

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİLİM DEĞİŞİMLERİNİN ASENKRON MAKİNANIN
BÜYÜKLÜKLERİNE ve DAVRANIŞINA ETKİSİ

Tez Yöneticisi:
Prof. Dr. Y. Müh. İlhami ÇETİN

Tezi Hazırlayan:
Fahri ERDİNÇ

Ekim, 1985

I Ç İ N D E K İ L E R

| | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET | I |
| ADAY | II |
| TEŞEKKÜR | III |
| KULLANILAN SEMBOLLER | IV |
| 1. ASENKRON MAKİNALARDA EŞDEĞER DEVRELER | 1 |
| 1.1. Eşdeğer devrenin önemi ve özellikleri | 1 |
| 1.2. Asenkron makinaların eşdeğer devreleri | 2 |
| 1.3. İndirgenmiş değerlerle eşdeğer devreler | 5 |
| 1.4. Sadeleştirilmiş eşdeğer devreler | 8 |
| 2. ASENKRON MAKİNALARIN VEKTÖR DİYAGRAMLARI | 13 |
| 2.1. Asenkron makinanın indirgenmiş eşdeğer devresi ve vektör diyagramı | 13 |
| 2.2. İndirgenmiş T eşdeğer devreye göre vektör diyagramı | 14 |
| 2.3. Asenkron makinanın boşta çalışma vektör diyagramı .. | 15 |
| 2.4. Asenkron makinanın yükte çalışma vektör diyagramı .. | 16 |
| 2.5. Asenkron motorun kısadevre çalışması | 17 |
| 3. ASENKRON MOTORUN LÂBORATUVAR UYGULAMALARI | 18 |
| 3.1. Asenkron makinalarda faz dirençlerinin ölçülmesi .. | 18 |
| 3.2. Asenkron motorlarda kaymanın bulunması | 19 |
| 3.3. Isınma deneyi | 21 |
| 3.4. Yükte çalışan asenkron motorlarda ısınmanın dirençlere etkisinin incelenmesi | 222 |
| 3.5. Asenkron makinada boşta çalışma deneyi | 24 |
| 3.6. Asenkron motorun yükte çalışma deneyi | 28 |

| | |
|--|----|
| 3.7. Asenkron motorda kısıadevre deneyi | 33 |
| 3.7.1. Kısıadevre deneyi | 34 |
| 3.7.2. Kısıadevre deneyi bağıntıları | 35 |
| 3.7.3. Kısıadevre özegrileri | 37 |
| 3.7.4. Eşdeğer devre elemanlarının akımla değişmesi | 40 |
| 3.8. Asenkron makinanın kayıplarının ayrılması | 42 |
| 3.9. Verimin bulunması | 44 |
| 4. GERİLİM KONTROLU YOLUYLA ASENKRON MOTORLARDA ENERJİ | |
| VERİMİNİN İNCELENMESİ | 45 |
| 4.1. Gerilim kontrol devreleri | 45 |
| 4.2. Deneylerin yapılması | 47 |
| 4.3. Harmonik analizi | 49 |
| 4.4. Kontrol elemanları ve kayıpları | 52 |
| 5. SONUÇ | 53 |
| Yararlanılan kaynaklar | 54 |

ÖZET

Bu tez ile gerilim değişikliklerinin sabit momentle çalışan asenkron motor büyüklüklerine etkisi incelenmiştir.

Günümüzde gerilim günlük yük özgeçirilerine bağlı olarak değişmekte ve asenkron motorlara çok çeşitli gerilimler uygulanmaktadır. Gerilimdeki bu değişikliklere karşı asenkron motor davranışlarında ne gibi değişikliklerin oluştuğu çeşitli deneylerle açıklanmıştır.

Deneylerden önce asenkron makinanın kısa bir teorik açıklaması sunulmuştur.

ADAY

14.4.1943 tarihinde Sivas'ın Divriği Kasabasında doğdu. İlk ve ortaokulu Divriği'de ,o zamanki ismi ile erkek sanat enstitüsünü Sivas'ta okudu. 1959 da Ankara Erkek Teknik Öğretmen Okuluna girip 1963 de bitirdi.

Zonguldakve Niğde Sanat Enstitülerinde birer yıl Sultanahmet Sanat enstitüsünde iki yıl, Haydarpaşa Endüstri MeslekLisesinde beş yıl öğretmenlik yaptıktan sonra İstanbul Yüksek Teknik Öğretmen Okulu öğretmenliğine atandı. Daha sonra dört yıllık yüksek okulların fakülteye dönüşmesi ile M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesine Öğretim Görevlisi olarak atandı.

Halen bu fakültede Elektrik Elektronik Ana Bilim Dalı Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta olan aday 22 mart 1983 tarihinde M.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans öğretimine katıldı.

TEŞEKKÜR

Büyük bir tevazu ile daha yüksek okul iken bölümümüzde ders vermeyi kabul eden, elektrik makinaları derslerinin işlenişine yeni ve modern görüşü getirerek bizlere yol gösteren, Türkiyede Uluslararası Birim Sisteminin kullanılmasında öncülük ederek bu konuda mücadele veren ve nihayet bu tezin hazırlanışında bana teşvik destek ve sabrını esirgemeyen kıymetli Hocam, Danışmanım ve Tez Yöneticim Sayın Prof. Dr. Y.Müh. İlhami Çetine içten teşekkürlerimi sunarım.

Üsküdar Ekim 1985

Fahri Erdinç

KULLANILAN SEMBOLLER

| | |
|-----------------|---|
| U_1 | : Stator faz gerilimi |
| I_1 | : Stator faz akımı |
| I_{10} | : Boşta çalışma akımı |
| I_2 | : Rotor akımı |
| U_{h1} | : Stator da indüklenen gerilim |
| U_{h20} | : Duran rotorda indüklenen gerilim |
| U_2 | : Bileziklerdeki faz gerilimi |
| R_1 | : Stator faz direnci |
| R_2 | : Rotor faz direnci |
| $X_{1\sigma}$ | : Stator kaçak reaktansı |
| $X_{2\sigma 0}$ | ⊙ Duran rotor kaçak reaktansı |
| $X_{2\sigma}$ | : Rotor kaçak reaktansı |
| X_{1h} | : Esas reaktans |
| I_{1h} | : Uyartım akımı |
| I_{1Fe} | : Demir kayıp akımı |
| s | : % kayma |
| $R_2(1-s/s)$ | : Mekanik güç direnci (Milden alınan gücün elektriksel eş- değeri) |
| $R_2'(1-s/s)$ | : Statora indirgenmiş mekanik güç direnci |
| R_2' | : Statora indirgenmiş rotor direnci |
| $X_{2\sigma}'$ | : Statora indirgenmiş rotor kaçak reaktansı |
| $Z_{2\sigma}'$ | : İndirgenmiş rotor kaçak impedansı |
| $ü_u$ | : Gerilim çevirme oranı |
| $ü_1$ | : Akım çevirme oranı |
| ψ_0 | : Boşta çalışma güçkatsayısı |
| ψ_k | : Kısadevre çalışma güçkatsayısı |

| | |
|----------|---|
| N_1 | : Stator faz sarım sayısı |
| N_2 | : Rotor faz sarım sayısı |
| I_{10} | : Boştaki ampersarım |
| I_1 | : Stator ampersarımı |
| I_2 | : Rotor ampersarımı |
| t_1 | : Sargının ilk sıcaklığı |
| t_2 | : Sargının ikinci sıcaklığı |
| S_N | : Anma görünür güç |
| P_1 | : Statorun şebekeden aldığı etkin güç |
| P_{2m} | : Motor milinden alınan güç |
| P_{lk} | : Kısadevre çalışma gücü |
| V_{cu} | : Bakır kaybı |
| V_m | : Mekanik kayıplar |
| P_o | : Boşta çalışma gücü |
| Q_o | : Boşta çalışma tepkin gücü |
| Q_{IN} | : Anma geriliminde tepkin gücü |
| X_{lk} | : Kısadevre reaktansı |
| R_{lk} | : Kısadevre direnci |
| Z_{lk} | : Kısadevre impedansı |
| M_N | : Anma momenti |
| M_A | Kalkış momenti |
| M_D | : Kritik moment |
| f_1 | : Stator frekansı |
| f_2 | : Rotor frekansı |
| M_i | : İç moment |
| η | : Verim |
| U_m | : Verilen gerilimin konrollu toplam gerilim |
| U_p | : U_m nin kumandasız kısmı |
| U_c | : U_m nin ayarlanabilen kısmı |

1. ASENKRON MAKİNALARDA EŞDEĞER DEVRELER

1. 1. Eşdeğer Devrenin Önem Ve Özellikleri

Elektrik makinalarının, transformatörlerin, benzer sistem ve şebekelerin gerçek durumlarında incelenmeleri olanaksızdır. Tüm bilim dallarında olduğu gibi bazı sadeleştirme ve idealleştirmeler yapılarak gerçek elektrik makinası, transformatör v.s'nin özelliklerini ve davranışlarını kapsayan modeller kurulur. Yalnız temel devre elemanlarından oluşan en basit modellerin bağlantı şemasına "EŞDEĞER DEVRE" denir. Eşdeğer devreler elektrik makinalarında çok önemli bir inceleme ve düşünme yöntemidir. Elektrik makinalarında, transformatörlerde şebekelerde ve benzeri sistemlerde anlatım, öğretim, araştırma, geliştirme, inceleme tamamıyla eşdeğer devrelere dayanır.

Eşdeğer devreler genel genel geçerli değildir. Gerçeği sınırlı bir biçimde kapsarlar ve ancak belli olaylardaki davranışları temsil edebilirler. Aynı elektrik makinası için çeşitli olaylarda çeşitli eşdeğer devreler kullanmak gerekebilir. Aynı makina için incelenen olay ve istenilen yaklaşıklığa göre birçok eşdeğer devreler yapılabilir.

Eşdeğer devre, temsil ettiği elektrik makinası, transformatör v.s. ile eş davranışlıdır. Uygunluğu eşdeğer devre üzerindeki çalışma ve hesaplamalardan elde edilen sonuçların deney uygulamaları ve ölçmeleri ile doğrulanmasına bağlıdır.

Herhangi bir eşdeğer devrede, herhangi bir işletme şartında, herbiri değişik sayıda bulunabilen üç temel eleman bulunur. Bu elemanlar:

- 1- Direnç R
- 2- İndüktans L veya indüktif direnç X_L
- 3- Kapasite C veya kapasitif direnç

Eşdeğer devrenin yukarıda sayılan temel elemanları ideal kabul edilir. Ya ni her bir elemanda kendi temel özelliği bulunur.

Dirençte bir reaktans ve reaktansta bir direnç söz konusu değildir.

Elektrik enerji tekniğinde kullanılan elektrik makinaları, transformatörler, şebekeler v.s. çoğunlukla üç fazlı olduğu halde simetrik beslemede incelenmeleri tek faz üzerinden yapılabilir. Bu durumda eşdeğer devre daima tek fazlı alınabilir. Çünkü simetrik beslemede simetrik "m" fazlı bir sargı döndüğü zaman, her faza ait bobin sayılarının ve faz sargıları arasındaki açıların birbirine eşit olduğu anlaşılır.

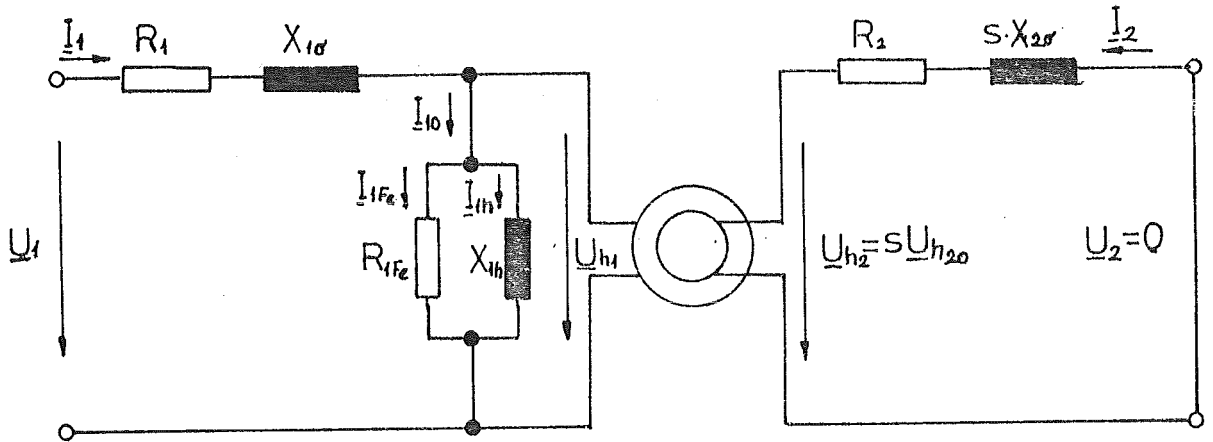
Bundan dolayı da faz sargılarının impedansları birbirine eşit olur. Bunun yanında yine her bir faza ait sargılardan geçen akımlar arasındaki faz farkı (elektriksel açı) birbirine eşittir.

Yukarıda açıklandığı gibi simetrik beslemede, stator çevresine kaç tane faz sargısı olursa olsun, böyle 'm' fazlı sargıların bileşke ampersarım dalgası tek bir bobinin ampersarımı ile gösterilebilir. Bu nedenlerle elektrik makinaları ve benzeri üç fazlı sistemlerin simetrik beslemede incelenmeleri tek faz üzerinden eşdeğer devreler ile yapılabilir.

1.2. Asenkron Makinaların Eşdeğer Devreleri

Asenkron makinaların eşdeğer devreleri transformatörlerde olduğu gibi çizilebilir. Fakat asenkron makinalarda transformatörlerde olmayan bir yük bulunmaktadır. Bu direnç, fiziksel modelde (motorun kendisinde) yoktur. Ancak, söz konusu direnç asenkron motorun çalışma özelliğinden ortaya çıkan bir dirençtir. Eşdeğer devrenin çizilebilmesi, kayması ile değişen bu mekanik yükün elektriksel değeri bulunduğundan sonra asenkron makinaların eşdeğer devresi transformatörlerde olduğu gibi düşünülerek gerçekleştirilebilir.

Asenkron makinanın transformatörlere dayanarak aşağıdaki eşdeğer devresi çizilebilir.



Şek. 1.1

Şek. 1.1. 'de görülen eşdeğer devre, ikincil sargısı kısadevre dilmiş bir asenkron motorun stator ve rotor akım devrelerinin fiziksel gösterilişidir. Bu eşdeğer devreye göre:

$$\text{Stator denklemi: } \underline{U}_1 = \underline{U}_{h1} + R_1 \underline{I}_1 + j X_{1\sigma} \underline{I}_1$$

$$\text{Rotor denklemi: } 0 = s \underline{U}_{h20} + R_2 \underline{I}_2 + j s X_{2\sigma 0} \underline{I}_2$$

$$\text{İkincil akım denklemi: } \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{h2}}{R_2 + s j X_{2\sigma 0}} = \frac{s \underline{U}_{h20}}{R_2 + s j X_{2\sigma 0}}$$

$$\text{Ampersarım denklemi: } N_1 \underline{I}_{10} = N_1 \underline{I}_1 + N_2 \underline{I}_2$$

Yukarıdaki asenkron makina prensip eşdeğer devresinde uygulamada önemli sakıncalar mevcuttur. Rotor kaçak reaktansının ve indüklenen gerilimin kaymaya bağlı olması transformatöre göre önemli bir faktör ve belirttiğimiz gibi önemli bir sakıncadır. Bu güçlüğü gidermek için rotor akımı ifadesinde pay, payda, kayma (s) ile bölünür.

$$\underline{I}_2 = \frac{s \cdot \underline{U}_{h20}}{\sqrt{R_2^2 + s^2 X_{2\sigma 0}^2}}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{h20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{2\sigma 0}^2}} \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{h20}}{(R_2/s) + j X_{2\sigma 0}}$$

Bu ifadenin bir yorumu yapılabilir.

- 1- İndüklenen gerilim \underline{U}_{h20} olup sabittir.
- 2- Rotor kaçak reaktansı $X_{2\sigma 0}$ olup sabittir.
- 3- Rotor direnci transformatöre göre tek farklı bir büyüklük olup değişkendir ve kaymaya bölünmelidir.

Burada nolu formülde görülen R_2/s direnci toplam ikincil dirence tekabül edenr, yani toplam rotor direncini ifade eder. Bu direnç asenkron makinada hava aralığı gücünü temsil eder ve bu gücü tüketir. Bu nedenle ikincil R_2/s 'ye hava aralığı gücü de denilebilir.

Asenkron makinanın eşdeğer şemasındaki ikincil direncin önemli bir fiziksel anlamı vardır. Bunu göstermek için enerjinin korunumu ilkesinin eşdeğer şemaya uygulamak yeterlidir.

nı ifade edecek olursak:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{sX_{2\sigma}}{R_2} \quad \text{bulunur. Pay ve paydayı kaymaya bölersek sonuç}$$

değişmez. Bu durumda:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_{2\sigma}}{R_2/s} \quad \text{elde edilir.}$$

Formüldeki R_2/s değeri daha önce açıklandığı gibi $R_2 + R_2 \cdot (1-s)/s$ değerine eşittir. Dolayısıyla $R_2 \cdot (1-s)/s$ mekanik güç eşdeğeri formüllerde ve eşdeğer devrelerde sürekli olarak rotor direnci ile birlikte düşünülerek R_2/s gibi bir direnç değerine dönüştürüldüğü göz önünde tutulmalıdır.

Bu durumda:

$s = 0$ olduğunda rotor devresi açık devre olur. Çünkü $R_2 \cdot (1-s)/s$ sonsuz olur. Burada $s = 0$ ($n = n_1$) noktasının teorik bir nokta olduğunu hatırlamakta fayda vardır. Rotoru açık devre olan motorda $I_2 = 0$ olduğundan indüklenen moment de sıfır olur. Motorun gerçek boşta çalışmasında s çok küçüktür ve $s = 0$ alınmakla fazla büyük bir hata yapılmış olmaz.

$s = 1$ olduğunda $R_2(1-s)/s$ direnci sıfır olur. $s = 1$ veya $n_1 = 0$ rotorun durması demektir. Bu halde asenkron motorda eşdeğer devreden de görüleceği üzere, stator ve rotor akımları çok büyük olur. Normal çalışma akımının 5...6 katına kadar çıkabilir. $s = 1$ asenkron motorda kısadevre çalışmayı tanımlar, motor kısadevre edilmiş transformatör gibi çalışır.

1.3. İndirgenmiş Değerlerle Eşdeğer Devreler

İndirgenmiş değerlerle işlem yapma ve indirgeme özelliklerle transformatörlerde ve asenkron makinalarda sık sık kullanılan bir yöntemidir. İndirgeme bir dönüşüm yöntemidir. Dönüşüm bir değişken bölgesinde çözüm güç olduğunda, başka bir değişken bölgesine geçerek çözümü kolaylaştırmaya ve bu bölgede çözümü bulduktan sonra tekrar eski bölgeye dönmeye dayanır. Dönüşüm yönteminin elektrikselaştırma ve hesaplamalarda önemli uygulamaları vardır. Örneğin Fourier dönüşümü, Laplace dönüşümü, Park dönüşümü, simetrik bileşenler dönüşümü v.s.

Logaritma da gerçekte bir dönüşümden ibarettir. Sayılar bölgesindeki çarpma veya bölme, logaritma bölgesinde toplama veya çıkarma şeklinde yapılır. Sonra tekrar sayılar bölgesine dönülür. Diferansiyel denklemlerin çözümünde uygulanan değişken değişikliği de bir dönüşümdür.

İndirgeme yönteminde eşdeğer sargı kavramının kullanımı önemlidir. N sarım sayılı bir sargıya karşılık gelen eşdeğer sargı, herhangi bir N sarım sargısına, fakat temelde esas olarak aynı güç dağılımına sahip olan bir sargıdır. Verilen sargı değerlerinden eşdeğer sargı değerlerinin bulunmasına İNDİRGEME denir. İndirgemedeki temel şart daha önceden belirtildiği gibi güç dağılımının korunmasıdır.

İndirgeme çevirme oranına dayanır. Pratikte indirgenmiş büyüklükler ve indirgeme sargısının büyüklükleri yaklaşık eşittir. Bu önemli kural uygulanarak sonuçlar değerlendirilebilir. Bu şekilde kaba hatalar görülebilir. Eşdeğer şemalarda indirgenmiş büyüklükler " ' " işareti ile belirtilir.

| | |
|--|--|
| <u>A</u> | <u>B</u> |
| $\underline{U}'_2 = \underline{U}_1$ | $\underline{U}'_1 = \underline{U}_2$ |
| $\underline{I}'_2 = \underline{I}_1$ | $\underline{I}'_1 = \underline{I}_2$ |
| $\underline{R}'_2 = \underline{R}_1$ | $\underline{R}'_1 = \underline{R}_2$ |
| $\underline{X}'_{2\sigma} = \underline{X}_{1\sigma}$ | $\underline{X}'_{1\sigma} = \underline{X}_{2\sigma}$ |
| $\underline{Z}'_{2\sigma} = \underline{Z}_{1\sigma}$ | $\underline{Z}'_{1\sigma} = \underline{Z}_{2\sigma}$ |

A = İkincil sargının, birincil sargıya göre indirgenmesi (Birincil sargı temel sargı olarak düşünüldü).

B = Birincil sargının ikincil sargıya göre indirgenmesi (İkincil sargı temel sargı olarak düşünüldü).

Bir transformatör veya asenkron makinanın birincil veya ikincil sargısına (stator veya rotor sargısına) sonsuz sayıda eşdeğer sargı bulunabilir. Eşdeğer sargının sarım sayısı serbestçe seçebilir. Aranan sadeleştirmelerin ancak eşdeğer sargılı transformatör veya asenkron makinada çevirme oranı $ü=1$ olursa gerçekleştirilebileceği hatırdan çıkarılmamalıdır.

Başlıca üç indirgeme kuralı vardır:

- 1 - Gerilimler çevirme oranı ile çarpılarak indirgenir.
- 2 - Akımlar çevirme oranı ile bölerek indirgenir.
- 3 - Devre elemanları R, X, Z çevirme oranının karesi ile çarpılarak indirgenir.

Bu temel kurallara dayanılarak aşağıdaki sonuçlar yazılabilir.

1-Rotorda indüklenen gerilim:

$$\underline{U}_{h20}' = \dot{u}_u \underline{U}_{h20} \cong \underline{U}_{h1}$$

2-Rotor akımı:

$$\underline{I}_2' = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{1}{\dot{u}_u} \underline{I}_2 = \underline{I}_2 \dot{u}_i$$

3-Rotor direnci:

$$R_2' = \frac{\dot{u}_u}{\dot{u}_i} R_2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot \dot{u}_u^2 R_2$$

4-Rotor kaçak reaktansı:

$$X_{2\sigma}' = \dot{u}_u / \dot{u}_i X_{2\sigma} = m_1 / m_2 \dot{u}_u^2 X_{2\sigma}$$

Bu durumda **Sek. 1.1.** deki eşdeğer devreye dayanarak yazdığımız \underline{I}_2 ikincil devre akımını indirgenmiş olarak yazabiliriz.

$$\underline{I}_2' = \frac{\underline{U}_{h20}'}{(R_2/s) + jX_{2\sigma}'} = \frac{\underline{U}_{h20}'}{\underline{Z}_2'}$$

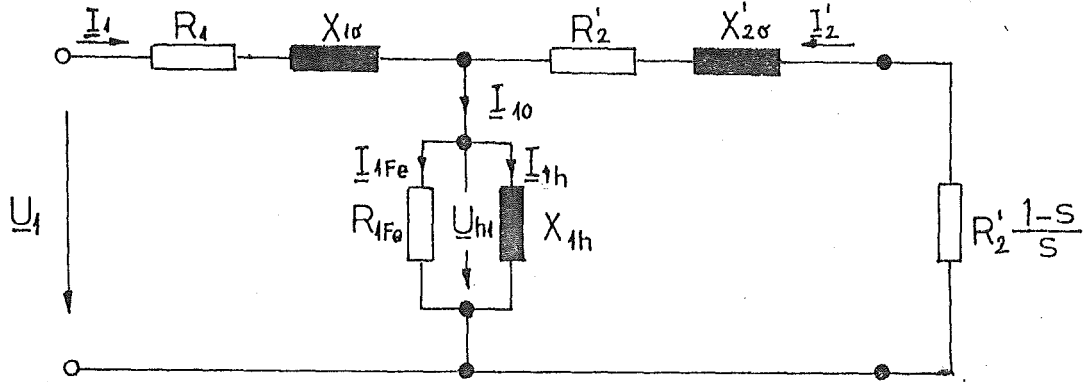
$$\underline{Z}_2' = \frac{R_2'}{s} + j X_{2\sigma}'$$

İndirgeme sonuçlarını uygulayarak asenkron makinanın eşdeğer devresini daha basitleştirebiliriz. Bu durumda dönüştürme oranı 1 olduğu için gereksiz hale gelen ideal transformatör kaldırılabilir. Hal böyle olunca ideal transformatörün birincil devresi ile ikincil devresi potansiyel farkları eşit olacağından ($\underline{U}_{h1} = \underline{U}_{h20}$), eşdeğer devrenin iki tarafı birbirine bağlanabilir. Böylece elde edilen eşdeğer devreye " T " eşdeğer devre denir.

T eşdeğer devre genel ve temel olan bir eşdeğer devredir. Esas olarak sürekli işletme için geçerlidir. Yüksek frekanslı geçici olaylar ile darbe olaylarının incelenmesi için yeterli değildir. T eşdeğer devrenin temel özelliği, ideal dönüştürme sargılarının (ideal transformatör de denilebilir) kalkması ile ikincil indirgenmiş devre elemanlarının birincil tarafa taşınabilmesidir. Diğer bir deyişle gerçekte aralarında iletken bağlantısı bulunmayan iki sargıyı birleştirmektir.

Aşağıdaki şekilde dönüştürme oranı $ü_u=1$ olan bir asenkron makinanın eşdeğer devresi görülmektedir. Eşdeğer devrede:

| | |
|------------------|--|
| R_2' | Stator devresine indirgenmiş rotor direnci |
| $X_{2\sigma}'$ | " " " " kaçak reaktansı |
| $R_2' (1-s) / s$ | " " " mekanik güç direnci |
| R_{1Fe} | Demir kaybı, |
| X_{1h} | Esas reaktans. |



Şek. 1.3.

1.4. Sadeleştirilmiş Eşdeğer Devreler

Bilindiği gibi eşdeğer devreler, belli işletme koşullarında bir makineyi temsil edebilen bir modelin bağlantı şemalarıdır. Şebekenin, transformatörlerin ve elektrik makinalarının eşdeğer devreleri birleştirilerek çeşitli işletme sorunları incelenir. Örneğin gerçek transformatörün şebekeye yüklemesi, bir elektrik hattının kapasitif etkisi yada gerilim dalgalanmaları ve düşümleri çizilen eşdeğer devreler düzeyinde incelenir. Bu gibi incelemelerde ortaya çıkan problemin hallinde yada işletme şartlarının tesbitinde hesaplamaları kolaylaştırıcı uygun bir eşdeğer devrenin seçimi gerekir. Bu amaçla yukarıda açıkladığımız T eşdeğer devreden gidilerek elektrik makinalarında incelenecek özellikler bakımından değişik eşdeğer devreler geliştirilmiştir.

Kullanacağımız devrenin yaklaşık bir değerde olması, incelemelerimiz için yeterli oluyorsa, devre elemanlarının bir kısmını ihmal ederek kiminin yerlerini değiştirerek amaçlarımıza ve işletme koşullarına yeni eşdeğer devreler elde edebiliriz. Bu amaçtan hareketle incelediğimiz

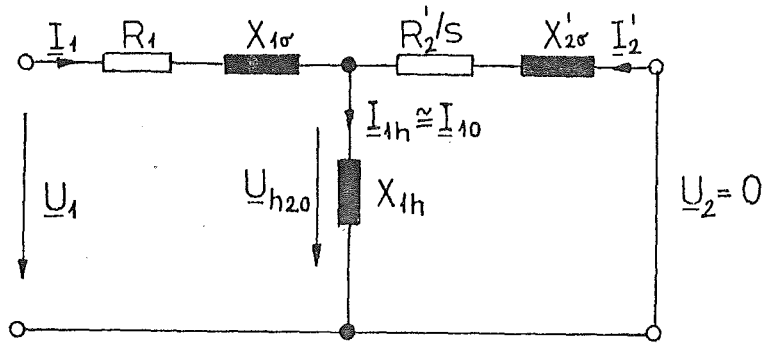
T eşdeğer devreyi daha da basitleştirebiliriz.

Daha önceden bilindiği gibi özelliklerini transformator özelliklerinden yararlanarak incelediğimiz asenkron makinelerde transformatorlerden farklı olarak birincil devre ile ikincil devre arasında bir hava boşluğu vardır. Bundan dolayı I_{1h} mıknatıslama akımı transformatorlardekine oranla bir hayli büyüktür. Buna karşılık I_{1Fe} kayıp akımı, mıknatıslama akımına nazaran oldukça küçüktür. Bu iki akımın vektörel toplamı I_{10} boşa çalışma akımını oluşturacağına göre işlemlerin kolaylaştırılması bakımından büyük bir yaklaşıklıkla I_{1Fe} kayıp akımı ihmal edilerek $I_{10} \approx I_{1h}$ eşitliği yazılabilir ve bu durumda büyük bir hata yapılmış olmaz.

$$I_1 + I_2' = I_{10} \approx I_{1h}$$

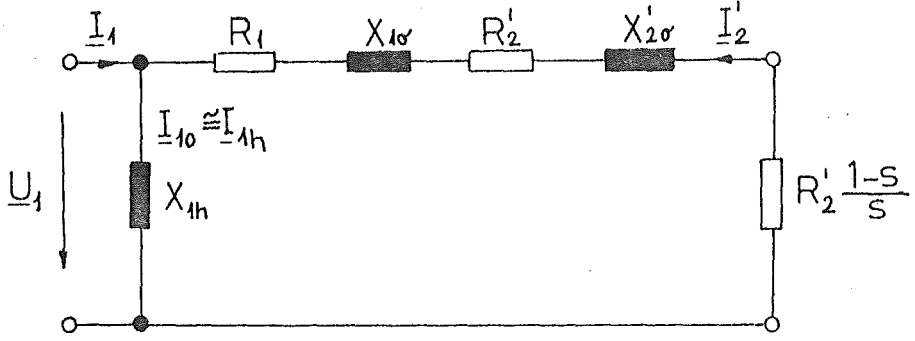
Bu durumda $I_{1h} = I_{10} = U_{h20} / X_{1h} = U_{20} / X_{1h}$

Bu açıklamalara göre eşdeğer devreyi aşağıdaki gibi çizebiliriz.



Şek. 1.4

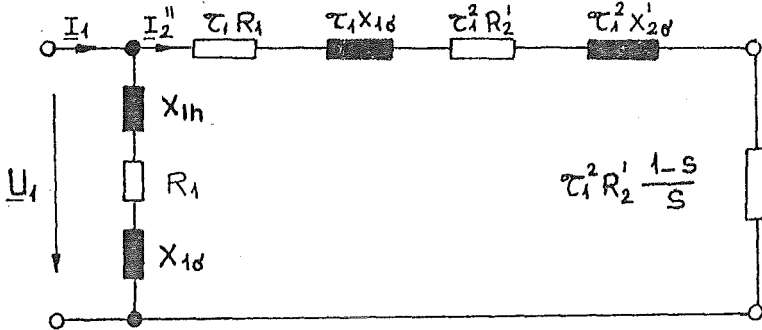
Şekilden de görüleceği üzere kayıp akımın I_{1Fe} sıfır kabul edilmesi eşdeğer devreye bir basitlik kazandırmasına rağmen tam eşdeğer devreden bir miktar uzaklaşmış olur. Çizdiğimiz demir kayıpsız T eşdeğer devrede başka bir operasyon yaparak yeni ve değişik bir eşdeğer elde etmek mümkündür. Şayet X_{1h} paralel kol direncini devrenin girişine kaydırırsak birincil devre elemanları ile ikincil devre elemanları seri bağlı bir devre teşkil ederler. Böyle bir durumda statordaki direnç ve reaktans gerilimleri ihmal edilmekte, yani $U_1 = U_{h20}$ olduğu ve değişmediği kabul edilmektedir.



Şek. 1.5.

Böylelikle elde edilen devreye L eşdeğer devre denir. L eşdeğer devre şeklindeki gibi gösterilebileceği gibi, demir kayıpları çizilerek de gösterilebilir.

Bu tür eşdeğer devreden bütün işletme sınırları içinde ve hatta anma yükün bir miktar üstünde de faydalanabilmek için X_{1h} reaktansını X_1 ve R_1 dirençleri kadar büyüterek magnetik devreye ait ortadaki akım devresini Şek.1.6'de görüldüğü gibi stator dirençleri önüne, yani asenkron makinanın stator giriş uçlarına bağlayabiliriz. Burada X_{1h} temel reaktansının $X_{1\sigma}$ ve R_1 kadar büyütülmesinin sebebi boşa çalışmada mıknatıslama akımı tarafından statorda $X_{1\sigma}$ dağılma reaktansı ile R_1 omik direnci üzerinde meydana getirilen gerilim düşümleri hesaba katmak içindir. Bu amaçla direnç ve reaktanslar τ_1 düzeltme katsayısı ile düzeltilir. Buna göre birincil devre elemanları τ_1 ile ikincil devre elemanları τ_1^2 ile çarpılır. (Pratikte $\tau_1 = 1,04 \dots 1,08$ arasındadır).



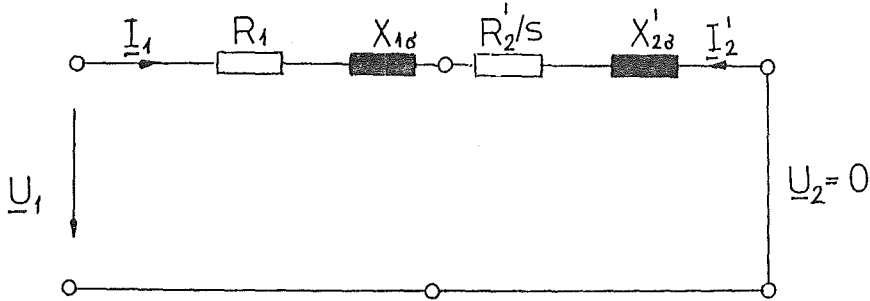
$$I_2' = \tau_1 \cdot I_2''$$

$$I_2'' = I_2' / \tau_1$$

Şek.1.6. $\tau_1 \cong 1 + (X_{1\sigma} / X_{1h}) = 1 + (\Phi_{1\sigma} / \Phi_{1h}) = 1 + \sigma_1$

$\sigma_1 =$ Birincil devrenin dağılma faktörü

T ve L eşdeğer devrede boşa akım kolu tamamen ihmal edilirse, yalnız iki devre elemanlarından oluşan en basit eşdeğer elde edilir. Ancak burada mıknatıslama akımı transformatördekinden bir hayli büyük olduğundan böylece tam eşdeğer devreden uzaklaşmış olur. Çabuk sonuca götüren hesaplar için çok elverişli olduğundan, en çok kullanılan eşdeğer devredir. Boşta veya buna yakın çalışmayı kapsamaz. Zira yukarıda da söylediğimiz gibi bu eşdeğer devre boşa akımın ihmaline dayanır. Kısadevre çalışmayı ve yükte çalışmayı tamamıyla kapsar. Kayıp güçlerin önemli olmadığı halde özellikle şebekelerde kısadevre akımlarının bulunmasında en basit eşdeğer devreden geniş çapta yararlanılır. Asenkron makinelerin kısadevre çalışmasında rotor durdurulur, ayarlı bir gerilim uygulanarak anma akımı değerine ulaşılır. Bu durumda asenkron makinenin X_{1k} kısadevre reaktansı ile R_{1k} kısadevre direncinden oluşan en basit eşdeğer devre elde edilir. Yükte çalışmada boşa akımın ihmalini birçok hesapta yeterli duyarlık elde edilmesine engel olmaz. Fakat asenkron makinelerinin boşa akım transformatörlere göre bir hayli büyük olduğundan bu eşdeğer devre ile hesaplamada transformatörlerde olduğu kadar duyarlık sağlanamaz.



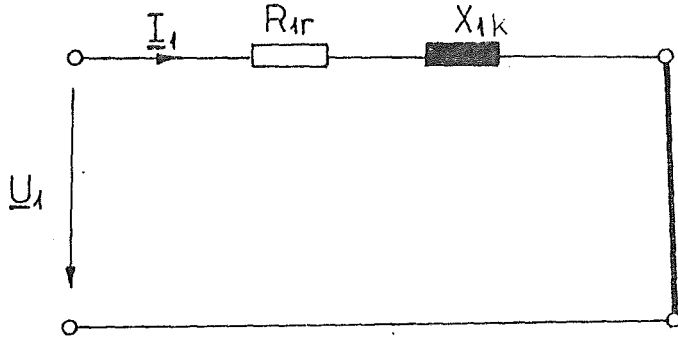
Şek 1.7.

En basit eşdeğer devreye ve L eşdeğer devreye "toplam kaçak akıllı eşdeğer devre" denir. Zira bu devreler sargıların ayrı kaçak akımların oluşturduğu tek bir indüktansa veya reaktansa dayanır. Ayrı kaçak akımların oluşturduğu reaktanslar, ölçülemediği halde, toplam kaçak akımın oluşturduğu kısa devre reaktansının ölçülmesi mümkündür. Bu temel özellik toplam kaçak akıllı eşdeğer devrelerin değerlerine üstün yanıdır. Aynı şekilde ayrı sargı dirençleri yerine birtek kısadevre direncinin bulunduğu en basit eşdeğer devre bir tek kısadevre impedansından ibarettir.

Sargı dirençleri ayrı ayrı ölçülebilen her bir kısadevre elemanı aynı tür sargı elemanlarının doğrudan toplamı değildir.

$$\begin{aligned} \underline{I}_{10} &= 0 & \underline{I}_1 &= -\underline{I}'_2 & \underline{I}_1 + \underline{I}'_2 &= 0 \\ \underline{U}_1 &= \underline{I}_1 R_1 + j \underline{I}_1 X_{1\sigma} + \underline{I}'_2 (R'_2/s) + j \underline{I}'_2 X'_{2\sigma} \end{aligned}$$

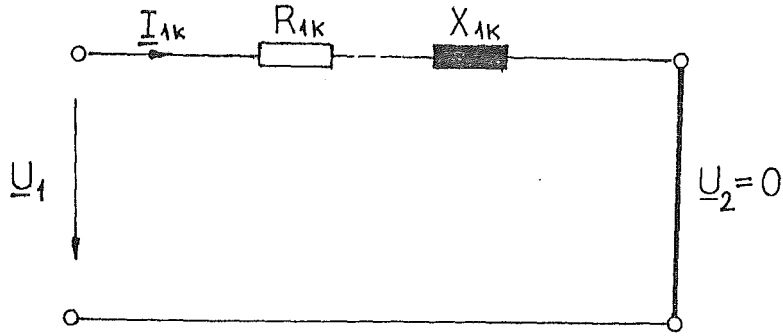
Rotoru dönen bir asenkron makinanın en basit eşdeğer devresi.



Şek. 1.8

$$\begin{aligned} R_{1r} &= R_1 + R'_2/s & \underline{U}_1 &= \underline{I}_1 (R_{1r} + j X_{1k}) \\ X_{1k} &= X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} \end{aligned}$$

Rotoru duran, yani kısadevre çalışan bir asenkron makinanın ($s=1$) en basit eşdeğer devresi

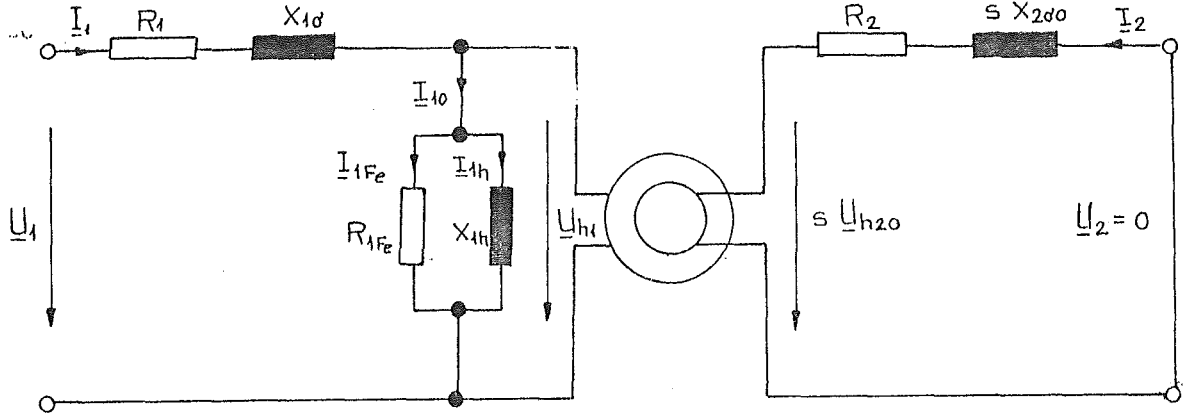


Şek. 1.9.

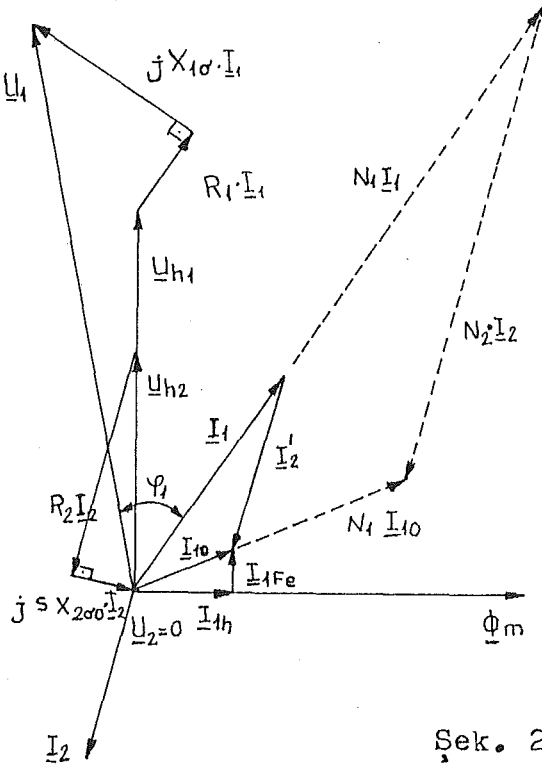
$$\begin{aligned} R_{1k} &= R_1 + R'_2/s & \underline{U}_{1k} &= \underline{I}_{1k} (R_{1k} + j X_{1k}) \\ X_{1k} &= X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} \end{aligned}$$

2. ASENKRON MAKİNALARIN VEKTÖR DİYAGRAMLARI

2.1. Asenkron makinanın indirgenmiş eşdeğer devresi ve vektör diyagramı.



Şek. 2.1.



$$U_1 = U_{h1} + R_1 I_1 + jX_{1\sigma} I_1$$

$$U_2 = s U_{h20} + R_2 I_2 + jsX_{2\sigma 0} I_2$$

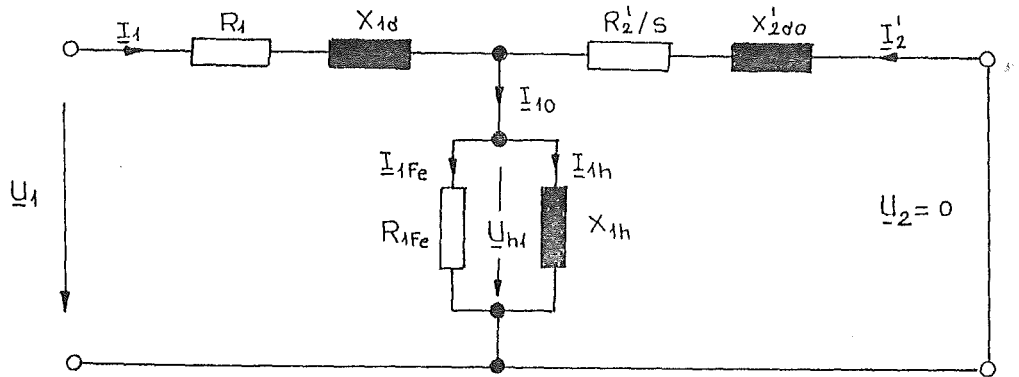
$$0 = U_{h20} + (R_2/s) I_2 + jsX_{2\sigma 0} I_2$$

$$\theta_{10} = \theta_1 + \theta_2$$

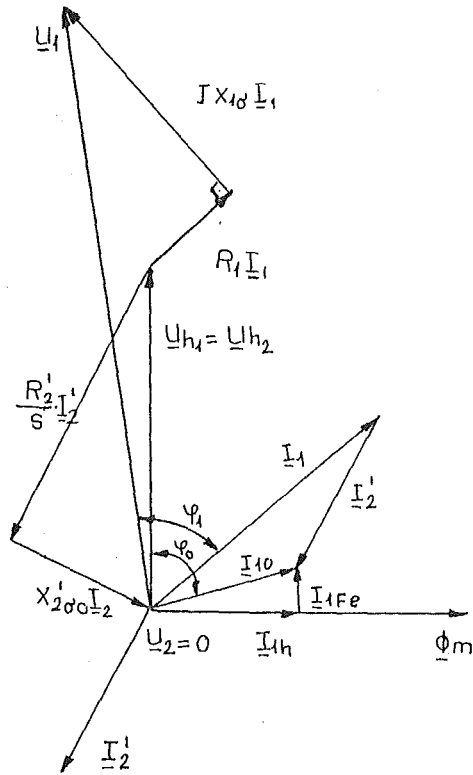
$$N_1 I_{10} = N_1 I_1 + N_2 I_2$$

Şek. 2.2.

2.2. İndirgenmiş T eşdeğer devreye göre vektör diyagramı:



Şek. 2.3.



Şek. 2.4.

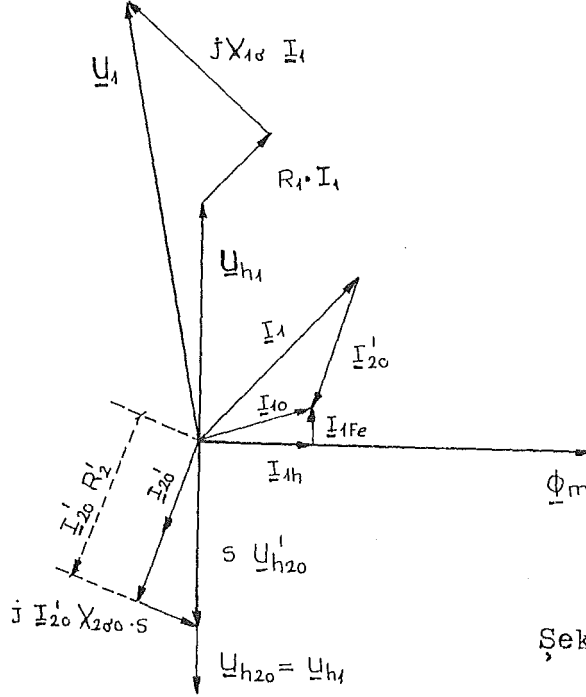
$$I_1 + I_2' = I_{10}$$

$$U_1 = U_{h1} + I_1 R_1 + j X_{1d} I_1$$

$$U_2 = U_{h1} + \frac{R_2'}{s} \cdot I_2' + j X_{2d0} I_2'$$

$$0 = U_{h1} + \frac{R_2'}{s} \cdot I_2' + j X_{2d0} I_2'$$

2.3. Asenkron makinanın boшта çalışma vektör diyagramı
 Asenkron makinanın boшта çalışması demek miline bağlı herhangi bir yükün olmaması demektir.



Şek. 2.5.

Akımlar Arasında

$$I_1 + I_{20}' = I_{10} = I_{1h} + I_{1Fe}$$

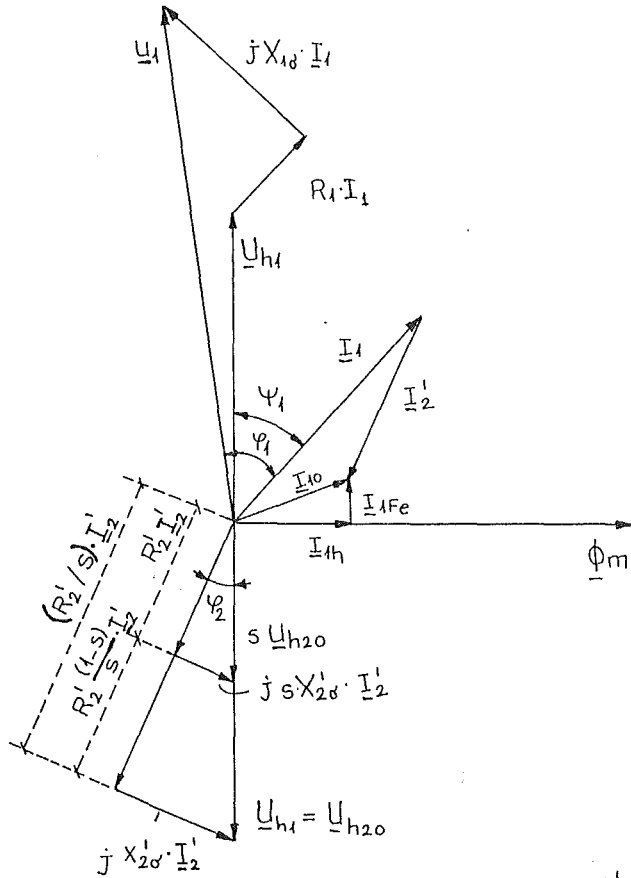
Bu durumda I_{10} , motorun boş çalışmada şebekeden çektiği akımdır. I_{20} rotor akımı, sürtünme ve havalandırma kayıplarını karşılar. Bu yüzden senkron hıza ulaşamaz. I_{1h} , Φ_h ortak akısını meydana getiren mıknatıslanma akımıdır. I_{1Fe} yalnız stator demir kayıplarını karşılayan akımdır.

Kayma çok küçük olduğundan, esasen rotorda pratik olarak demir kayıpları yok denecek kadar azdır.

I_{10} akımına ideal boшта çalışma akımı da diyebiliriz: Asenkron makina dışarıdan tahrik edilip rotor hızı senkron hıza çıkarılacak olursa $s \cdot U_{h20} = 0$ ve bununla birlikte $I_{20} = 0$ olur. Bu durumda sürtünme ve havalandırma kayıpları tahrik motoru tarafından karşılanacağından stator sargısının şebekeden çekeceği akım I_{10} mıknatıslanma akımı I_{1h} ve demir kayıplarını karşılayan I_{1Fe} kayıp akımı fazörlerinin toplamından oluşacaktır.

2. 4. Asenkron makinanın yükte çalışma vektör diyagramı

Asenkron makinanın yükte çalışması demek, motor miline herhangi bir yükün bağlanması durumunu ifade eder. Bu yük bir fren aracı veya bir iş makinası olabilir.



Şek. 2.6.

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2' = \underline{I}_{10}$$

$$\underline{I}_2' = \frac{\underline{U}_{h20}'}{Z_2'} = \frac{\underline{U}_{h20}'}{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{2\sigma}')^2}}$$

Asenkron motoru yüklediğimizde rotorun hızı düşecektir. Devir hızı düşmesi aynı zamanda s kaymasının büyümesi demektir. Bunun sonucu olarak rotorda daha büyük bir $s \cdot \underline{U}_{h20}'$

gerilimi indükleneyecektir. İndüklenen gerilimin büyümesi ile birlikte I_2 akımı da büyüyecektir. rotor kayması fren momentinin gerektirdiği döndürme momentini verecek, I_2 akımına ulaşincaya kadar büyüyecektir. Dolayısıyla döndürme momentini I_2 akımı ile orantılıdır.

İkincil yani rotor akımının büyümesi ile birincil, yani stator akımı da büyüyecektir. Esas magnetik akı Φ_m , eşdeğer devrenin magnetisasyon akım devresi uçları arasındaki $U_{h1} = U_{h2}$ gerilimlerini indüklemektir. I_1 fazörü U_1 gerilim fazörüne nazaran φ_1 açısı kadar geriden gelmektedir. U_{h1} ile I_1 arasındaki φ_1 açısı ise motorun iç faz açısını vermektedir. φ_1 açısı ise motorun dış faz açısını vermektedir.

Birincil gerilimi U_1 , indüklenen gerilim U_{h1} ile $jX_{11}I_1$ ve R_1I_1 gerilim düşümlerinin toplamına eşittir. φ_1 açısının $\pi/2$ ' den küçük olması nedeni ile stator sargılarının şebekeden çektiği güç aşağıda görüldüğü gibidir.

$$P_1 = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

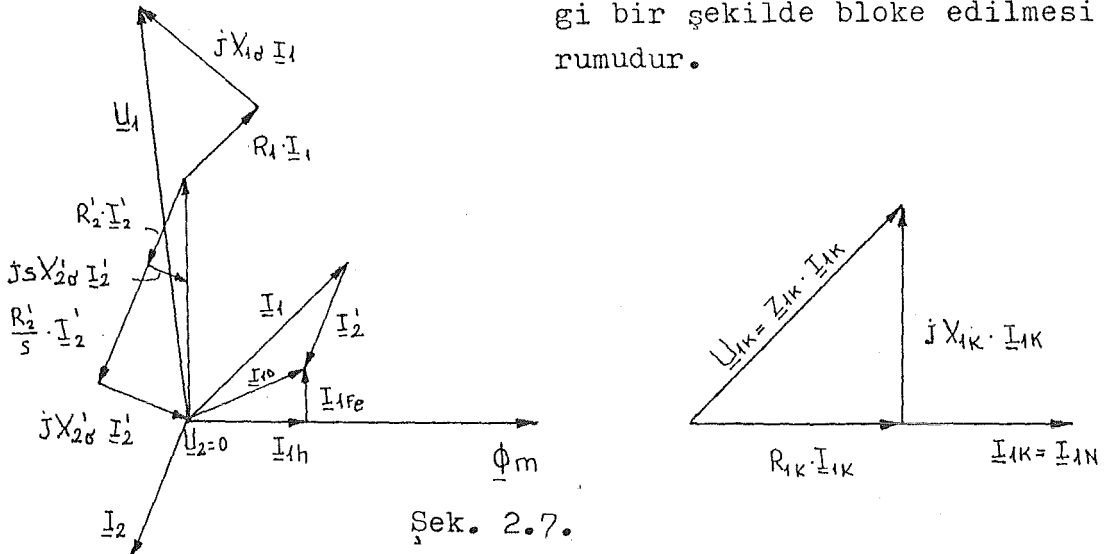
m_1 = Faz sayısını gösterir.

U_1 = Faz gerilimini gösterir.

I_1 = Faz akımını gösterir.

2.5. Asenkron motorun kısadevre çalışması (s = 1 durumu)

Asenkron motorun kısadevre çalışması hali rotorunun herhangi bir şekilde bloke edilmesi durumudur.



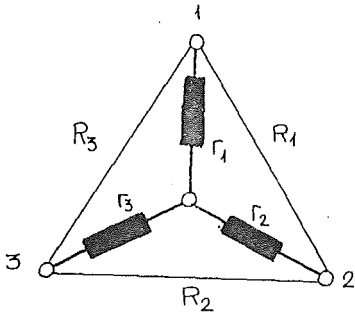
Şek. 2.7.

Kısadevrede çalışma vektör diyagramı

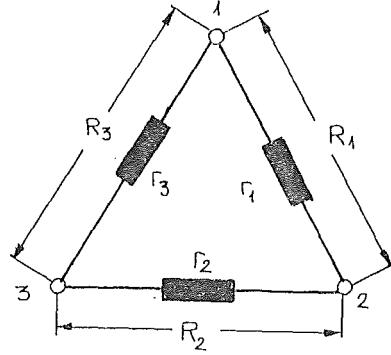
3. ASENKRON MOTORUN LABORATUVAR UYGULAMALARI

3.1. Asenkron Motorlarda Faz Dirençlerinin Ölçülmesi

Asenkron motorların işletme özelliklerinin belirlenmesi için sargıların sağlam olup olmadığının anlaşılması gerekir. Bunun kontrolü sargı dirençlerini ölçmekle yapılır. Sargıların yıldız veya üçgen bağlı olmasına göre hesaplamalar ayrı ayrı yapılır. Sek. 3.1. de yıldız ve üçgen bağlı sargılar görülmektedir.



a) Yıldız bağlama



b) Üçgen bağlama

Şek. 3.1. Yıldız ve üçgen bağlamada sargı dirençleri.

Yıldız bağlama 1 ve 2 nolu uçlar arasında direnç $R_1 = r_1 + r_2$, 2 ve 3 nolu uçlar arasındaki direnç $R_2 = r_2 + r_3$, 1 ve 3 nolu uçlar arasındaki direnç ise $R_3 = r_1 + r_3$ tür.

Üçgen bağlamada ise;

$$R_1 = \frac{r_1 (r_2 + r_3)}{r_1 + r_2 + r_3}$$

$$R_2 = \frac{r_2 (r_1 + r_3)}{r_1 + r_2 + r_3}$$

$$R_3 = \frac{r_3 (r_1 + r_2)}{r_1 + r_2 + r_3}$$

bulunur.

Faz dirençlerinin doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığı zamanlarda hat uçları arasında yapılan ölçmeden yararlanılarak faz dirençleri hesaplanır.

Burada da direnç ölçmesinin temel kurallarına dikkat etmek gerekmektedir. Özetle, geçirilen akımın sargıları ısıtmamasına, bağlantı yerlerinde gerilim düşümü olmamasına, akımın anma değere ulaşması için gerekli zamanın tanınmasına, sargı sıcaklığı ile ortam sıcaklığının aynı olması için motorun bir gün kadar bir süre lâboratuvarda bekletilmesine dikkat edilmelidir.

| U V | I A | R_1 |
|----------|--|--------------------|
| 14 21 | $\left. \begin{matrix} 4 \\ 6 \end{matrix} \right\} (U-x)$ | $R_1 = 3.5 \Omega$ |
| 14 21 | $\left. \begin{matrix} 4 \\ 6 \end{matrix} \right\} (V-y)$ | $R_1 = 3.5 \Omega$ |
| 14 21 | $\left. \begin{matrix} 4 \\ 6 \end{matrix} \right\} (W-z)$ | $R_1 = 3.5 \Omega$ |

Stator Direnci

| U V | I A | R_2 |
|------------|--|--------------------|
| 4 4.4 | $\left. \begin{matrix} 6.3 \\ 7.2 \end{matrix} \right\} (U-x)$ | $R_2 = 0.6 \Omega$ |
| 3.2 4.2 | $\left. \begin{matrix} 5.2 \\ 7.2 \end{matrix} \right\} (V-y)$ | $R_2 = 0.6 \Omega$ |
| 3.1 4 | $\left. \begin{matrix} 5.4 \\ 7 \end{matrix} \right\} (W-z)$ | $R_2 = 0.6 \Omega$ |

Rotor Direnci

Çetvel. 1.

3.2. Asenkron Motorlarda Kaymanın Bulunması:

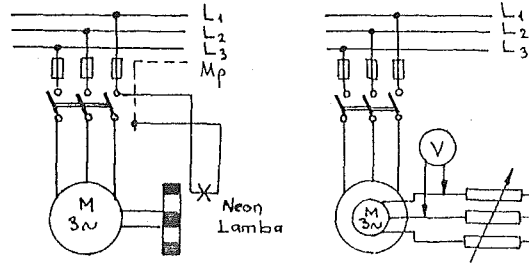
Asenkron motorlarda kayma, döner alan devir hızı ile rotor hızı arasındaki farkın, döner alan devir hızına oranı olarak tanımlanır. s ifade edilir.

Motor boşta çalışırken kayma çok küçüktür. Yük arttıkça kaymada artar. Teoride kaymanın 0 (sıfır) olması mümkün değildir. Zira döndürücü momentin oluşması için rotordan akım geçmesi gerekir. Kaymanın 1 olması rotorun durması anlamına gelir. Bu durumda motor şebekeden çok büyük akım çeker. Kayma çeşitli metodlarla ölçülür. Bunlardan bazıları şunlardır:

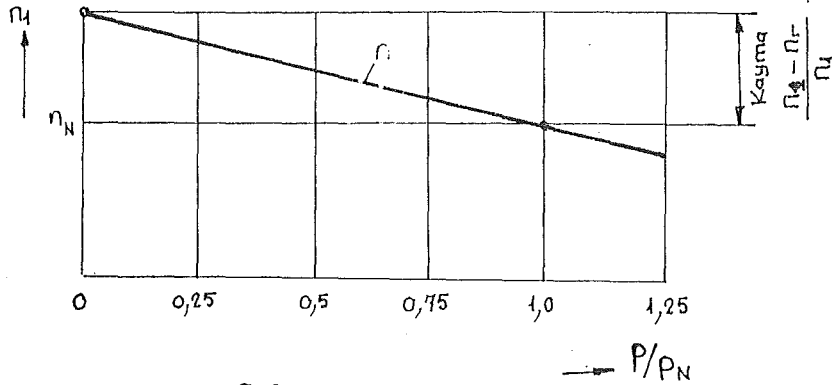
a): Takometre ile ölçmek: Bunun için aygıt rotora dokundurularak, rotorun devir hızı ölçülür. Motorun kutup sayısı ve frekans belli ise kayma hesap ile bulunabilir.

b): Stroboskobik tekerlek ve neon lamba ile kaymanın bulunması:

c): Rotoru sargılı asenkron motorlarda milivoltmetre ile kaymayı ölçmek:



Şek. 3.2. Asenkron motorlarda kaymanın deneysel bulunması



Şek. 3.3.

Kısmi yüklerde kaymanın güçle doğru orantılı olarak değişmesi

3.3. Isınma Deneyi

Isınma deneyi her makinanın imalinden sonra yapılması büyük önem taşıyan deneylerden biridir. Demir kayıpları asenkron makinaların bütün sıcaklıklarında yaklaşık sabittir. Buna karşılık bakır kayıpları sıcaklıkla değişir. Bu ise verimin düşmesine neden olmakla birlikte yüksek boyutlara çıktığında sargıların yanmasına vedaha büyük arızalara neden olmaktadır. Bilindiği gibi asenkron makinalardaki ısınmalar sargılarda, demir kayıpları olarak demir kısımlarında, sürtünme kayıpları olarak yataklarda görülür.

Aşağıdaki tabloda ısınma deneyi sonucu elde edilen değerler görülmektedir.

| ISINMA DENEYİ | | BESLEME ŞEKLİ TRAFO | | | | BAĞLANTI ŞEKLİ λ | | | ORTAM SICAKLIĞI t ₁ = 19 ° t ₂ = 22 ° | | |
|----------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------|----------|--|---------------------|------|
| Gerilim λ Δ | | Akım λ Δ | | Güç KW HP | | Davir hızı | Cosφ | Moment | Faz Direnci | Yalıtım Gerilimi | |
| 380 | 220 | 2,6 | 4,5 | 1,1 | 1,5 | 1830 | 0,87 | 3,75 N.m | 7,25 Ω | 1760 V | |
| Saat | U ₁ | I ₁ | I ₂ | I ₃ | P ₁ | Q ₁ | Davir hızı | f | Stator sıcaklığı | | |
| 9.30 | 340 | 3 | 3, | 3,2 | 1720 | 720 | 2800 | 49,7 | DENEY BAŞI | | |
| 10.00 | " | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 1600 | 640 | 2780 | 49,6 | 37°C | 35°C | 21°C |
| 10.30 | " | 2,95 | 2,95 | 3,05 | 1640 | 660 | 2775 | 50,0 | 42 | 37 | 21 |
| 11.30 | " | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1680 | 660 | 2760 | 49,8 | 41 | 36 | 18 |
| 12.15 | " | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1680 | 660 | 2755 | 49,9 | 41 | 35 | 19 |

Cetvel. 2.

Asenkron motorlarda, kesintisiz işletmede aşırı yük, fazla uzun yolalma ve frenleme, fazla sık durma ve kalkma aşırı ısınmalara yol açmaktadır. Bu sakıncalar çeşitli koruma tedbirleri ile giderilmektedir.

3.4. Yükte Çalışan Asenkron Motorlarda Isınmanın Dirençlere Etkisinin İncelenmesi

Direnç sıcaklıkla değiştiğinden, belli bir direnç değeri ancak hangi sıcaklığa ait olduğu bilinirse bir anlam taşır. Bu nedenle her soğuk durum direnç ölçülmesinde, sıcaklığın da ölçülmesi yada kaydedilmesi gerekir. Sıcaklık genellikle termometre ile ölçülür. Ölçülen bu sıcaklık ısınma ve verim hesaplarında kullanılır. Sargı dirençlerinin ölçülebilmesi için asenkron motorun çalıştırılmadan oda sıcaklığında bekletilmesi gerekir. Bundan şu sonuç çıkarılabilir: Sargı sıcaklık direncinin biri biliniyorsa diğeri hesaplanabilir.

Standartlarda genellikle 75° C deki dirençlerin kullanılması öngörülmüştür.

$$\frac{t_1 + \tau}{t_2 + \tau} = \frac{R_1}{R_2} \quad t_2 = \frac{(t_1 + \tau) \cdot R_2}{R_1} - \tau \quad R_2 = \frac{R_1 (t_2 + \tau)}{(t_1 + \tau)}$$

Yukarıdaki formüllerden görüldüğü gibi R_1 ve R_2 biliniyorsa t_2 yi, t_2 biliniyorsa R_2 kolayca hesaplanır.

R_1, t_1 : Soğuk durumda sargı direnci ve Celsius sıcaklığı,
 R_2, t_2 : Sıcak durumda sargı direnci ve Celsius sıcaklığı,
 τ : Sargı ile iletken malzemesine özgü bir sınır sıcaklık farkı. Bakır için 235 K alınır.

20 C oda sıcaklığında stator sargı direncinin 3,5 olduğu ampermetre voltmeter metodu ile ölçüldü.

Rotoru sargılı asenkron motor çalıştığı zaman 10 dakika ara ile şu değerler alındı.

| | t dakika | I A | U V |
|---|-------------|--------|--------|
| 1 | 0 | 4 | 15 |
| 2 | 10 | " | 16 |
| 3 | 20 | " | 18 |
| 4 | 30 | " | 19 |
| 5 | 40 | " | 19.2 |
| 6 | 50 | " | 19.3 |

Cetvel. 3.

Buradan şu sonuçlar hesaplanır:

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{15}{4} = 3,75 \Omega$$

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{16}{4} = 4 \Omega$$

$$\frac{t_1 + \tau}{t_2 + \tau} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$t_2 = \frac{(t_1 + \tau) R_2}{R_1} - \tau = \frac{255 \cdot 4}{3,75} - 235 = 37^\circ \text{C}$$

$$R_3 = \frac{U}{I} = \frac{18}{4} = 4,5 \Omega$$

$$t_3 = \frac{(t_1 + \tau) R_3}{R_1} - \tau = \frac{255 \cdot 4,5}{3,75} - 235 = 71^\circ \text{C}$$

Aynı yoldan

$$R_4 = 4,75 \Omega \quad t_4 = 88^\circ \text{C}$$

$$R_5 = 4,8 \Omega \quad t_5 = 91,4^\circ \text{C}$$

$$R_6 = 4,825 \Omega \quad t_6 = 93,1^\circ \text{C} \text{ bulunur.}$$

Motorun 75°C deki ısıma direnci:

$$R_2 = \frac{R_1 (t_2 + \tau)}{(t_1 + \tau)} = \frac{3,75 (75 + 235)}{20 + 235} = 4,5588 \Omega$$

Motorun normal olarak 75°C de çalıştığı varsayılırsa, bu sıcaklıktaki R direnci de normal ısıma direncidir. Burada R_1 ve R_2 dirençleri arasında şöyle bir bağıntı vardır:

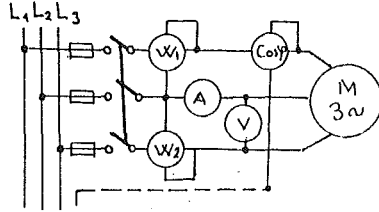
$$R_2 = R_1 \frac{(t_2 + \tau)}{(t_1 + \tau)} = R_1 \cdot 1,21568$$

3.5. Asenkron Makinada Boşta Çalışma Deneyi

Normal frekanslı şebeke gerilimi altında çalışan asenkron motorun şebekeden çektiği güç, demir kayıpları ile sürtünme ve havalandırma kayıplarının toplamını verir. Boşta çalışan motorun devir hızı döner alanın devrine yakın olduğundan, rotorun demir ve bakır kayıpları ihmal edilecek kadar küçüktür. Normal şebeke gerilimi altında boşta çalışan asenkron motorun stator sargılarından geçen akımlar bu sargılarda bakır kayıplarına sebep olurlar. Bu kayıp hesapla bulunarak şebekeden verilen güçten çıkarılırsa geri kalan güç demir, havalandırma ve sürtünme kayıplarını verir.

Motor boşta değişik stator sargı gerilimlerinde çalıştırılır. Motora uygulanan gerilim anma değerinin 1,3 katından motorun çalışmasını sürdürebileceği en düşük gerilimlere kadar değiştirilir. Motorun boşta çalışma akımları her üç faz için değişik stator gerilimlerinde okunur.

Şek. 3.4.



Asenkron motorlarda boşta çalışma deney bağlantı şeması

Rotoru serbest dönen asenkron motorun miline dışarıdan bir fren momenti uygulanmadığı sürece motor boşta çalışır. Bu durumda motor senkron hıza yaklaşır; fakat sürtünme kayıplarından dolayı senkron hıza ulaşamaz. Watmetrelerde Aron bağlantı ile yapılan deneylerde motorun şebekeden aldığı toplam P_0 gücü içerisinde şu kayıplar toplanmıştır: $V_1 I_{Fe}^2$ stator demir kayıpları, $V_1 I_{Cu}^2$ bakır kayıpları, V_m sürtünme ve havalandırma kaybı.

Stator bakır kaybı $V_{1Cu} = 3 \cdot R_1 \cdot I_{10}^2$ olduğundan boşa çalışma akımı ile karesel bir değişim gösterir.

V_m Mekanik kayıplar statora uygulanan gerilimle değişmez.

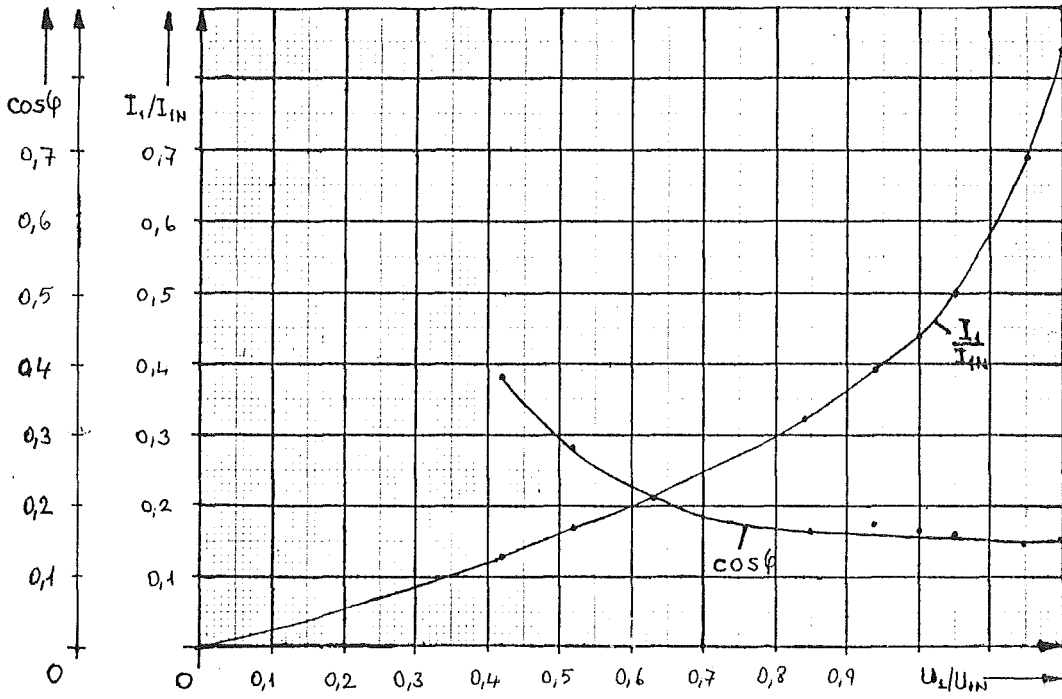
V_{1Fe} Demir kayıpları ise, girdap akım ve histerisiz kayıplarından oluşur. Bu kayıplar da gerilimin karesi ile değişir. Stator gerilimi sıfır olduğunda demir kayıpları da sıfır olur.

Asenkron motor boşa çalışırken şebekeden çektiği akım I_{10} anma akımının % 20...50 si kadar bir değer almaktadır. Boşa çalışma da asenkron motorun statorundan geçen akım transformatörün boşa çalışma akımından daha büyük oranda bir akım geçer.

Aşağıdaki tabloda bir asenkron motorun boşa çalışma deneyinden alınan değerler görülmektedir.

| U_1 V | I_{10} A | P_o W | Q_o VAr | I_{1h} A | X_{1h} Ω | $\sin\phi_o$ | $\cos\phi_o$ |
|------------|---------------|------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|--------------|
| 460 | 2,2 | 260 | 1723 | 2,16 | 212,9 | 0,983 | 0,148 |
| 440 | 1,8 | 200 | 1351 | 1,77 | 248,5 | 0,985 | 0,145 |
| 400 | 1,3 | 140 | 889 | 1,28 | 312,5 | 0,987 | 0,155 |
| 380 | 1,15 | 122 | 746 | 1,13 | 424,7 | 0,986 | 0,161 |
| 360 | 1,03 | 110 | 633 | 1,01 | 356,0 | 0,985 | 0,171 |
| 320 | 0,85 | 80 | 463 | 0,83 | 385,0 | 0,985 | 0,169 |
| 240 | 0,55 | 50 | 223 | 0,53 | 452,0 | 0,975 | 0,218 |
| 200 | 0,45 | 45 | 149 | 0,43 | 465,0 | 0,957 | 0,288 |
| 160 | 0,35 | 37 | 90 | 0,32 | 500,0 | 0,924 | 0,381 |

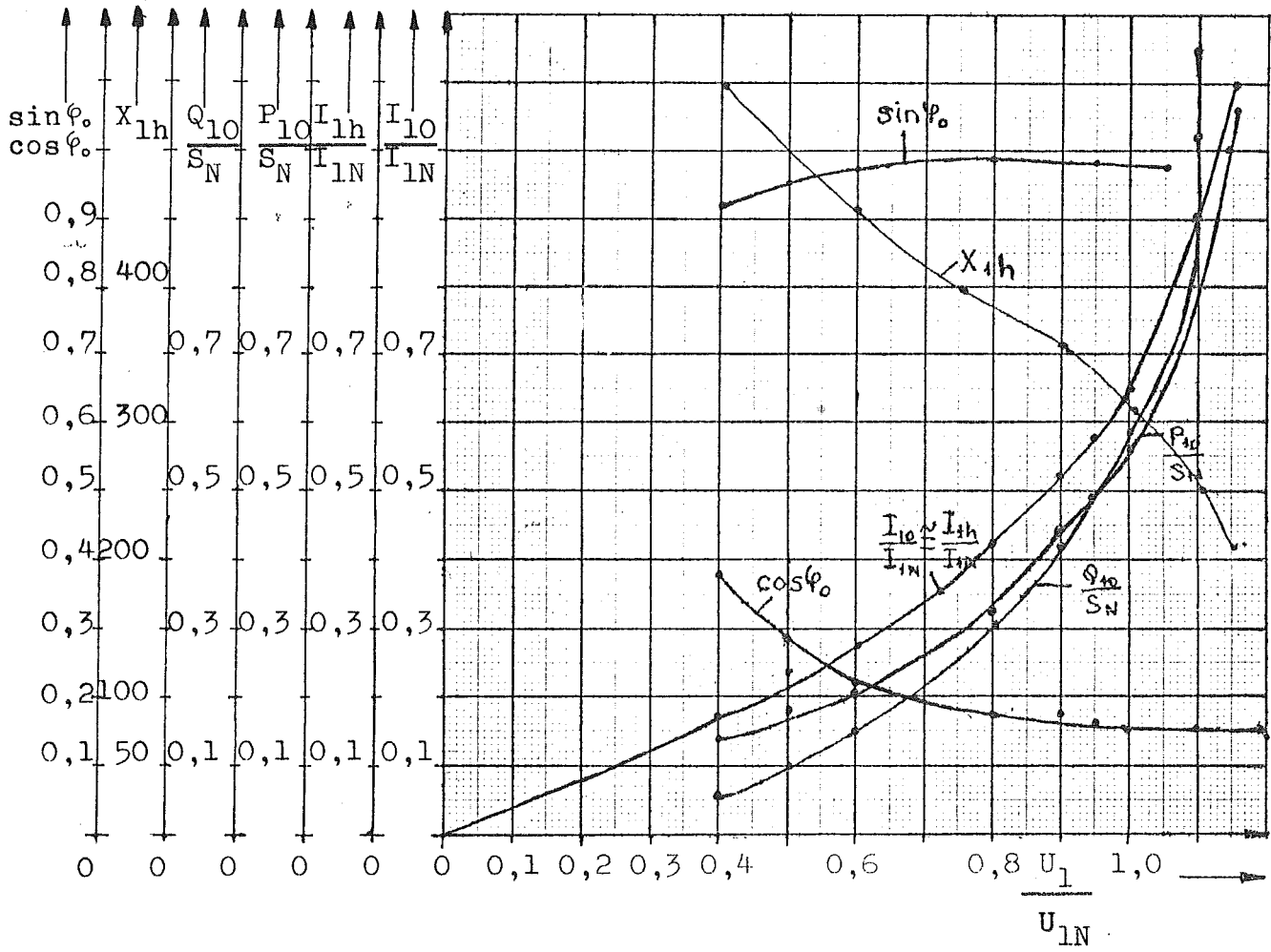
Cetvel. 4. 380 V 1,1 kW 2830 min⁻¹ $\cos\phi=0,87$ $M_N=3,68$ N.m anma değerli sincap kafesli bir asenkron motorun boşa çalışma değerleri



Şek. 3.5. Asenkron motorun boşa çalışma akımının gerilimle değişimi

Boşa çalışmada asenkron motorun stator sargısından çok küçük bir I_{10} akımı geçer. Bu akım boşa çalışmada yalnız sürtünme, havalandırma, demir kaybı ve boştaki bakır kayıpların güçleri ile mıknatıslama akımını karşılar. Boşa çalışmada rotor akımı da çok küçüktür. Boşa çalışmada rotor hızı döner alan hızına çok yakın olduğundan kayma küçüktür. Rotorda indüklenen gerilim kayma ile doğru orantılı değiştiği için bu gerilim de küçük olur. Bilindiği gibi rotorda indüklenen gerilim $E_2 = E_{20} \cdot s$ dir.

Demirin magnetik geçirgenliği iletkenlerin elektrik akımına gösterdiği geçirgenliğe benzemeyip endüksiyon arttıkça magnetik geçirgenliğin azalması, boştaki akımın gerilime bağlı olarak doğrusal olmayan bir değişim göstermesine sebep olmaktadır. Yukarıdaki şekilde boştaki akımın ve güç katsayısının gerilim ile nasıl bir değişim izlediği görülmektedir.



Şek. 3.6. 380 V ; 1,1 kW ; 2830 min⁻¹ $\cos \phi = 0,87$; $M_N = 3,68$ N.m
 anma değerli sincap kafesli bir asenkron motorun boşa çalışma değer-
 lerine göre elde edilen özegriler.

Çeşitli Asenkron Motorlarda Sabit Yükte Değişik Gerilimde Yapılan Deneyle Ait Ölçümler.

| YÜKTE ÇALIŞMA | | | | | | Bağlantı Şekli : λ | | | | | | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------------------|-------------|----------------|-------|-----------|------------|----------------|-------|
| Yük % | U_1 [V] | I_1 [A] | I_2 [A] | I_3 [A] | I_{ort} [A] | P_1 [W] | Q_1 [VAR] | n min^{-1} | M N.m | P_m [W] | η [%] | $\cos \varphi$ | S [%] |
| 5/4 | 420 | 2,95 | 2,85 | 3,0 | 2,93 | 1860 | 1000 | 2860 | 4,7 | 1382 | 74,3 | 0,88 | 4,66 |
| 4/4 | " | 2,50 | 2,40 | 2,60 | 2,50 | 1480 | 1000 | 2890 | 3,75 | 1114 | 75,3 | 0,83 | 3,66 |
| 3/4 | " | 2,10 | 2,0 | 2,15 | 2,10 | 1120 | 960 | 2930 | 2,8 | 843 | 75,3 | 0,76 | 2,33 |
| 2/4 | " | 1,75 | 1,70 | 1,80 | 1,75 | 800 | 960 | 2965 | 1,9 | 579 | 72,4 | 0,64 | 1,16 |
| 1/4 | " | 1,55 | 1,45 | 1,55 | 1,52 | 420 | 1000 | 2990 | 0,94 | 289 | 68,8 | 0,33 | 0,33 |
| 5/4 | 380 | 3,20 | 3,10 | 3,30 | 3,20 | 1940 | 860 | 2820 | 4,7 | 1362 | 70,2 | 0,92 | 6,0 |
| 4/4 | " | 2,55 | 2,45 | 2,65 | 2,55 | 1480 | 760 | 2870 | 3,75 | 1106 | 74,7 | 0,89 | 4,33 |
| 3/4 | " | 2,05 | 1,95 | 2,10 | 2,0 | 1120 | 740 | 2900 | 2,8 | 835 | 74,5 | 0,83 | 3,33 |
| 2/4 | " | 1,65 | 1,55 | 1,70 | 1,63 | 780 | 720 | 2960 | 1,9 | 576 | 73,9 | 0,73 | 1,65 |
| 1/4 | " | 1,30 | 1,20 | 1,30 | 1,27 | 400 | 720 | 2985 | 0,94 | 288 | 72,1 | 0,49 | 0,5 |
| 5/4 | 340 | 3,45 | 3,40 | 3,60 | 3,50 | 1920 | 680 | 2750 | 4,7 | 1328 | 69,2 | 0,94 | 8,33 |
| 4/4 | " | 2,75 | 2,70 | 2,90 | 2,80 | 1500 | 600 | 2820 | 3,75 | 1087 | 72,5 | 0,93 | 6,0 |
| 3/4 | " | 2,20 | 2,15 | 2,35 | 2,23 | 1160 | 560 | 2870 | 2,8 | 826 | 74,2 | 0,90 | 4,33 |
| 2/4 | " | 1,55 | 1,50 | 1,65 | 1,56 | 740 | 520 | 2930 | 1,9 | 572 | 77,3 | 0,82 | 2,33 |
| 1/4 | " | 1,10 | 1,0 | 1,15 | 1,10 | 360 | 520 | 2990 | 0,94 | 289 | 80,2 | 0,57 | 0,33 |

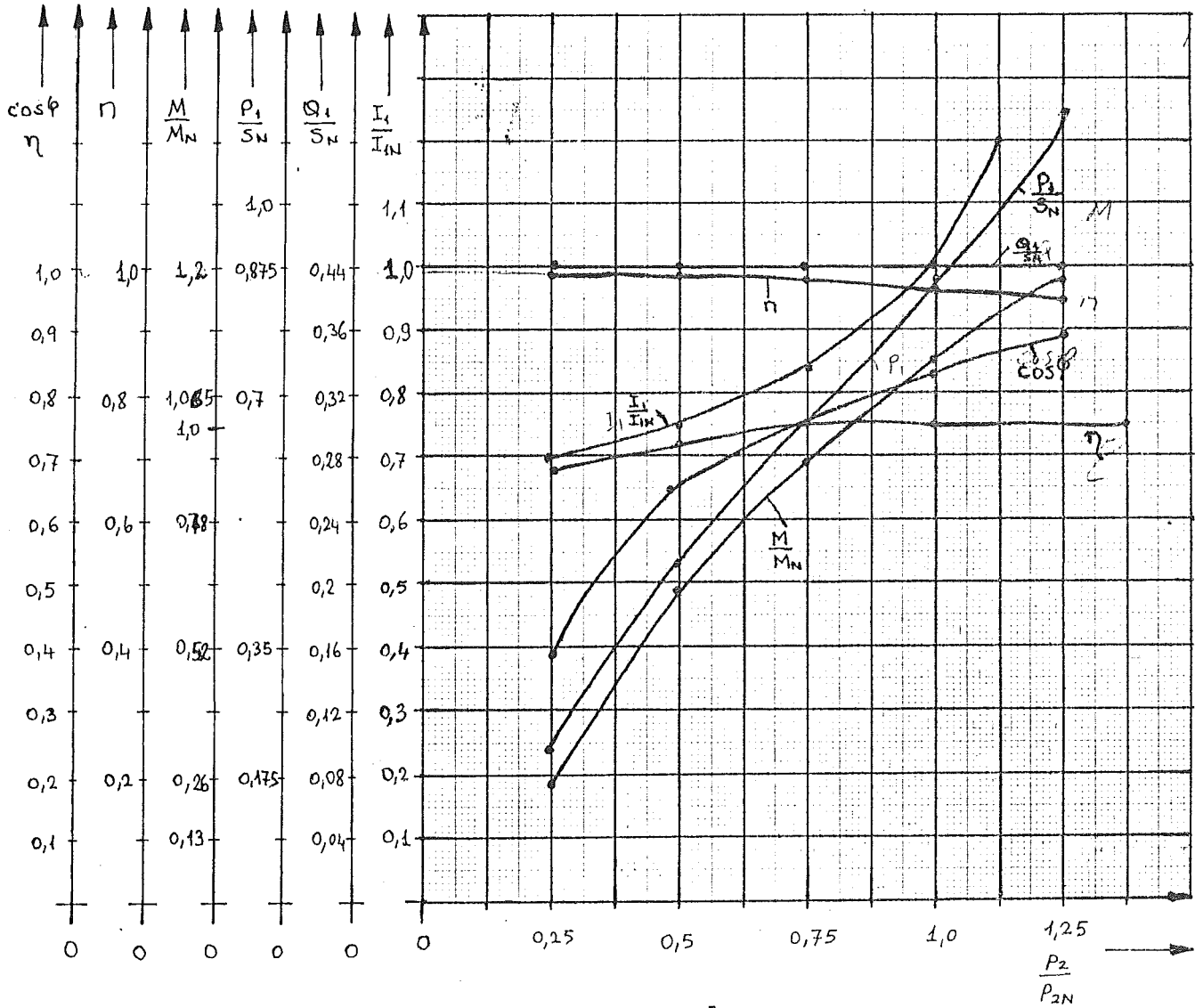
Cetvel. 5.

380 V, 2,6 A, 1,1 kW λ

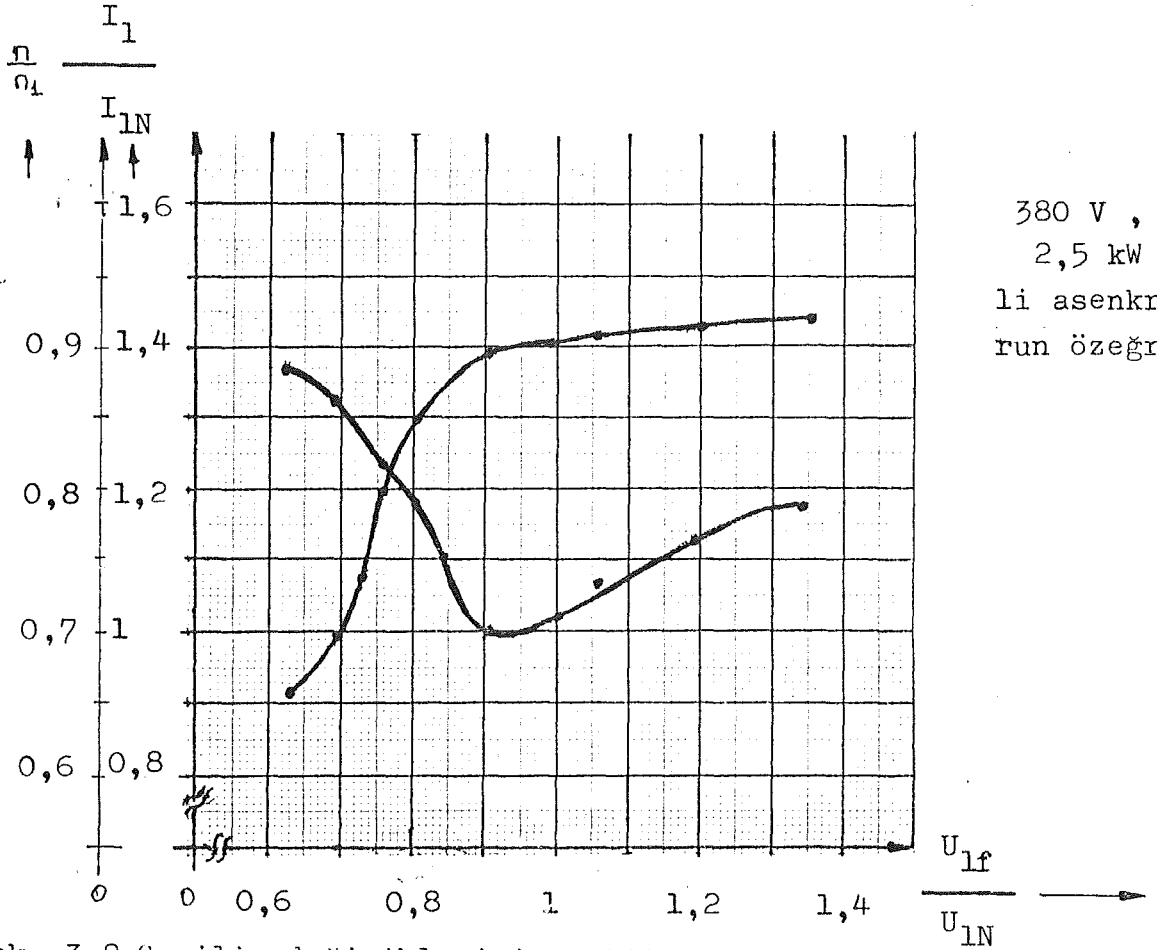
| U_{1f} | I_1 | I_2 | I_3 | W_1 | W_2 | $\cos \varphi$ | n |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|------|
| 220 | 4,6 | 4,8 | 4,6 | 1635 | 645 | 0,76 | 1355 |
| 230 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 1710 | 600 | 0,74 | 1355 |
| 240 | 5,3 | 5,6 | 5,3 | 1890 | 510 | 0,68 | 1370 |
| 250 | 5,6 | 5,8 | 5,6 | 2055 | 405 | 0,62 | 1372 |
| 255 | 6,0 | 6,2 | 6,0 | 2280 | 315 | 0,585 | 1378 |
| 200 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 1620 | 690 | 0,880 | 1340 |
| 180 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 1590 | 810 | 0,920 | 1280 |
| 165 | 5,6 | 5,8 | 5,7 | 1560 | 840 | 0,950 | 1210 |
| 152 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 1530 | 870 | 0,957 | 1050 |
| 140 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 1485 | 885 | 0,96 | 1000 |

Cetvel. 6.

380 V, 4,5 A, 2,5 kW λ



Sek. 3.8.1. 1,1 kW 380 V, 2830 min⁻¹, $\cos \varphi = 0,87$ $M_N = 3,68$ N.m olan bir asenkron motorun anma geriliminde milinden alınan güç kademe kademe artırılarak elde edilen ölçümlere ait özgeçiriler.



Şek. 3.8. Gerilim değışiklerinin sabit momentle çalışan asenkron motor büyüklüklerine etkisi

Yukarıdaki şekilde sabit momentle çalışan bir asenkron motora uygulanan gerilim değıştirilerek alınan değerlerden yararlanılarak çizilen özegriler görülmektedir. Asenkron motorlar anma akımlarını anma momentinde anma gerilimi ile çalıştıkları zaman çekmektedirler. Anma gerilimindeki artma ve azalmalarda motor akımı artarak değışmektedir.

Gerilimi artan bir asenkron motorun boştaki kayıpları artar. Demir kayıpları olarak adlandırılan bu kayıplar motor doyuma yaklaşıkça büyür. Bilinen boşta kayıp gücünden yararlanılarak herhangi bir gerilimdeki demir kayıp gücü bulunabilir. Boşta kayıp gücü gerilimle karesel bir değişim göstermektedir. Buna göre herhangi bir gerilimdeki demir kayıpları,

$$P_{ox} = \frac{U_{1x}^2}{U_{10}^2} \text{ dir.}$$

Gerilim değişikliğinin bütün asenkron motorlara etkisi aynı değildir. Yukarıda özeğrileri verilen motor Siemens marka bir asenkron motordur. Bu motora uygulanan gerilim anma değerinin her iki tarafa değişmesi halinde yük akımı artmaktadır. Yurdumuzda bir İsviçre lisansı ile üretilen asenkron motorların demir alanları büyük tutulduğu için yük akımının artması ancak gerilimin $1,05 U_N$ değerinden sonra başlamaktadır. Bu durum sık sık aşırı gerilimle çalışmak zorunda kalan motorlar için bir güvence oluşturmaktadır.

Sabit momentle çalışan asenkron motorlarda gerilim düşümü de yük akımının artmasına neden olmaktadır. Üç fazlı asenkron motorların momenti ,

$$M_i = \frac{3 \cdot R_2 \cdot U_1^2}{\omega_1 \cdot \dot{u}^2} \cdot \frac{s}{R_2 \cdot (s \cdot X_{20})^2}$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlerden görüldüğü gibi moment gerilimle karesel bir değişim göstermektedir. Buna göre gerilimin azalması yük akımının karesel bir değişimle artmasına neden olacaktır. Bu durumu aşağıdaki denklemlerle açıklayabiliriz.

$$M_i = \frac{3 \cdot R_2 \cdot I_2^2}{2 \cdot n_1 \cdot s}$$

Görüldüğü gibi motor momentini sabit tutabilmenin tek yolu rotor akımını karesel artırmaktır. Rotor akımının artması kaymanın artmasına bağlı olduğundan gerilim düşümü ile birlikte devir hızı da düşer.

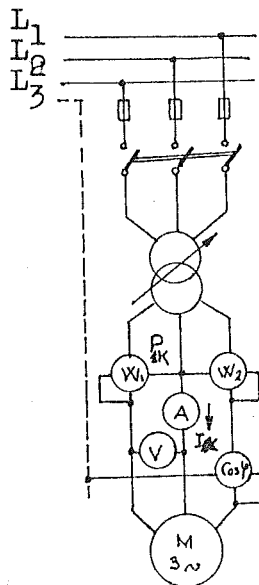
Asenkron motorlar uzun süre aşırı veya düşük gerilimle çalışamazlar. Her iki durumda da aşırı akımlar sargıların aşırı ısınarak izolasyonlarının bozulmasına neden olmaktadır. Meselâ yurdumuzda dîni bayramların yaygın kutlanması sonucu, enerji talebinde büyük düşüşlere neden olmaktadır. Enerji talebindeki düşmeler gerilimin aşırı yükselmesine neden olmakta ve bu günlerde aşırı akıma maruz kalan asenkron motor sargıları yanmaktadır. Bir asenkron motorun sargılarının yenilenmesi önemli millî servet kayıplarına neden olması bakımından yetkililerin bu konuda daha titiz davranmaları gerekmektedir. Gerilim düşümlerinin önlenmesi bir bakıma imkânsız ise de gerilim yükselmeleri daha dikkatli bir çalışma ile önenebilir.

3.7. Asenkron Motorda Kısadevre Deneyi

Asenkron motorun kısadevresi motor dönmediğinden stator sarjının beslenme halidir. Her asenkron motor yol vermede harekete geçinceye kadar çok kısa bir süre kısadevre kalır. Kısadevre deneyinde ise motorun dönmesi, örneğin mile saptanan bir kuvvet kolu veya fren ile isteyerek önlenir. Motorun bu durumda oluşturduğu moment kalkış momentidir. Deneyde motor hareket etmediğinden motorun muhtemel mekanik arızaları görülemez.

Asenkron makinada kısadevre deneyinin amacı aşağıdaki sonuçların ölçü yolu ile bulunmasıdır.

- 1- Eşdeğer şemadaki stator kısadevre elamanları Z_{1k} , R_{1k} , X_{1k}
- 2- Kısa devre güç katsayısı $\cos \varphi_k$ ve daire diyagramı,
- 3- Rotor indirgenmiş direnci R_2' ve kaçak reaktansı X_2'
- 4- Verim ve ısınma hesaplamalarında kullanılan bakır kayıp gücü V_{1Cu} ve V_{2Cu} ,
- 5- Kısa devre özdeşleri



Asenkron motorun kısadevre (kilitli rotor) deney seması

Şek. 3.9.

3.7.1. Kısadevre deneyi:

Durmada asenkron makina kısadevre edilmiş bir transformatordur. Her ikisinin eşdeğer şemaları aynıdır. Bu temel sonuçtan giderek transformatorun kısadevre deneyinde kazanılan bilgiler asenkron makinaya uygulanabilir.

1- Asenkron motorun kısadevre deneyi transformatora benzer şekilde yapılır.

Her iki durumda kullanılan bağlantı şemaları esas itibarı ile aynıdır. Bu bağlantı şeması asenkron motorun boşta deneyinde de kullanılır. Tabii ölçü aletlerinin ölçülecek büyüklük değerine uygun olması gerekir. Deney kafes rotorlu ve bilezikli tipler için aynı şekilde gerçekleştirilir. Önce, duran motorun mili bloke edilir, yani dönmesi önlenir. Bu nedenle kısadevre deneyine " bloke motor deneyi " de denir. Bilezikli motorda rotor sargısı bilezik ve fırçalar üzerinden kısadevre edilir.

Deneyde besleme tarafındaki fazlar arası kısadevre gerilimi U_{1k} , kısadevre etkin gücü P_{1k} ve büyük bilezikli asenkron motorlarda rotor kısadevre akımı I_{2k} , hat kısadevre akımı I_{1k} ölçülür. Gücün ölçülmesinde iki vatmetreli Aron bağlantısı uygulanır. Güç katsayısı 0,50 den küçük olduğunda vatmetre ölçülerinin çıkarılması unutulmamalıdır.

2- Duran asenkron motor anma gerilimi ile beslendiğinde oluşan kısadevre akımı tehlikeli büyüklüktedir, fakat transformatora göre nispeten küçüktür.

Kısadevrede bir asenkron motora anma frekansında nispeten küçük bir gerilim uygulanarak anma akımının, hatta daha büyük akımların geçmesi sağlanır. Statora anma gerilimi tam uygulanırsa stator ve rotor sargılarında oluşan kısadevre akımları anma akımının 5 ila 8 katına çıkabilir. Transformatorde bu oran çok daha yüksektir. Kısadevre akımı, özel tedbirler alınmışsa, deney süresinde sıcaklığı hızla yükselir ve aşırı ısınma ile motoru yakabilir. Bu nedenle büyük motorlarda anma ge-

riliminin takriben % 20 ila 30 u, küçük motorlarda ise % 30 ilâ 100 ü uygulanarak, motor akımının anma değerinde olması ve bu değeri geçmesi sağlanır. Ayrıca deneyden önce ve sonra sargı sıcaklığı ölçülebilir. Kısadevre gerilimini azaltmak için ayarlanabilri besleme gerilimine ihtiyaç vardır. Bu amaçla transformatör veya küçük güçlerde, öndirençle kullanılabilir. Kısadevre anma akımının geçmesi için uygulanması gereken kısadevre gerilimi, asenkron motora göre transformatörde çok daha küçüktür ve % 3 ilâ 10 arasındadır.

Belli bir gerilimdeki kısadevre akımının değeri rotorun statora göre konumuna bağlı olabilir. Rotor ve stator dişlerinin karşılıklı yakınlaşması ile ilgili bu durumda rotor yavaşça döndürülürse, kısadevre akımı azami ve asgari değerler arasında değişir. Deneyde ortalama bir değer alınır.

3.7.2. Kısadevre deneyi bağıntıları:

Kısa devre deneyi bağıntıları transformatör ve asenkron makinada aynıdır. Kısadevrede asenkron motor ikincil sargısı kısadevre edilmiş bir transformatör olduğundan, transformatör ile aynı eşdeğer şemaya sahiptir. Deneyde ölçülen büyüklükler ile stator tarafında beher faz için kısa devre empedansı Z_{1k} , kısa devre direnci R_{1k} ve kısadevre reaktansı X_{1k} transformatorda olduğu gibi hesaplanabilir.

$$Z_{1k} = \frac{U_{1kf}}{I_{1kf}} \quad R_{1k} = \frac{P_{1kf}}{I_{1kf}^2} = \frac{P_{1k}}{3 I_{1kf}^2}$$

$$X_{1k} = \sqrt{Z_{1k}^2 - R_{1k}^2}$$

Bu bağıntıların hem yıldız ve hem de üçgen bağlantıda geçerli olabilmesi için kısadevre gerilim ve akımının bir faz değerinde kullanılması elzemdir. Deneyde fazlar arası gerilim ve hat akımı ölçülür. O halde stator sargısı yıldız bağlı ise gerilim $\sqrt{3}$ e bölünerek, akım aynen, üçgen bağlı ise gerilim aynen, akım $\sqrt{3}$ e bölünerek kullanılmaktadır. Daha hassas bir hesaplama yapılmak istenirse kısadevre gücünden boşa deney ile bulunabilen demir kayıp gücü çıkarılabilir.

Zira bu kayıp gücü eşdeğer şemada ayrı bir dirençte oluşur.

$$R_{1k} = \frac{P_{1k} - V_{1Fe}}{3 I_{1kf}^2}$$

Ölçü değerleri veya hesaplama sonuçları ile kısadevre güç katsayısı kolayca bulunabilir.

$$m_1 = 3 \quad \cos \varphi_{1k} = \frac{P_{1k}}{\sqrt{3} U_{1k} I_{1k}} \quad \cos \varphi_{1k} = \frac{R_{1k}}{Z_{1k}}$$

Pratik değeri 0,4 ilâ 0,6 arasındadır. Boşta güç katsayısından daima daha büyüktür, fakat kaçak akılları için gerekli güç (büyük reaktif güç) ve akım nedeni ile düşüktür.

Kısadevre direnç ve reaktansı güç katsayısı kullanılarak bulunabilir.

$$R_{1k} = Z_{1k} \cos \varphi_{1k} \quad X_{1k} = Z_{1k} \sin \varphi_{1k} \quad \sin \varphi_{1k} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1k}}$$

Kısadevre güç katsayısı kısadevre akımının kısadevre gerilimine göre faz açısını belirler. Boşta ve kısadevre deneyinde bulunan akım ve güç katsayıları ile iki noktası belirlenen daire diyagramı çizilebilir.

Kısadevre gücü P_{1k} esas itibarıyla stator ve rotor sargı dirençlerinde oluşan bakır kayıp gücüdür, zira motorda mekanik kayıp gücü yoktur. Diğer yandan gerilim ve ona bağlı olan faydalı akı küçük olduğundan, akımın oluşturduğu demir kayıp gücü bakır kayıp gücüne göre küçüktür.

$$P_{1k} = V_{Cu} + V_{Fe} \quad P_{1k} \cong V_{Cu} = V_{1Cu} + V_{2Cu}$$

$$V_{1Cu} = m_1 R_1 I_{1kf}^2$$

Rotor indirgenmiş direnç ve kaçak reaktansı:

Kısadevre deneyinde bulunan eşdeğer direnç ve ölçülen stator direnci ile rotor indirgenmiş direnci hemen hesaplanabilir. Sargı kaçak reaktanslarını ayrı ayrı ölçme yöntemi bilinmediğinden

den, eşdeğer reaktansı kaçak reaktansların kesin ayırımı yapılamaz. Pratikte rotor indirgenmiş sargısının stator sargısına yakınlığı gözönüne alınara, rotor indirgenmiş kaçak reaktansı stator kaçak reaktansına eşit kabul edilir.

$$R_2' = R_{1K} - R_1 \quad X_{2\sigma 0}' \cong X_{1\sigma}' = X_{1K}/2$$

Kısadevre reaktansının stator ve rotor sargıları arasında eşit dağılıma varsayımı pratikte kullanılabilen sonuçlar vermektedir. Bulunan rotor indirgenmiş direnci alternatif akım değeridir.

3.7.3. Kısadevre Özegrileri

Kısadevre deneyinde kısadevre özegrileri elde edilmek istenirse, stator gerilimi sıfırdan itibaren artırılır. Ayarlanan herbir kısadevre gerilimi için besleme tarafından, gerilim ile beraber, kısadevre akımı ve etkin güç ölçülür. Aşırı ısınmayı önlemek için ölçülerin çabuk yapılması ve gerilimin en büyük değerinden başlayarak en küçük değere inebilmesi lâzımdır. Akım sargı sıcaklığının müsaade ettiği en yüksek değere kadar çıkarılır. Pratikte anma akımının iki katına kadar çıkabilir. Ölçülen büyüklüklere, transformatorunda olduğu gibi, kısadevre gerilimine göre üç kısadevre özegrisi çizilebilir.

- 1- Kısadevre akım özegrisi
- 2- Kısadevre güç veya kalkış momenti özegrisi
- Kısadevre güç katsayısı özegrisi

Aşağıda değişik motorlarda yapılan kısadevre deneyine ait ölçümler görülmektedir.

| KISADEVRE GALIŞMASI $U_{1K}=73 \text{ V}$ | | | | KALKIŞTAKİ DEĞERLER | | |
|---|-----------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|
| λ/Δ | $U \text{ (V)}$ | $I_{1K} \text{ (A)}$ | $P_1 \text{ (W)}$ | $I_1 \text{ (A)}$ λ | $M_{A\lambda} \text{ (N.m)}$ | $M_D \text{ (N.m)}$ |
| λ | 73 | 2,55 | 260 | 15 | 7,5 | 10 |
| λ | 100 | 3,5 | 500 | I_1/I_N | M_A/M_N | M_D/M_N |
| | | | | % λ | % λ | % |
| | | | | 5,88 | 2,00 | 2,67 |

Cetvel.7.

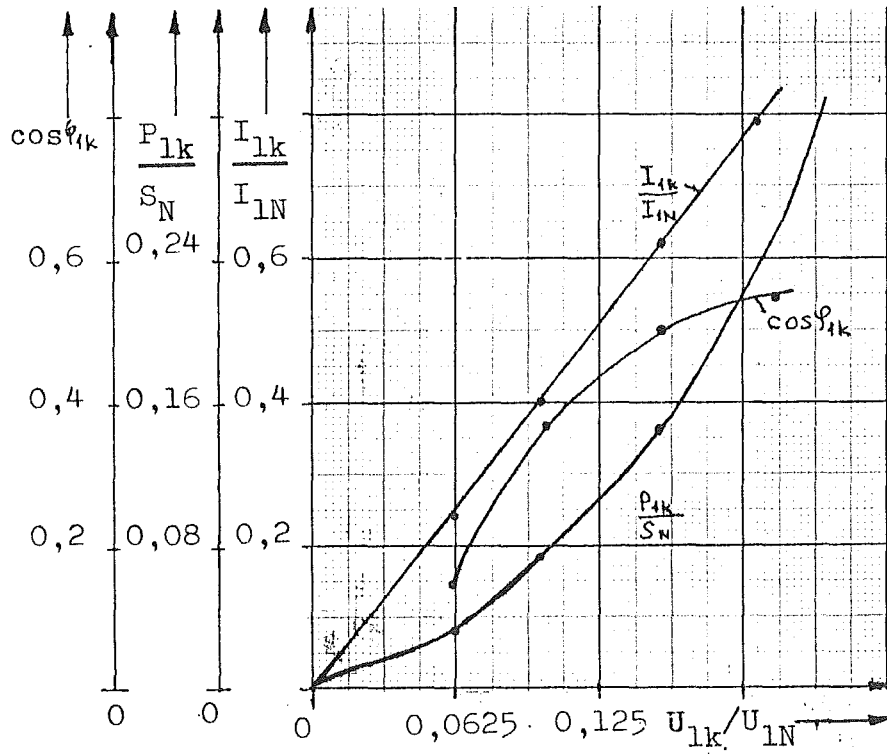
Buna göre gerilim 2 defa arttığında kısıdevre akımı 2 defa, kısıdevre gücü 4 defa büyür. Şek. 3. 10. da kısıdevre gücünün gerilimle kuvvetli artışı görülmektedir. Boşta çalışmanın ve deneyin aksine kısıdevrede motor önemli miktarda güç çeker. Anma geriliminde kısıdevre gücü anma çalışmasında çekilen güçten daha büyük bile olabilir.

Anma akımının geçmesi için uygulanması gereken gerilime " anma kısıdevre gerilimi " anma geriliminde geçen akıma da " anma kısıdevre akımı " denir. Sek. 3.10 da kısıdevre öz - eğrileri çizilen motorun anma akımı 4,5 A anma kısıdevre gerilimi 100 V anma kısıdevre akımı 11 A dir. Kısıdevre akımının büyüklüğü motor manyetik devresinin boyutlanmasına bağlıdır. Oluk şekli uygun seçilerek kısıdevre akımının büyüklüğü işletme koşullarını sınırlı olarak uyandırabilir.

Asenkron motorun kısıdevre akım özegrisi en önemli özegridir. zira uzatma ile kalkış akımının bulunmasını sağlar. Bu özegrinin kendine özgü bir değişimi vardır, Özellikle kaçak akımın geçtiği dış uçlarında oluşan doyma ile kısıdevre akımı gerilimle başlangıçtaki doğrusal değişmeden sonra daha çok artmaya başlar. Özegrinin başlangıç doğrusundan sapor ve daha dik ikinci bir doğruya geçer. Şek. 3.10. doymanın önemli olduğu bir motorda kısıdevre akım özegrinin iki doğrusal kısmını göstermektedir. Bunlardan bir başlangıç noktasındaki, diğeri M çalışma noktasındaki teğettir. Ölçme sahası dışındaki hesaplama veya özegrinin uzatma birinci teğete göre yapılırsa çok hatalı, ikinci teğete göre yapılırsa az hatalı olur. Gerçeğe yakın değerler elde etmek için ikinci teğet kullanılmalıdır. Örneğin; Şek. 3.10. daki özegrinde başlangıç teğeti kullanılırsa 190 V ta 9,5 A. olan kısıdevre akımı için 380 V ta 20 A yerine $9,5 \cdot 380 / 190 = 18$ A bulunur. Buna rağmen özellikle aşırı ısınmayı önlemek için düşük gerilimde yapılan bir ölçmeden anma gerilimindeki kısıdevre akımını bulmak için doymanın ihmal edildiği bu yöntem ilk yaklaşık olarak kullanılır.

| M fazlarının sı gerilim | $I_{1,1}$ | $I_{1,2}$ | $I_{1,3}$ | I_2 | W_1 | W_2 | $\cos \varphi$ |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|----------------|
| 25 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 4,2 | 30 | 21 | 0,162 |
| 40 | 2, | 2,1 | 2 | 7,8 | 93 | 30 | 0,46 |
| 60 | 3,1 | 3,2 | 3,1 | 12 | 188 | 62 | 0,62 |
| 78 | 3,8 | 3,95 | 3,8 | 15 | 322,5 | 110,5 | 0,70 |
| 100 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 20 | 625 | 125,0 | 0,72 |

$$n = 0 \text{ min}^{-1}$$



$$I_{2N} = 12,5 \text{ A}$$

$$U_{20} = 85 \text{ V}$$

Şek. 3.10 . 380 V 4,5 A 1,5 kW $\cos 0,73$ 1365 min^{-1} değerli dö-
 kutuplu, üç fazlı bilezikli bir asenkron motorun öz-
 eğrilerini göstermektedir. Kısadevre akımı gerilime yaklaşık
 doğru orantılı olduğundan, öz eğrisi başlangıç noktasından
 geçen bir parabolüdür. Kısadevre güç katsayısı yaklaşık sabit
 kaldığından, öz eğrisi absis eksenine paralel bir doğrudur.

$$I_{1kf} = \frac{U_{1kf}}{Z_{1k}}$$

$$P_{1k} = 3 R_{1k} I_{1kf}^2 = 3 \frac{R_{1k}}{Z_{1k}^2} U_{1kf}^2$$

$$\cos \varphi_{1k} = \frac{R_{1k}}{Z_{1k}}$$

$$\underline{I}_{1kx} = \underline{I}_{1k} \frac{U_{1kx}}{U_{1k}}$$

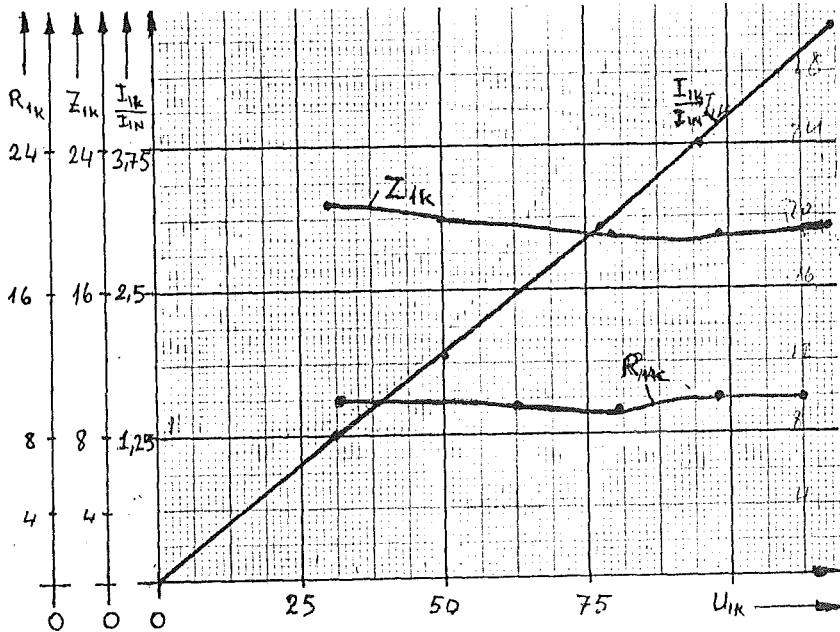
Ölçme geriliminin başka bir gerilimdeki kısadevre gücü ve kalkış momenti ise gerilimin karesi ile orantılı hesaplanır.

$$P_{1kx} = P_{1k} \left(\frac{U_{1kx}}{U_{1k}} \right)^2 \quad M_{Ax} = M_A \left(\frac{U_{1kx}}{U_{1k}} \right)^2$$

3.7.4. Eşdeğer devre elemanlarının akımla değişmesi:

Kısadevre karakteristiklerinden hesaplanan eşdeğer empedans, direnç ve reaktans değerleri kısadevre akımına göre taşınırsa şekil (7.H) deki eğriler elde edilir. Artan akımla kısadevre empendans, direnç ve reaktansı, biraz düşer. Bunun nedeni kısadevre akımının fazla artışı ile aynıdır, dışlardaki doymadır. Eşdeğer dirençteki azalmanın nedeni doymanın iletkende oluşan girdap akımlarını azaltmasıdır.

Akım sıkışmasının önemli olduğu yüksek iletkenli ve çift kafesli rotorlarda iletkenlerdeki akım dağılımı azalan frekansla değişir. ve daha düzenli olur. Bu nedenle normal hıza göre durmada ölçülen direnç büyük, kaçak reaktansı ise küçük olur. Gerçeğe uygun bir değer ölçebilmek için kısadevre deneyinde besleme anma frekansından daha düşük bir frekansta yapılarak durmada rotor akım dağılımının normal çalışmadakine yakın olma-



sağlanır. Hassas hesaplamalar için uygulanan bu yöntemde kısadevre gerilimi 50...60 Hz lik motorlar için 10 ilâ 25 Hz de alınabilir. Bu şekilde f_1 frekansında ölçülen durmadaki X_{1h} eşdeğer reaktansından f_1 anma frekansındaki X_{1h} değerine oranlama ile geçilir.

$$X_{1k} = X'_{1k} \frac{f_1}{f'_1}$$

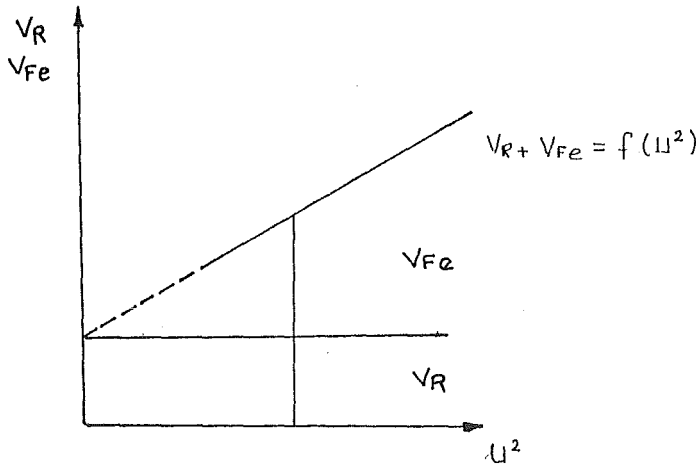
3.8. Asenkron Makinanın Kayıplarının Ayrılması:

Bu deneyden amaç asenkron makinanın sürtünme ve demir kayıplarını birbirinden ayırmak ve daire diyagramının çizimine yardımcı olmaktır. Asenkron makinanın sürtünme ve demir kayıplarının birbirinden ayrılmasında kullanılan yöntemlerden biri de Fechheimer metodudur. Bu metodla kayıpların hesaplanması için asenkron makina motor olarak boşta çalıştırılır ve tatbik edilen gerilim, frekans sabit tutulmak şartıyla, belirli değerler arasında basamaklı olarak değiştirilir. Her gerilim basamğında şebekeden çekilen akım ve güç okunur. Şebekeden çekilen akım I_{10} , stator direnci R_1 ve şebekeden çekilen güç P_0 ise bu takdirde toplam sürtünme ve bakır kayıpları aşağıdaki gibi hesap edilebilir.

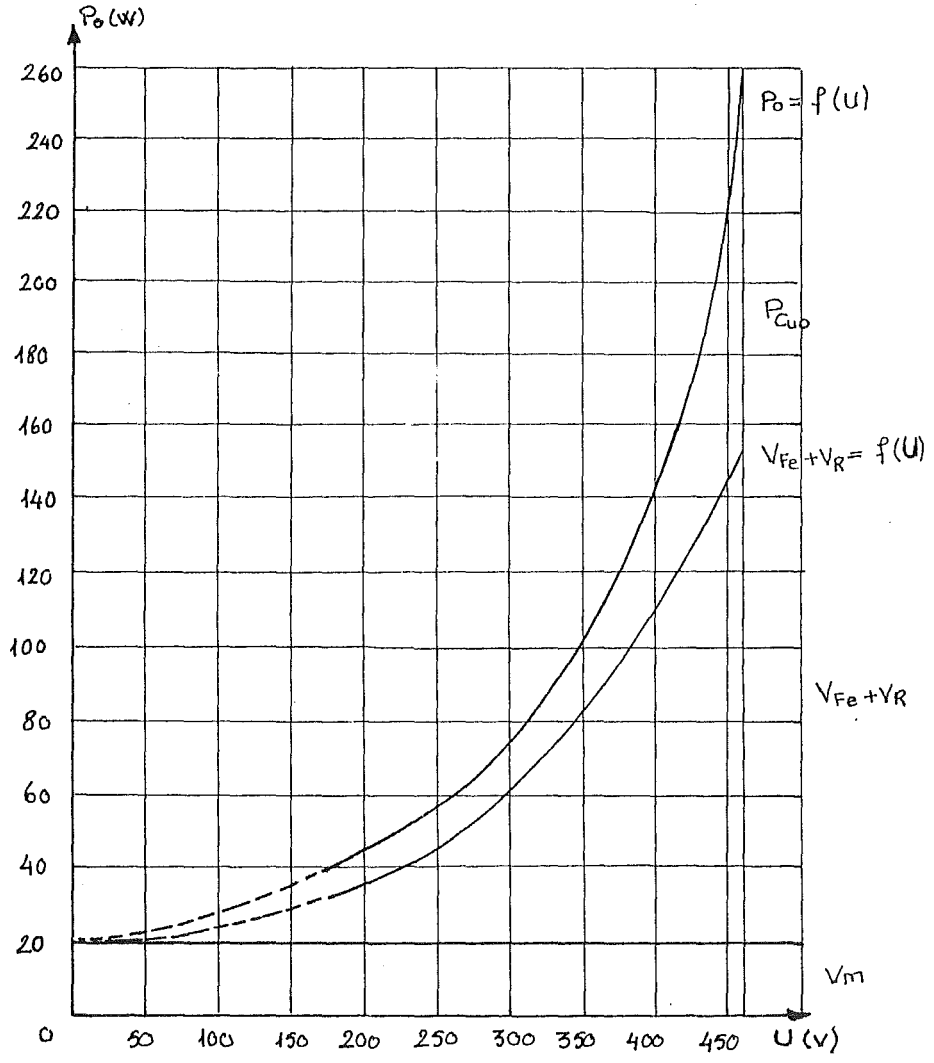
$$V_R + V_{2Fe} = P_0 = I_{10}^2 \cdot R_1$$

Denklemden V_R sürtünme ve havalandırma kayıp gücü V_{2Fe} statordaki demir kayıplarını göstermektedir. I_{10}^2 , R_1 boştaki bakır kayıplarını verir.

Aşağıdaki grafiklerde değişik kutup gerilimleri için okunan P_0 kayıp değerleri gerilimin fonksiyonu olarak çizilmiştir. Ayrıca kayıpların gerilimin karesi ile değişimlerinde görülmektedir.



Şek. 3.12. Sürtünme ve demir kayıplarının gerilimin karesinin bir fonksiyonu olarak gösterilmesi.



Şek. 3.13. Asenkron makinanın kayıplarının gerilimin fonksiyonu olarak gösterilmesi

3.9. Verimin Bulunması:

Bir makinanın verimi makinadan çekilen faydalı gücün makinaya verilen güce oranı olarak tanımlanır. Buna göre verim,

$$\eta = \frac{\text{makinadan çekilen faydalı güç}}{\text{makinaya verilen güç}} \quad \eta = \frac{P_{2m}}{P_1} \quad \text{dir.}$$

Pratikte verim iki yoldan hesaplanır.

1- Direkt olarak verim tayini : Faydalı gücün tayini motorlarda fren momenti ve devir sayısının ölçülmesi ile yapılır. Genaratörlerde ise bu generatörün miline uygulanan mekanik güç olup etolene edilmiş bir yardımcı makina yardımı makina yardımı ile tespit edilir.

Direkt olarak verim tayini, verimi % 85' in altında olan küçük makinalarda uygulanır, çünkü bu hassas bir yöntem değildir.

2- Endirekt olarak verim tayini : Bu metot verimi % 85'in üstünde olanlar için uygulanır. Bu metotda kayıplar ölçülür, faydalı güçte bilindiğinden verim;

$$\eta = \frac{P_{\text{faydalı}}}{P_{\text{faydalı}} + P_{\text{kayıplar}}}$$

Gözlem sonucu:

Motora verilen güç : 1480 W

Milden alınan güç : 1106 W

Hesaplanan verim : 74,7

Anma verim : 75

Tolerans : 0,15.(1-0,75) = % 3,75

Min. verim : % 75 - % 3,75 = 71,25 olmalıdır

| P_1 | P_{2m} | % η |
|-------|----------|----------|
| 1540 | 1064 | 69 |
| 1500 | 1079 | 71,9 |
| 1480 | 1095 | 73,9 |
| 1460 | 1098 | 75,2 |
| 1450 | 1106 | 76,2 |

Cetvel 7.

4.GERİLİM KONTROLU YOLUYLA ASENKRON MOTORLARIN ENERJİ VERİMİNİN İNCELENMESİ

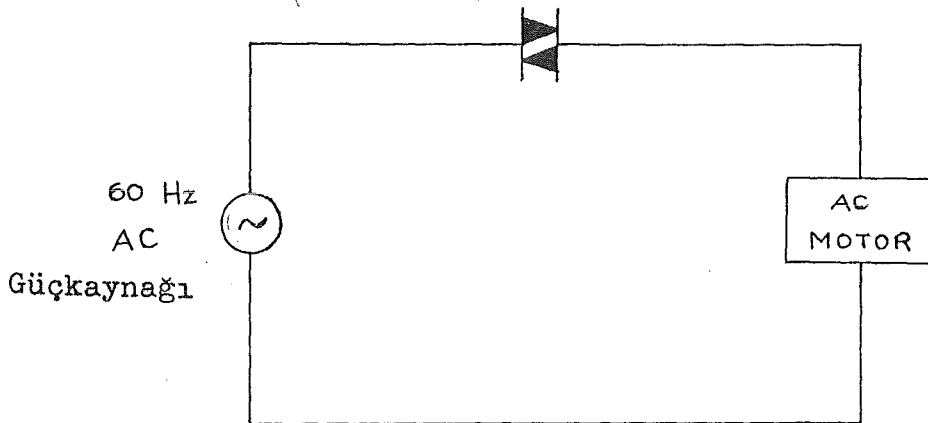
Bugün birçok ülkede üretilen elektrik enerjisinin % 50 den fazlası elektrik motorları tarafından tüketilmektedir. Bu motorların % 90 dan fazlası asenkron motordur. Asenkron motorların da gücü 10 kW tan aşağı olanları önemli bir yer tutmaktadır. Bu motorların gerilimleri kontrol edilmek suretiyle iyi yüklemek neticesinde çok önemli enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Bu konuda çeşitli gerilim kontrol düzenleri ile birçok deneyler yapılmıştır.

Motora uygulanan gerilimin kontroluyla aynı zamanda güçkatsayısı da iyileştirilmektedir. Üretilen toplam elektrik enerjisinin % 7...% 9 unun iletim ve dağıtım kayıplarına ve % 1...% 2 si de reaktif kayıplara gitmektedir. Gerilim kontrolü ile gereksiz reaktif güç sarfiyatları önlendiği takdirde bunlardan doğan kayıplar da önlenir.

Lâboratuvarda 0,25 kW motorla ve thyristörlü (SCR) çeşitli gerilim kontrol düzeni ile deneyler yapılmış ve sonuçlar burada sunulmuştur. Thyristorlu gerilim kontrol düzenlerinden tam sinüsoidal olmayan bir gerilim elde edilir. Akımın çeşitli harmonikleri vardır. Motor akımındaki harmonikler mümkün mertebe düşük tutulmalıdır. 0,25 kW motorlardaki harmonikler harmonik analizi ile incelenmiş ve teorik bir tartışma burada sunulmuştur.

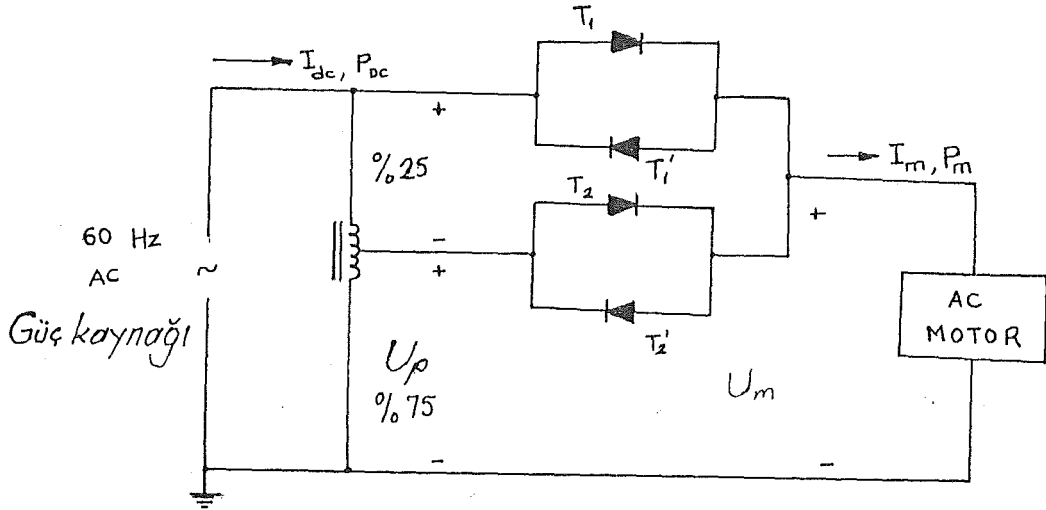
4.1. Gerilim Kontrol Devreleri

Şek. 4.1. motorla seri bağlı sabit bir thyiriyaklı devredir. Gerilim kontrolü burada ateşleme açısını kontrol ederek sağlanır.



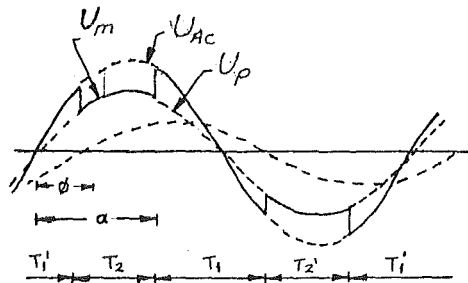
Şek. 4.1

Sek. 4.2.de bir ototransformatör ve ters bağlı thyristor -lerden oluşan bir gerilim kontrol düzeni görülmektedir. Gerilimdeki azami düşme U_c gerilimi ile belirlenir. Buna göre motor gerilimini %75 ... % 100 arasında değiştirebilmek için $U_c = \%25$ olacak ve transformatör çevirme oranı $1 / 0,75$ olacaktır .



Şek. 4.2.

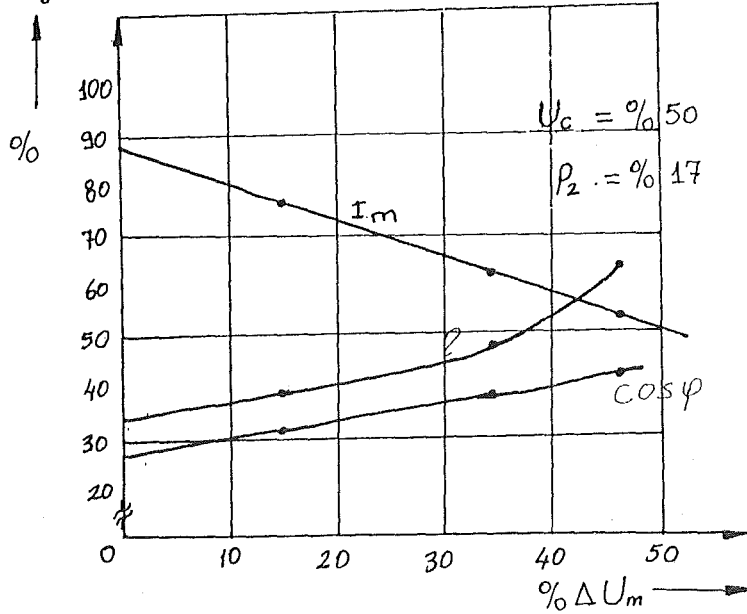
Sek. 4.3. bu devrenin çalışmasını göstermektedir. Motor akımını ideal olarak (tam sinüsoidal) düşünürsek, φ gecikme açısını temsil etmektedir. Başlangıçta motor akımı I_m negatif ve T_1' thyristoru iletimdedir. Akım tekrar sıfıra düşerken T_2 thyristorunun düz yönde iletime geçmesi sağlanır. φ kadar gecikmeden sonra T_1' ye göre daha yüksek bir gerilim kazanan T_1 thyristoru akımı hızla kendi üzerine alır. T_2 ve T_2' thyristorları aynı görevi negatif yarım periyotta ve benzer şekilde yerine getirirler. Thyristor ve triyakların fiziksel sınırlılıkları nedeniyle uygulamada bir seri self ve bir de paralel R - C söndürücü devre kullanılmaktadır. Thyristorların kapı tetikleme palsları opto - izolator lar vasıtasıyla sağlanmaktadır.



Şek. 4.3.

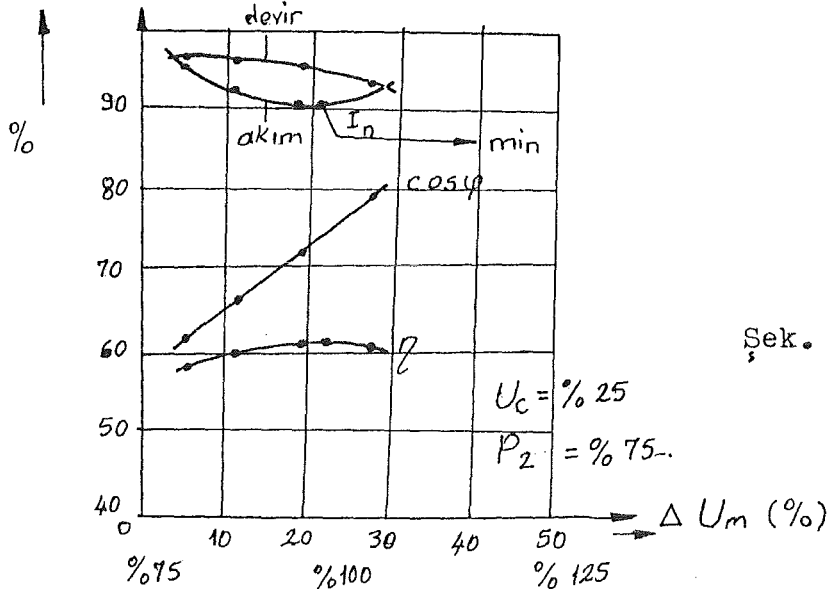
4.2. Deneylerin Yapılması

Deney 0,25 kW gücünde tek fazlı kondansatörlü motorla 120 V 4,8 A , 1725 d/d ve anma yükünde yapılmıştır. Deneyde motor bir D.C. generatörle yüklenmiştir. Gerilim ve akımdaki harmonikler nedeni ile motor giriş gücü ölçülürken hall - etkili güç çevirici ve düşük güçkatsayılı wattmetrelerden faydalanılmıştır. Bu deneyin tüm sonuçları yüzde olarak verilmiştir. Giriş ve çıkış gücü 0,25 kW tın yüzdesi şeklindedir.



Şek. 4.4.

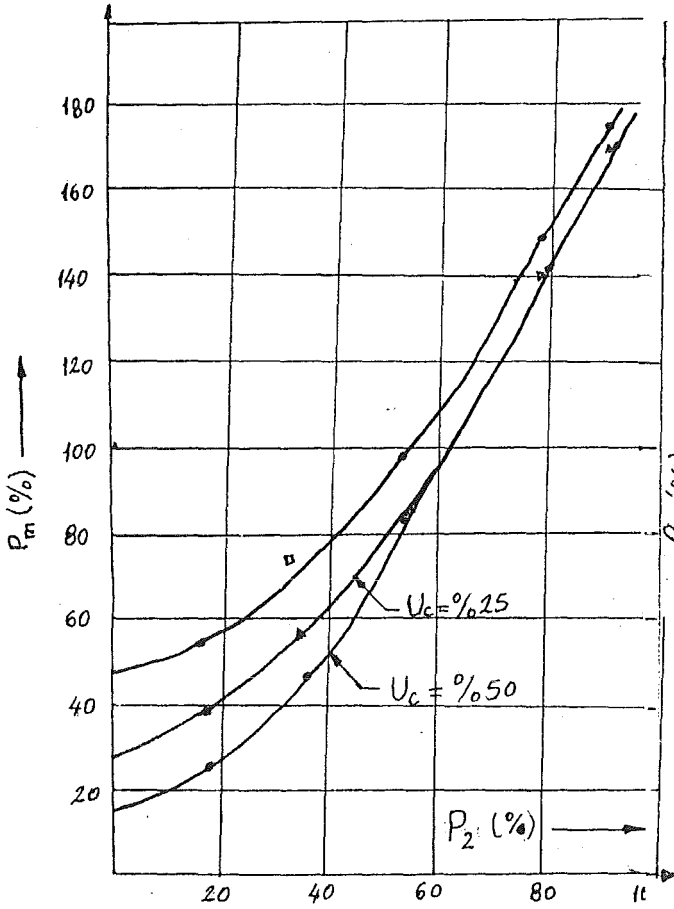
Burada U_m motor geriliminin yüzde değişimidir. Motor çıkış gücünü % 17 de sabit tutarsak güçkatsayısı $\cos \varphi$ ve motor akımı I_1 U_m ile orantılı olarak düzgün değişir. Oysa motor verimi hızla yüksebilir. Hız ise n_1 e çok yakın olduğundan çizilmemiştir.



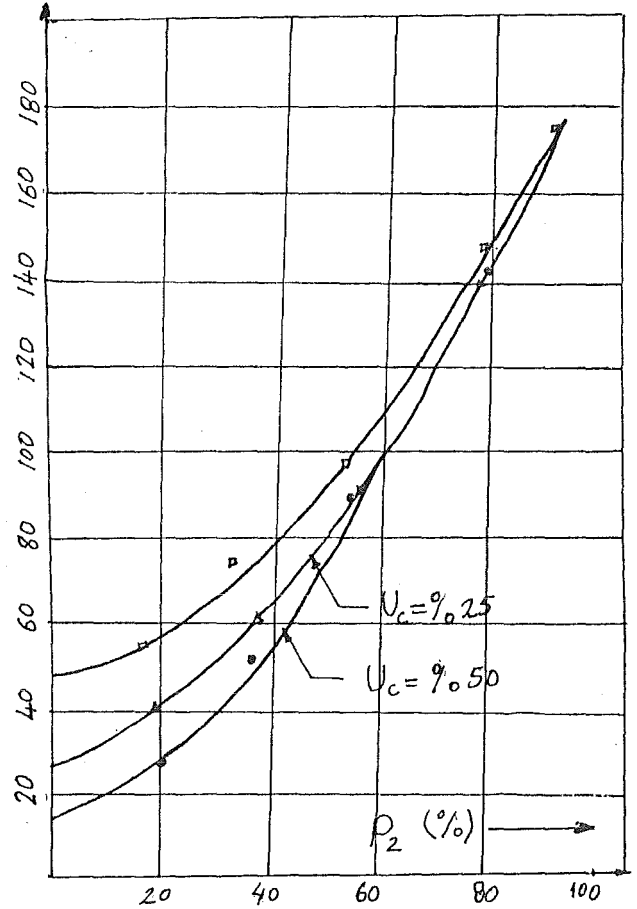
Şek. 4.5.

Şek 4.5. de %75 yükte $U_c = \% 25$ li motor değerleri görülmektedir. Burada anma değerinin altındaki yüklemelerde motorun çektiği akımın asgarî değeri için elde edilen verimin azamî değere ulaştığı görülmektedir. Bu sonucun sağlanmasında güçkatsayısının sürekli artmasının etkisi gözden uzak tutulmamalıdır. Buradan çıkarılan sonuç şöyle özetleyebiliriz. Verilen herhangi bir yükte motor akımı en aza indirilip bir geri besleme sinyali olarak kullanılıp verim azamiye çıkarılabilir.

Optimize edilen çalışmadaki sonuçlarla kontrolsüz çalışmadan elde edilen motor değerleri Sek 4.6. da beraber verilmiştir. Gerilim kontrolü düşük yükler için kayıpları oldukça azaltmıştır. Motor tam yükünün % 70 inden sonra U_c nin % 50 veya % 25 olması durumlarındaki kayıplar aynı olur. Bunun nedeni azamî verimin tam yükün biraz altında iken elde edilmesidir. Örneğin, azamî verim, $P_2 = \% 75 P_N$, $\Delta U_m = \% 20$ iken elde edilir. Motorun sürekli anma yükü ile çalışmadığı göz önünde bulundurulursa, birçok yük için gerilim değiştirerek optimizasyon sağlamanın mümkün olduğu anlaşılır.



Şek. 4.6.



Şek. 4.7.

Şek 4.7. de motor giriş gücü , motor çıkış gücünün fonksiyonu olarak verilmiştir. Genel sonuçlar buradakine yakındır. Daha yüksek güçteki motorlarda thyristor, söndürücü ve transformatördeki kayıplara dikkat edilmelidir. Gerilim kontrolü yolu ile harcanan güçte elde edilen tasarruf muhtelif çıkış güçleri için cetvel 1. de verilmiştir.

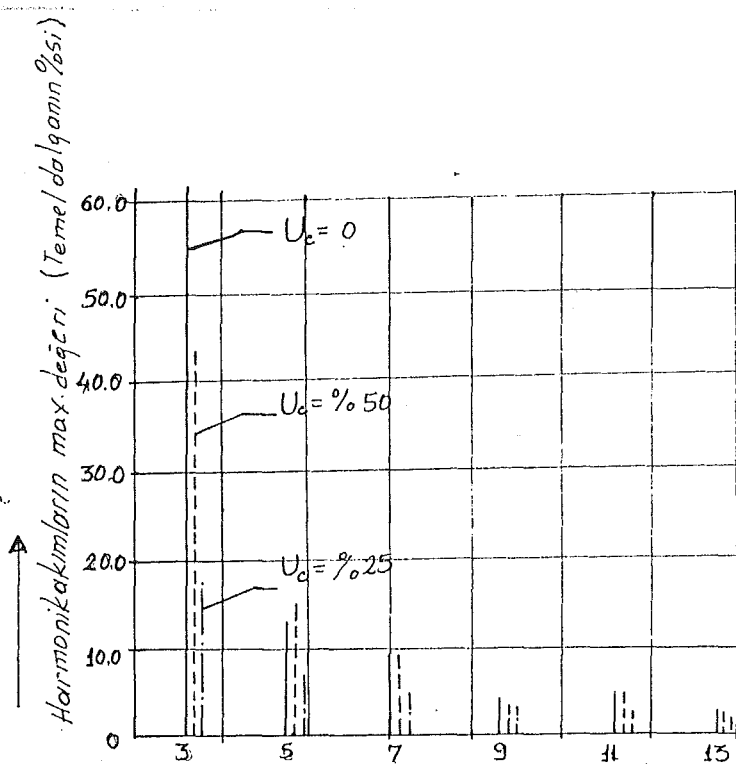
| ΔP_{2t} | $\Delta P_{ac}(U_c=50\%)$ | $\Delta P_{ac}(U_c=25\%)$ |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.0 | 25.0 | 11.6 |
| 17.0 | 22.8 | 11.6 |
| 36.0 | 20.7 | 13.5 |
| 56.0 | 12.0 | 13.0 |
| 77.0 | 7.0 | 11.0 |
| 93.0 | 1.5 | 2.5 |

Cetvel 1. Gerilim kontrolü yoluyla harcanan güçteki tasarruflar. Tüm güçler 0,25 kW tın yüzdesi seklindedir.

Güç katsayısı $\cos\varphi$ verimin optimize edilmesi ile bir hayli yükselmiştir. Bir örnek alacak olursak çıkış gücü % 36 iken kontrolsüz motorda $\cos\varphi = 0,385$ iken, aynı çıkış gücü için kontrollü motorda $\cos\varphi = 0,73$ olmuştur. Buna ilâveten motorun çektiği akım $I_m = I_1 / I_N$ %88,3 den %61,9 a inmiştir.

4.3. Harmonik Analizi

Şek 1. ve Şek 2. deki devreler ürettikleri harmonikler açısından karşılaştırılmıştır. Bunun için bir dalga analiz cihazı olarak (HP 302 A) kullanılarak harmonik gerilimler ölçülmüştür. Sonuçta herbirinin genliği esas dalga (birinci harmonik) genliğinin yüzdesi olarak elde edilmiştir.

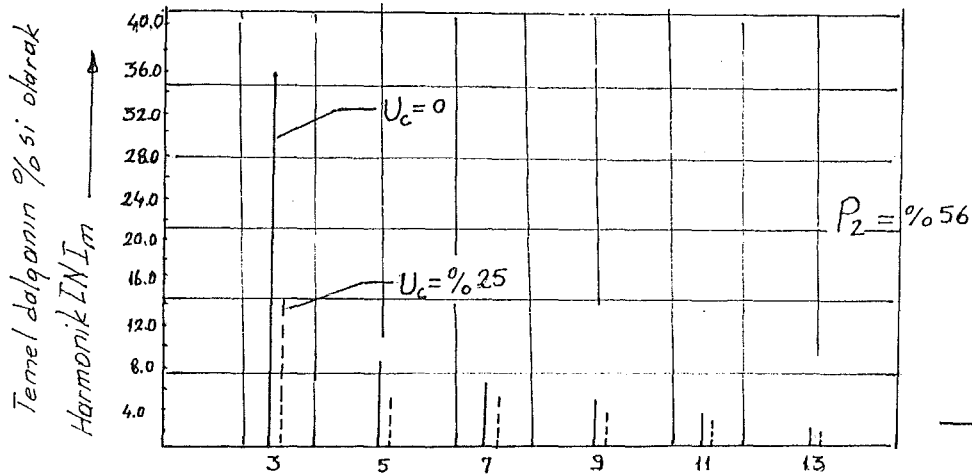


$$P_2 = \%17$$

→ Tek sayılı harmonik

Şek. 4.8. Çıkış gücü % 17 için azamî harmonik akım genlikleri

Şek 4.8. de düşük yükte $P_2 = \%17$ için ölçülen harmonik akımlarının azamî değerleri görülmektedir. Sürekli çizgi Sek. 4.1.deki gerilimin % 50...% 100 arasında değiştiği seri triyaklı devreye aittir. Bir benzer gerilim aralığı U_c %50 ile Sek. 4.2 deki devre için dikkate alınmıştır. Halbuki $U_c = \%25$ için göz önüne alınan gerilim aralığı % 75...%100 idi. Burada önemli nokta şudur. Seri triyaklı devre zayıf yükte ototransformatörlü (ve $U_c = \%50$ için) devreye nazaran %40 yerine %60 gibi bir üçüncü harmonik bileşeni kapsayabilir. $U_c = \%25$ olma durumunda sonuçlar diğer iki duruma nazaran oldukça küçüktürler.

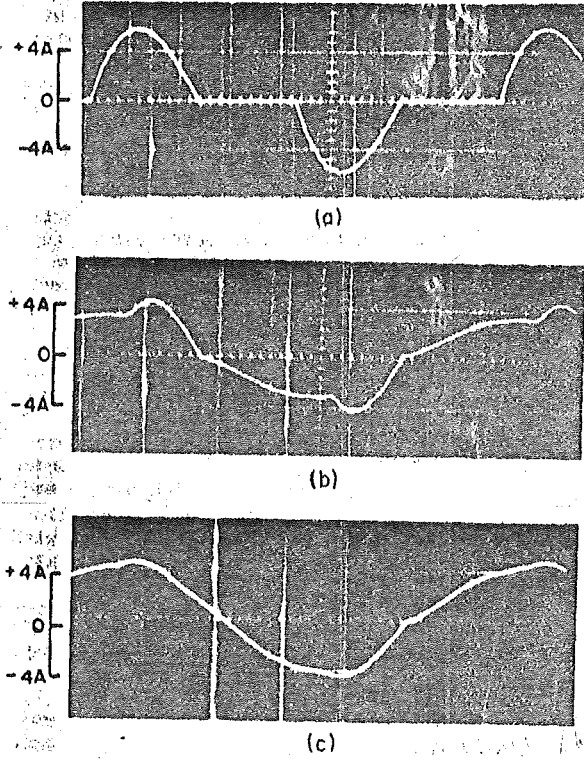


$$P_2 = \%56$$

→ Harmonik düzeni

Şek. 4.9. Çıkış gücü % 56 için ve %75...%100 gerilim değişme aralığında harmonik akımlarının azamî değerleri

Şek. 4.9 da her iki devrede % 75...%100 gerilim değişme aralığı için azamî harmonik bileşeni gösterilmiştir. Çıkış gücü % 56 dır. Burada önemli nokta, bir yandan üreyen harmonikleri küçük tutarken bir yandan da enerji tasarrufu sağlamaktır. Bunu sağlamanın tek yolu ise uygun bir U_c gerilimi seçmektir.



Şek. 4.10. Çıkış gücü % 36 olan bir senkron motorun gerilimi kontrol edilerek azamî verim sağlanması halinde çekilen akımın dalga şekilleri.

Sek. 4.10. da %36 çıkış gücü için motor akımının dalga şekilleri görülmektedir. $U_c = \%25$ durumunda akım görüldüğü gibi $U_c = \%50$ ve triyaklı devredeki akıma nazaran daha sinüsoidal biçimlidir.

Sek. 4. 11. deki devre fazlaca harmonik bileşen üretmeden gerilim değişim aralığını artırabilen bir düzendir. U_m gerilimi, $U_{ac} \dots U_{c1}$ sınırları içinde üst iki thyristor grubu ile kontrol edilir. En üstteki çift $U_{ac} \dots U_{c1} \dots U_{c2}$ değişim aralığını kontrol eder. U_{c1} U_{c2} U_c kabul ederek en çok gerilim düşümünün $2U_c$ noktasına kadar yapılabileceğini söyleyebiliriz. Aynı olay iki orta uçtan fazla ototransformatörler içinde geçerli olur.

4.4. Kontrol Elemanları Ve Kayıpları

Devrelerde kullanılan SCR ler tam yük akımının $\sqrt{2}$ katına göre seçilirler. Thyristör ve söndürme devrelerindeki kayıp tam tam yükte toplam kayıpların yüzde biri mertebesinde dir. Kayıpların çoğu transformatör nüvesinde oluşur. Ancak bugünün modern alaşım lı nüveleriyle bu kayıplar oldukça düşürülmüştür. Maliyetleri gün geçtikçe düşürülen SCR ve diğer elektronik elemanlarla bu tür düzenler artık tercih edilir duruma gelmişlerdir.

Bu makale, gerilim kontrolü yoluyla bir indüksiyon motorunun uygun yüklene rek veriminin artırılabil eceğini göstermiştir. 0,25kW motor üzerinde deneylerden aşağıdaki sonuçlara varılmıştır .

1. Motor yüksüzken, gerilim kontroluyla, tam yükün % 25 i kadar güce inilebilir.
 2. Tüm yükler için tsarruf mümkündür. Ancak tam yüke çıkıldıkça elde edilen tasarruflar azalır.
 3. Mutlak yüksüz durum haricinde , gerilimdeki % 50 den fazla indirmelerde motor devrilmeye niyetlenir .
 4. Verimin en yüksek olduğu durumda akımın da en düşük durumda olmasından faydalanarak verimi optimize etmede motor akımını kullanmak uygun olur. (Feed - back yapılabilir.)
 5. Verimi yükseltirken aynı zamanda güçkatsayısını da artırmış olduk.
 6. Ototransformatörlü ve SCR li devreler üretilen harmonikler yönünden triyaklı devrelere göre daha üstündür.
- Burada elde edilen sonuçlar aynı zamanda üç fazlı motorlar içinde uygundur. Aynı düşünce sistemene göre kurulacak devreler üç fazlı motorlar için de kullanılabilir.

YARALANILAN KAYNAKLAR

1. İ.Çetin : Asenkron Makinalarda Eşdeğer Devreler Ders Notları
M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi 1983
2. İ.Çetin : Asenkron makinaların vektör diyagramları Ders Not-
ları M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi 1983
3. İ.Çetin : Transformator Çözümlü Problemlerle 1978
4. K. Sarıoğlu : Asenkron Makinalar. 1983
5. M.G. Say : Alternating Current Machines 1961
6. N.Mohan : Improvement In Energy Efficiency Of Induction Motors
By Means Of Voltage control 1980
7. A. Fitzgerald, C. Kingsley and A. Kusko 1971
8. H .Duman : Elektrik Makinalarının Kayıpları ve Teorisi
9. M. Bayram : Elektrik Makinalarının Muayenesi
İ.T.Ü. 1951
10. M. Valdemar: Alternatif Akım Makinalarının Teorisi
11. A.N.Berkol : Elektrik Makinelerinin Hesabı
İ.D.M.M.A. 1974