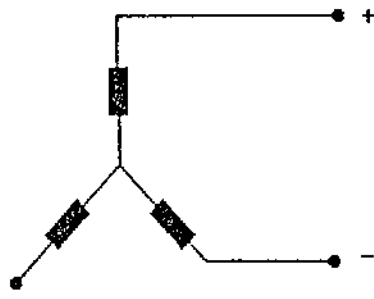
a) Kalkış anındaki şekli

b) Sürekli durumda seri bağlantı şekli

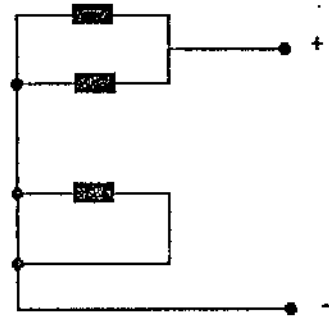
Senkronlanan bilezikli asenkron motorda, senkron çalışma için kullanılabilecek diğer rotor sargı bağlantıları Şekil 1.4 ' de verilmiştir (Brosan ve Hayden, 1966).

Değişik rotor sargı bağlantılarının tümünde yol alma anında rotor sargıları üç fazlı ve simetrik olup, motorun güçlü, yük ve toplam ataletine göre ya rotor sargısına bağlanan yol verme dirençleri üzerinden veya doğrudan motora yol verilir.

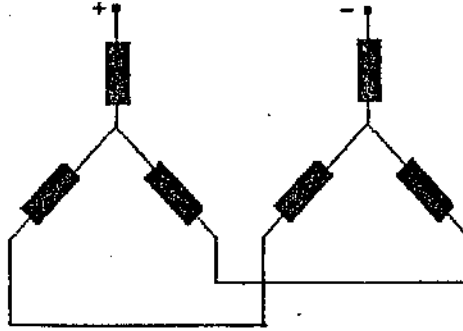
Ayrıca bazı bağlantı çeşidlerinde ise rotor bir faz sargısı boşta bırakılmayıp kendi üzerinden kısa devre edilerek amortisman görevini yapacak bir sargı ortaya çıkarılmıştır.



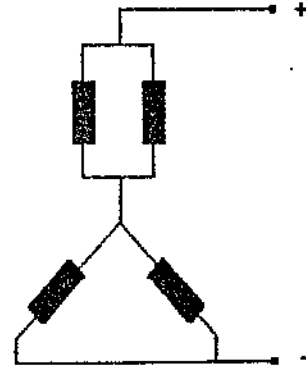
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil1.4. Senkron Çalışma İçin Kullanılabilecek Diğer Rotor Sargısı Bağlantı

Şekillerinden Örnekler

(a) Bir faz sargısı açık devre

(b) Çift V sargılı

(c) Çift yıldız

(d) Üçüncü fazı çift sargılı

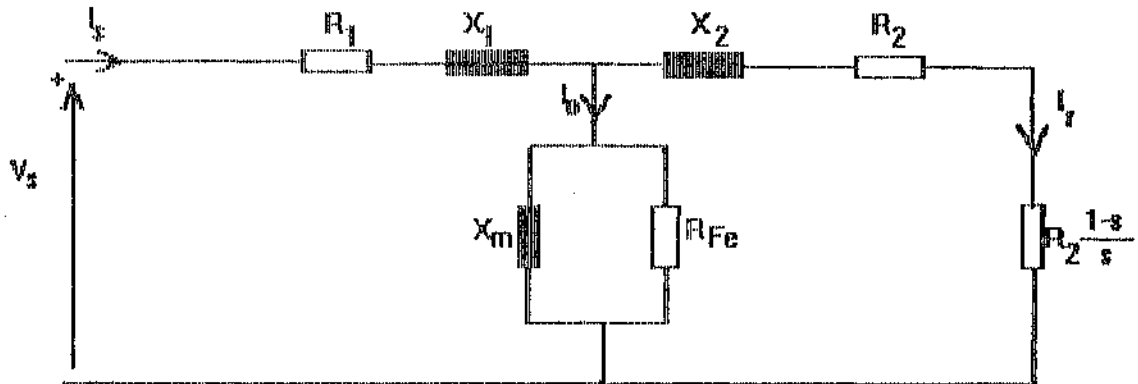
BÖLÜM 2

SENKRON VE ASENKRON ÇALIŞMA SÜREKLİ DURUM MODELLERİ

Bu bölümde bilinen eşdeğer devre ve denklemlerden yola çıkılarak teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılacaktır. Yapılan deneyler ve alınan ölçümler ve bunlara dayanarak yapılan hesaplamalar, bir asenkron ve bir de senkron çalışma durumlarında ayrı ayrı olarak yapılmıştır. Buna göre her iki durumun modelleri ayrı ayrı kurulup incelenecektir.

2.1. Asenkron Çalışma Sürekli Durum Modeli

Asenkron makinanın bilinen tam eşdeğer devresi ele alınacaktır (Şekil 2.1). Bazı hallerde orta kol sola alınarak veya demir kayıplarını temsil eden direnç ihmal ederek yaklaşımlar yapılabilmektedir.



Şekil 2.1. Asenkron Makina Tam Eşdeğer Devresi

Bu devre elemanlarının bulunması için bazı testler gerekmektedir. Test sonuçlarından elemanların hesaplanması ile asenkron makinanın sürekli durumu kolaylıkla çözülebilmektedir.

2.1.1. Stator Direnci Testi

Bir ohmmetre yardımıyla doğru akım şartlarında stator direnci ölçülür. Alternatif akım şartlarında ve çalışma sıcaklığında bakır kayıplarına sebep olan etkin direnç ölçülen değerden daha büyüktür. Genellikle bu 1.1 ile 1.4 arasında bir katsayıyla ölçülen değerın çarpımına eşit olmaktadır. Bazı kaynaklardaysa doğrudan ölçülen değer alınabilmektedir. Makinanın kısa devre deneyinden hemen sonra ölçüm yapılmasıyla farkı hesaba alınabilir.

2.1.2. Boşda Çalışma Deneyi

Makinanın milinde mekanik bir yük olmadan, nominal gerilim altında çalıştırılmasıdır. Asenkron makinanın karakterine göre yüksüz durumda kayma düşük olacaktır. Eşdeğer devreden görüleceği gibi mekanik yükü temsil eden direnç veya rotor empedansı çok büyüyeceğinden rotor çok akımı azalacaktır. Bu akım ise dönme kayıplarına karşılık gelen momenti üretecektir. Meydana gelen kayıpların veya çekilen aktif gücün, bir transformatördeki gibi, çoğunluğu demir kayıplarından oluşur. Ayrıca hıza bağımlı olan sürtünme kayıpları da dahil olup demir kayıplarıyla beraber sabit kayıplar olarak alınır.

Bu durumda rotor tarafı ihmal edilip eşdeğer devrenin sadece orta kolu göz önüne alınır. Ölçülen aktif güçten stator bakır kayıpları çıkarılarak kalan kısım sabit kayıplar olarak " R_{Fe} " demir direnci ile temsil edilir. Çekilen akımın iki bileşene ayrılmasıyla yaklaşık olarak " X_m " değeri de bulunur.

$$P_o = 3 * I_o^2 * R_1 + 3 * (V_n^2 / R_{Fe}) \quad (2.1)$$

$$I_{Fe} = V_n / R_{Fe}, \quad I_m = (I_o^2 - I_{Fe}^2)^{1/2}, \quad X_m = V_n / I_m \quad (2.2)$$

2.1.3. Kısa Devre Deneyi

Makinanın mili tesbit edilerek, statora nominal akımı akıtacak kadar bir gerilim tatbik edilir. Makina, hava aralığı olan bir transformatör gibi çalışır. Kayma, $s=1$ olduğundan mekanik yükü temsil eden direnç de kısa devre olduğundan rotor akımı büyüyecektir. Gerilim ayarlanarak bu akım nominal değerde sınırlanır.

Gerilimin düşmesiyle demir kayıpları düşer. Rotor empedansı da çok küçük kaldığından ve dönme kayıpları da olmadığından eşdeğer devredeki orta kol ihmal edilir. Çekilen aktif güç veya oluşan kayıplar, bakır kayıpları; stator direnci ve dönüştürülmüş rotor direncinde oluşan kayıplar olarak alınır. Kısa devre empedansından toplam reaktans bulunursa, stator ve rotor kaçak reaktansları eşit alınarak buradan yaklaşık değerleri çekilebilir.

$$P_k = 3 * (R_1 + R_2) * I_n^2 \quad (2.3.)$$

$$Z_k = V_k / I_n, (X_1 + X_2) = (Z_k^2 - (R_1 + R_2)^2)^{1/2}, X_1 = X_2 \quad (2.4.)$$

2.1.4. Hesaplamalar ve Bilgisayar Programı

Eşdeğer devreye dayanarak aşağıdaki formüller verilebilir.

$$I_s = \frac{V_s}{R_1 + jX_1 + \left[\frac{1}{\frac{1}{R_{Fe}} - \frac{j}{X_m} + \frac{s}{R_2 + j*s*X_2}} \right]} \quad (2.5)$$

$$I_r = \frac{I_s}{1 + (R_2/s + j*X_2) * (1/R_{Fe} - j/X_m)} \quad (2.6.)$$

$$M = 3 * I_r^2 * R_2 * (1-s) / s \quad (2.7.)$$

$$P_{mek} = M * W_s * (1-s) \quad (2.8.)$$

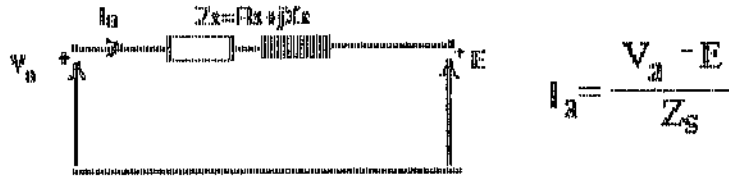
$$P_{el} = 3 * V_s * \cos \quad (2.9.)$$

$$\text{Verim} = P_{mek} / P_{el} \quad (2.10.)$$

Bir basic programı asenkron makinanın sürekli durum performansını belirleyen (2.5 - 10) denklemlerini değişik kayma değerleri için çözer.

2.2. Senkron Çalışma Sürekli Durum Modeli

Yuvarlak kutuplu senkron makina eşdeğer devresi bu durumda ele alınacaktır (Şekil 2.2.). Bu devrenin elde edilmesi için, önce transformatör eşdeğeri devre kurulur. Sonra, uyarma akımının endüvi eşdeğerinin akım kaynağı şeklinde mıknatıslanma reaktansına paralel olarak gösterildiği devreye geçilir. Bu devreden de endüvi direnci kaçak reaktans ve mıknatıslanma reaktansının toplamı olan senkron empedansdan ve endüklenen gerilimden oluşan devreye geçilir. Bu hal devrenin en sade ve genel hali olur.



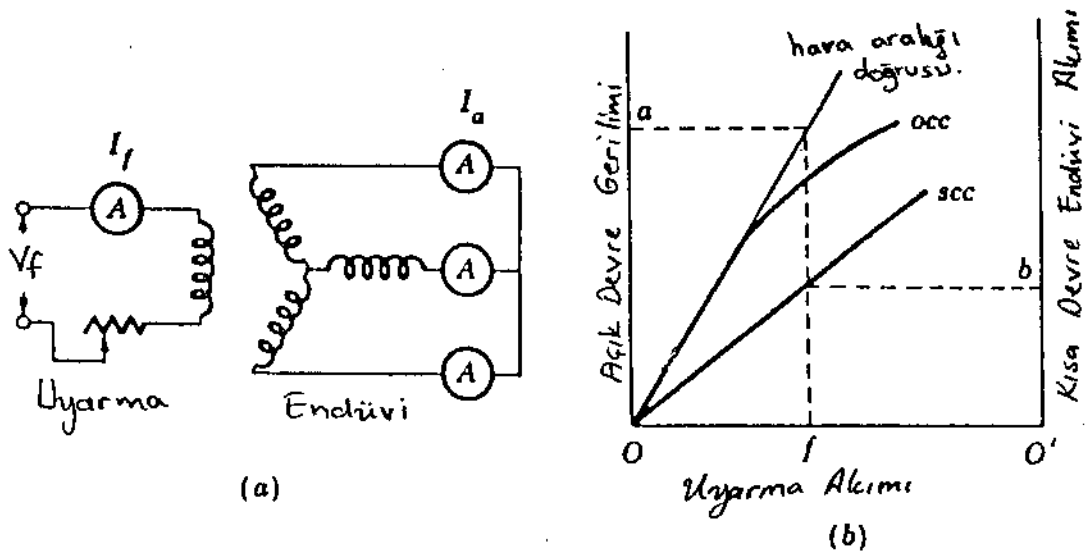
Şekil 2.2. Senkron Makina Eşdeğer Devresi

Bu devrede, senkron empedans bileşenleri devre parametreleri olup değerlerinin belirlenmesi için yapılacak deneylerin ismi asenkron makina için yapılan deneylerle aynıdır. Fakat gerçekte sadece stator direncinin test edilmesi aynıdır.

2.2.1 Boşta Çalışma (Açık Devre) Deneyi

Makina, senkron hızda döndürülürken uyarma akımı ile endüvi açık devre geriliminin değişimini verir (Şekil 2.3.b). Şekilde "occ" kısaltması kullanılmıştır. Deney esnasında makinayı döndürmek için gereken güç

ölçülebilirse boşta çalışma kayıpları veya sabit kayıplar bulunabilir. Hız ve buna bağlı dönme kayıpları sabit iken demir kayıpları açık devre geriliminin parabolik fonksiyonudur. Uyarımsız durumda ise sadece dönme kayıpları meydana gelir. Bu kayıplar, nominal gerilimin üretildiği zamadaki kayıplardan çıkarılırsa demir kayıpları bulunur. (Fitzgerald, 1983).



Şekil 2.3. (a) Kısa devre deneyi bağlantısı,

(b) Açık devre ve kısa devre karakteristikleri

2.2.2. Kısa Devre Deneyi

Bir generatör olarak, senkron hızda tahrik edilen bir senkron makinanın endüvi uçları uygun ampermetreler üzerinden kısa devre edilir (Şekil 2.3.a). Uyarma akımı, endüvi akımı emniyetli olan en büyük değerini (yaklaşık nominal akımın iki misli) alıncaya kadar artırılırsa endüvi akımının uyarma akımına karşı değişimi çizilir. Bu bağıntıya kısa devre karakteristiği denir (Şekil 2.3.b). Şekilde "scc" kısaltması kullanılmıştır.

Senkron reaktans endüvi direncine göre çok büyük olduğundan endüvi akımı uç gerilimini (90 dereceye yakın) geriden takip eder. Dolayısıyla endüvi reaksiyon magnetomotor kuvvet dalgası, uyarma kutup eksenini ile hemen hemen aynı ekseninde ve uyarmanınkine zıt yönlüdür. Hava aralığı gerilimi veya endüvi direnci ve kaçak reaktans üzerindeki gerilim düşümü, bileşke magnetomotor kuvvet tarafından üretilir.

Bu durumda makina doymamış durumda çalışır. Bu yüzden endüvi kısa devre akımı nominal değerinin üst kısımlarında da uyarma akımı ile doğru orantılıdır (Fitzgerald, 1983).

2.2.3. Senkron Empedansın Bulunması

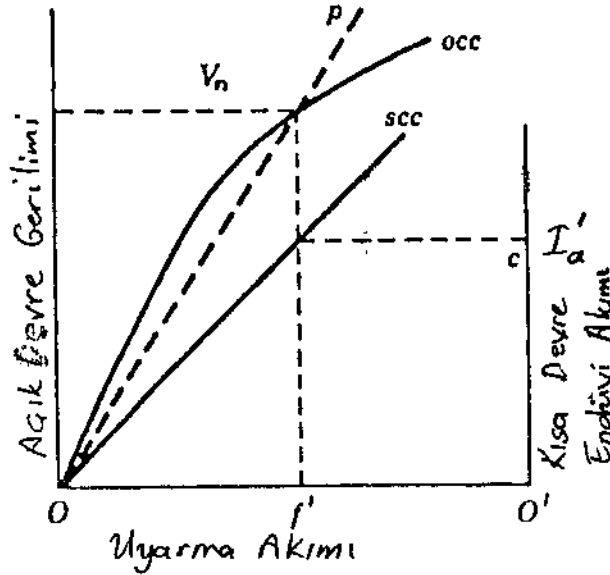
Doymuş ve doymamış senkron empedans değerleri açık ve kısa devre deneylerinin sonuçlarından bulunabilir. Doymamış durum için açık devre karakteristiğinin ilk doğrusal kısmına teğet çizilir. Bu teğetin nominal gerilime karşı geldiği uyarma akımı esas alınır. Nominal gerilimin, bu uyarma akımına karşı gelen kısa devre akımına oranlanmasıyla senkron empedans doymamış durum için bulunur. Şekil 2.3.b. de bu değer "Oa/O' b" olur. Dikkat edilirse gerilim değeri karakteristikten değil hava aralığı doğrusundan alınır. Çünkü kısa devre deneyinde doymamış durumda çalışılır.

$$Z_s = E_{n,hava\ a.} / I_k \quad (2.11.)$$

Nominal çalışma şartları genel olarak doyumsuz bölgede gerçekleşir. Dolayısıyla çoğu zaman doymamış duruma göre senkron empedans alınabilmektedir. Fakat endüvi akımı kapasitif değerli olmasıyla veya aşırı uyarım sebebiyle endüvi reaksiyonu magnetomotor kuvvet dağılımı uyarmayı desteklerse makina doyuma girer ve bu durumda doymamış senkron reaktans hesap hatalarını artırır.

Doymuş senkron reaktansın belirlenmesinde de açık devre ve kısa devre eğrileri kullanılabilir. Bunun için nominal gerilimi üreten uyarma akımı esas alınır ve bu akımın akıttığı kısa devre akımı kullanılır. Magnetik doymanın etkilerini içeren bu yaklaşım, fazla hassasiyet istenmediği zaman doğru sonuçlar vermektedir. Bu büyüklükler Şekil 2.4. 'te görülmektedir.

$$Z_s = V_n / I_a' = V_n / O'c \quad (2.12.)$$



Şekil 2.4. Doymuş Senkron Reaktans İçin Açık ve Kısa Devre Eğrilerinin İncelenmesi

2.2.4. Hesaplamalar ve Bilgisayar Programı

Senkron makina eşdeğer devresine bakıldığında, yukarıda açıklandığı şekilde senkron empedans bulunduktan sonra denklemde bilinmesi gereken sadece "E" değeridir. Endüklenen gerilim bilinirse, yük açısının değişik değerlerine göre, endüvi akımı ve açısı bulunabilir. Sabit uyarım altında makinanın yüklenmesi ile "E" değeri boşda çalışma değerinden fazla farklı olmaz. Endüvi reaksiyonu gereğince kapasitif durumda E artar, fakat doymadan dolayı bu değer fazla yükselme kaydedemez.

Sabit uyarım ile çalışırken, uyarma akımı öyle tasarlanır ki birim güç faktöründe çalışılsın; dolayısıyla makina hafif yüklerde kapasitif davranır ki bu

E' 'yi fazla değiştirmez, sadece aşırı y¼klerde ind¼ktif davranarak E' 'nin değeri azalır.

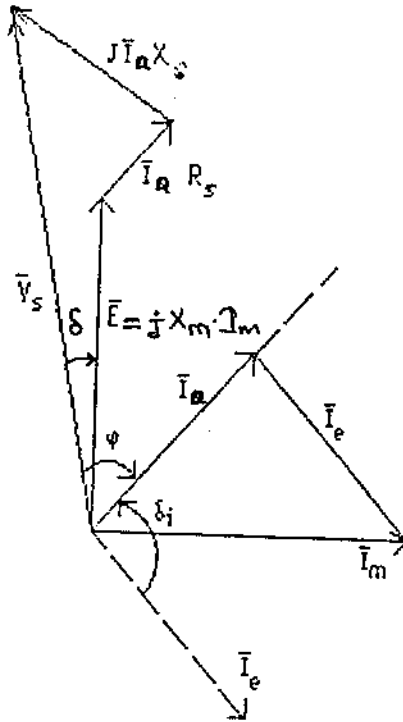
Bu durumun getireceği hata rahatlıkla g¼z ¼n¼ne alınabilir. Fakat bu hataya end¼vi direncinin ve mıknatıslanma reaktansının değişimi de ilave edilirse, hata b¼y¼r. Hesaplamalarda kapasitif durumlarda doymuş senkron reaktans alınmış; açı azalınca nominal değer civarlarında doymamış senkron reaktans alınmıştır. Bu yaklaşımlarla yapılan hesap sonuçlarıyla deneysel sonuçlar karşılaştırılacaktır.

Ayrıca, d¼n¼řt¼rme oranı bilinmek şartıyla benzeri şartlar altında end¼vi reaksiyonu etkisi hesaba alınabilir. Williamson (1980), seri uyarımlı senkronlanan bilezikli asenkron makınada y¼k akımıyla uyarma akımının beraber değişimi sebebiyle b¼yle bir modellemeyi yapmıştır. Bu modelde uyarma akımının stator eşdeğeri, d¼n¼řt¼rme oranına g¼re hesaplanarak end¼vi akımıyla bileşkesinden mıknatıslanma akımı bulunmuştur. Bu akıma g¼re E hesaplanarak denklemler öz¼lm¼řt¼r. Bu işlemleri yapmak için, end¼vi akımı reel kabul edilmiştir. Uyarma akımının stator eşdeğeri reel ve imajiner kısımlarına ayrılır. Reel kısımlar toplanarak bileşke mıknatıslanma akımı bulunmaktadır (şekil 2.5.).

Açık devre deney sonuçlarından verilerden $E=f(I_f)$ polinomu, genellikle "en k¼¼k kareler" y¼ntemiyle veya doğrudan bir hazır yazılımdan bulunur. B¼ylece bulunan mıknatıslanma akımı tekrar rotora d¼n¼řt¼r¼lerek E değeri bulunur. Mıknatıslanma akımından 90 derece ileride olan E gerilimi de (şekil 2.5.) reel ve imajiner kısımlarına ayrılır.

End¼vi akımının belli değerleri için, uyarma akımının stator eşdeğeriyle yaptığı açı, bağımsız değişken alınarak iterasyona gidilir. E gerilimi ve gerilim

düşümleri toplamı sabit uç gerilimini verince iterasyon sonuçlanır. Buradan kolayca yük açısı, akım, moment ve güç grafikleri çıkarılabilir.



Şekil 2.5. Seri Uyarımlı Senkronlanmış Asenkron Motorun Fazör Diyagramı

Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda ise eşdeğer devrenin temel formülünden yola çıkılmıştır. Bu formül reel ve imajiner olarak $\cos \phi$ ve $\sin \phi$ ayrılır. Endüvi akımı ve açısı iki tane bilinmeyen olup, iki tane denklemle elde edilir. Sabit uyarım için E değeri boşda çalışma değeri olarak alınmıştır. Endüvi akımının fazla kapasitif olduğu halde doymuş senkron reaktansı; diğer hallerde doymamış senkron reaktans hesaba alınmıştır. Bağımsız değişken olarak yük açısı alınıp, başlangıç değerlerinden sonra iterasyonla endüvi akımı ve açısı

bulunur. Moment ve güç buradan kolayca hesaplanır. Sabit kayıplar veya boşda çalışma kayıpları yaklaşık 50 watt alınmıştır. Uyarma devresi kaybı ise; gerilim 14.5V, akım 3.5 A. sabitken 50 watt 'dır.

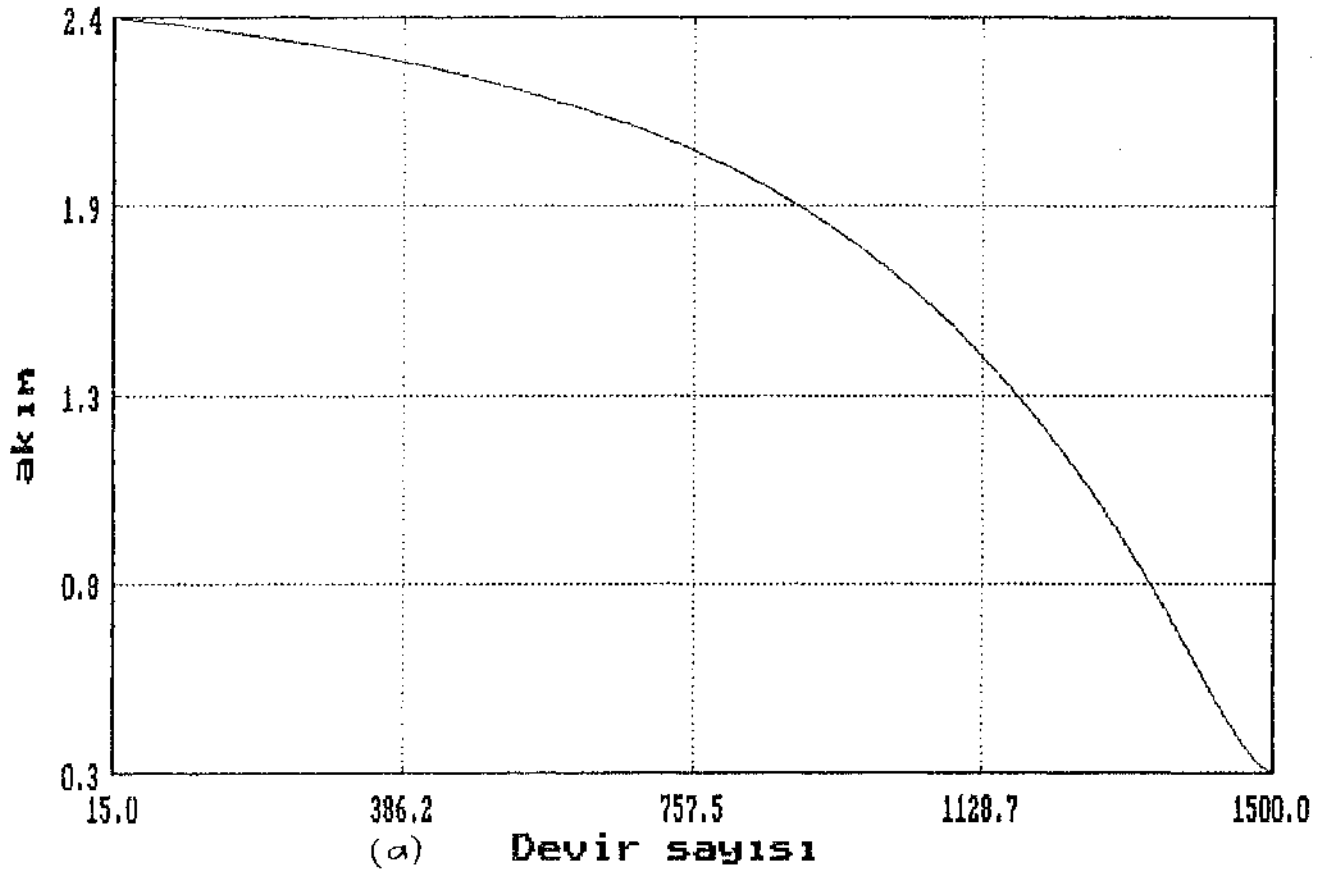
Yapılan deneylerin şeması ekte verilmiştir. Deneyde magnetik tozlu fren makinası ve takogeneratorle uyarılan kontrollu moment-hız ölçüm birimi kullanılmıştır. Yük açısının ölçümü için ise motor miline bir tel bağlanarak, arkasında, sabit, açı taksimatlı levha konmuştur. 50 Hertz'e kilitli bir stroboskop vasıtasıyla telin sapma açısı ölçülmüştür.

2.3.Sonuç

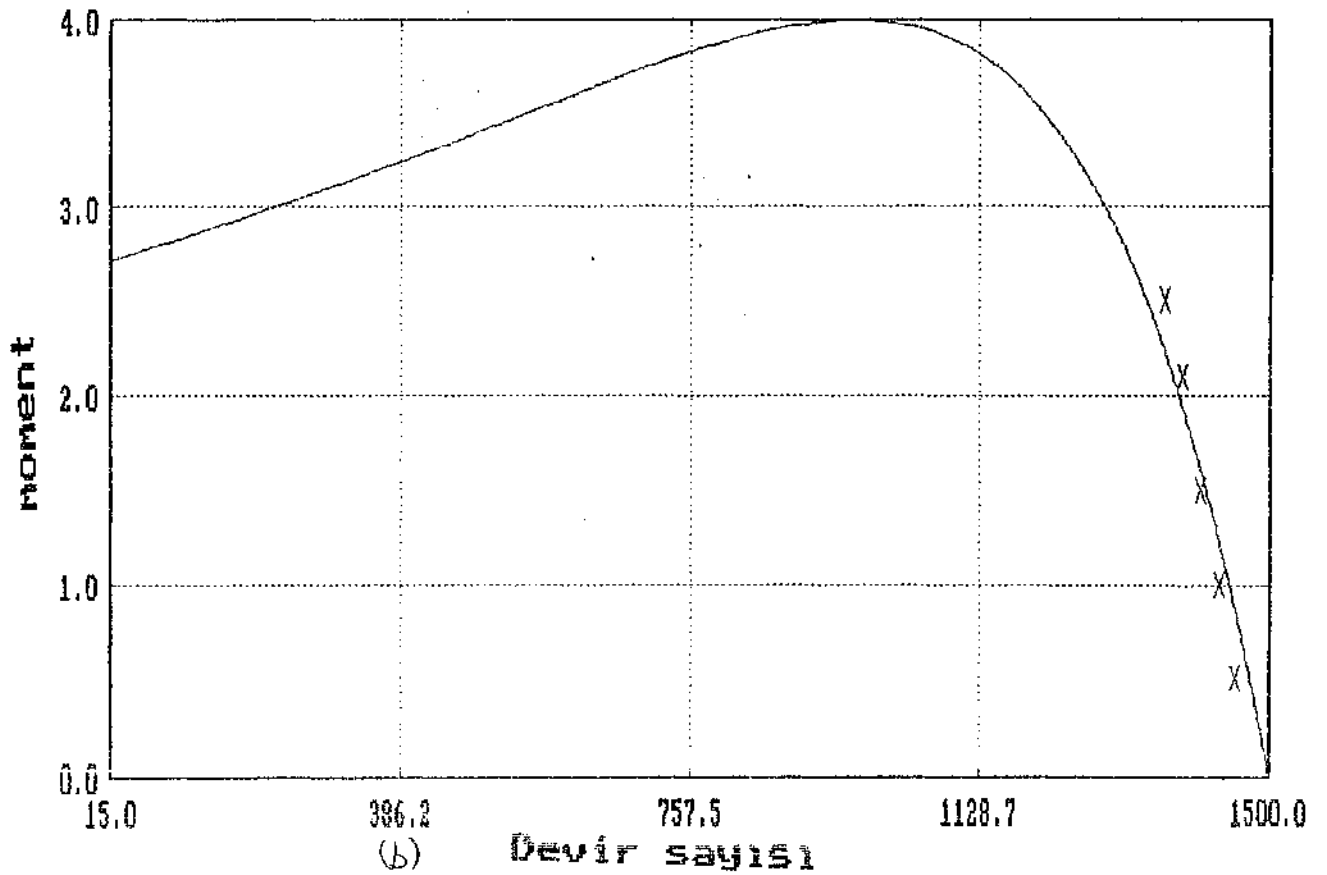
Teorik kısımlarda bahsedilen hatalar ve ölçümlerden gelen hatalarla beraber bahsedilen özellikler gösterilmiştir. Uyarma devresi kayıplarıyla beraber senkron makinanın verimi asenkron makinaninkine yaklaşmıştır. Güç faktörü yönüyle senkron makinanın daha iyi olduğu görülmüştür. Yüklenebilme kapasitesi yönüyle asenkron makinanın üstünlüğü isbatlanmıştır.

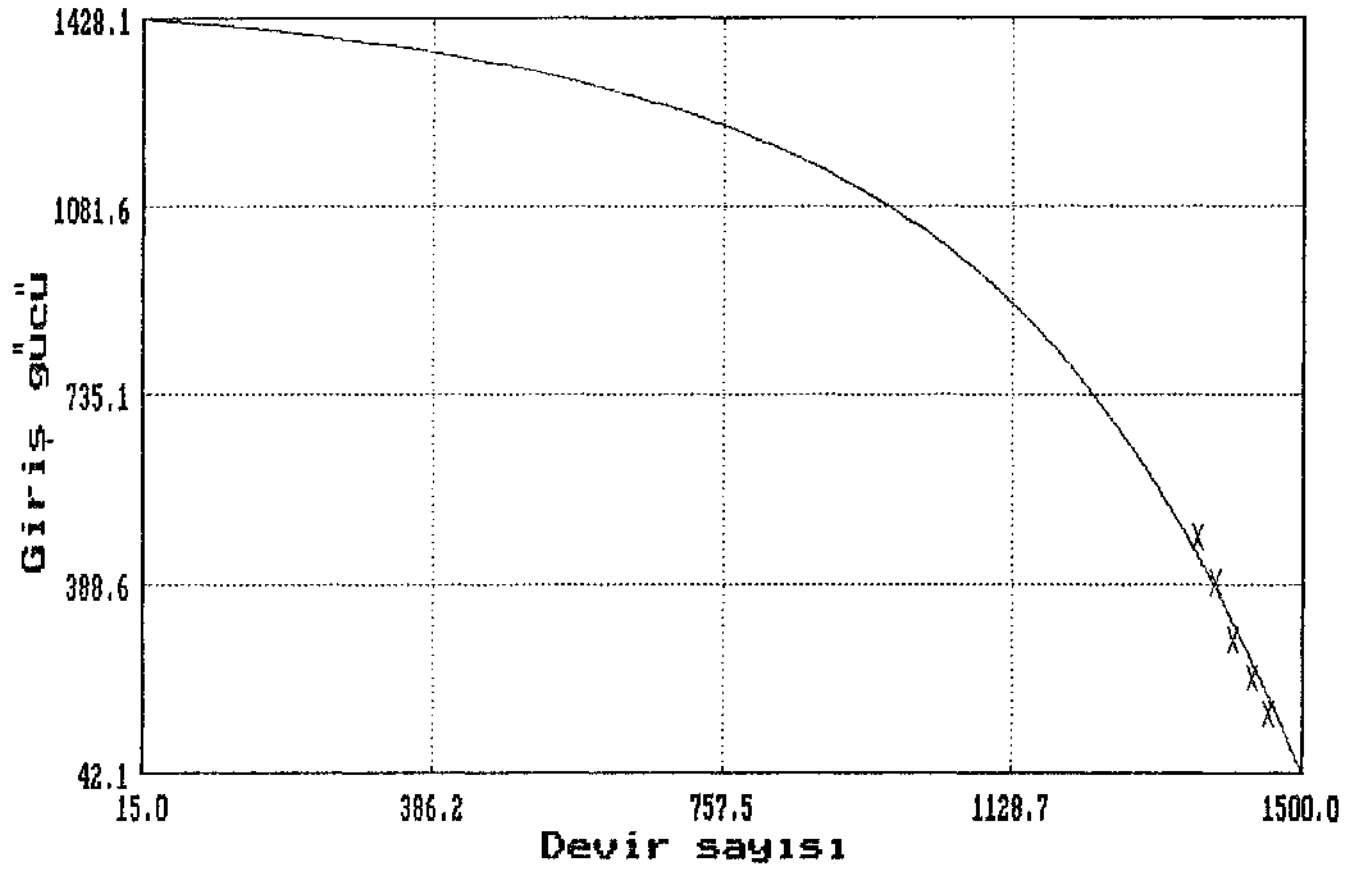
Ekte verilen asenkron motorun rotor direncinin değişimiyle kalkış akımının düşmesiyle beraber momentinin yükselmesi gösterilmiştir.

Senkron çalışmada verimin daha yüksek olması ise akımın momentle değişiminden görülebilir. Senkron makina aynı akım değerlerinde daha büyük momentler vermektedir.

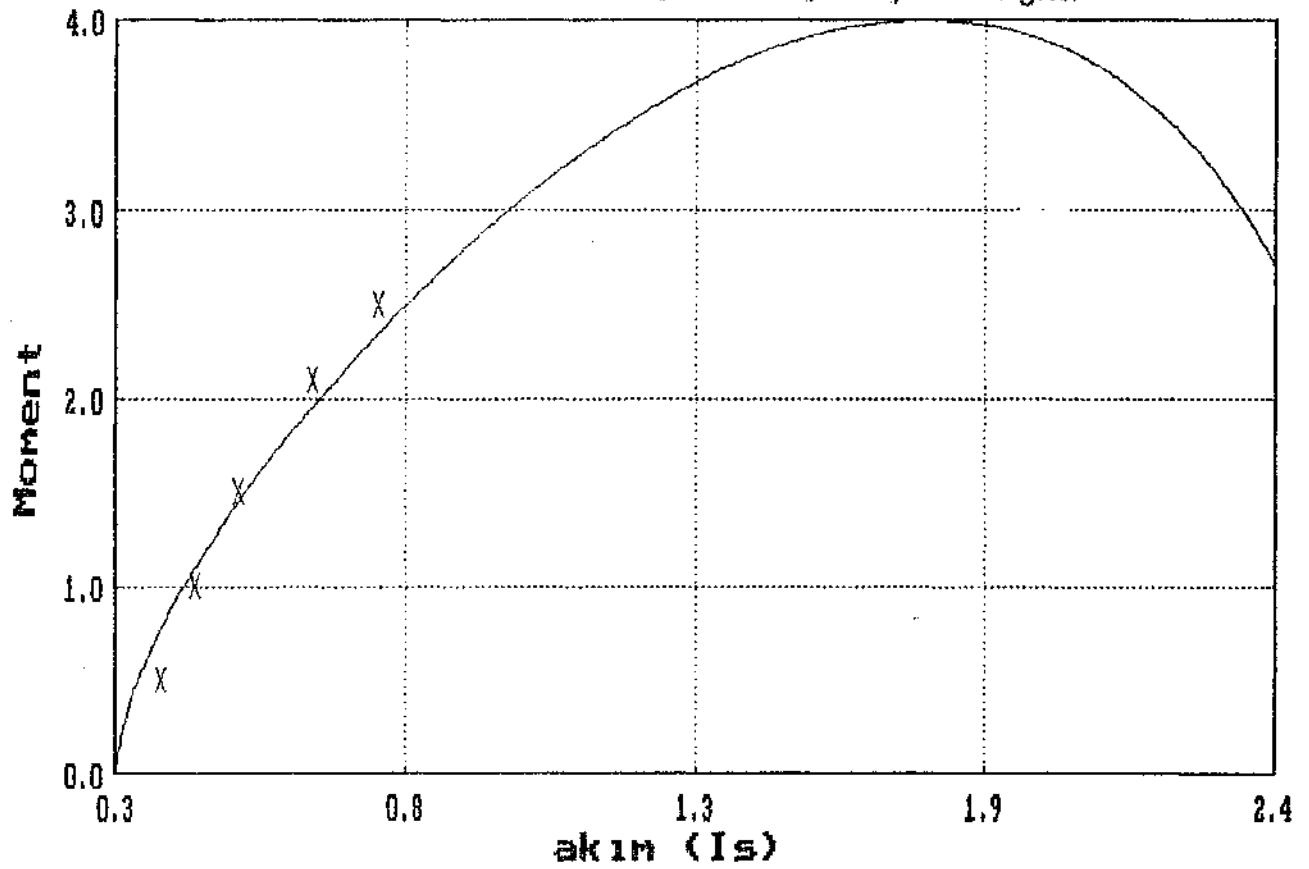


Şekil 2.6. Asenkron Çalışmada Devir Sayısına Karşı (a) Akım, (b) Moment Eğrileri

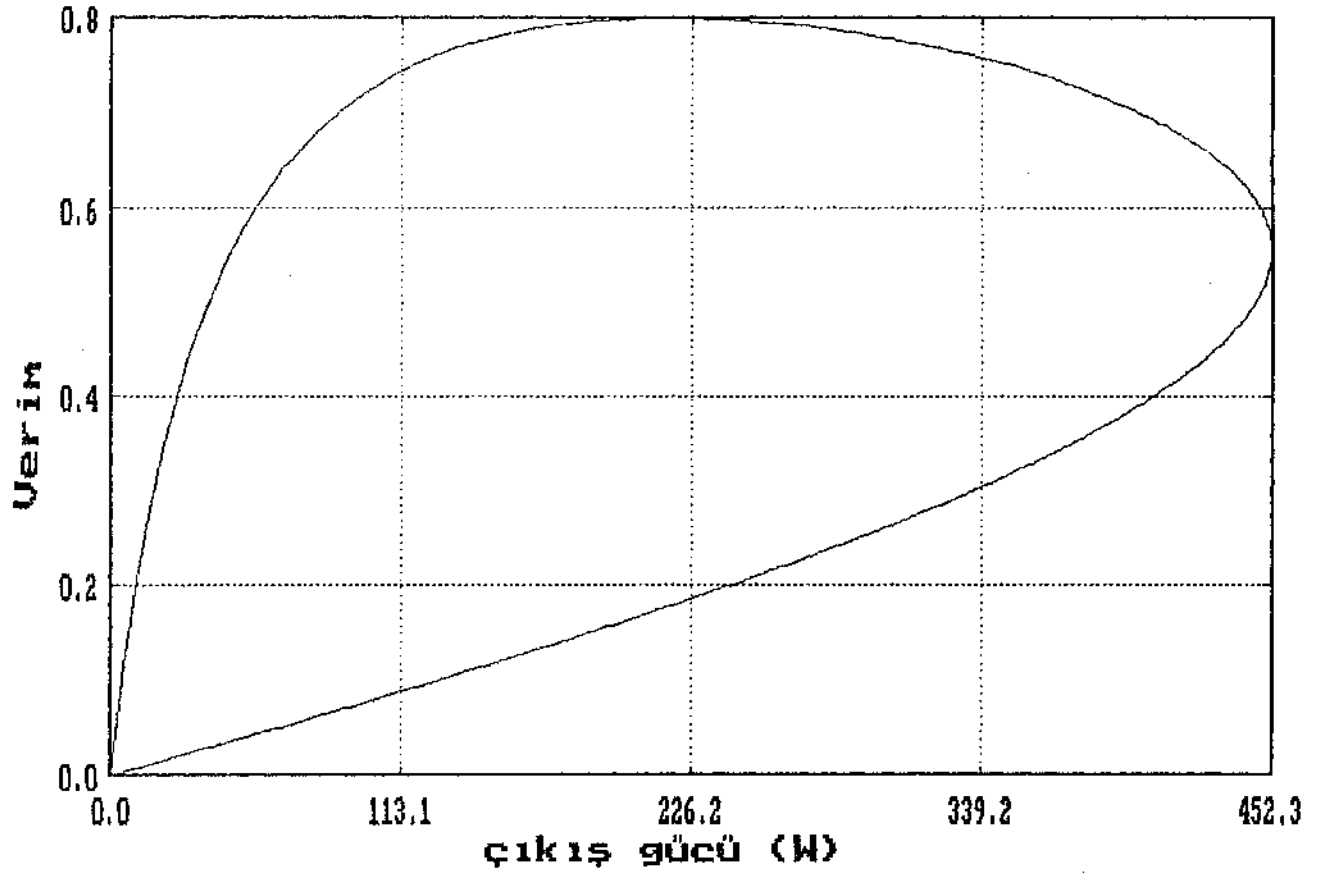




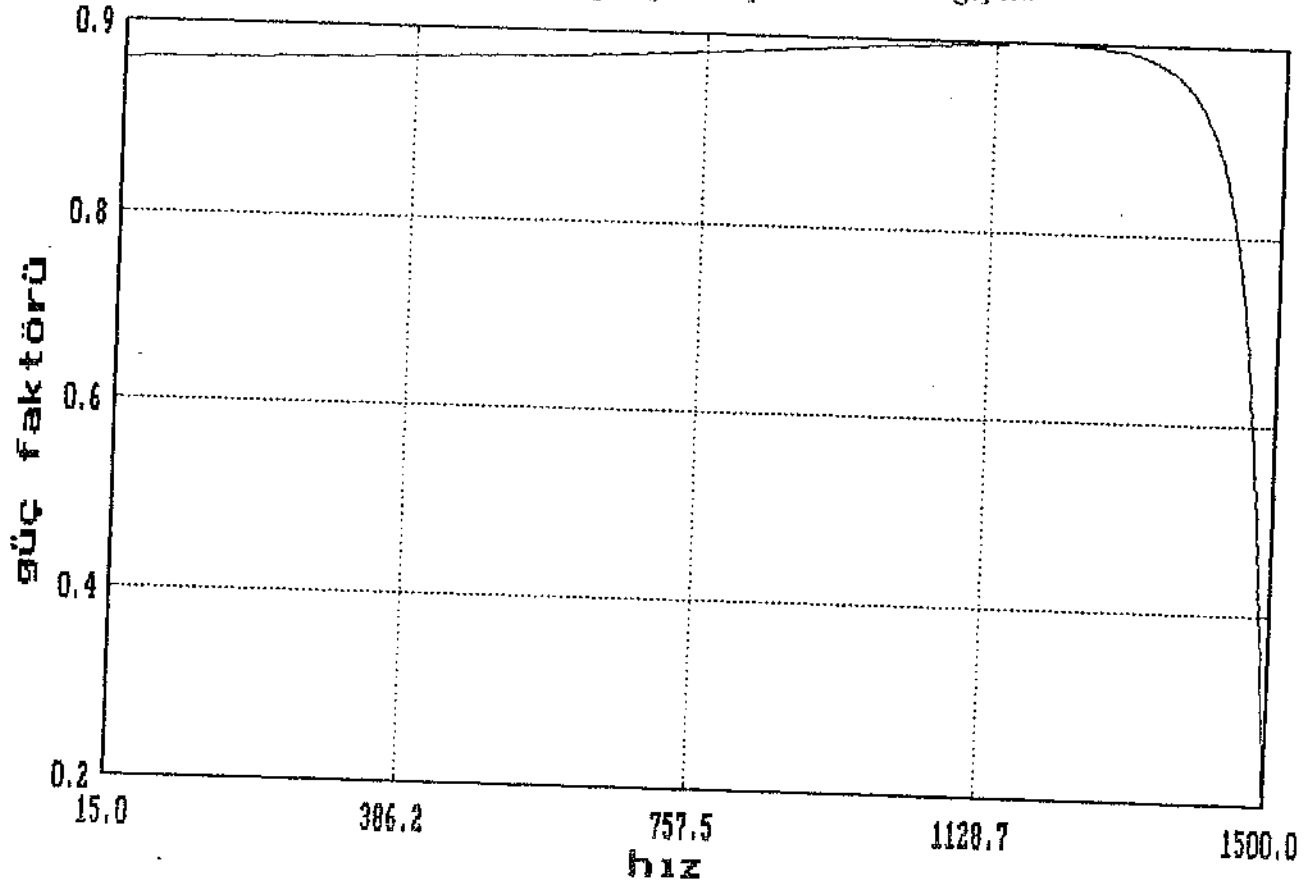
Şekil 2.7. Asenkron Çalışmada Devir Sayısına Karşı Giriş Gücü Eğrisi



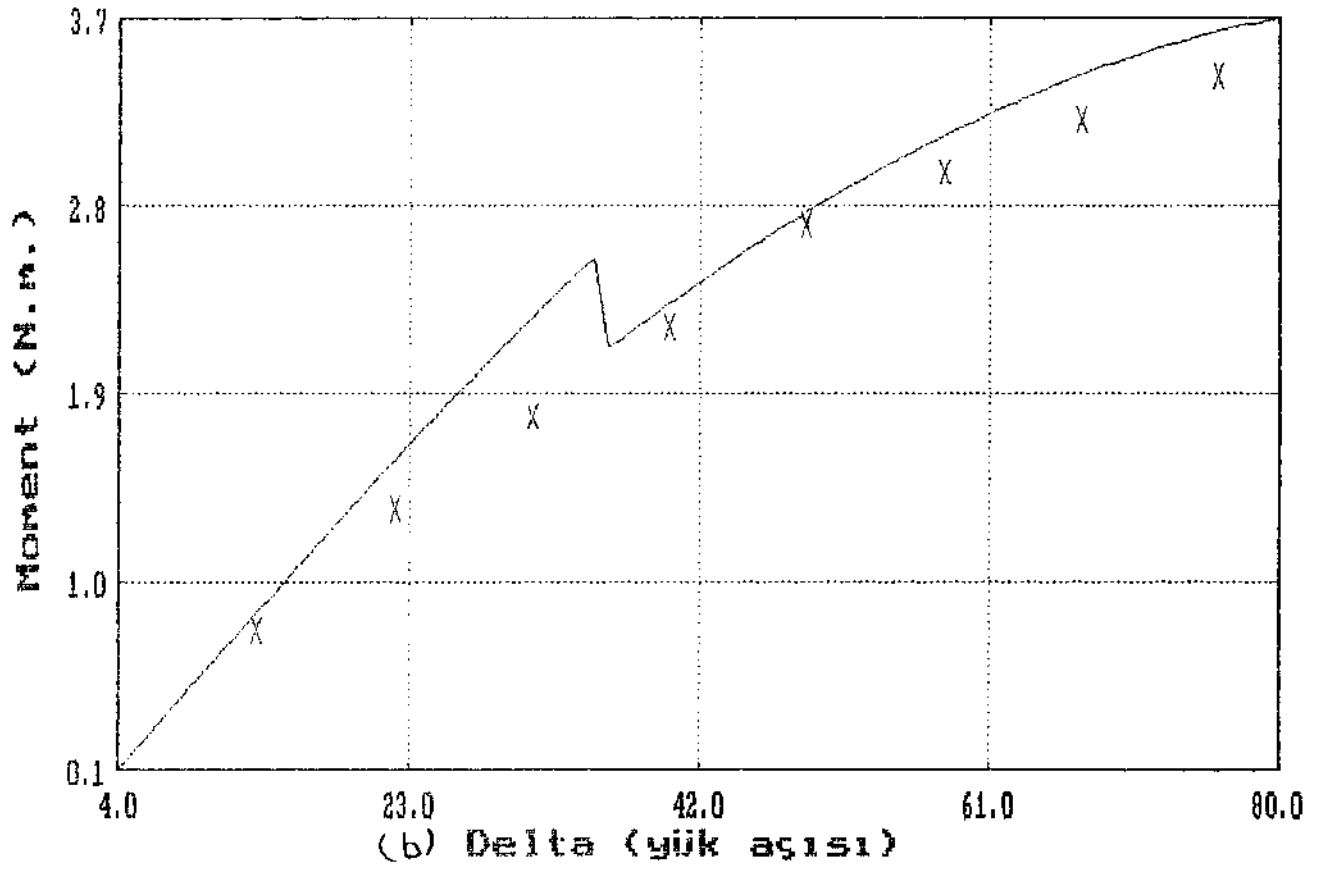
Şekil 2.8. Asenkron Çalışmada Akım ile Momentin Değişimi



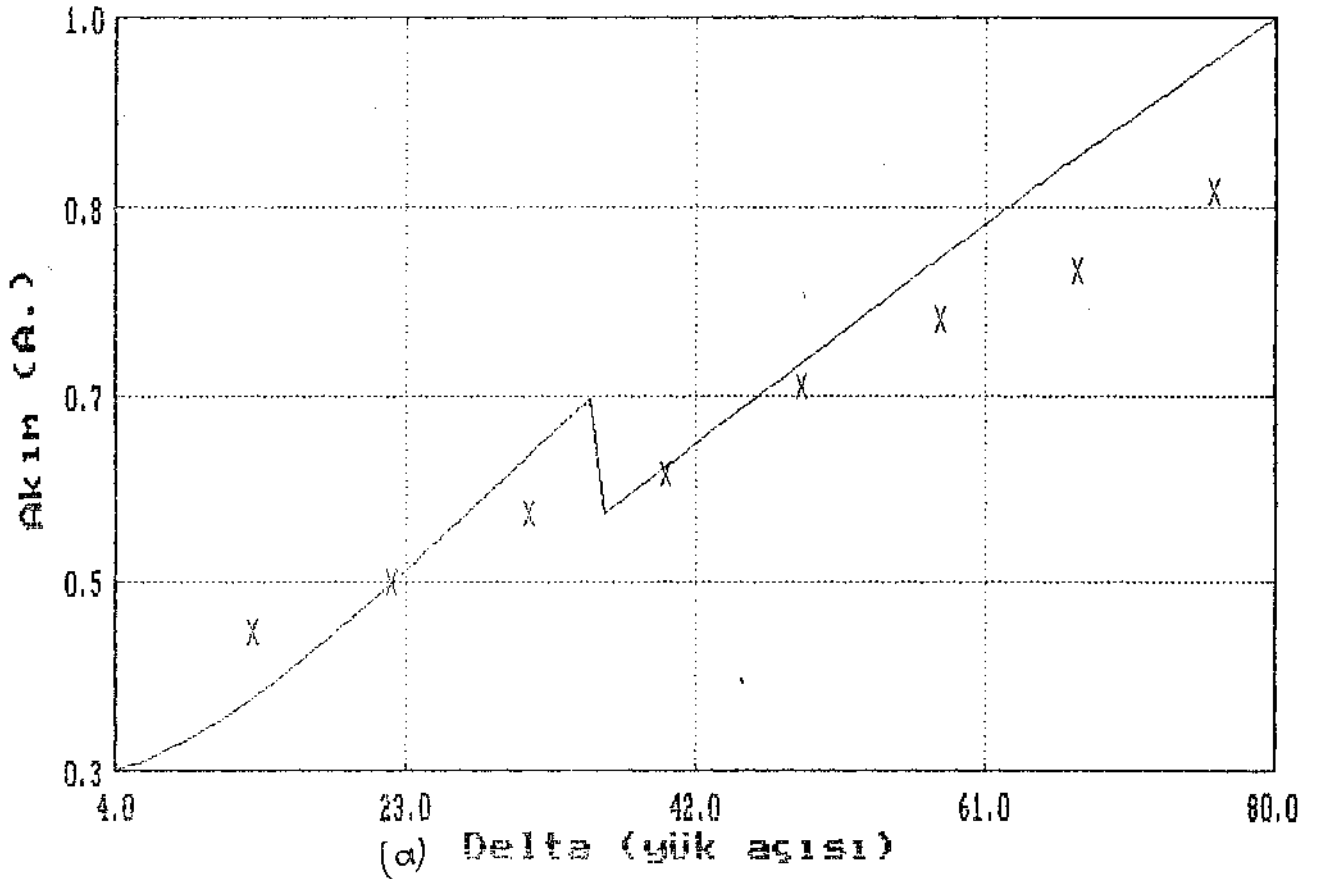
Şekil 2.9. Asenkron Çalışmada Çıkış Gücüyle Verimin Değişimi

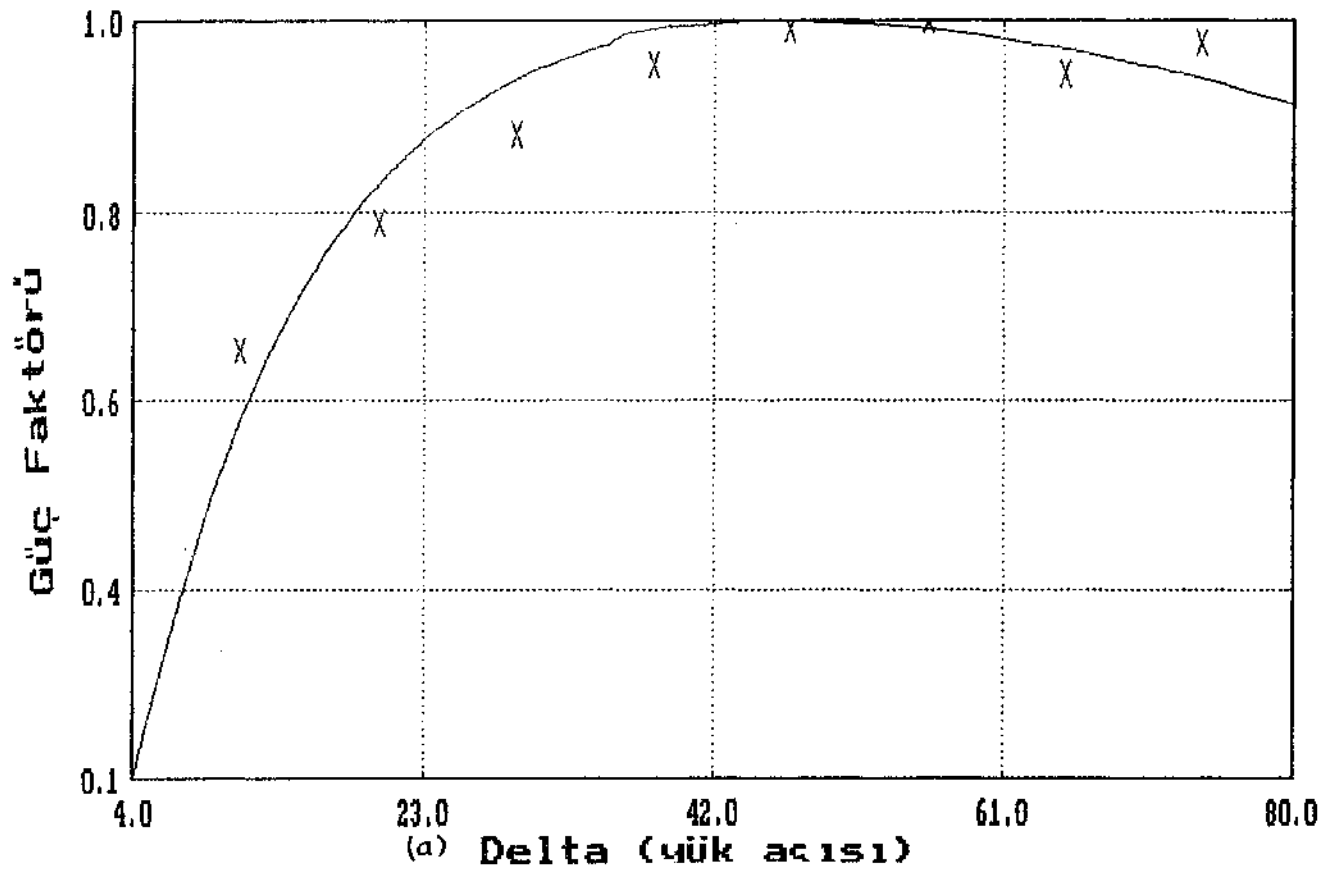


Şekil 2.10. Asenkron Çalışmada Güç Fktörünün Değişimi

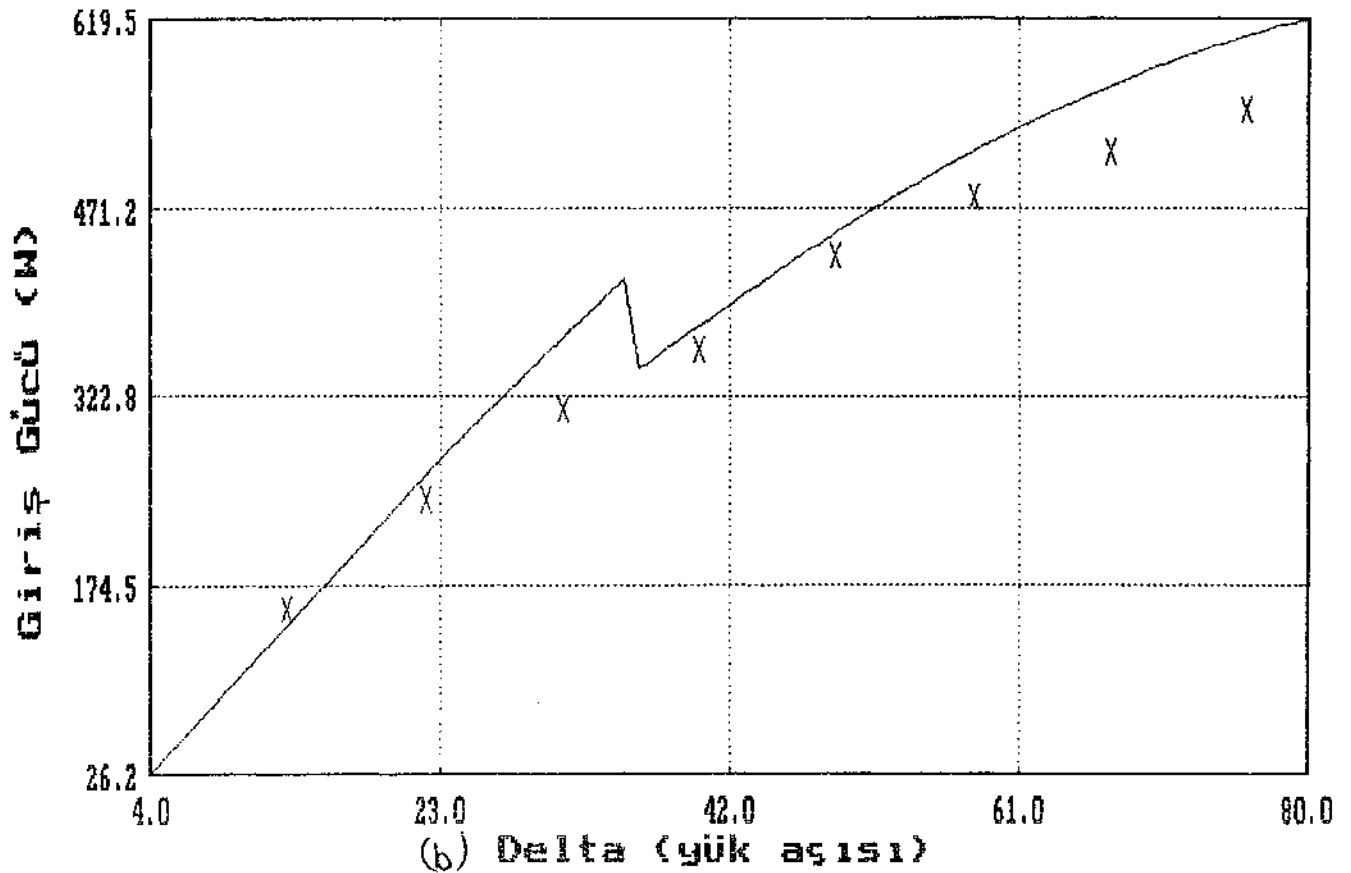


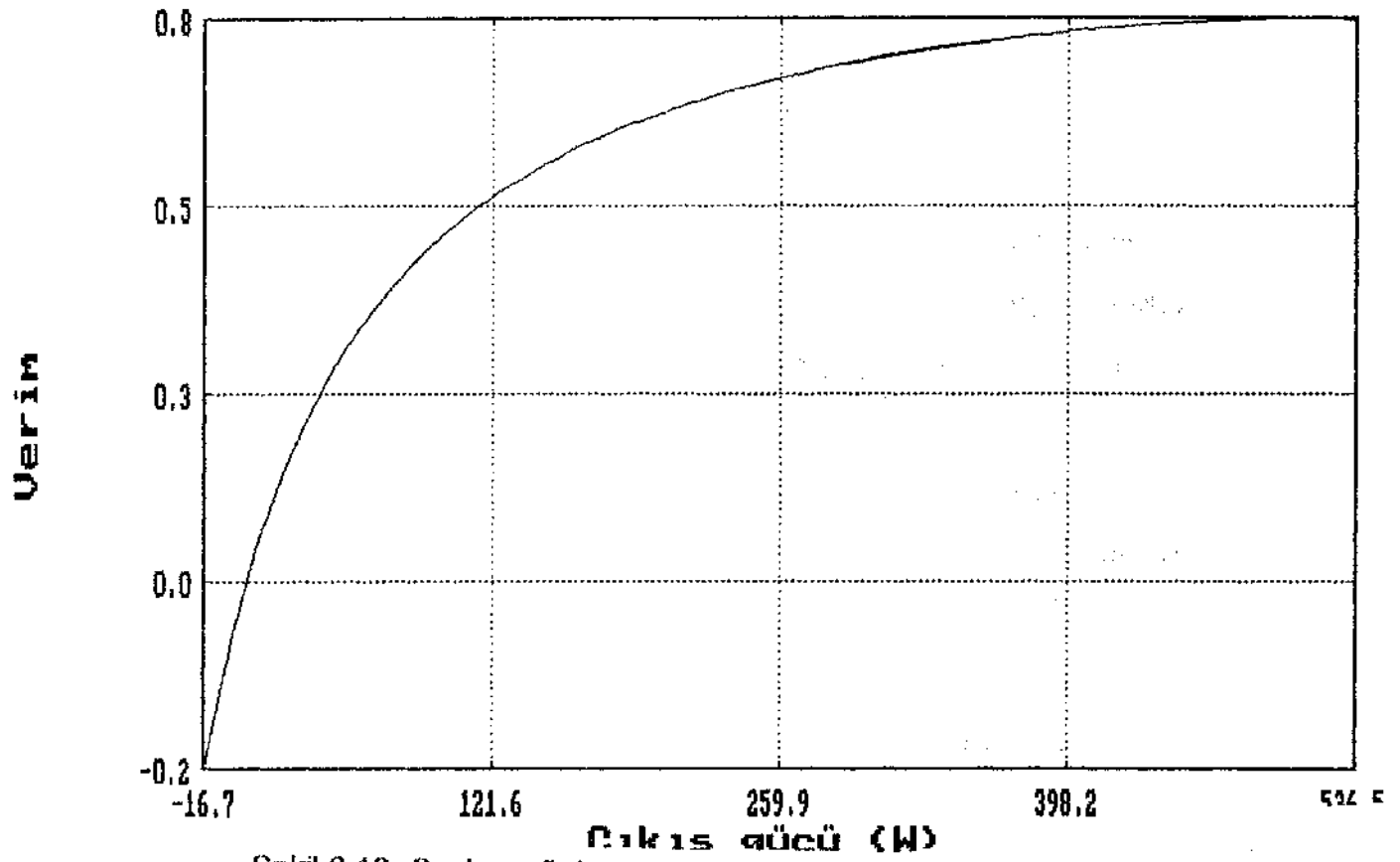
Şekil 2.11. Senkron Çalışmada Yük Açısına Karşı (a) Akım, (b) Moment Eğrileri



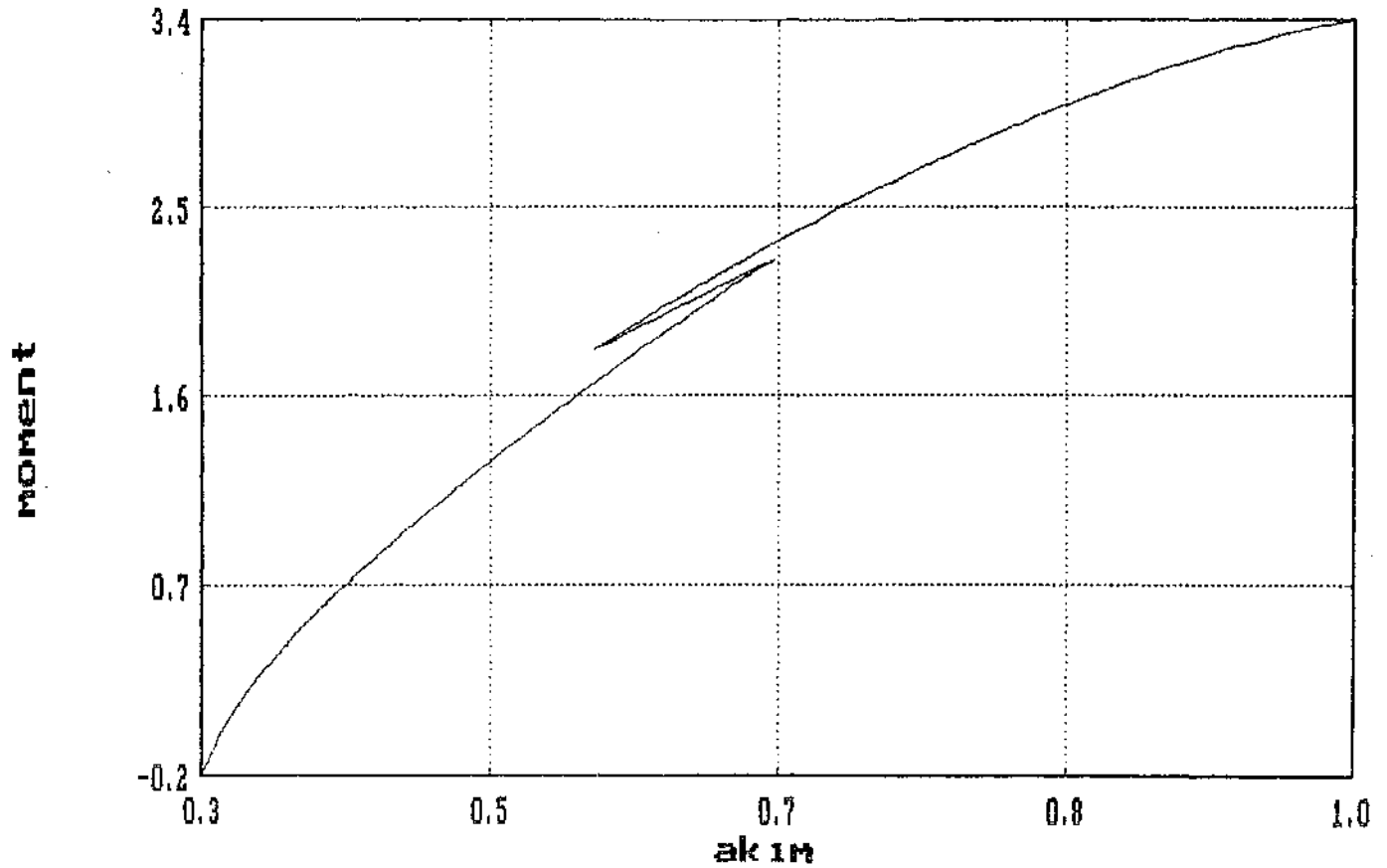


Şekil 2.12. Senkron Çalışmada Yük Açısına Karşı (a) Giriş Gücü ,
(b) Güç Faktörü Eğrisi





Şekil 2.13. Senkron Çalışmada Çıkış Gücüyle Verimin Değişimi

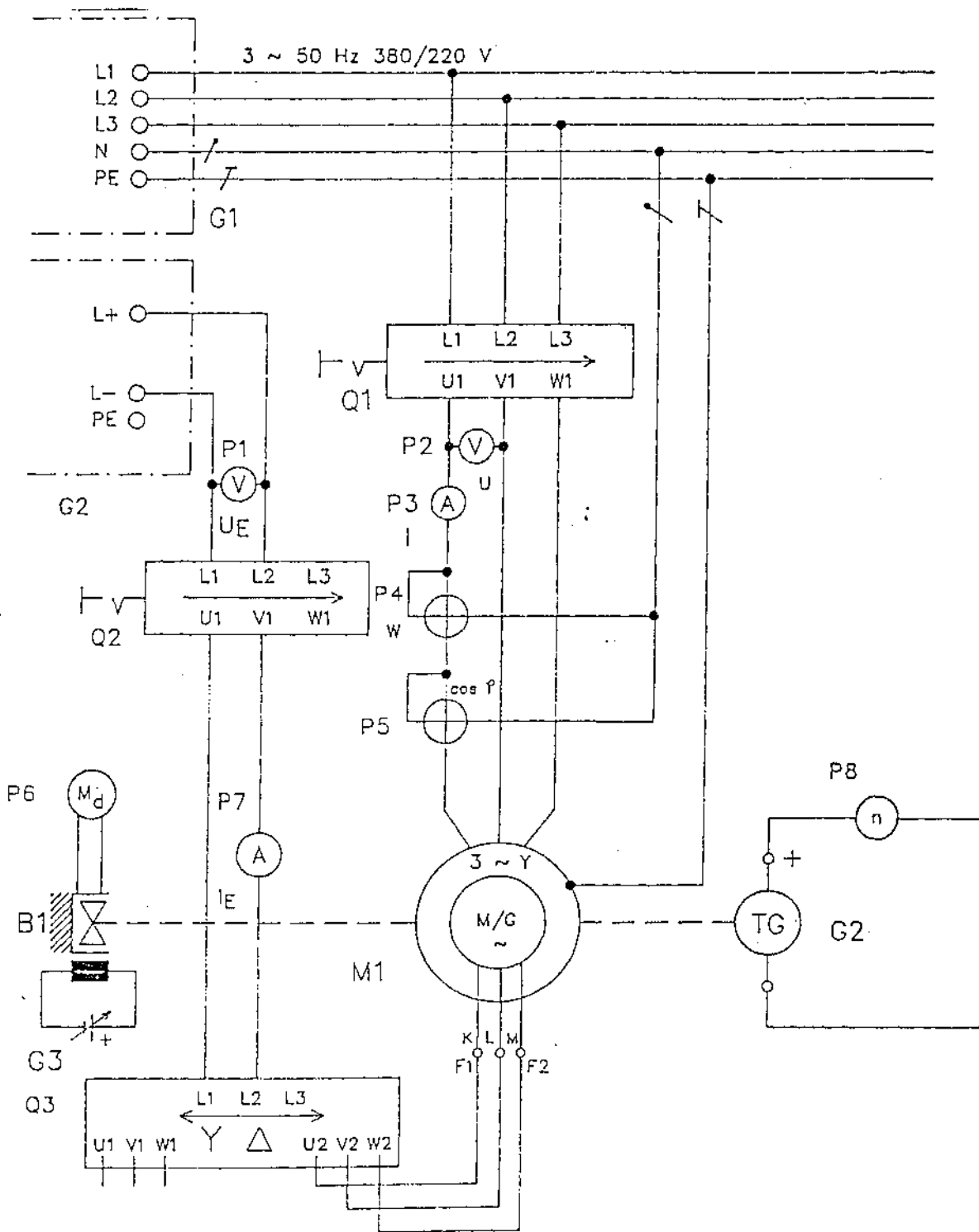


Şekil 2.14. Senkron Çalışmada Akım ile Momentin Değişimi

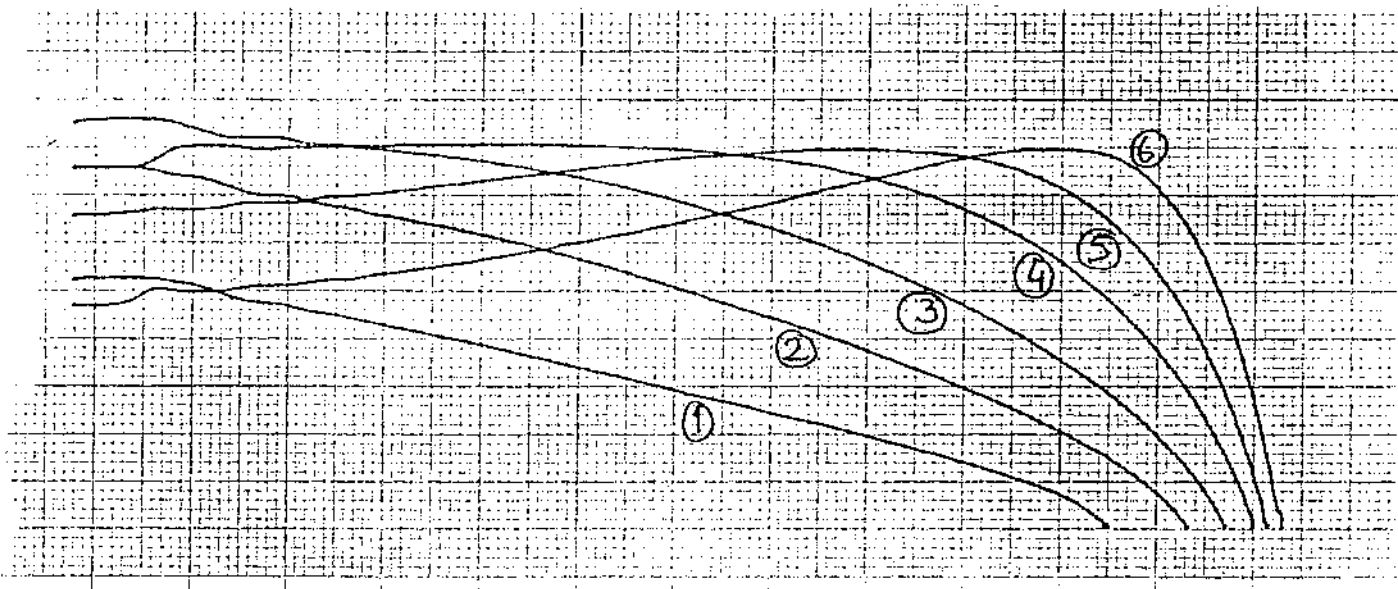
Kaynaklar

- ALDEMİR, R., 1977. Sürekli Mıknatıslarla Uyarılmış Senkron Makinalar Üzerine Bir İnceleme , Doçentlik Tezi, K.T.Ü., Trabzon.
- BROSAN, G. S. ve HAYDEN, J.T., 1966, Advanced Electrical Power and Machines, Sir Isaac Pitman, London
- ÇETİN, İ., 1987, Elektrik Motörleri 1.Kısım, Fatih Yayınevi, İstanbul.
- FITZGERALD, A. E., KINGSLEY C. Jr., UMANS, S., 1983, Mc Graw Hill, Electric Machinery.
- İMERYÜZ, M. ,ve ÇETİN, İ., 1991. Senkronlanan Asenkron Motor İncelemesi ve Kullanılabilirlik Analizi. Elektrik Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi DEÜ, İzmir:13-16.
- ÖZDEMİR, M.,1993, Seri Uyarımlı Bir Senkron Motorun Tasarımına Yönelik Bilgisayar Benzetim Yöntemi, Doktora Tezi, Elazığ.
- SARIOĞLU, K.,1994 Elektrik Makinalarının Temelleri 2.,İ.T.Ü.Yayınları, İstanbul
- SARIOĞLU, K.,1983 Asenkron MakinalarÇağlayan Kitabevi, İstanbul
- TUBBS, S.P., 1989, Superconducting Synchronous Induction Motor Performance. Proc. IEE, 137:120-124.
- WILLIAMSON, A.C., 1980, A New Connection For Synchronous Motor Edication. Proc. IEE, 127(3):169-173.

EK-A



EK-B



	Kalkınma Akımları	İlave Rotor Direnci
1.	0.8 A.	20 Ω
2.	1.25 A	10.25 Ω .
3.	1.65 A	5.75 Ω .
4.	2.08 A.	2.8 Ω .
5.	2.35 A	1.25 Ω .
6.	2.56 A	0.2. (kısa devre)