

**172334**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ TASARRUF  
YÖNTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hasan Ali ÖZDEMİR**

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.  
Enstitü Bilim Dalı : ISI TEKNİĞİ  
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kemal ÇAKIR

**Ocak 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ TASARRUF  
YÖNTEMLERİ

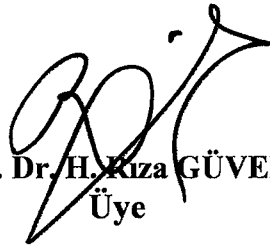
YÜKSEK LİSANS TEZİ

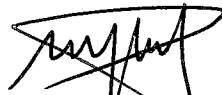
Mak. Müh. Hasan Ali ÖZDEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.  
Enstitü Bilim Dalı : ISI TEKNİĞİ

Bu tez 27 / 01 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Dr. Kemal ÇAKIR  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr. H. Rıza GÜVEN  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa TURAN  
Üye

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ELEKTRİK MOTORLARI VE ÇEŞİTLERİ.....	7
2.1. Doğru Akım Motorları.....	8
2.1.1. Şönt motorlar.....	9
2.1.1.1. Yol verme.....	9
2.1.1.2. Devir sayısının ayarı.....	11
2.1.1.3. Devir sayısı karakteristiği.....	12
2.1.1.4. Moment karakteristiği.....	13
2.1.2. Seri Motorlar.....	14
2.1.1.1. Yol Verme.....	14
2.1.1.2. Devir sayısının ayarı.....	15
2.1.1.3. Devir sayısı karakteristiği.....	17
2.1.1.4. Moment karakteristiği.....	17
2.1.2. Kompund Motorlar.....	18
2.2.1.1. Yol verme ve devir sayısının ayarı.....	18

2.2.1.2. Devir sayısı karakteristiği.....	19
2.2.1.3. Moment karakteristiği.....	20
2.2. Asenkron Motorları.....	21
2.2.1. Stator.....	23
2.2.2. Rotor.....	24
2.2.2.1. Bilezikli Motorların Rotoru.....	25
2.2.2.2. Sincap Kafesli Rotor.....	25
2.3. Senkron Motorları.....	27
2.3.1. Senkron makinalarının çeşitleri.....	28

### BÖLÜM 3.

ASENKRON MOTORLARIN GENEL YAPILARI.....	29
3.1. Asenkron Motorun Modellenmesi.....	30
3.2. Asenkron Motorlarında Yol Verme.....	32
3.2.1. Asenkron Motorlarına yol verme olayının etkileri.....	34
3.2.2. Asenkron motorlara yol verme yöntemleri.....	35
3.2.2.1. Yol verme transformatörleri.....	36
3.2.2.2. Yıldız-üçgen yol verme.....	37
3.2.2.3. Dirençlerle yol verme.....	39
3.2.2.4. Yardımcı motorla yol verme.....	39
3.2.2.5. Güç elektroniği düzenleri kullanarak yol verme.....	41
3.3. Asenkron Motorlarda Hız Kontrolü.....	42
3.3.1. Frekans değiştirerek ayar yapmak.....	42
3.3.2. Kutup sayısını değiştirerek hız ayarı.....	43
3.3.3. Kaymayı değiştirerek devir sayısı ayarı.....	43
3.3.4. Stator gerilimini değiştirilerek ayar yapma.....	44
3.4. Asenkron Motorlarda Verim ve Güç Bilânçosu.....	45
3.4.1. Asenkron motorlarda verim.....	45
3.4.2. Asenkron motorlarında güç bilânçosu.....	47
3.5. Asenkron Motorlarında Güç ve Güç Faktörü .....	49
3.5.1. Asenkron motorlarında güç.....	49

3.5.2. Güç Faktörü.....	50
3.5.2.1. Güç faktörünün düzeltilmesinin faydaları.....	51
3.6. Asenkron Motorlarda Moment Kontrolü.....	52

## BÖLÜM 4.

### ELEKTRİK MOTORLARININ SEÇİMİ

4.1. Giriş.....	54
4.2. Elektrik Motorları Seçim Kriterleri.....	55
4.2.1. Yü­k­ün sü­rek­li hal dav­ra­nışı.....	55
4.2.1.1. Sabit momentli uygulamalar.....	56
4.2.1.2. Değişken momentli uygulamalar.....	57
4.2.1.3. Şok de­ğiş­ken momentli uygulamalar.....	57
4.2.2. Motor gücünün belirlenmesi.....	58
4.2.2.1. Sabit moment çeken uygulamalar.....	58
4.2.2.2. Değişken momentli uygulamalar.....	58
4.2.2.3. Şok momentli uygulamalar.....	59
4.2.3. Sınır aşımı.....	59
4.2.4. Yol vermede atalet momentinin etkisi.....	59
4.2.5. Çalışma süreleri.....	60
4.3. Yanlış Motor Seçiminden Meydana Gelen Sorunlar.....	61
4.3.1. Motor gücünün küçük seçilmesi.....	62
4.3.2. Motor gücünün büyük seçilmesi.....	62
4.3.3. Koruma türünün uygun seçilmemesi.....	62
4.3.4. Soğutma türünün uygun seçilmemesi.....	63
4.3.5. Motor gücünün seçimi.....	63
4.4. Elektrik Motorlarının Etiket Değerleri.....	64
4.4.1. Akım.....	65
4.4.1.1. Tam yük akımı.....	65
4.4.1.2. Kilitli rotor akımı.....	65
4.4.1.3. Servis Faktör Akımı.....	65
4.4.2. Kod Harfi.....	65
4.4.3. Dizayn.....	65
4.4.4. Verim.....	67

4.4.5. Frekans .....	67
4.4.6. Tam yük hızı.....	67
4.4.7. Yalıtım Sınıfı.....	67
4.4.8. Kutup Sayısı ve senkron hız.....	68
4.4.9. Güç Faktörü.....	69
4.4.10. Kayma.....	69
4.4.11. Sıcaklık.....	69
4.4.11.1. Çevre Sıcaklığı.....	69
4.4.11.2. Sıcaklık artışı.....	69
4.4.12. Gerilim.....	70
4.4.13. Anma gücü.....	70
4.4.14. Görev Süresi Oranı.....	70
4.4.15. Ortam Koruma Sınıfı.....	71

## BÖLÜM 5.

ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ KONTROL ÜNİTESİ.....	72
5.1. Enerji Kontrol Ünitelerinden İstenen Özellikler.....	72
5.2. Motor Kontrol Üniteleri ile Pratik Çözümler.....	73
5.3. Üç Fazlı Endüksiyon Motorları.....	74
5.4. Yumuşak Yol verme Yumuşak Durdurma.....	74
5.5. Kontrol Teknolojisi.....	75
5.6. Optimizasyon.....	75
5.7. Uygulamalar.....	75
5.8. Yüksek Verimli Motorlar.....	76
5.9. Güç Faktörü.....	76
5.10. Motor Verimliliği.....	77
5.11. E.K.Ü.'lerinin Uygulama Alanları.....	77
5.12. Örnek Uygulamalar.....	78

## BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	79
6.1. Uygulama 1.....	79
6.1.1. Uygulama 1 Sonuçlarının İncelenmesi.....	84

6.2. Uygulama 2 .....	85.
6.2.1. Uygulama 2 Sonuçlarının İncelenmesi.....	90
BÖLÜM 7.	
CİRCUTER ÖLÇÜM DEĞERLERİ.....	92
7.1. Federal Elektrik Fabrikasında Yapılan Ölçüm Değerleri .....	92
7.2. Doğançay Mermer Fabrikasında Yapılan Ölçüm Değerleri.....	99
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	114



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$A_1$	: Anahtar
$A_2$	: Anahtar
$\cos\phi$	: Güç faktörü
$E$	: Elektro motor kuvveti
$F$	: Kuvvet
$f$	: Frekans
$f_1$	: Statorun frekansı
$f_2$	: Rotor frekansı
$I$	: Akım
$I_0$	: Motorun boşta çalışma akımı
$I_m$	: Uyarma akımı
$I_k$	: Motor kısa devre akımı
$I_{yv}$	: Yol verme akımı
$l_s$	: Stator sa paketi uzunluęu
$l_{1\sigma}$	: Statorda meydana gelen kaçak endüktanslar
$l_{2\sigma}$	: Rotorda meydana gelen kaçak endüktanslar
$M$	: Moment
$\Delta M$	: Moment farkı
$M_{max.}$	: Maksimum moment
$M_n$	: İř makinası momenti
$M_r$	: Rotor ekseninde meydana gelen moment
$M_{yv}$	: Yol verme momenti
$n$	: Devir sayısı
$n_1$	: Stator döner alanının hızı
$n_2$	: Rotor döner alanının hızı
$N$	: Güç



$N_1$	: Statora sevk edilen güç
$N_2$	: Dışarıya verilen güç
$N_{s1}$	: Stator dönel alanının rotora naklettiği güç
$N_{s2}$	: Dışarıya verilen güç
$N_ç$	: Çıkan enerji
$N_g$	: Giren enerji
$N_m$	: Motordan alınan mekanik güç
$r_k$	: Motor eşdeğer kısa devre direnci
$\phi$	: Elektrik akısı
$\phi_{1\sigma}$	: Statorda meydana gelen kaçak akılar
$\phi_{2\sigma}$	: Rotorda meydana gelen kaçak akılar
$Q_1$	: Stator sargılarında meydana gelen demir ve ısı kaybı
$Q_2$	: Rotordaki kayıplar
$Q_R$	: Elektrik motorundan alınan mekanik güçte meydana gelen kayıp
$P$	: Kutup Sayısı
$P_g$	: Giren enerji
$P_ç$	: Çıkan enerji
$P_k$	: Kayıp enerji
$R$	: Direnç
$R_1$	: Stator iletken direnci
$R_2$	: Rotor iletken direnci
$r_d$	: Stator dış yarıçapı
$r$	: Stator iç yarıçapı
$r_r$	: Rotorun yarıçapı
$s$	: Kayma faktörü
$T_{yv}$	: Yol verme süresi
$U$	: Gerilim
$U_1$	: Statorda meydana gelen gerilim
$U_2$	: Rotorda meydana gelen gerilim
$x_k$	: Motor eşdeğer kısa devre bobini
$Z_1$	: Statorun empedansı
$Z_2$	: Rotor devresinin toplam empedansı

$Z_{21}$  : 1. devrenin 2.devreyeye tesiri

$Z_{12}$  : 2. devrenin 1.devreyeye tesiri



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Enerji dönüşümü.....	7
Şekil 2.2.	Bir şönt motorun elektrik bağlantı şeması.....	9
Şekil 2.3.	Bir şönt motorun devir sayısı karakteristik eğrisi.....	12
Şekil 2.4.	Bir şönt motorun moment sayısı karakteristik eğrisi.....	13
Şekil 2.5.	Bir seri motorun elektrik bağlantı şeması.....	14
Şekil 2.6.	Bir seri motorun devir sayısı karakteristik eğrisi.....	16
Şekil 2.7.	Bir seri motorun moment sayısı karakteristik eğrisi.....	17
Şekil 2.8.	Bir kompund motorun elektrik şeması.....	18
Şekil 2.9.	Bir kompund motorun devir sayısı karakteristik eğrisi.....	19
Şekil 2.10.	Bir kompund motorun moment sayısı karakteristik eğrisi.....	20
Şekil 2.11.	Asenkron motorun yapısı.....	22
Şekil 2.12.	Stator saç paketi, oluklar ve statora yerleştirilen sargı iletkenleri.....	23
Şekil 2.13.	Yol verme işlemi için direnç kullanımı.....	25
Şekil 2.14.	Sincap kafesli rotor.....	26
Şekil 3.1.	Hareket denklemini veren blok diyagramı.....	30
Şekil 3.2.	Yol verme zamanında akım ve tork değişimi.....	31
Şekil 3.3.	Oto trafolu yol verme sistemi.....	33
Şekil 3.4.	Yıldız-Üçgen yol vermede akım ve tork değişimi.....	33
Şekil 3.5.	Yıldız-Üçgen yol verme motora bağlantı şeması.....	36
Şekil 3.6.	Motora yıldız yol verme bağlantısı.....	37
Şekil 3.7.	Motorun üçgen çalışması.....	37
Şekil 3.8.	Asenkron motora dirençlerle yol verme.....	38
Şekil 3.9.	Yardımcı bir motorla yol verme bağlantı şekli.....	38
Şekil 3.10.	Yardımcı bir motorla yol verme bağlantı şeması.....	39
Şekil 3.11.	Alternatif akım kıyıcısının asenkron motora bağlantısı.....	40
Şekil 3.12.	Motor devresi.....	40

Şekil 3.13. Eşdeğer motor devresi.....	41
Şekil 3.14. Düşük, standart ve yüksek verimli motorların verimi.....	45
Şekil 3.15. Güç bilânçosu.....	47
Şekil 3.16. Bir elektrik motorunun yük durumuna göre enerji kaybı.....	48
Şekil 3.17. Güç faktörü.....	49
Şekil 3.18. Güç faktörünün düzeltilmesi.....	50
Şekil 3.19. Asenkron motorun eşdeğer şeması.....	52
Şekil 4.1. Motor seçimi.....	54
Şekil 4.2. Motor tanıtım kartı.....	64
Şekil 4.3. Asenkron motorun devir sayısı-moment eğrisi.....	66
Şekil 4.4. Asenkron motoru.....	71
Şekil 5.1. Elektrik kontrol ünitesinin bağlantı şekli.....	72
Şekil 5.2. Elektrik kontrol ünitesini yıldız-üçgen motora bağlantı şekli...	73
Şekil 6.1. Enerji kontrol ünitesinin enjeksiyon motoruna bağlantısı	79
Şekil 6.2. E.K.Ü. devrede yokken akımın zamana göre değişimi.....	80
Şekil 6.3. E.K.Ü. devrede iken akımın zamana göre değişimi.....	80
Şekil 6.4. E.K.Ü. devrede yokken aktif gücün zamana göre değişimi.....	81
Şekil 6.5. E.K.Ü. devrede iken aktif gücün zamana göre değişimi.....	81
Şekil 6.6. E.K.Ü. devrede yokken güç faktörünün zamana göre değişimi.	82
Şekil 6.7. E.K.Ü. devrede iken güç faktörünün zamana göre değişimi....	82
Şekil 6.8. E.K.Ü. devrede yokken enerji tüketimi.....	83
Şekil 6.9. E.K.Ü. devrede iken enerji tüketimi.....	83
Şekil 6.10. E.K.Ü. devrede yokken akımın zamana göre değişimi.....	86
Şekil 6.11. E.K.Ü. devrede iken akımın zamana göre değişimi.....	86
Şekil 6.12. E.K.Ü. devrede yokken aktif gücün zamana göre değişimi.....	87
Şekil 6.13. E.K.Ü. devrede iken aktif gücün zamana göre değişimi.....	87
Şekil 6.14. E.K.Ü. devrede yokken güç faktörünün zamana göre değişimi.	88
Şekil 6.15. E.K.Ü. devrede iken güç faktörünün zamana göre değişimi....	88
Şekil 6.16. E.K.Ü. devrede yokken enerji tüketimi.....	89
Şekil 6.17. E.K.Ü. devrede iken enerji tüketimi.....	89
Şekil 7.1. Akımın efektif değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	93
Şekil 7.2. Akımın efektif değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı	

	ile yapılan ölçüm değeri.....	94
Şekil 7.3.	Aktif gücün değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	95
Şekil 7.4.	Aktif gücüm değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	96
Şekil 7.5.	Güç faktörü değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	97
Şekil 7.6.	Güç Faktörü değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	98
Şekil 7.7.	Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	99
Şekil 7.8.	Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	100
Şekil 7.9.	Akımın Efektif değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	101
Şekil 7.10.	Akımın Efektif değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	102
Şekil 7.11.	Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	103
Şekil 7.12.	Aktif Güç değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri .....	104
Şekil 7.13.	Güç Faktörü değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri .....	103
Şekil 7.14.	Güç Faktörü değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri .....	105
Şekil 7.15.	Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	106
Şekil 7.16.	Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri.....	107

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Değişik kutup sayıları ve stator akımlarının frekansına göre senkron dönme sayısı.....	27
Tablo 3.1. Motor verimlerinin karşılaştırılması.....	46
Tablo 4.1 Motor yalıtım sınıfına göre yüzey sıcaklıkları.....	67
Tablo 4.2. kutup sayısı ve frekansa göre devir sayısı.....	68
Tablo 6.1. Circuter cihazı ile ölçülen sonuçlar (1. deney için).....	83
Tablo 6.2. Circuter cihazı ile ölçülen sonuçlar (2. deney için).....	89

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Enerji Tasarrufu, Enerji Kontrol Ünitesi, Asenkron Motorlar, Direkt Yol Verme, Yumuşak Yol Verme, İlk Kalkış Momenti, Motor Ömrü, Başlangıç Akımı

Bu çalışmada, bir elektrik motorunda meydana gelebilecek enerji tasarruf yöntemleri incelenmiştir. Elektrik motorları hakkında kısa bilgi verilmiştir. İki adet ayrı güçlerde ve ayrı çalışma şartlarındaki motorlara enerji kontrol ünitesi bağlanmıştır. Bu sayede asenkron motorlarında meydana gelen elektrik enerjisi tüketimi gözlemlenmiştir.



# **POWER SAVING METHODS OF ELECTIC MOTORS**

## **SUMMARY**

Key words: Power Saving, Power Control Unit, Asenkron Motors, Direct On Line Start, Soft Start, Reduces Starting Torque, Motor Life, Starting Current

In this study, the evibility of power saving methods of electrical motors are investigated. Same basic information will be given. Two power control units are connected to two electric motors which words under different loads and environmental factors. By this way power saving of asenkron motors are abserved.





## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu çalışmadaki amaç, mevcut ekonomik ömrünü tamamlamamış ve bunun yanında uygun boyutlarda seçilmemiş, yükte çalışma oranları düşük olan motorlarda yapılabilecek enerji tasarrufu potansiyelini ortaya koymaktır. Ayrıca bu çalışmada, elektrik motorların da enerji tasarrufunun yanında ilk kalkış momentini düşürmek, tahrik ekipmanlarının ömrünü uzatmak, bakım maliyetini azaltmak dolayısıyla motor ömrünü arttırabilmek için elektrik motorlarına neler yapılabileceği sorusuna cevap aranmaktadır. Bu çalışmada, ayrıca bir elektrik motorunun daha iyi anlayabilmek amacı ile temel kavramlar ve temel prensiplerden de kısaca bahsedilmiştir.

Günümüzde tüm endüstri kollarında en önemli konulardan biri hiç şüphesiz ki enerji tüketimi ve enerji tasarrufu olgusudur. Üretilen ürün ne olursa olsun neredeyse bütün işletmelerde, üzerinde en hassas durulan konu maksimum enerji tasarrufunun nasıl sağlanılacağıdır. Artan enerji maliyetleri ve giderek azalmakta olan doğal enerji kaynakları; başta gelişmiş ülkelerdeki kullanıcılar olmak üzere yavaş yavaş tüm bilinçli işletmeleri, maksimum enerji tasarrufu yapmaya zorlamaktadır.

Sanayide kullanılan elektrik motorlarının büyük bir çoğunluğu asenkron motorları olduğundan dolayı daha çok asenkron motorları üzerinde durulacaktır. Asenkron motorlarının çok kullanılmasının başında, düşük ilk yatırım maliyetleri, basit tasarımı, bilinen teknolojisi, alternatifsiz olması, bakım maliyeti ve güvenilirliği gelmektedir. Düşük ilk yatırım maliyeti açısından, asenkron motorlarının tartışılmaz bir üstünlüğü olduğu bilinmektedir. Bu sebepten işletmecilerin motor seçiminde en önemli kriterlerinden biri düşük ilk yatırım maliyetidir. Asenkron motorları karmaşık bir yapıya sahip olmadıklarından, uygun motor seçilmesi durumunda da arıza yapma olasılıkları çok azdır. Uygun çalışma şartlarında çalıştırıldıklarında işe verimleri oldukça yüksektir.

Bu çalışmada, elektrik motorları tanıtılmaya çalışılıp, motor seçimi için gerekli kriterler belirtilecek, bu kriterler çerçevesinde en uygun motorun seçilmesi sağlanacak ve yanlış motor seçiminden kaynaklanan problemler belirtilecektir.

Son yıllarda geliştirilen yüksek verimli motorların maliyetleri standart motorlara göre %15-25 daha pahalı olmakla birlikte, çoğu zaman işletme maliyetlerinin düşük olmaları nedeni ile bu fark kısa bir sürede geri kazanıldığı Çengel ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuştur. Çengel ve arkadaşlarının çalışmasında, tasarruf anlamında hesaplanan yatırım tutarı, yüksek verimli motorlar ile standart motorların fiyat farkına dayandırılmıştır ve burada standart motorlar ekonomik ömürlerini doldurduğunda zaten değiştirileceğinden ilave bir işçilik ve yatırım maliyeti göz önünde bulundurulmamıştır.

Bilindiği gibi endüstride kullanılan enerjinin % 65'i elektrik motorları tarafından kullanılmaktadır. Ülkemizde enerjinin 1/3'ü sanayide kullanıldığına göre, elektrik motorlarının enerji kullanım miktarı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir enerji kullanım oranı olarak karşımıza çıkmaktadır. İngiltere'de EST ( Energy Saving Trust) ve DEFRA (Department For Environment, Food & Rurol Affairs) 'Verimli Enerji Kullanımı Programı' araştırmalarının sonucuna göre; 'Sanayilerdeki genel uygulamalarda kapasite kullanım oranı %50 seviyelerinde olup AC elektrik motorlarının çalışması esnasındaki kayıplar, tam yük kapasitelerinin %40'ı ile %80'i arasında değişmektedir' Modern elektrik motorları nominal yük kapasitelerinin %75'i ve yukarısı ile çalışırken en yüksek verime ulaşırlar. Motor kapasitesinin çok aşağısında çalıştığında verimi de düşmektedir. Düşük verimle çalışan bir motor doğal olarak çok daha fazla enerji tüketecektir.

Elektrik motorlarında enerji tasarrufu yapabilmek için, en önemli parametre, motor seçim kriterlerine göre en uygun motoru seçmekle olur. Genelde bunun yanında motorda oluşan kayıpları azaltmak, güç faktörünü düzeltmek, yumuşak kalkış yapmak ve yüksek verimli motorlar kullanmak ile de enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Elektrik motorunun değişken yüklere, ani dur-kalkları algılayarak bu durumlara göre güç üretmesi ile enerji tasarrufu sağlanabilir.

Isıtma sistemlerinde kullanılan sirkülasyon pompalarının, havalandırma ve klima sistemlerinde bulunan fanların seçimi, gibi cihazlar genellikle makine mühendisleri tarafından yapılmaktadır. Sirkülasyon pompasının seçimi, debi (Q) ve basma yüksekliği (H) değerlerine göre, fan seçimi de sirkülasyon pompası seçimi gibi Kapasite (m<sup>3</sup>/h), Basınç Kaybı (kPa) değerlerine göre seçilir. Elektrik tüketim değerleri genellikle göz önüne alınmamaktadır.

Sirkülasyon pompalarında debi (Q), basma yüksekliği (H), pompanın tahrik gücü (P), devir hızından (n) bağımlıdır. Özellikle pompanın elektrik şebekesinden çektiği gücün devir hızıyla olan ilişkisi, pompa kullanımında gerçekleştirilebilecek elektrik enerjisi tasarrufu potansiyelinin boyutunu vurgulamak açısından önemlidir.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Örneğin devir hızı %30 düşürüldüğünde, elektrik sarfiyatı %66 oranında azalmaktadır. Isıtma devrelerinde kullanılan sirkülasyon pompaları, kullanma ömürleri boyunca sadece %2-%5'lik bölümünde tam yükte çalıştıkları bilinmektedir. Dolayısıyla 5500 saat (229 ısıtılan gün) işletimde kalan, otomatik regülasyonlu bir sirkülasyon pompasıyla önemli boyutlarda enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir. Sadece sağlanan enerji tasarrufu ile, pompalar kendilerini 3-5 yıl içinde amorti edildiği görülmüştür. Ayrıca regülasyonlu sirkülasyon pompaları, termostatik veya servo vanalı tesisatlarda gürültü ve vibrasyon oluşumunu engeller ve vanaların kullanım ömrünü uzatır.

1 kWh elektrik üretebilmek için, petrol bazlı yakıt kullanan termik santraller, atmosfere 0,56 kg CO<sub>2</sub> aktarmaktadır. Güç kontrollü motorlar ile milyonlarca ton CO<sub>2</sub>'in atmosfere atılması önlenmiş olur. Bu gerçekten hareketle Almanya başta olmak üzere, orta Avrupa ülkelerinde uygulamaya başlayan enerji yönetmelikleriyle, ısıtma tesisatlarında, gerek yeni gerekse restorasyon amaçlı uygulamalarda, sabit debili klasik pompa kullanımı yasaklanmış ve gücünü tesisat şartlarına göre otomatik olarak ayarlanabilen pompa sistemleri kullanılması zorunlu hale getirilmiştir.

Değişken tork ihtiyacı, ilk kalkış akımının fazla olması gibi sebeplerden dolayı motor seçimi belirli sınırlar çerçevesinde seçilmektedir. Örneğin çalışma esnasında maksimum 100 Amper akım çeken bir motor ilk kalkış esnasında daha fazla akım çekmektedir. Bir enjeksiyon makinasında veya mermer kesme makinasında mermeri keserken harcanan güç ile boşta çalışırken harcanan güç şüphesiz ki bir değildir. Fakat motor seçimi, her zaman maksimum akım ve güç durumuna göre seçilerek boyutlandırılır. Bu durumda motor, boşta çalışırken çok daha az akım çekmekte ve çok daha az enerji tüketmektedir. 110 kW seçilen bir motor mermer kesme makinasının motorunun güç değeri maksimum 94 kW, minimum 6 kW olduğu görülmüştür. Maksimum güç çekişinde güç faktörü 0,87 minimum güç çekişinde ise güç faktörünün 0,21 olduğu görülmüştür. Buradan anlaşılıyor ki motor maksimum kapasitede en yüksek verime ulaşmaktadır.

Elektrik motorlarının üretmesi gereken enerji miktarını algılayarak, ona göre motorun çalışmasını sağlayan Elektrik Kontrol Üniteleri ile yapılan deney sonuçları belirtilecek olup, yapılacak olan enerji tasarrufu ve motor özelliklerini iyi yönde etkileyen diğer parametreler belirtilecektir. Aşağıda E.K.Ü.'lerinin kullanıldığı ve yapılan enerji tasarruf miktarları belirtilecektir.

Elektrik motorlarında enerji tasarrufu sağlamak için 30 kW'lık bir enjeksiyon makinasına E.K.Ü. bağlanmıştır. E.K.Ü. devrede yokken akım, aktif güç, güç faktörü ve aktif enerji değerleri circuter cihazı ile 5 dakika kaydedilmiştir. Daha sonra E.K.Ü. devreye bağlanarak bu değerler tekrar 5 dakika ölçülmüştür. Akım, aktif güç, güç faktörü ve aktif enerji değerlerindeki değişim değerleri gözlemlenmiştir.

E.K.Ü'nin Norveç'te bulunan bir işletmede, bir granit kırma makinasına takılmıştır. Bu makinada 5 dakikada 65 ton taş üretimi yapılmaktadır. 400 kWh gücündeki motor tam yükte 375 ila 450 kWh, boşta çalışma fazı süresince ise 181 kWh enerji harcamıştır. Normal işlem süresince motor, granit kırma makinesinin 8 saatlik çalışma günü içinde her saat için 40 dakika boşta çalışmaktadır. E.K.Ü. takılmadan önceki toplam talep yılda 496,000kW'tır. E.K.Ü. takıldıktan sonra ise talep 454,000kW'a inmiştir. E.K.Ü. sağlamış olduğu motor toplam talebindeki %8,5'lik tasarruf ile 18 aydan daha az sürede kendini amorti etmiştir. E.K.Ü. içindeki

yumuşak yol verme özelliği, kalkış akımı DOL değerinin %50'sine indirerek tepe gücü talebini azaltmıştır. Kontrollü kalkış torqları, E.K.Ü. takılmadan önce belirli aralıklarda bozulan sürücü kayışlarının ömrünü uzatmıştır.

2000 yılında Singapur'daki Changi Havalimanı, terminal içindeki 70'ten fazla yolcu asansörüne, travelatöre ve bagaj konveyörüne E.K.Ü. ünitesi takma programını uygulamıştır. 6 aylık bir sürede yapılan testler sonucunda elektrik sarfiyatında %18'lik bir kazanç sağlandığı tespit edilmiştir. E.K.Ü.'un yumuşak yol verme özelliği sayesinde bakım maliyetlerinde önemli miktarda bir azalma beklenmektedir. Changi Havalimanı dünyanın en büyük havalimanlarından birisidir. Conde Nast Traveller tarafından yapılan ankette "Yılın En İyi Havalimanı" seçilmiştir. 12 Eylül 2000 tarihinde Londra'da yapılan bir törenle ödülünü almıştır.

Sertec (Birmingham) Ltd. İngiltere'deki en büyük bağımsız pres şirkettir. 2000 yılında otomotiv sanayine 50 milyon adet preslenmiş parça ve kaynaklanmış birleşik ünite ikmali yapmıştır. 40 yıl önce kurulmuş olan şirketin bu kadar ünlü olmasını, mühendislik uzmanlığına ve günümüzün "Tam Zamanında" arz isteğine cevap verebilen imalat tekniklerini kullanarak sıfır hatalı kalite niteliğini korumasına borçludur. Pres kontrol yazılım ünitesi E.K.Ü. kuruluşun mekanik preslerine takılmış ve elektrik sarfiyatında %14 düşüş sağlanmıştır. Geri kalan %21'lik tasarruf ise, E.K.Ü.'un yükleme olmayan periyotları tespit ederek motoru kapatmasıyla sağlanmıştır. Şimdi ise şirketin tüm preslerine E.K.Ü. takılması programı düzenlenmiştir.

Enjeksiyon kalıp makineleri gibi çevrimsel yükler, E.K.Ü. için mükemmel uygulama alanıdır. Makine içindeki motor hidrolik pompası, toplam makine çevriminden çok daha kısa bir periyot için yükleme durumundadır ki bu periyot malzemenin kalıp sacı içine enjekte edildiği periyodudur. Çevrimin geri kalanında motor %5 civarında bir yükte çalışmaktadır. Telford'daki Maxell şirketi İngiltere'nin en büyük kayıt parçaları üretim firmalarından birisidir ve 30'dan fazla enjeksiyon kalıp makinesi kullanmaktadır. CD kutuları imal eden ve günde 16 saat çalışan bir makineye 55 kW'lık bir E.K.Ü. takılarak, %15'lik bir tasarruf

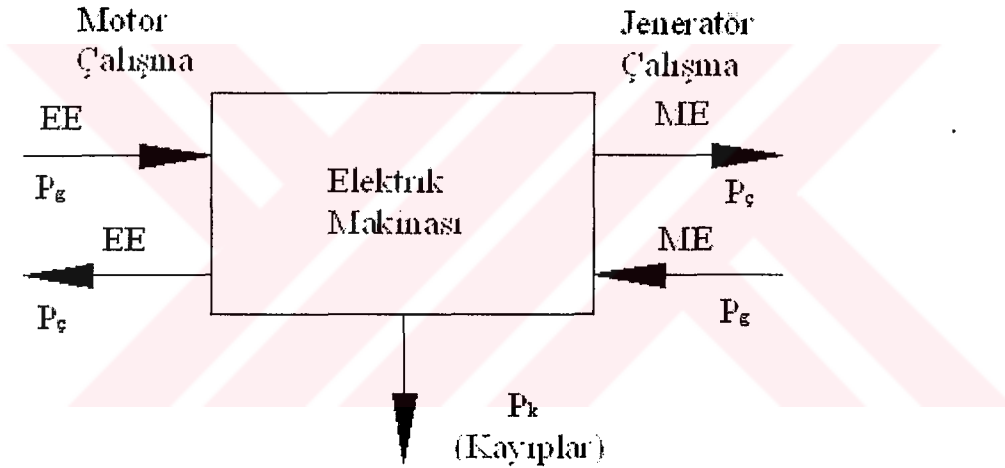
sağlanmıştır ve 18 aydan daha az bir sürede kendini amorti etmiştir. Bu imalat bandındaki tüm kalıp makinelerine E.K.Ü. takılmış durumdadır.

E.K.Ü'leri Motor verimini artırırken, motor elektrik ve bakım maliyetlerini de şaşırı ölçüde azaltmaktadır.



## BÖLÜM 2. ELEKTRİK MOTORLARI VE ÇEŞİTLERİ

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelere elektrik motorları, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinelere de jeneratör denir. Elektrik motorlarının birçoğu döner düzeneklidir. Yani bunlar benzerleri olan üreteçler gibi, bir çekirdek aralığıyla ayrılmış bir sabit (stator) öbürü hareketli (rotor) silindrsel, eş eksenli iki ferromanyetik armütürden oluşur.



Şekil 2.1 Enerji Dönüşümü

Elektrik motorları doğru akım motorları veya alternatif akım motorları, senkron motorlar veya asenkron motorlar gibi çeşitlere ayrılır. Bunların her birinin kendine özgü uygulama alanları vardır.

Elektrik motor çeşitlerinin bir kısmı aşağıdadır.

- Doğru Akım Motorları
- Alternatif Akım Motorları
- Asenkron Motorlar
- Senkron Motorlar

## 2.1. Doğru Akım Motorları

Gerilimin değeri bir yönde kalıyorsa buna doğru gerilim denir. Bu gerilim zamanın fonksiyonu olarak ya sabit kalır ya da değişir. Doğru gerilim, doğru akım makinaları ile, piller ve akümülatörler veya redresörler yardımı ile alternatif geriliminden elde edilir. Eğer alternatif akımın değeri zamanla aynı yönde değişen gerilime pulzasyonlu doğru gerilim denir. Doğru gerilimle çalışan motorlara, doğru akım motorları denir.

Doğru akım motorları hassas devir ayarı yapılması istenen uygulamalarda özellikle tercih edilmektedirler. Çok yer kaplamaları, işletme ve ilk yatırım maliyetlerinin fazla olması en büyük dezavantajlarıdır. Özellikle devir ayarı imkânının daha iyi yapılmasından dolayı, küçük güçlerdeki motorlar için doğru akım motorları kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Büyük güç tüketen motorlarda, doğru gerilimin oluşturulması, nakledilmesi ve de doğru akım motorlarının tasarımı güç olduğundan dolayı doğru akım motorları pek kullanılmaz. Daha çok alternatif akım motorları kullanılmaktadır.

Aşağıda 3 çeşit doğru akım motorunun karakteristik özellikleri verilmiştir.

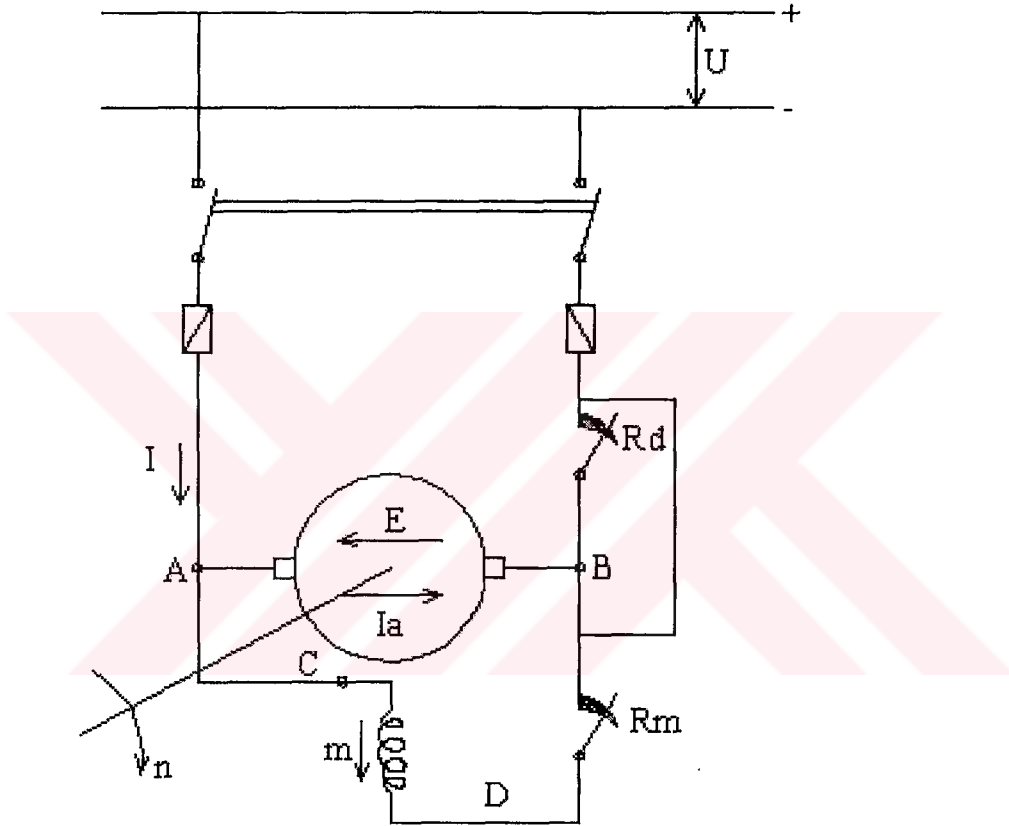
- Şönt motorlar
- Seri motorlar
- Kompund motorlar



## 2.1.1. Şönt motorlar

### 2.1.1.1. Yol Verme

Var olan daimi akım şebekesinden faydalanarak bir şönt makinemizi şönt motor olarak harekete geçmesini istediğimizi farz edelim[1].



Şekil 2.2. Bir şönt motorun elektrik bağlantı şeması

Bunun sağlanması için şekilde gösterilen montaj yapılır. Bu montajda, R demaraj direnci vardır ve bu dirence kati ihtiyacımız olduğunu hemen göreceğiz. Farz edelim ki  $R_d = 0$  iken (yani demaraj direncinin devrede bulunmaması) anahtarı kapatılarak motora şebekenin U gerilimini tatbik edelim. Anahtar kapatıldığı anda motor henüz durmaktadır. Yani  $n = 0$ 'dır. Bu netice motorun

$$E = K_c \cdot \Phi_o \cdot n \quad (2.2.)$$

zıt elektromotor kuvveti de sıfırdır[1].

$$U = I_a + R_a \text{ veya } I = \frac{U}{R_a} . \quad (2.3.)$$

Bu ifadeden görülür ki ( $R_a$  endüinin direnci çok küçük) motorun endüi sargısından geçecek olan  $I$  akımı çok büyük bir kısa devre akımıdır. Bu akım sigortalar atmamış olursa motoru tahrip edebilir. Bu akımın değerini düşürmek amacı ile motorun endüi devresine başlangıçta  $R_d$  demaraj direnci katılır. Bu takdirde demaraj akımı

$$I = \frac{U}{R_a + R_d} \quad (2.4.)$$

normal akımın 2 katından küçük olacak şekilde  $R$ 'nin değeri hesaplanır. ( $I_d \approx 2I_n$ )

Anahtarın kapanmasından sonra, motorun ikaz devresinden  $I_m$  uyarma akımının geçmesi ile  $\Phi_0$  akısı meydana gelir. Endüi sargılarından  $I_d$  demaraj akımının varlığı,

$$M_d = k_m \cdot \phi_0 \cdot I_d \quad (2.5.)$$

momentinin meydana gelmesini gerektirir. Demaraj esnasında  $I_m$  ikaz akımı max. ( $r_m = 0$ ) aksi halde  $\Phi_0$  ve demaraj momenti  $M_d$  küçük kaldığı için demaraj küçük olur. (veya olmaz) şönt motorunun bu  $M_d$  demaraj momenti çok büyük olmadığından, bu motor başta olarak demare edilir.) bu moment denklemleri ve endüi ataletini yener motoru harekete getirip hızlandırır. Motor hızlandıkça endüi sargılarında  $E = K_e \cdot \Phi_0 \cdot n$  zıt emk meydana gelir. Ve Kirşof kanununda

$$U - E = I_d \cdot (R_a + R_d) \quad (2.6.)$$

$$I_a = \frac{U - E}{R_a - R_d} \text{ akımının düştüğünü görürüz. Ve } M = k_m \cdot \phi_0 \cdot I_a \text{ 'de düşer } M_m \text{ motor =}$$

$M_r$  sürtünme olunca  $n =$  sabit kalır. Bundan sonra motor hızlandıkça  $I_0$  düştüğü için,  $R_d$  direnci yavaş yavaş küçültülür. Bu defa  $I_a$  ve  $M$  tekrar eski değerlerini alır ve motor tekrar hızlanır. Bu işlem yavaş yavaş  $R_d = 0$  oluncaya kadar devam ettirilir. Bu anda motor boştaki çalışma kurumuna gelmiş olur ve

$$I_a = \frac{U - E}{R_a} \text{ olur.} \quad (2.7.)$$

### 2.1.1.2. Devir sayısının ayarı

Bu  $I_a = \frac{U - E}{R_a}$  ifadesinde  $E = K_e \cdot \Phi_0 \cdot n$  olduğunu biliyoruz.

$$I_a = \frac{U - k_e \cdot \phi_0 \cdot n}{R_a} \text{ olur. Ve buradan}$$

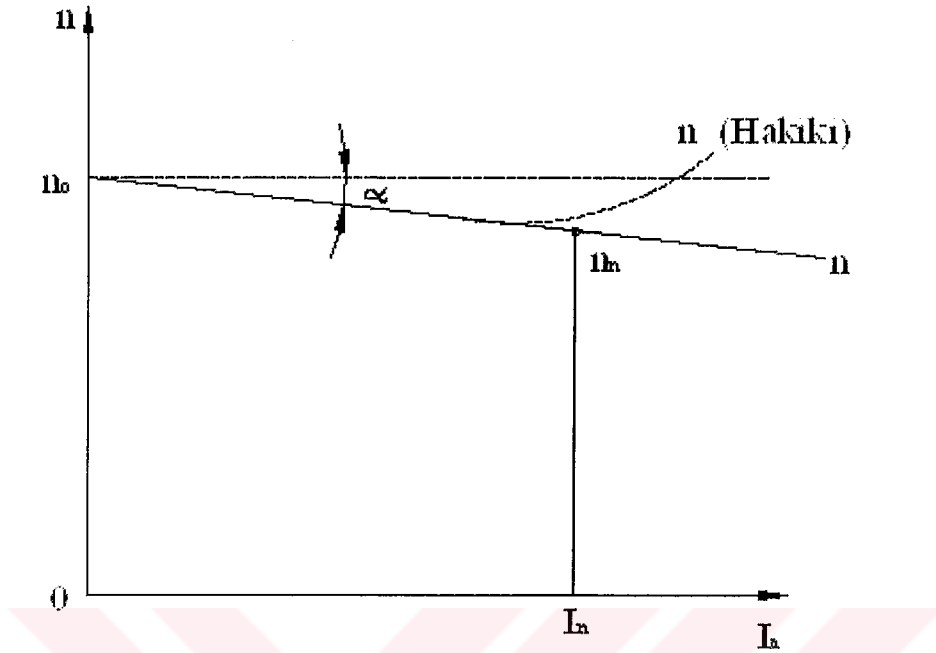
$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_e \cdot \phi_0} \text{ bulunur.} \quad (2.8)$$

Şebekenin  $U$  gerilimi sabit olduğuna göre devir adedinin değeri değiştirilmek istenirse,  $n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_e \cdot \phi_0}$  ifadesinde elimizde değiştirilebilen bir  $\Phi_0$  akısı kalmıştır.

Bunu  $I_m$  uyarı akımını  $r_m$  direnci aracılığı ile, ayar ederek değiştirmek mümkündür ve bu şekilde motoru istediğimiz devir adedinde, mesela normal ( $n_n$ ) devir sayısında çalıştırabiliriz. Burada dikkat edilecek önemli bir nokta vardır. Motorun uyarı devresi açıldığı taktirde (yani  $r_m = \infty$  veya çok büyük olursa)  $I_m = 0$  olur. (veya  $I_m$  çok küçük) ve  $\Phi_0 = 0$  olur. ( $\phi_{rem} \approx 0$  dır) ve “n”nin ifadesinden görüldüğü gibi  $n = \infty$  olur, yani ambale olur ve parçalanabilir. Bu sebepten dolayı motorun uyarı devresine sigorta veya anahtar hiçbir vakit konmaz ve bu devre açılmaz. Şimdi motorumuz boşta ve normal devir sayısı ile çalışırken, bunun  $M = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_a$  momentinden faydalanıp, belirli bir  $M_r$  karşıt momentini yenerek, herhangi bir makineyi (mesela bir torna tezgâhını) harekete getirelim.  $M_r$  karşıt momentinin, motorun miline tatbik edildiği anda devir sayısı düşer, fakat bununla uygun olarak  $E = K_e \cdot \Phi_0 \cdot n$  zıt elektromotor kuvveti düşer, bu nedenle  $I_a = \frac{U - E}{R_a}$  akım artar.

Akım artınca bununla uygun olan  $M = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_a$  motorun müteharrik momenti de artar. Bundan dolayı “n” devir sayısı çok az düşerek,  $M = M_r$  olur ve motor yüklü olarak boştaki devir sayısına çok yakın sabit ( $n \approx n_n = \text{sabit}$ ) bir devirle çalışır. Bu devir sayısı esasen yukarıda açıklandığı şekilde ayarlanabilir. Motoru durdurmak için motorun esasen anahtarını açmak yeterdir[1].

### 2.1.1.3. Devir sayısı karakteristiği



Şekil 2.3. Bir şönt motorun devir sayısı karakteristik eğrisi

Şebeke gerilimi  $U = \text{sabit}$  (normal) ve  $I_m = \text{sabit}$  yani  $r_m = \text{sabit}$  şartları ile  $n = f(I_a)$  fonksiyonunun temsil ettiği eğri, şönt motorun devir sayısı karakteristiğidir. Yani endüiden geçen  $I_a$  yük akımına nazaran  $n$  devir sayısının değişimi gösteren eğridir. Şimdi, endüi tepkisinden sarfı nazar ederek ü, yani  $I_m = \text{sabit}$  olduğu için  $\Phi_0 = \text{sabit}$  olduğu kabul ederek, bu  $n = f(I_a)$  fonksiyonunun şeklini bulalım.

$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_v \cdot \phi_0}$  Olduğu malumdur, burada  $n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_1}$  yazılabilir veya

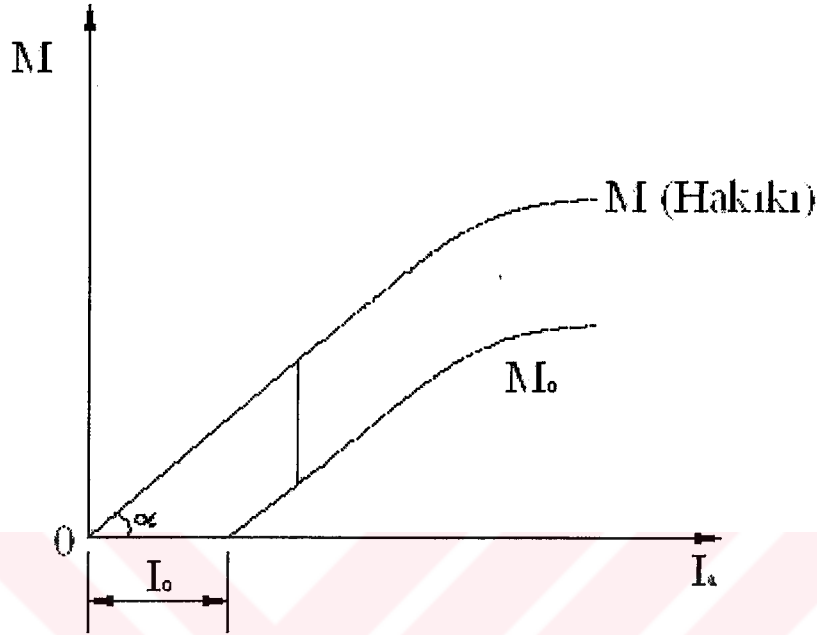
$n = K_2 - K_3 \cdot I_a$  'ki bu bir doğrudur. ( $K_2 = \frac{U}{K_1}$  ve  $K_3 = \frac{R_a}{k_1}$ ).  $M = k_m \cdot \phi_0 \cdot I_a = 0$ ,  $I_a = 0$

için, yani motor boşta (yüksüz dönerken)  $n = n_0 = K_2$  'dir.  $\text{tg} \alpha = K_3$  küçük

olduğundan  $n \approx \text{sabittir}$ .  $n = 0$  için,  $I_a = \frac{k_2}{k_3} = \frac{U}{R_a} = I_k$  (kısa devre akımı) (şönt motor

$n = \text{sabit}$  işlerde kullanılır[1]).

#### 2.1.1.4. Moment karakteristiği:



Şekil 2.4. Bir şönt motorun moment sayısı karakteristik eğrisi

Aynı şartlar altında, yani  $U = \text{sabit}$ ,  $r_m = \text{sabit}$ , bireritice  $I_m = \text{sabit}$  ve  $\Phi_0 = \text{sabit}$  iken  $M = f(I_a)$  eğrisi şönt motorun moment karakteristiğidir.  $M = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_a = K \cdot I_a$ , orijinden geçen bir doğrudur.  $\text{tg} \alpha = K = K_m \cdot \phi_0$  'dır.

$$M = M_u + \Delta M \text{ 'dir.} \quad (2.9.)$$

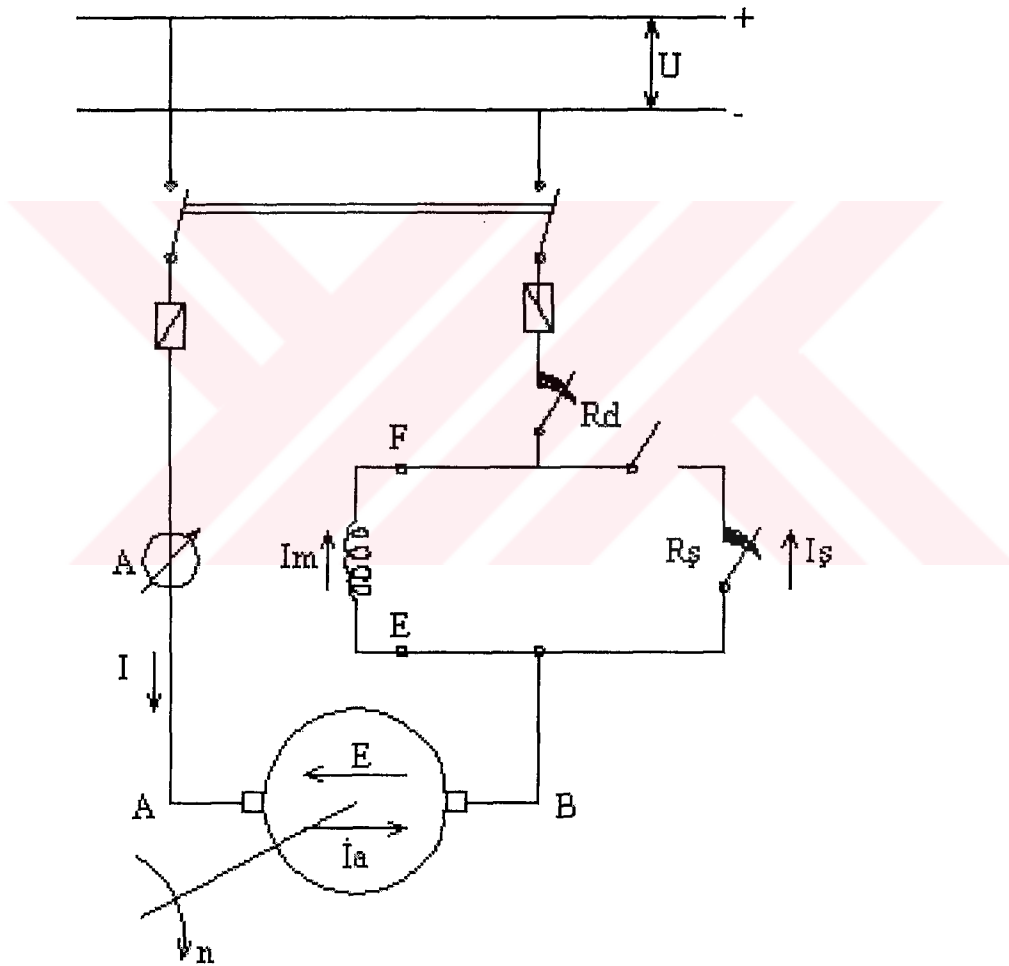
Burada  $\Delta M$  motorun sürtünmesinden dolayı direnç momentini ve  $M_u$  motorun milinden alınan faydalı momenttir.  $I_0$  akısı  $\Delta M = K \cdot I_0$  sürtünme momentine tekabül eden motorun boştaki akımıdır[1].

İhtar: Gerçekte endüi tepkisinden dolayı  $I_m = \text{sabit}$  kaldığı taktirde,  $I_a$  yükseldikçe,  $\phi_0$  düşer ve bundan dolayı gerçekte  $I_a$ 'nın büyük değerleri için  $n = f(I_a)$  ve  $M = f(I_a)$  fonksiyonları doğrulara biraz ayrılırlar (noktalı eğriler).

## 2.1.2. Seri motorlar

### 2.1.2.1. Yol verme

Demeraj esnasında  $\Phi_0$ 'nın ve bununla uygun olan  $M_d = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_d$  demeraj momentinin büyük olabilmesi için ki demeraj (harekete geçme) kolay olsun. Şemada gösterilen ve EF uyarı sargısını "şönte" eden  $R_\phi$  direncinin devresi açık olması lazımdır[1].



Şekil 2.5. Bir seri motorun elektrik bağlantı şeması

Şönt motorda olduğu gibi, seri motorun demerajında da, şebeke anahtarı kapatıldığı anda ( $n = 0$  ve  $E = 0$  dır),  $R_d = 0$  ise (yani mevcut değilse) motordan geçecek olan

$I_a = \frac{U - E}{R_a} = \frac{U - 0}{R_a}$  akımı çok küçük bir kısa devre akımıdır. Bundan dolayı şönt

motorun demerajında açıklandığı gibi  $R_d$  demeraj direncini kullanarak, motor harekete geçirilir ve demeraj olayı da aynı şekilde izah edilir. Yalnız seri motorda uyarı akımı motorun esas akımıdır ve bundan dolayı demeraj esnasında  $I_d = 2.I_m$  akımı büyük olmakla  $\Phi_0$  da büyüktür ve bu nedenle  $M_d = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_d$  demeraj momenti şönt motorun demeraj momentine oranla çok büyüktür. Seri motorun demeraj momentinin büyüklüğünden yararlanarak bu motor (şönt motorun aksine olarak) yük altında ( $M_r \gg M_{sürt}$ ) harekete getirilebilir. (demeraj edilebilir) (Mesela tramvayın hareket etmesi)[1].

### 2.1.2.2. Devir sayısının ayarı

Motor akımının  $I_a = \frac{U - E}{R_a}$  ve zıt elektromotor kuvveti  $E = K_e \cdot \Phi_0 \cdot n$  ifadesinden

$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{K_e \cdot \phi_0}$  bulunur. Motorun AB fırçalarına tatbik edilen şebeke gerilimi sabit

olduğundan, n devir sayısının ayarı, şönt motorda olduğu gibi,  $\Phi_0$  akısını değiştirmekle sağlanır. Akımı değiştirmek için,  $R_s$  direncinin devresini kapatıp, motorun endüi akımı  $I_a = I_m + I_s$  ikiye ayrılıp yalnız  $I_m$  kısmı EF uyarı sargısından

geçer ve buda  $R_s$  direnci dolayısı ile ayar edilip ( $\frac{I_m}{I_0} = \frac{I_a - I_s}{I_0} = I - \frac{I_s}{I_a}$  şötleme

oranı)  $\Phi_0$  ve n ayar edilmiş olur. Seri motor halinde dikkat edilecek önemli bir nokta vardır. Motor miline uygulanan direnç momenti  $M_r$  ve binetice bunu daima eşit olan motorun hareket momenti  $M = M_r = 0$  ise (veya küçük)  $M_d = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_a$  ifadesinden görüldüğü gibi  $I_a = 0$  ve binetice  $\phi_0 = 0$  (veya çok küçük) olması lazımdır, yani

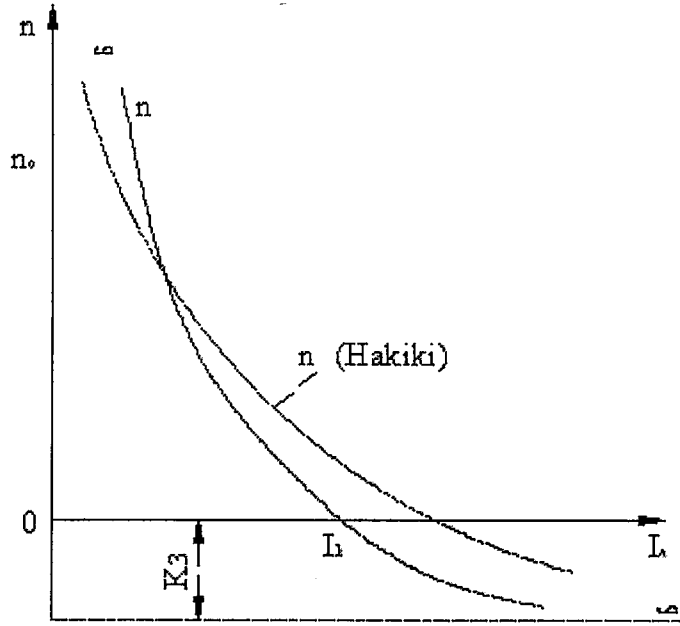
$I_a = \frac{U - E}{R_a}$  veya  $E = K_e \cdot \Phi_0 \cdot n = U = \text{sabit}$  olması lazım. Hâlbuki  $\phi_0 = 0$  ve  $E = U$

=sabit olması için  $n = \infty$  (veya çok büyük) olur (ambale olur). Bunu esasen

$n = \frac{U - 0}{0}$  ifadesinden görebiliriz.  $n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_e \cdot \phi_0}$  Bu sebepten dolayı seri motor

yalnız yük altında harekete getirilir. Bu motor tramvaylarda kullanılır[1].

### 2.1.2.3. Devir sayısı karakteristiği



Şekil 2.6. Bir seri motorun devir sayısı karakteristik eğrisi

Şebeke gerilimi  $U = \text{sabit}$  (normal) ve

$$\frac{I_m}{I_a} = \varepsilon = \text{sabit} \quad (2.10.)$$

( $\varepsilon = 1$ , sabit) yani  $R_s = \text{sabit}$  ( $R_s = \infty$  normal) şartları ile  $n = f(I_a)$  fonksiyonunun temsil ettiği eğri, seri motorun devir sayısı karakteristiğidir. Yani endüiden geçen  $I_a$  yük akımına göre “n” devir sayısının değişimi gösteren eğridir. Şimdi motorun manyetik devresinin büyük  $I_m$  uyarma (mıknatıslıklaşma) akımları ( $I_m = I_a$ , normal olarak) için doyma haline gelmesini göz önüne almayarak, yani  $\phi_0 = f(I_m) = K \cdot I_m$  olduğunu kabul ederek, bu  $n = f(I_a)$  bağıntısının şeklini bulalım.

$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_e \cdot \phi_0}, \phi_0 = K \cdot I_m \text{ ve } I_m = \varepsilon \cdot I_a, \text{ yani } \phi_0 = K \cdot \varepsilon \cdot I_a = K_1 \cdot I_a \text{ } (\varepsilon = \text{sabit} = 1,$$

normal) olduğundan

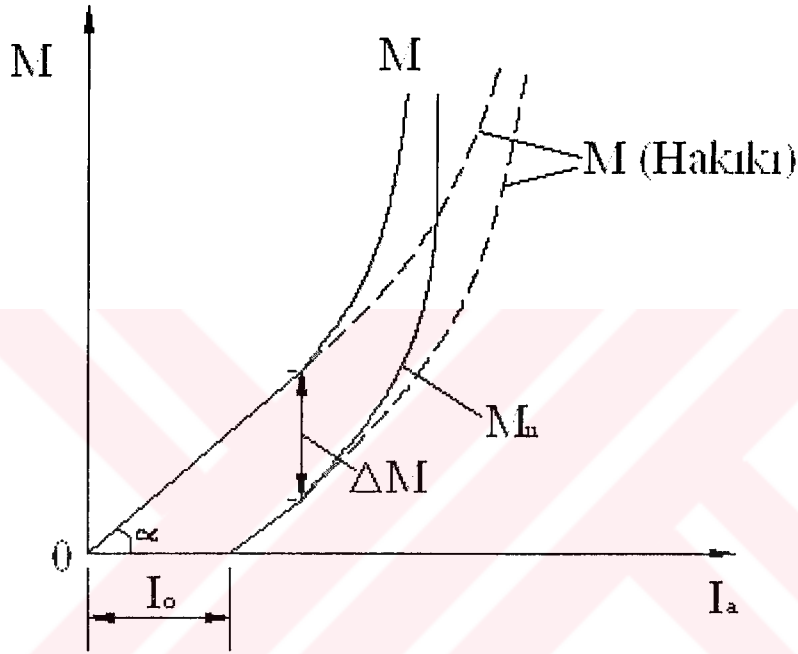
$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{K_e \cdot K_1 \cdot I_a} \text{ yazılabilir [1]}. \quad (2.11.)$$

Veya  $n = \frac{k_2}{I_a} - < K_3$ , ( $K_2 = \frac{U}{K_e \cdot K_1}$  ve  $K_3 = \frac{R_a}{K_e \cdot K_1}$ ) ki bu bir hiperbol gösterir.



$M = K_m \phi_0 I_a = 0$ ,  $I_a = 0$  için, yani motor boşa dönerse,  $n = \infty$  olur. (motor ambale olur).  $n = 0$  için yani makine gerilim altında direnç momentini yüzünden durursa  $K_2 - K_3 I_a = 0$   $I_a = \frac{K_2}{K_3} = \frac{U}{R_a} = I_k$ , (kısa devre akımı)'dır. ( $I_a = \infty$  için,  $n = -K_3$  olması lazım).

#### 2.1.2.4. Moment karakteristiği



Şekil 2.7. Bir seri motorun moment sayısı karakteristik eğrisi

Aynı şartlar altında yani  $U = \text{sabit}$  ve  $\varepsilon = \text{sabit}$  ( $\varepsilon = 1$  normal) yani  $R_s = \text{sabit}$  iken,  $M = f(I_a)$  eğrisi seri motorun moment karakteristiğidir.  $M = K_m \phi_0 I_a$  ve  $\phi_0 = K_1 I_a$  (yaklaşıkla) olduğuna göre

$$M = K I_a^2 \text{ olur,} \quad (2.12.)$$

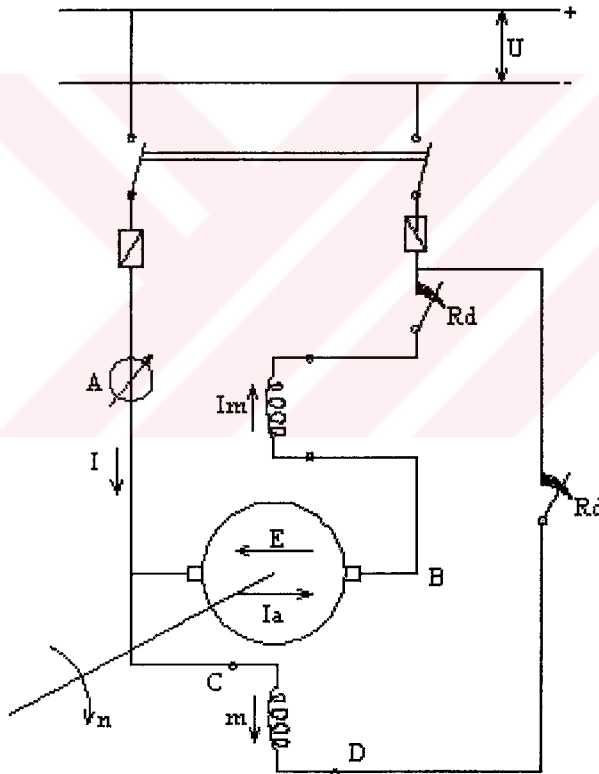
ki bu orjinden geçen bir paraboldür.  $M = M_u + \Delta M$  dir ve burada  $\Delta M$  motorun direnç momentidir.  $M_u$  motorun milinden alınan faydalı momenttir.  $I_0$  akısı  $\Delta M = K I_0^2$  sürtünme momentine tekabül eden motorun boştaki akımıdır[1].

İhtar: Gerçekte makinanın manyetik devresi, büyük  $I_a = \frac{I_m}{\varepsilon}$  akımlar için doyma haline gelmekle ( $\phi_0 = f(I_m) \neq K.I_m$ ) akı akımla orantılı değildir. Ve bundan dolayı gerçek karakteristikler noktalı çizgili eğrilerin şeklini alırlar.

( $M_d = K.I_0$  yol verme momenti ( $I_d \approx 2.I_m$ ) çok büyük olduğu için seri motor tramvaylarda kullanılır).

### 2.1.3. Kompund motorları

#### 2.1.3.1. Yol verme ve devir sayısının ayarı



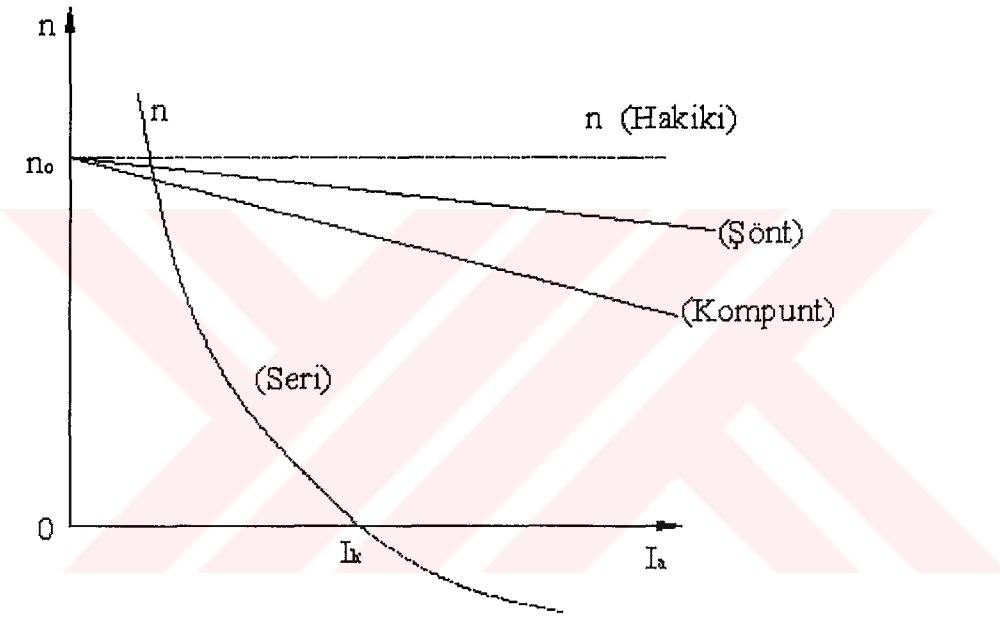
Şekil 2.8. Bir kompund motorun elektrik şeması

Kompund motorlarında  $\Phi_0$  akısının büyük kısmını CD şönt uyarı sargısı (yani CD şönt sargısı EF seri sargısından çok daha kuvvetli olduğu için) Bu motorların esas karakteri şönt motorlarınkine benzer. Bu sebepten dolayı kompund motorların demeraj ve devir sayısı ayarı, şöt motorların olduğu gibidir ve aynı eşitlikler

geçerlidir.  $M = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_a$ ,  $I_a = \frac{U - E}{R_a}$  ve  $n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_e \cdot \phi_0}$  Bu motorların montajında

dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. Buda EF seri uyarı sargısının meydana getireceği akının yönü CD şönt uyarı sargısının meydana getireceği akının yönü CD şönt uyarı sargısının yönünün zıt yönünde (kontrkompondaj) olmamasıdır aksi takdirde  $I_a$  akımı kuvvetlice olduğu zaman (mesela demerajda)  $(\Phi_0)$  akısının değeri düşer ve motor ambale olur[1].

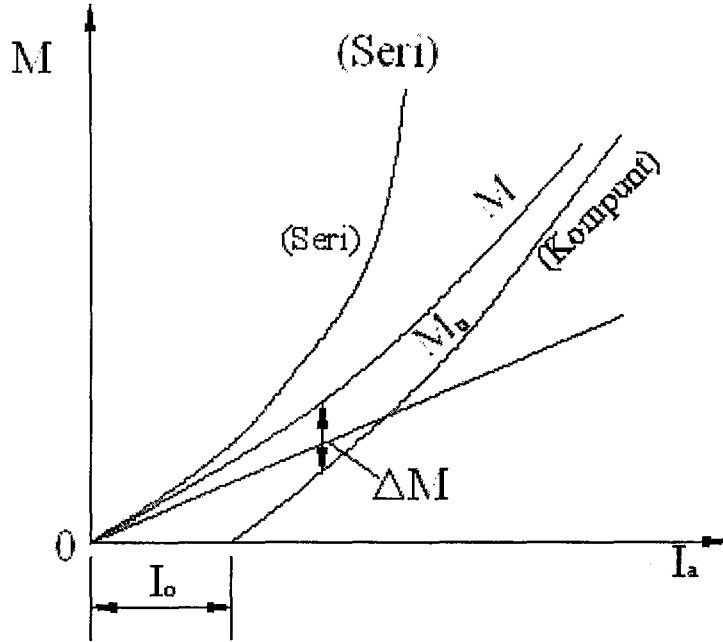
### 2.1.3.2. Devir sayısı karakteristiği



Şekil 2.9. Bir kompond motorun devir sayısı karakteristik eğrisi

Kompund motorların yol vermesi konusunda söylendiği gibi, kompond makinaların esas özelliği şönt makinalarındaki gibidirler. Bu sebepten dolayı devir sayısı karakteristiğine benzer. Fakat kompond halinde  $I_a$  endü akımı (EF) kompondaj (seri) sargısından geçtiği için,  $I_a$  ile artan bir  $\phi_k$  akısı, şönt uyarı sargısının  $\phi_s$  akısına katlanır. Ve bu sebepten dolayı  $\phi_0 = \phi_s + \phi_k$  toplam akı, şönt motorda olduğu gibi sabit kalmayıp,  $I_a$  ile artar ve  $n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_e \cdot \phi_0}$  devir sayısı karakteristiği de yani  $U =$  sabit ve  $r_m =$  sabit iken  $n = f(I_a)$  bir doğru kalmayıp şekilde gösterildiği gibi, bunun altına düşer[1].

### 2.1.3.3. Moment karakteristiği



Şekil 2.10. Bir kompozit motorun moment sayısı karakteristik eğrisi

Moment içinde aynı düşünceyi yürüterek yani  $\phi_0 \neq$  sabit kalmayıp,  $U =$  sabit ve  $r_m =$  sabit iken,  $M = f(I_a) = K_m \cdot \phi_0 \cdot I_a$  moment bağıntısı, şönt motorda olduğu gibi,  $M = K \cdot I_a$  moment karakteristiği de şekilde gösterildiği gibi bu doğrunun üstüne çıkar.

Burada da  $M = M_u + \Delta M$  dir ve burada  $\Delta M$  motorun yataklarındaki ve hava direncini yenmesinden kaybolan momentidir.  $M$  ise (toplam) elektromanyetik kuvvetlerin meydana getirdikleri momenttir[1].

( $I_0$  akımı  $\Delta M$  eşittir  $K_m \cdot \phi_0 \cdot I_0$  direnç momentine tekabül eden motorun boştaki akımıdır).

## 2.2. Asenkron Motorları

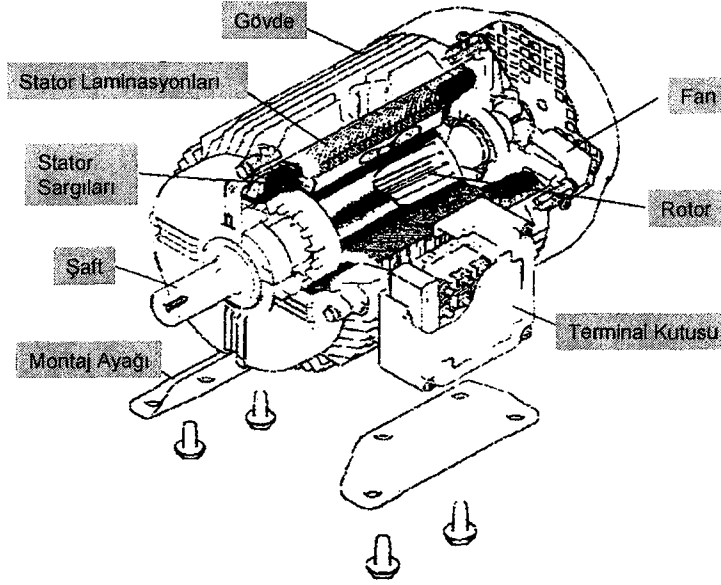
Asenkron motorları alternatif akımla çalışırlar. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirler. Elektrik makinalarının en genel şeklidir. Endüstride en çok kullanılan motorlardır. Motor çalışmada rotor sargılarına dışarıdan hiçbir akım verilmez. Stator sargılarına akım verilince, makine dahilinde senkron hızla dönen döner alanı meydana gelir. Senkron hızı  $n_1$  ile gösterirsek,

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{P} \text{ dir.} \quad (2.13.)$$

Motor çalışmada motor sargıları nasıl olursa olsun, normal çalışmada kendi üzerine kısa devredir. Yalnız bir tipinde, yol verme işini kolaylaştırmak için rotor sargısı uçlarına dirençler ilave edilir. Bu halde de sargılar gene kapalıdır. Döner alan, rotordaki akımı tesir eder. Biöt Savalt kanununa göre bir moment meydana gelir. Rotor harekete geçer. Rotordaki akımlar, endüksiyon yolu ile meydana geldiğinden, bunlara (Endüksiyon motorları) denir[2].

Motor mıknatıslanması için lazım olan akımı trifaze şebekeden çekecektir. Mıknatıslanma akımı vatsız, endüktif olduğundan, güç faktörü ufaktır. Konstrüksiyonda mıknatıslanma akımının küçük olmamasına çalışılır. Bunun için esas hava yolunu küçültmek icab eder. Bu sebeple hava aralığı mümkün olduğunca küçük tutulur. (max. 3mm) Mümkün olduğu kadar kapalı veya yarı kapalı oluk kullanılır. Böylece kuvvet hatlarının yolu kısaltılır. Rotor için yarı kapalı veya kapalı Stator için açık veya yarı açık kullanılır[2].

Standart bir asenkron motor rotor, stator, fan, gövde, şaft ve terminal kutusundan meydana gelmektedir. Şekil 2.11'de asenkron motorun kesit resmi gözükmektedir.



Şekil 2.11. Asenkron motorun yapısı

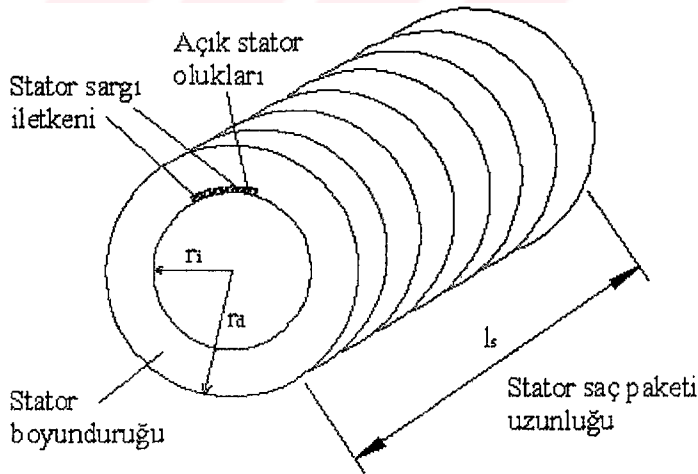
Kapalı oluklara sargılar hususi şekilde yapılır. Manyetik çalışan kısımlar dinamo saçlarından yapılır. Yalnız bunların trafo saçlarından olduğu gibi en iyi cinsten olması şart değildir. Bunların zaten randımanları düşüktür. Orta ve adi saçlar kullanılır. Bunlarında bir tarafı hususi bir plaka veya kağıtla kaplanır. Demir aksamı soğutmayı temin etmek için 4-1 cm'lik paketler halinde yapılır. Hava kanalı 1 cm'den az alınır. Hava kanallarını konstrüksiyonda tutturmak için, hususi ince profil demirleri kullanılır. Bunlar son saçlara lehimlenir. Manyetik çalışan bir aksam, konstrüksiyona göre muhtelif şekillerde sıkıştırılır. Sıkıştırma 5-10 kg/cm'lik bir tazyikle yapılır. Manyetik çalışmayan kısımlar ya dökme demirden veya kaynak konstrüksiyonu ile yapılır. Rotor sargıları başlıca iki şekilde sarılır. 1. tarz: Trifaze sargılar yerleştirilir. Hatta monofaze endüksiyon motorunda bile böyle yapılır. Küçük motorlarda bir tabakalı trifaze sargılar, büyük motorlarda (10 kW) iki tabakalı sargılar tercih edilir. Daha ziyade doğru akım sargılarına benzeyen alternatif akım sargıları da çok kullanılır. Kısmi bobinlerin yanları arasındaki mesafe sabit tutulur. Dalgalı sargı tercih edilir. Doğrudan doğruya doğru akım sargısı sarılır altı muhtelif yerinden kesilir ve karşılıklı kısımlar ikişer ikişer seri bağlanır[2].

Asenkron motorlar genel olarak STATOR ve ROTOR olmak üzere iki kısımdan yapılmışlardır.

### 2.2.1. Stator

Stator asenkron motorun duran kısmıdır. Görevi, manyetik alanı yaratacak sargıyı barındırması ve manyetik akının rotora iletilmesini sağlamaktır. Burada yerleştirilecek olan sargıya stator sargısı veya primer sargı denir ve alternatif akımla beslenir. Bu nedenle bu sargının ürettiği manyetik alan zamana göre değişir. Bu manyetik alanın içinde aktığı ferromanyetik ortam içerisinde Histerizis ve Foucault (Fuko) kayıpları meydana gelir. Demir kayıpları olarak nitelendirilen bu kayıplar, motoru aşırı ısıtacaklarından, bu kayıpların azaltılması gerekmektedir. Bu işlem statorda kullanılan malzemenin büyük endüksiyonlu ve histerizis kayıpları küçük olan malzemelerden olması ile gerçekleştirilir. Fuko kayıplarını da azaltmak için, kullanılan bu malzemenin 0,3-0,5 mm kalınlığındaki silisyum alaşımli, kilogram başına histerizis ve foku kaybı (W/kg) düşük olan ve endüksiyon değeri yüksek (10000-15000 gauss veya 1-1,5 Wb/m<sup>2</sup>) olan saçlardan yapılması gerekir[2].

Saç plakaların bir tarafı fuko akımının geçmesini önlemek için yalıtılır. Stator oluklarının ve rotorun bulunacağı kısım boşaltılır. Ortası ve olukları boş olan bu saçlar arka arkaya dizilir ve sıkıştırılır. Saçların dizilmesi ile elde edilen bu silindire stator saç paketi denir.



Şekil 2.12. Stator saç paketi, oluklar ve statora yerleştirilen sargı iletkenleri

## 2.2.2. Rotor

Asenkron motorun dönen kısmına rotor denir. Motorun türüne göre değişir. Kafesli rotora sahip asenkron motorlarında, kalın ve tek parçadan oluşan iletkenler kullanılırken, bilezikli makinelerde çok telli iletkenler kullanılır. Bu sebepten dolayı bu iki tip rotorun yapısı tamamen değişiktir.

Rotorda kullanılan sargıda endüklenen alternatif akımın meydana getirdiği manyetik alan zamana göre değişir ve rotorun demir gövdesinde Histerizis ve Fuko kayıplarının oluşmasına neden olur. bu kayıpları azaltmak amacı ile rotorun demir gövdesi, statorda kullanılan 0,3-0,5 mm kalınlığında, bir tarafi yalıtılmış saçların arka arkaya sıkıştırılması ile imal edilir[2].

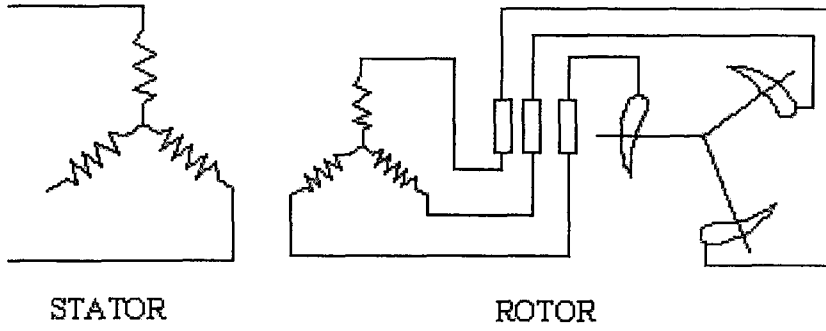
Statordan artan parçalarla rotor kısmı yapılması mümkündür. Statorda olduğu gibi pres yardımı ile birinci seferde mil ve dış çap ölçülerine göre delik açılır, ikinci seferde ise oluklar açılır. Bu şekilde delinen saçlar arka arkaya dizilir ve sıkıştırılarak rotor saç paketi oluşturulur.

### 2.2.2.1. Bilezikli motorların rotoru

Rotor sargıları aralarında yıldız veya üçgen bağlanır. Yol vermede buralara direnç sokabilmek için, uçlar halka ve fırçalarla dışarıya alınır. Bu tipe (halkalı endüksiyon makineleri) denir. Yol verme esnasında bunlar arasında dirençler sokulur. Makine hızlandıkça dirençler devreden çıkarılır. Bazılarında sükûnette iken dirençler devreyi de açar[1].

Endüksiyon motorlarının rotor devresinin direnci ne kadar küçük olursa o kadar iyidir.





Şekil 2.13. yol verme işlemi için direnç kullanımı

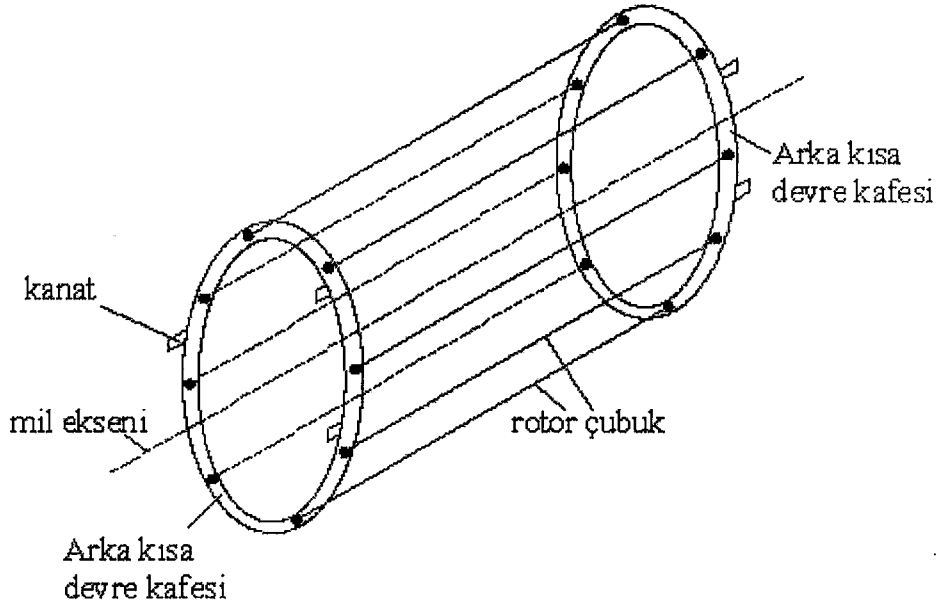
Şekil 2.13.'ye göre R dirençleri kısa devre edilse bile, devreye fırça-halka temas direnci ve tellerin direnci ilave edilir. Bu sebeple küçük bir manivela tertibatı ile hareketten sonra bir lamla kısa devre edilir. İlave dirençler devreden çıkarılır. Bu tertibat fırçaları da halkalardan ayırır.

Makine durdurulduktan sonra bu işler tersine olarak muhakkak yapılmalıdır.

#### 2.2.2.2. Sincap kafesli rotor

Rotor bölgesinde, endüksiyon sürekli e.m.k. meydana gelebilmesi için çubuk şeklinde iletkenler yerleştirilir. Bu iletkenler her iki uç noktasından kısa devre yapılırlar. Motor küçük veya orta güçlü ise rotorda iletkenler alüminyum olduğundan, yerleştirilmeleri çok basit ve el değmeden yapılır. Çubuklar (m) tane ise rotor m. fazlı bir sistem teşkil eder. Bunlar bir halka ile yıldız bağlanmıştır. Diğer bir halkada bu çubukları kısa devre eder. Çubuklar bakırdır. (AL'de) kullanılır. Halkalara sert lehimle lehimlenir[2].

Bu elektrik makinelerinin en emini, en basiti ve en ucuzudur. Ufak güçler için her yerde kullanılır. Monefaze motor bile imalatını yapmak mümkündür.



Şekil 2.14. Sincap kafesli rotor

Rotorda kullanılan iletken bakır ise, her iletken ayrı ayrı imal edilmiş halde, rotor oluklarına alıştırılarak yerleştirilir. Tüm iletkenlerin montajı bittikten sonra kısa devre halkaları bu iletkenlere kaynakla bağlanır. Eğer alüminyum olması halinde imalatı ve işçiliği çok daha az zaman alır.

### 2.3. Senkron Motorlar

Senkron makinalar, endüstride motor olarak fazla kullanılmazlar. Daha çok jeneratör olarak kullanılırlar. Bu sebepten senkron makinalardan kısaca bahsedilecek, ve sadece genel bir bilgi verilecektir.

Senkron motorlar, jeneratör ve motor olarak çalışmak üzere imal edilmektedirler. Bundan başka, bağlı olduğu şebekeye çok büyük kapasite gösterebilen dinamik kapasite olarak çalışmak üzere de yapılabilir.

Frekansı sabit bir şebekede çalışan bütün senkron makinaların enerji dönüşümü yapabilmesi için, senkron hız denilen sabit bir hızda dönmeleridir. Senkron makinaların değeri sabit olan bir dönme sayısında çalışmaları, endüstride motor olarak kullanılma olanaklarını kısıtlar[3].

$$n = \frac{60 \cdot f_e}{p}$$

$n$  : Devir sayısı

$f_e$  : Frekans

$p$  : Kutup sayısı

Burada  $p$  bilindiğine ve stator akımlarının frekansı  $f_e$  belli olduğuna göre, senkron dönme sayısının devri belirlenmiş olur. Devir sayısı  $n$ 'i değiştirmek için kutup sayısını değiştirmek gerekmektedir.

Tablo 2.1. Değişik kutup sayıları ve stator akımlarının frekansına göre senkron dönme sayısı

$f_0 [HZ]$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	60	600	400
$p$ çift kutup	1	2	3	4	5	6	10	20	30	1	2	3
$n \left[ \frac{dev}{dak} \right]$	3000	1500	1000	750	600	500	300	150	100	36000	18000	12000

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi  $n = \frac{60 \cdot f_e}{p}$  formülünden, kutup sayısı değiştirilerek istenilen devir elde edilmesi mümkün olabilmektedir[3].

### 2.3.1. Senkron makinaların çeşitleri

Senkron makinalar başlıca iki çeşittir.

- Yuvarlak kutuplu (turbo) makinalar
- Çakık kutuplu makinalar



## **BÖLÜM 3. ASENKRON MOTORLARIN GENEL YAPILARI**

Asenkron motorları endüstride en çok kullanılan motorlar olmalarından dolayı, enerji tüketim oranları oldukça fazladır. Bu bakımdan asenkron motorları çok daha iyi tanımak gerekmektedir.

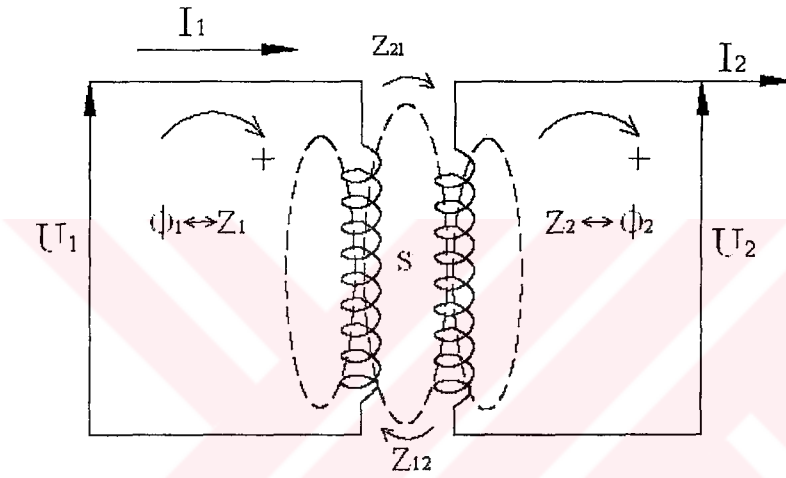
Bir asenkron motorunu tanıyabilmek için aşağıda belirtilen hususları çok iyi bilmek gerekmektedir.

- Motorun Modellemesi
- Yol verme
- Hız kontrolü
- Verim ve Güç Bilançosu
- Moment Kontrolü
- Güç ve Güç Faktörü

### 3.1. Asenkron Motorun Modellenmesi

Özellikle 3 fazlı asenkron motorları karmaşık bir yapıya sahiptirler. Her an değişen çalışma koşullarında meydana gelen akım, moment, güç faktörü, kayıplar ve diğer büyüklükleri hesaplamak çok güç ve oldukça zaman alacağından asenkron motoru bir elektriksel devre şeklinde modellemek mümkündür. Bu model üzerinde hesaplama yapmak daha basit ve gerçekçi sonuçlar vermektedir.

İfadeleri genel olarak yazarsak



Şekil 3.1. Motor devresi

$Z_1$ : Statorun empedansı

$f_1$ : Statorun frekansı

$Z_2$ : Rotor devresinin toplam empedansı

$f_2$ : Rotor frekansı

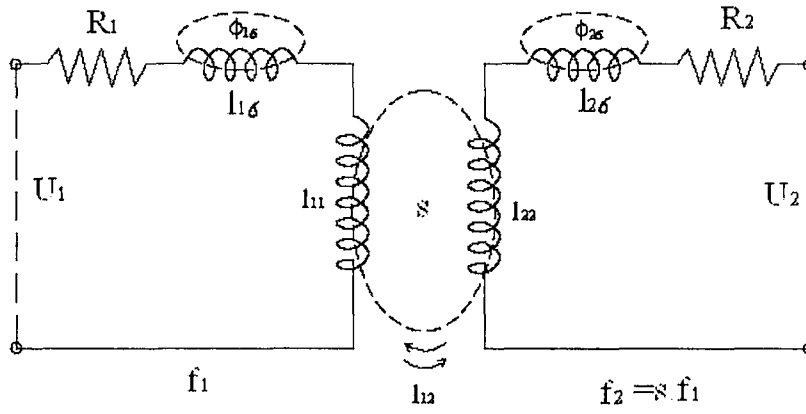
$f_2 = s \cdot f_1$  olduğu bilinmektedir.

Karşılıklı empedanslar:

$Z_{21}$  1. devrenin 2. devreye tesiri

$Z_{12}$  2. devrenin 1. devreye tesiri

$Z_{12} \neq Z_{21}$  'dir. Bu sebepten frekanslar farklı olmalıdır.



Şekil 3.2. Eşdeğer motor devresi

$R_1$  : Stator iletken direnci

$R_2$  : Rotor İletken direnci

$l_{1\sigma}$  : Statorda meydana gelen kaçak endüktanslar

$l_{2\sigma}$  : Rotorda meydana gelen kaçak endüktanslar

$\phi_{1\sigma}$  : Statorda meydana gelen kaçak akılar

$\phi_{2\sigma}$  : Rotorda meydana gelen kaçak akılar

$U_1$  : Statorda meydana gelen gerilim

$U_2$  : Rotorda meydana gelen gerilim

$s$  : Kayma

### 3.2. Asenkron Motorlarında Yol Verme

Rotor hızının sıfırdan, sürekli çalışma hızına ulaşması için yapılan işleme yol verme denir. Motorların şebekeye bağlanmasında, motorların ilk kalkış veya yol alma esnasında motor nominal akımlarından çok daha fazla akımı şebekeden çekmelerinden dolayı, motorun bağlandığı şebeke veya sistem üzerindeki olumsuz etkilerini belli bir çerçeveye kadar ortadan kaldırmak için, bu motor yol alma akımlarının belli mertebelere küçültülmesi istenmektedir. Bunun ile ilgili yönetmeliklerde 5 kW'ın üzerindeki motorlarda basamaklı bir yol verme sisteminin kullanılması istenmektedir. Bunun yanında şebekeden çekilen işletme gerilimin düşümünün de % 5 'ten fazla olmaması istenir[4].

Yol verme işlemi  $n = 0$ 'dan,  $n = n_n$  oluncaya kadar devam ettiğinden, bu değere ulaşmaya kadar geçen . denilmektedir. Yol verme işleminde eğer yol verme süresi fazla veya yol verme akımı çok fazla olması durumunda, motor aşırı ısınacak ve gerilim düşümlerine sebep olacaktır. Bunun sonucu olarak da motor ömrü azalacak ve işletme maliyeti artacaktır.

$$M_n - M_y = J \cdot \frac{dw}{dt} \Rightarrow \Delta M = J \cdot \frac{dw}{dt} \quad (3.1.)$$

$M_n$  : iş makinası momenti [ N.m ]

$M_y$  : motor momenti [ N.m ]

$\Delta M$  : moment farkı [ N.m ]

$J$  : eylemsizlik momenti

$\frac{dw}{dt}$  : hızın zamana göre değişimi

Yol verme süresini  $T_{yv}$  ile gösterirsek,

$$T_{yv} = \int_0^w \frac{J}{M} dw \quad (3.2.)$$

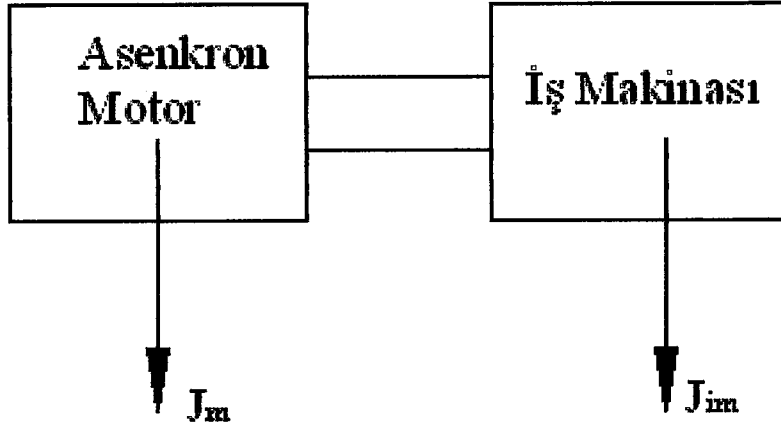
Formülü ile yol verme zamanını bulmak mümkündür.

$$J = J_m + J_{im} \quad (3.3.)$$

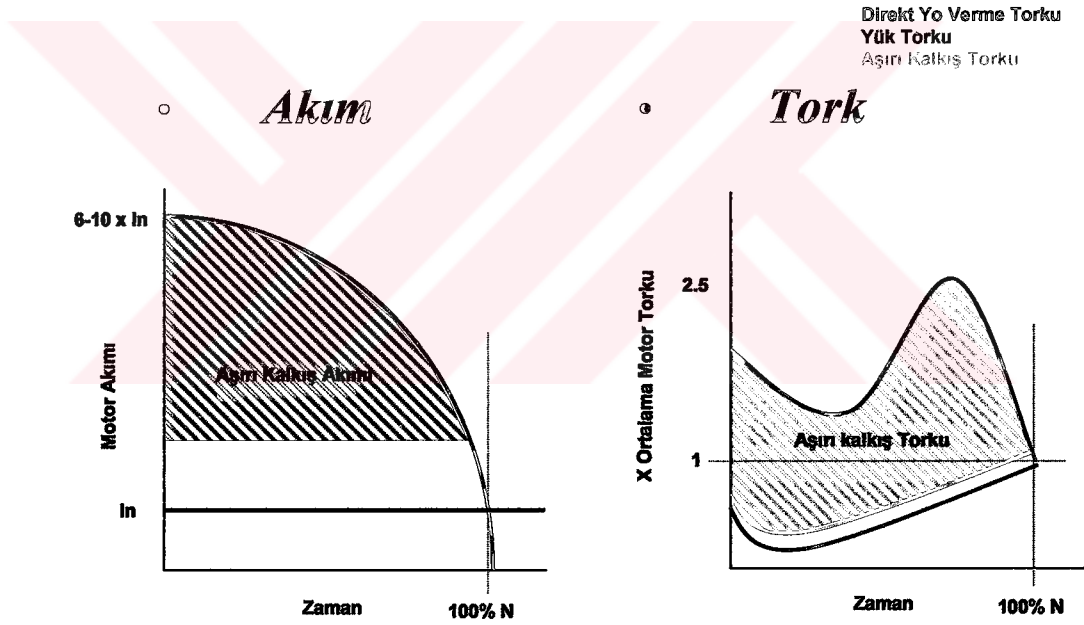
$J_m$  : Elektrik motorunun eylemsizlik momenti



$J_{im}$  : İş makinasının eylemsizlik momentini



Şekil 3.3. Hareket denklemini veren blok diyagramı



Şekil 3.4. Yol verme zamanında akım ve tork değişimi

Şekil 3.4.'de standart bir motorun yol verme zamanı, akım ve torka bağlı olarak diyagramı verilmiştir. Diyagramdan da anlaşıldığı gibi, motorların ilk kalkış esnasında aşırı akım çekildiği ve bu doğrultuda aşırı tork meydana geldiği gözükmektedir.

### 3.2.1. Asenkron Motorlarına yol verme olayının etkileri

Asenkron motorunda yol verme işleminde yapılması istenilen özellikler.

- Şebekeden çekilen akımın küçük tutulması
- Yol verme süresinin kısa olması
- Motorun ürettiği momentin büyük fakat şebekeden çektiği akımın küçük olması

Yol verme işleminde motorun şebekeye bağlandığı an önemlidir. Bu esnada rotor sargıları kısa devre olduğundan motor kısa devre akımı çeker.

$$I_k = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}} \quad (3.4.)$$

$r_k$  : Motor eşdeğer kısa devre direnci

$x_k$  : Motor eşdeğer kısa devre bobini

Bu akım anma akımının 5-8- katı olduğundan, sargılarda meydana gelen Joule kayıpları da, anma akımın karesiyle orantılı olarak artacaktır. Bu kayıplar,

$$P_k = m \cdot I_k^2 \cdot r_k \quad (3.5.)$$

$P_k$  : Yol verme esnasındaki joule kayıpları

$m$  : Motor kütlesi

Olarak verilir. Bu eşitlikte  $I_k = 5 \cdot I_o$  yazılırsa,

$P_k = 25 \cdot P_{cum}$  (bakır kayıpları) Görüldüğü gibi ısıya dönüşen enerji artmıştır. Soğutma sisteminde bir değişme olmadığına göre sargı hızla ısınır. Bu bakımdan yol verme sırasında çekilecek akım küçük tutulmalı ve yol verme süresinin de kısa olması gerekmektedir[1].

Motorun hareket edebilmesi için, motor momentinin iş makinası momentinden daha fazla olması gerekmektedir. Motorun ürettiği momentin büyük fakat şebekeden

çektığı akımın küçük olması istenen bir özelliktir. Moment gerilimin karesi ile, akım ise gerilimle doğru orantılıdır. Ayrıca moment ile yol verme zamanı ters orantılıdır.

$$M_{yv} = \frac{m_1 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot f_1} \cdot r_2 \cdot \frac{U_1}{(r_k^2 + x_k^2)}, \quad (3.6.)$$

$$I_k = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}}$$

Yol verme süresince sargılarda ısıya dönüşen enerji, rotorda ve statorda sırasıyla,

$$W_{yv2} = \int_0^t m_1 \cdot r_2' \cdot (I_2')^2 \cdot dt \quad (3.7.)$$

$$W_{yv1} = \int_0^t m_1 \cdot r_1' \cdot I_1^2 \cdot dt \quad (3.8.)$$

Yukarıdaki formüllerde görüldüğü gibi motordan çekilen akım arttığında, ısı da artacaktır.

### 3.2.2. Asenkron motorlara yol verme yöntemleri

Asenkron motorlarda yol verme yöntemleri motorların rotor yapılarına göre değişmektedir. Kafesli motorlarda kullanılan yöntemler bilezikli motorlarda kullanılabilir fakat bilezikli motorlara özgü olan yöntemler kafesli sistemde kullanılamaz[1].

Bazı önemli yol verme yöntemleri şunlardır:

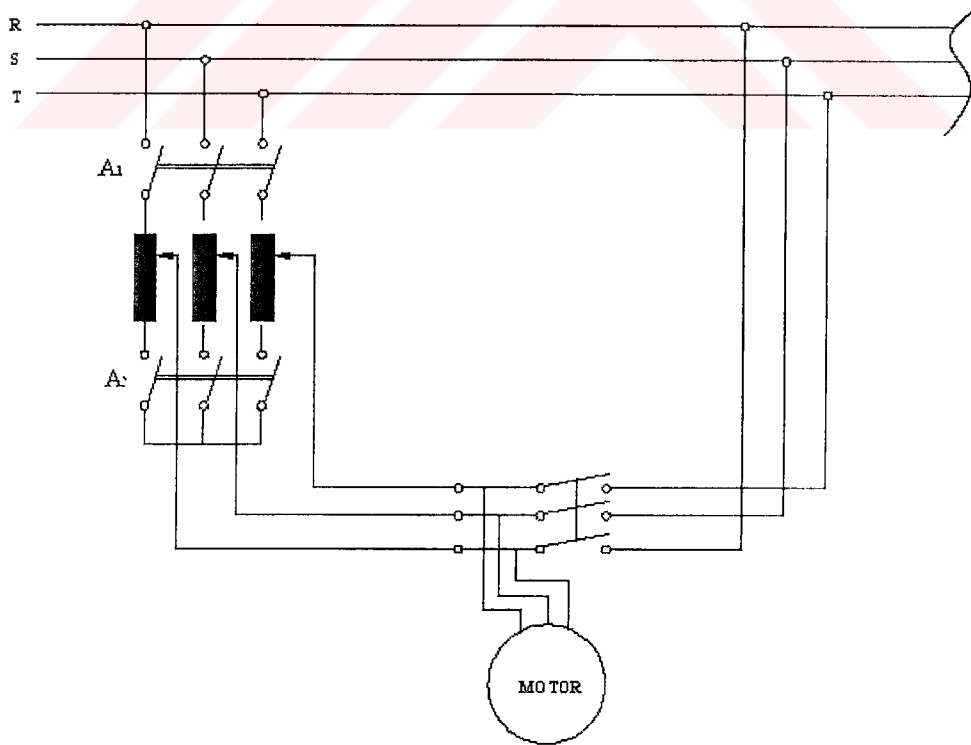
- Yol verme transformatör kullanmak
- Sargı bağlantısında Yıldız/Üçgen değişimi yapmak
- Dirençler kullanmak
- Yardımcı bir motor kullanmak
- Güç elektroniği düzenleri kullanmak
- Derin oluk etkisinden yararlanmak
- Rotorda çift kafes kullanmak
- Bileziklere direnç bağlamak

### Motorlara yol verme ile ilgili hususlar

- Kademeli yol verme, direkt yol vermeye göre daha uygun bir sistemdir.
- Maliyet olarak yıldız-üçgen yol verme, direkt yol verme maliyetinin 1,5 – 3 katıdır.
- Bilezikli motor kullanılması durumunda yol verme sistemi direkt yol vermeye nazaran 5 -15 katı kadar daha pahalıdır.
- Bilezikli motorlar sincap kafesli asenkron motorlara göre pahalıdır.
- Elektrik panosunun boyutlarının büyümesi

#### 3.2.2.1. Yol verme transformatörleri

Bu iş için trifaze oto trafo kullanılır. Oto trafonun yıldızı açılıp açılmayacağına göre iki kademe söz konusudur. Yol vermede  $A_1$  ve  $A_2$  kapalı ve enversör soldadır. Sekonder gerilimi ile makine hızlandırılır.  $A_2$  varsa,  $A_2$  açılır. Bu durumda primer kısmı self bobini olarak çalışır. Gerilimi biraz düşürür. Tam şebeke gerilimine atlamak için enversör sağa atlanır.  $A_2$  anahtar yoksa yukarıda anlatılan kademe yapılamaz. Doğrudan doğruya şebeke gerilimine geçilir[2].



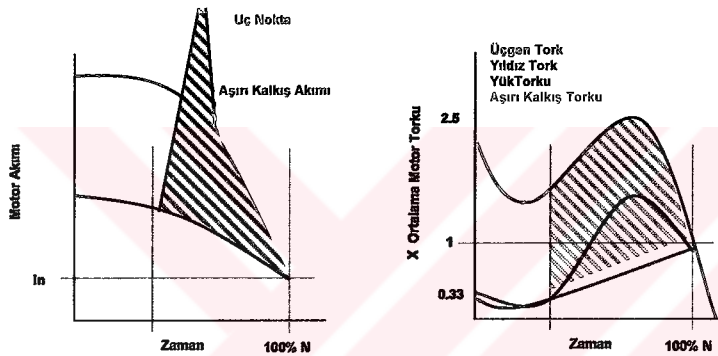
Şekil 3.5. Oto trafolu yol verme sistemi

Makinaya yol verdikten sonra, oto trafo çalıştırılmaz. Yani  $A_1$  açılır.  $A_2$  açılmışsa bile oto trafonun gerilim altında kalması doğru olmadığından  $A_1$ 'inde açılması gerekir.

Bu montajda faz sıralamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Aksi halde makine ters dönmeye çalışarak iki misli tesirde firen yapar.

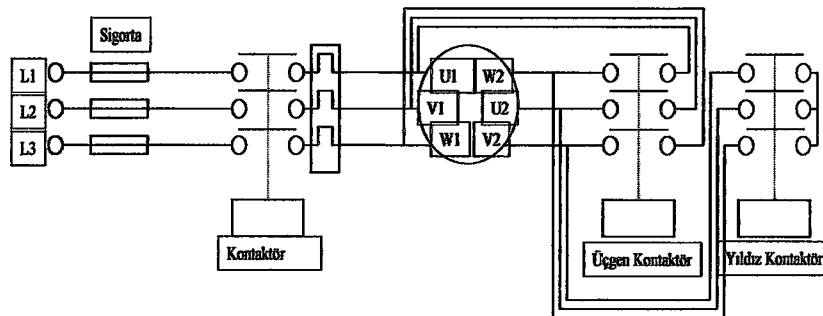
### 3.2.2.2. Yıldız-üçgen yol verme

#### † Yıldız-Üçgen Akım † Yıldız-Üçgen Tork



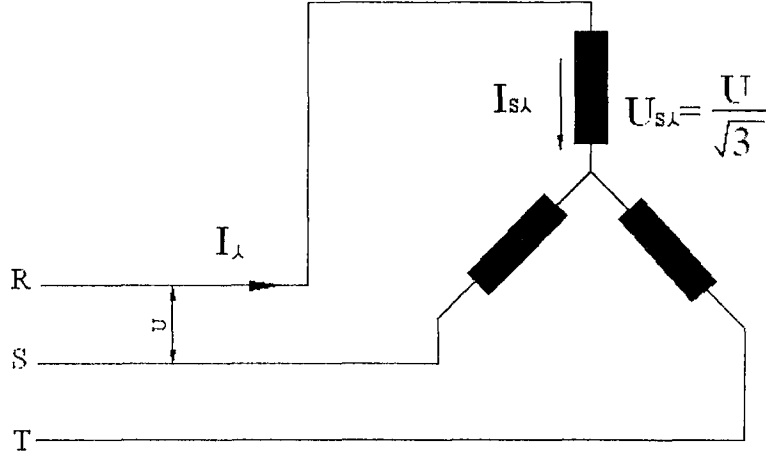
Şekil 3.6. Yıldız-Üçgen yol vermede akım ve tork değişimi

Yukarıdaki diyagramda, yıldız-üçgen yol verme sisteminde, akım ve tork değerlerinin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Şekil3.4.deki diyagramdan da anlaşılacağı gibi motor yıldız konumunda çalıştırıldığında daha düşük tork üretmektedir. Bunun anlamı ise yıldız konumunda motor yük altında çalıştırılmamalıdır.



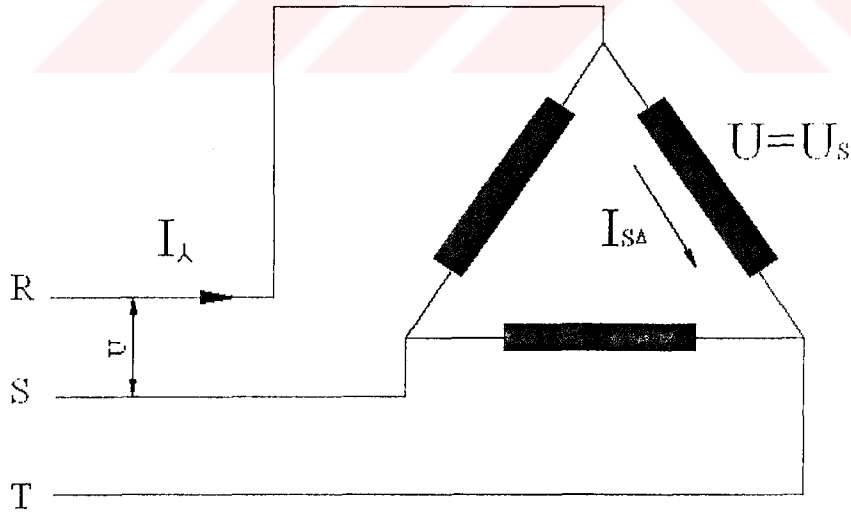
Şekil 3.7. Yıldız-Üçgen yol verme motora bağlantı şeması

Şekil 3.7 de ise basit bir yıldız-üçgen yol verme sisteminin motora bağlantı şekli gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Motora yıldız yol verme bağlantısı

Asenkron motorunun yıldız konumunda çalıştırılması durumunda bir sargıdan geçen gerilim  $\frac{U}{\sqrt{3}}$  kadar olmaktadır.

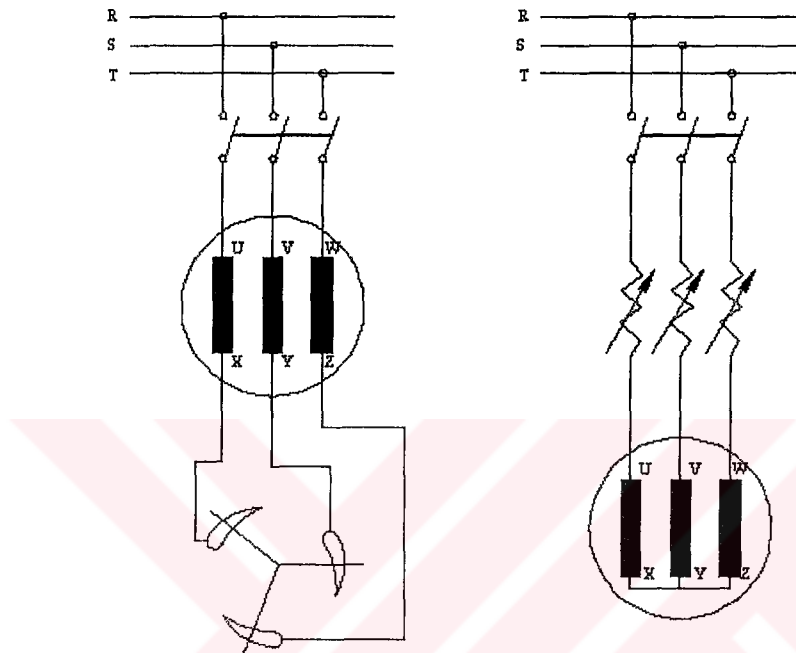


Şekil 3.9. Motorun üçgen çalışması

Asenkron motoru yıldız kalktıktan sonra üçgen konuma getirildiğinde  $U$  gerilimi kadar gerilim çekerek normal çalışma konumuna gelmektedir.

### 3.2.2.3. Dirençlerle yol verme

Çok değişik şekillerde uygulama yapmak mümkündür. Şekil 3.10. de üçlü dirençler kullanılarak dirençlerle yol verme şekli gösterilmiştir. 2. şekilde görüldüğü gibi istenildiğinde ayarlanabilir dirençler de kullanılabilir[2].

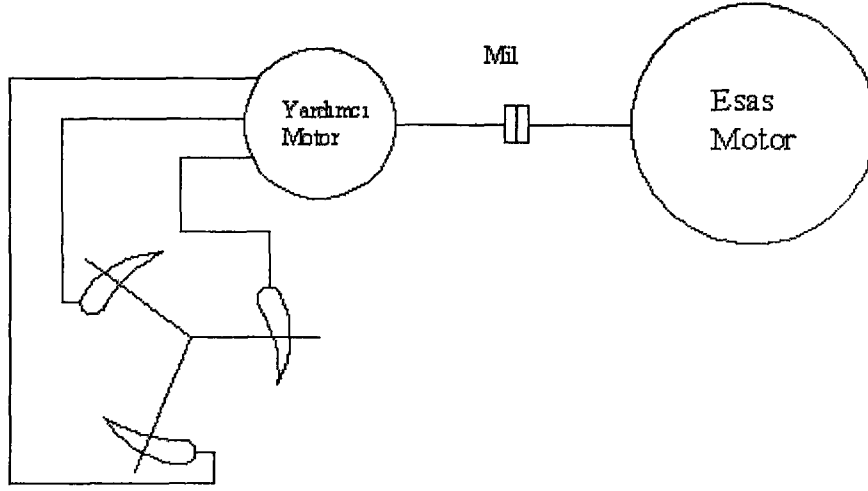


Şekil 3.10. Asenkron motora dirençlerle yol verme

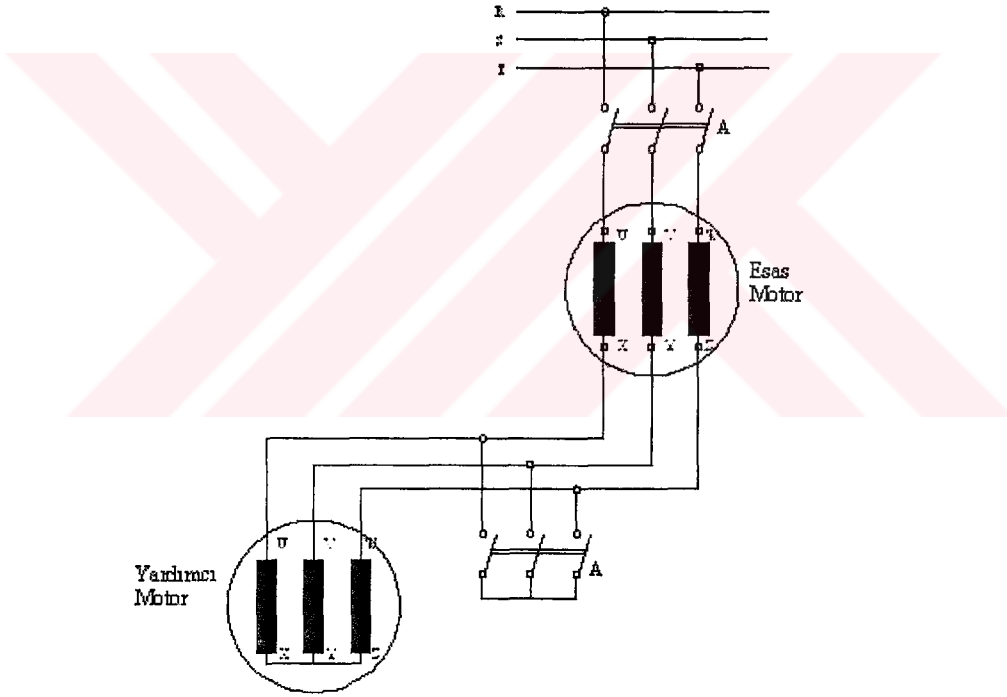
### 3.2.2.4. Yardımcı motorla yol verme

Genellikle büyük kısa devre rotorlu endüksiyon motorlarında yardımcı motor ile yol verme işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir. Yardımcı motor daima daha küçüktür. Kutup sayısı esas motorun kutup sayısından daha az olduğundan senkron hızı daha fazladır.

Şebeke gerilimi sisteme tatbik edildiğinde, yardımcı motor küçük olduğundan hemen harekete geçer ve hızlanır. Motorlar hızlandıkça, senkron hızlar farklı olduğundan kaymalarda farklı olur. Büyük motorun kayması daha çabuk küçülür. Sonuç olarak büyük motorun rotor direnç tesiri daha çabuk büyür. Bu durumda gerilimin büyük bir kısmını esas makine almaya başlar ve devreye girer. En son olarak anahtar kapatılarak küçük motora tatbik edilen gerilim tamamen sıfıra düşürülür.



Şekil 3.11. Yardımcı bir motorla yol verme bağlantı şekli



Şekil 3.12. Yardımcı bir motorla yol verme bağlantı şeması

Yardımcı motoru ayrı gene kullanmak yerine, esas motorun statoruna ayrı bir sargı ile yerleştirilebilir. Rotor sargısı da çift yapılması gerekmektedir.



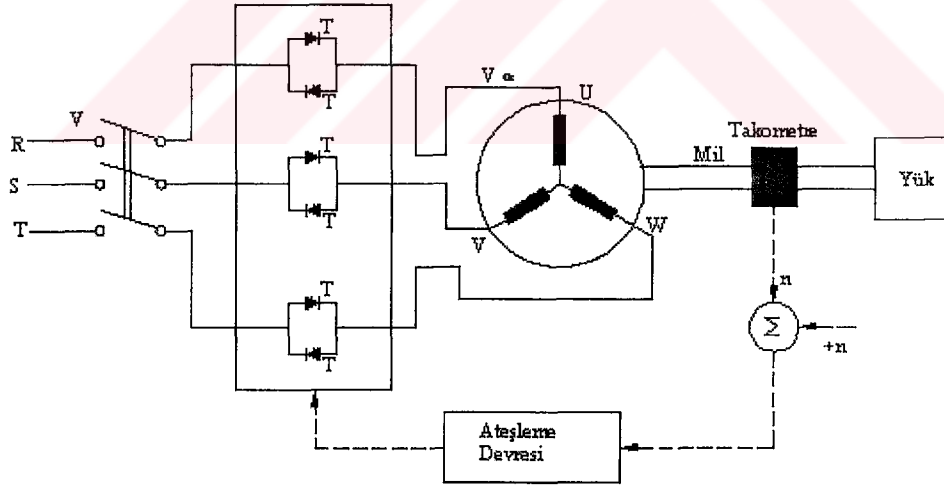
### 3.2.2.5. Güç elektroniği düzenleri kullanarak yol verme

Yukarıda bahsedilen motor yol verme ilkeleri aynıdır. Bunlar statora uygulanan gerilimin değiştirilmesi ve bilezikli makinada rotor direncinin artırılmasıdır.

Alternatif akım kıyıcı ile yol verme sistemi her iki tür asenkron motorlarda kullanılan bu yöntem şekil 3.3. oto trafolu yol verme sisteminin yerine kullanılır. Bir fazlı veya üç fazlı olarak imal edilebilirler. Yapısında bulunan yarı iletkenlerin uygun zamanda ilettime sokulması ile, motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi sağlanır. Böylece,

$$M_{yv} = \frac{m_1 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot f_1} \cdot r_2 \cdot \frac{U_1}{(r_k^2 + x_k^2)} \quad (3.6)$$

Formülünde de görüldüğü gibi motor momenti değişir. Motor çıkışında mile koyulan takometre sayesinde, yük için gerekli moment ihtiyacı belirlenir. Bu ihtiyaca göre gerilim değişim gösterir[1].



Şekil 3.13. Alternatif akım kıyıcısının asenkron motora bağlantısı

### 3.3. Asenkron Motorlarda Hız Kontrolü

Asenkron motorlarında devir sayısı ayarı, doğru akım motorlarında olduğu gibi kolay değişmez. Asenkron motorlarında devir sayısının ayarı kademeli veya küçük sınırlar içinde yapılabilir.

Devri sayısı ayarı :  $n_2 = n_1 - n$

$$n_2 = n_1 \cdot s$$

$$n = n_1 - n_2 = n_1(1 - s) \text{ ' dir.} \quad (3.7.)$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{P}$$

$n_1$  = Stator döner alanının hızı

$n_2$  = Rotor döner alanının hızı

s = Kayma faktörü

$f_1$  = Şebeke frekansı

P = Kutup Sayısı

$$n = \frac{60 \cdot f_1}{P} (1 - s) \quad (3.8.)$$

Devir sayısını değiştirmek için 1. çözüm frekansı değiştirmek 2. çözüm P veya s değiştirmektir. Bütün bunlar kolay olmayan işlerdir.

#### 3.3.1. Frekans değiştirerek ayar yapmak

Asenkron motorlarında frekans ile devir sayısı doğru orantılıdır.

İki türde tedbir alınabilir.

- Ayır bir motor jeneratör grubu çalıştırılarak frekansı kabili ayar bir şebeke yaratılır.
- Endüksiyon motorlarının rotorundan akım çekersek şebeke frekansından farklı frekansta şebekeler elde edebiliriz. Bu sebeple endüksiyon motoru ile şebeke arasına başka bir motor ilave edilir.

Devir adedi kabili ayar motorun hızı senkron hıza kadar çıkıyorsa ve ters tarafa doğru dönebiliyorsa ayarı  $f_2 = 0,2.f_1$  arasında olur.

Senkron hızın yukarısındaki hızlarda da kabili ayar motorlar seçilerek daha büyük frekanslara da ayar yapılabilir. (bu doğramacılıkta ve maden asansörlerinde)

### 3.3.2. Kutup sayısını değiştirerek hız ayarı

Bu stator muhitindeki alan dağılışıını değiştirmek demektir. Bu maksatla motora çift sargı konur. Bunlar istenilen iki devir adedi verecek şekilde sarılır. 2.nci bir tarzda şudur. Bazı sargılar dış bağlamalarında değiştirmeler yapılırsa istenilen neticeyi sağlar. Bu tadilatta bir faz devresine ait sargılar iki gruba ayrılır.

Sargılar ya arka arkaya seri bağlanır veya bir tanesi aksedilerek seri bağlanır. Böylece iki fazlı hız elde edilir. Böyle motorların rotorunu kısa devre kafesli olmak muvafiktir. Her kutup adedine uyar. Bilezikli rotor alınır, rotorunda her kutup adedi haline uydurulması gerekir.

Bunlara asansörlerde, pompalarda, tulumbalarda ve bilhassa atölyelerde rastlanır. Bazen çift sargı sarılır. Her biri de iki muhtekif hıza kabili ayar yapılır. Böylece 4 ayrı hız elde edilir.

### 3.3.3. Kaymayı değiştirerek devir sayısı ayarı

1. yöntemde halkalı endüksiyon motorlarında rotor devresine direnç ilave edilirse

$$\frac{R_2}{s} = \frac{R_2 + R}{s'}$$

'den dolayı s büyür. Yani  $n_2 = n_1.s$  rotor devresi dış bakır kayıpları artırılarak büyütülmüştür. Bu randımanı düşer. Halkalar arasındaki gerilim  $U = I.R$  ilave edilen dirence göre değişir. Bu ayar küçük motorlarda, vantilatör v.s. kullanılır.

2. Yöntemde halkalardaki gerilimi değiştirmek sureti ile ayar yapılır. Halkalara sürekli bir gerilim tatbik edilir. Bunun içinde  $f_2$  frekanslı gerilim meydana getiren kolektörlü motor kullanılır. Kolektörlü motor endüksiyon motoruna, mekaniki

elektriki veya hem mekanik hem de elektrik olarak bağlanır. Bu suretle sürekli ve kayıpsız ayar yapılabilir.

### 3.3.4. Stator gerilimini değiştirilerek ayar yapma

$M_{max} = \frac{60}{2\pi n} \cdot \frac{mU^2}{2X^2}$  idi. Gerilimi  $\frac{1}{\sqrt{2}}U$  kadar düşürürsek moment  $\frac{1}{2}M_{max}$  olur.

ayni  $M_y$  momentini sağlamak için motor  $s'$  kayması ile çalışır.  $s' > s$ 'dir. Bu çok uygun değildir.



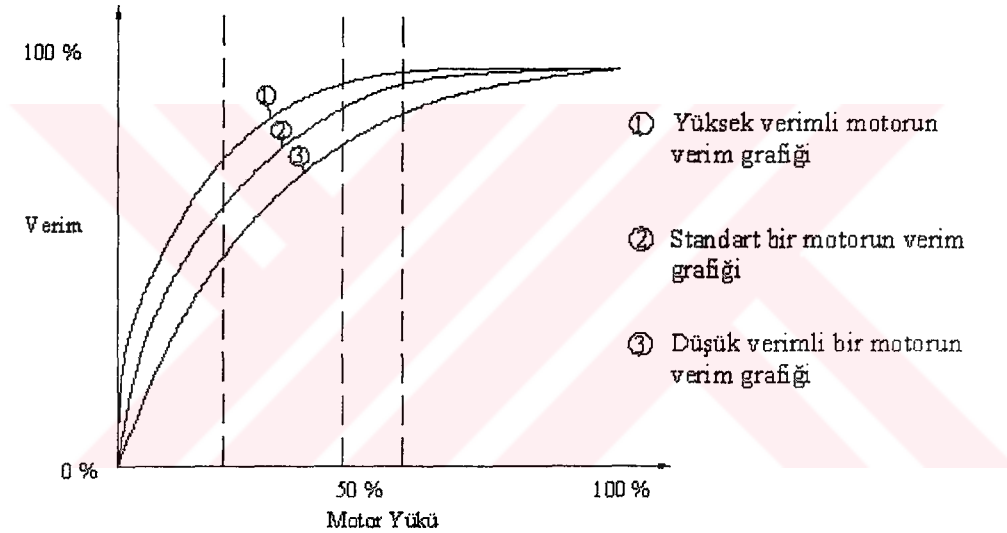
### 3.4. Asenkron Motorlarda Verim ve Güç Bilânçosu

#### 3.4.1. Asenkron motorlarda verim

Elektrik motoruna giren ve motordan çıkan aktif güçler arasındaki orana “verim” denilmektedir.

$$\text{Motor Verimi} = \frac{\text{Giriş Gücü} - \text{Kayıplar}}{\text{Giriş Gücü}} \quad (3.9.)$$

$$\text{Motor Verimi} = \frac{\text{Çıkış Gücü}}{\text{Çıkış Gücü} + \text{Kayıplar}}$$



Şekil 3.14. Düşük, standart ve yüksek verimli motorların verimi

Yukarıda belirtilen grafikten anlaşılacağı gibi en iyi verim, yüksek verimli motorlar kullanılmakla sağlanmaktadır. Fakat yüksek verimli motorların maliyetlerinin standart motordan fazla olması nedeni ile fazla tercih edilmemektedirler.

DEFRA ‘Verimli Enerji Kullanım Programı’ araştırma sonuçlarına göre, aşağıda belirtilen tabloda (tablo3.1.) standart bir motor ile yüksek verimli motorun değişik güçlerde ve değişik yük durumlarına göre verim değerleri ve yıllık çalışma maliyeti verilmiştir. Motor seçimi yapılırken göz önüne almamız gereken en önemli

kriterlerden biri yüksek verimli motor seçtiğimizde acaba ne kadar zamanda kendisini amorti edecektir.

Tablo 3.1. Motor verimlerinin karşılaştırılması

Motor Gücü kW	Yük Durumu	Standart Verimli Motorun Verimi	Yüksek Verimli Motorun Verimi	Standart Verimli Motorun Yıllık Çalışma Maliyeti	Yıllık Tasarruf	20 Yaşındaki Eski Bir Motorun Tipik Verimi
3	100%	82.0%	84.5%	1,463	43	81.0%
3	50%	79.0%	85.0%	759	54	79.0%
3	25%	70.0%	80.0%	429	54	N/A
7.5	100%	87.0%	89.0%	1,448	77	85.0%
7.5	50%	86.0%	89.0%	1,744	59	82.0%
7.5	25%	81.0%	85.0%	926	44	N/A
15	100%	90.0%	92.0%	6,667	145	88.0%
15	50%	90.0%	91.5%	3,333	55	86.0%
15	25%	81.0%	88.0%	1,852	147	N/A
30	100%	90.5%	92.5%	13,260	287	90.0%
30	50%	89.5%	91.7%	6,704	161	88.0%
30	25%	N/A	85.1%	N/A	N/A	N/A
75	100%	93.5%	94.4%	32,086	306	93.0%
75	75%	93.5%	94.4%	24,064	229	93.0%
75	50%	92.5%	93.4%	16,216	156	N/A

Son yıllarda geliştirilen yüksek verimli motorların maliyetleri standart motorlara göre %15-25 daha pahalı olmakla birlikte, çoğu zaman işletme maliyetlerinin düşük olmaları nedeni ile bu fark kısa bir sürede geri kazanılır.

Motora verilen elektrik enerjisinin tamamı mekanik enerjiye çevrelemez. Motora verilen elektrik enerjisi ile motordan alınan mekanik enerji arasındaki oran, motor verimi olarak ifade edilir. İdeal bir üç fazlı motor verimi % 90-98'ler civarındadır. Motor verimi çalışma şartlarına göre değişir. Motor üretici firmalar kataloglarında motor verim değerlerini belirtmeleri gerekmektedir.

### 3.4.2. Asenkron motorlarında güç bilânçosu

$N_1$  : Statora sevk edilen güç

$Q_1$  : Satator sargılarında meydana gelen demir ve ısı kaybı

$N_{\delta 1}$  : Stator dönel alanının rotora naklettiği güç

Rotora gelen  $N_{\delta 1}$  gücü başlıca 2 şekilde harcanır.

- Mekanik Güç olarak milden alınır. ( $N_m$ )
- Rotor devresinden elektriki güç olarak (bakır ve demir kaybı) alınır. ( $N_{\delta 2}$ )

$$N_{\delta 1} = N_m + N_{\delta 2} \text{ Olarak yazılabilir.} \quad (3.10.)$$

Rotorda meydana gelen ( $N_{\delta 2}$ ) kayıpları 2 şekilde meydana gelmektedir.

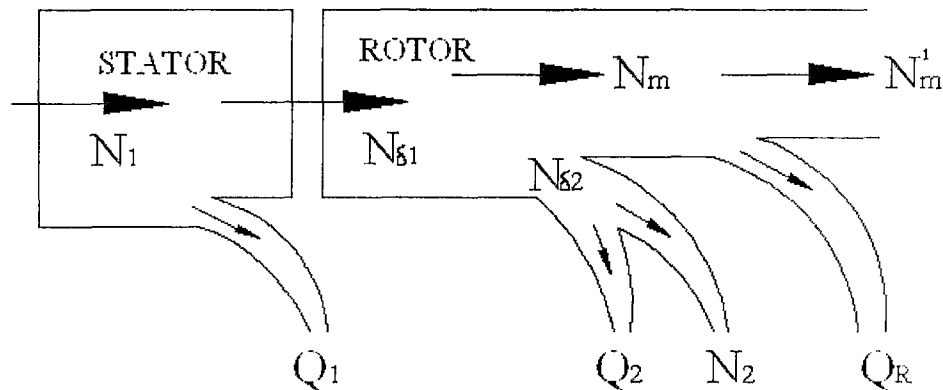
$Q_2$ : Rotordaki kayıplar

$N_2$ : Dışarıya verilen güç

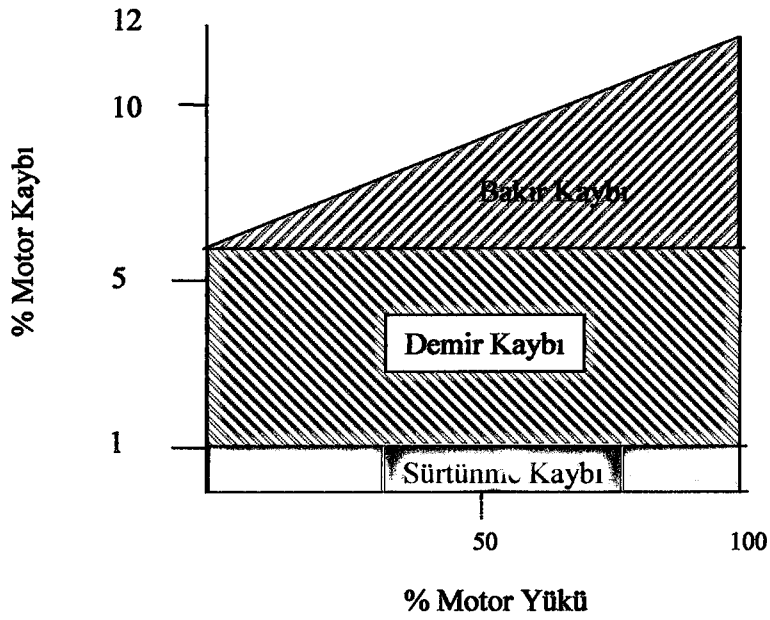
$$\text{Buradan } N_{\delta 2} = Q_2 + N_2 \text{ yazmak mümkündür.} \quad (3.11.)$$

$Q_R$ : Elektrik motorundan alınan mekanik güçte meydana gelen kayıp olarak alınırsa;

$$N'_m = N_m - Q_R \text{ Olarak mile geçen gücün miktarı bulunur.} \quad (3.12.)$$



Şekil 3.15. Güç bilânçosu[6].



Şekil 3.16. Bir elektrik motorunun yük durumuna göre enerji kaybı

Elektrik motorlarında maksimum verim alabilmek için, mümkün oldukça kayıpları azaltmak gerekir. Asenkron motorların sargılarında kullanılan bakır iletkenin kesitinin artırılması ile bakır  $I^2R$  kayıpları düşürülebilir. Demir göbek kayıpları akı yoğunluğunun azalması ile, genellikle stator göbeğinin boynunun artırılması ile sınırlanabilir. Bunun yanında bu kayıplar levha kalınlığının azalması ve kaliteli alaşım kullanılarak da azaltılabilir. Ayrıca yüksek verimli motorlarda azalan kayıplar nedeniyle, açığa çıkan ısının dışarıya verilmesi gereksinimi azalır.



### 3.5. Asenkron Motorlarında Güç ve Güç Faktörü

#### 3.5.1. Asenkron motorlarında güç

Güç akım ile gerilim çarpımı olup, birimi W (Watt)'dır. Güç genelde N ile gösterilir. Buna göre güç formülü  $N = U.I$  şeklinde olacaktır. Trifaze bir sistem için bu güç  $N = 3.U.I$  şeklinde olup, u eğer faz arası gerilim ise  $N = \sqrt{3}.U.I$  şeklinde olur. Alternatif akımda görünür güç birimi VA'dır.

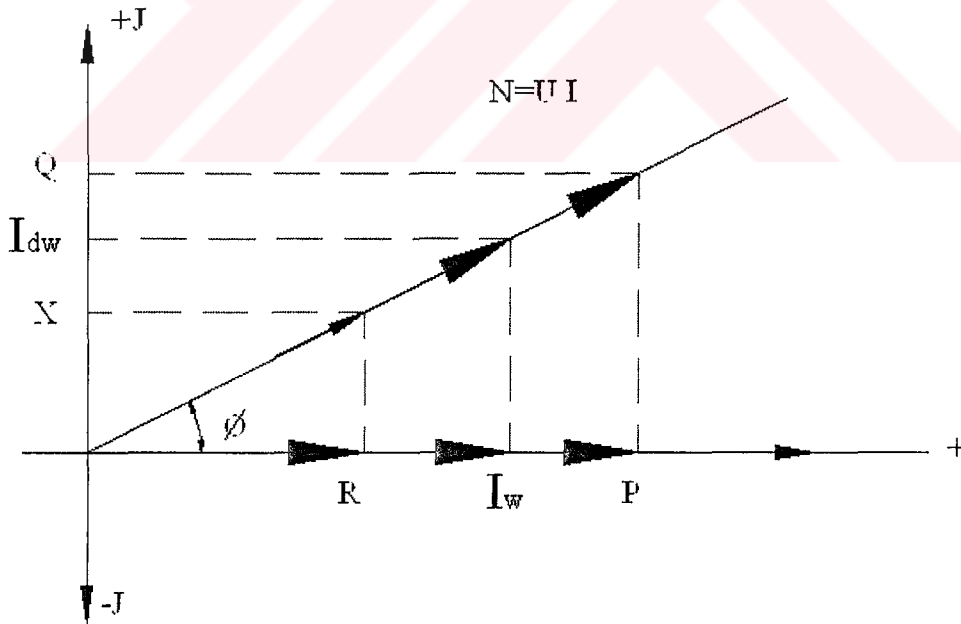
Güç vektörü diyagramından görüleceği gibi biri reel eksen, diğeri de (j) imajiner eksen üzerinde olmak üzere iki bileşeni vardır ve bu bileşenler;

Aktif Güç (W)

$$P = I.U.\cos\phi = N.\cos\phi = U.I_w \quad (3.13.)$$

Reaktif Güç (W)

$$Q = I.U.\sin\phi = N.\sin\phi = U.d_w \quad (3.14.)$$



Şekil 3.17. Güç faktörü

N gücünün mutlak değeri yani büyüklüğü ise,

$$N = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.15.)$$

Şeklide olacak olup, aynı zamanda  $\phi$  açısına bağlı olarak güç ve reaktif güç faktörleri de,

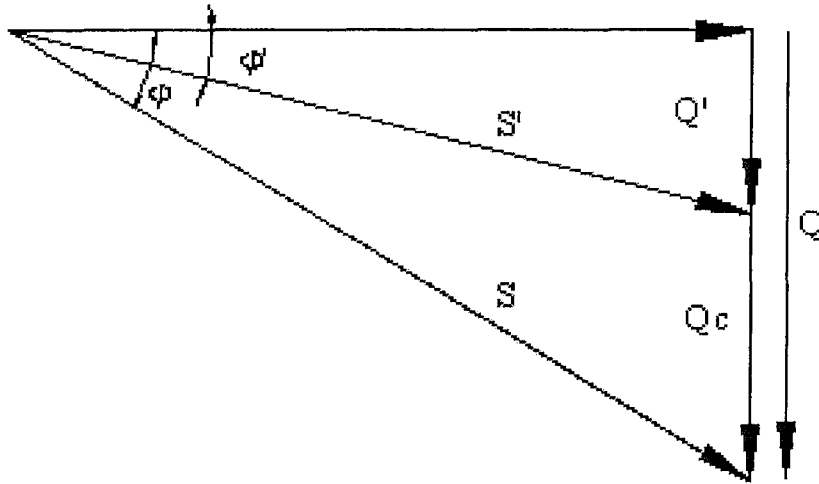
$$\text{Güç faktörü } \cos \phi = \frac{P}{N} = \frac{R}{Z} \quad (3.16.)$$

$$\text{Reaktif faktör } \sin \phi = \frac{Q}{N} = \frac{X}{Z} \quad (3.17.)$$

Formülü ile ifade edilecektir. Ayrıca vektör diyagramından görüleceği buradaki reaktif güç; akımın gerilimden  $\phi$  açısı kadar geri fazda olmasından dolayı burada indüktif karakterli bir reaktif güç söz konusudur.

### 3.5.2. Güç Faktörü

Bir elektrik sisteminde  $\cos \phi$  güç faktörünün çok küçük olması arzu edilmez. Güç faktörü küçük olduğunda istenilen aktif gücü çekmek için şebekeden daha fazla akım çekmek gerekmektedir. Bu ise kablo kesitinin büyümesi ve hat kayıplarının fazlaşmasıdır. Bu durumu önlemek için, güç faktörünü düzeltmek üzere, enerjinin alındığı noktada şebekeye kondansatör bağlayarak  $\cos \phi$  güç faktörünü düzeltmek veya yükseltmek mümkündür.



Şekil 3.18. Güç faktörünün düzeltilmesi

### 3.5.2.1. Güç faktörünün düzeltilmesinin faydaları

- Elektrik maliyetinin azaltılması: Bir tesiste güç faktörünün düzeltilmesiyle elektrik temini yapan idare arasında yapılan sözleşmeye uygun seviyede reaktif güç kullanımı sağlayarak tüketici faturasındaki miktarda önemli ölçüde azalma olur. Tarifelerde reaktif enerji  $\tan \phi$  ye göre fatura edilir.
- Teknik ve ekonomik optimizasyon: Yüksek güç faktörü tesiste bulunan cihaz ve elemanlarda optimizasyonu sağlar.
- Kablo boyutlarının azalması: Aşağıdaki tabloda güç faktörünün azalmasıyla kablo boyutunun artışı görülmektedir.
- Kablolarda (P ,kW ) kayıplarının azalması. Kablolardaki kayıplar akımın karesiyle doğru orantılıdır ve tesiste kWh metre ile ölçülür. Toplam akımdaki azalma mesela %10 ise kayıplardaki azalma %20 olur.
- Gerilim düşümünün azalması: Güç katsayısının düzeltilmesi ile geliş tarafındaki kablo veya hatların gerilim düşümü azalır.
- Şebekeden elde edilebilecek gücün artması: Güç faktörünü düzelterek transformatör üzerinden geçen akımı azaltarak transformatörün ilave yüklenmesini sağlar.

### 3.6. Asenkron Motorlarda Moment Kontrolü

Asenkron motorlarda bilinmesi gereken en önemli özelliklerden biri de moment karakteristigidir.

$$M_r = F \cdot r_r \quad (3.18.)$$

Burada,

$M_r$  : Rotor ekseninde meydana gelen moment

F: Kuvvet

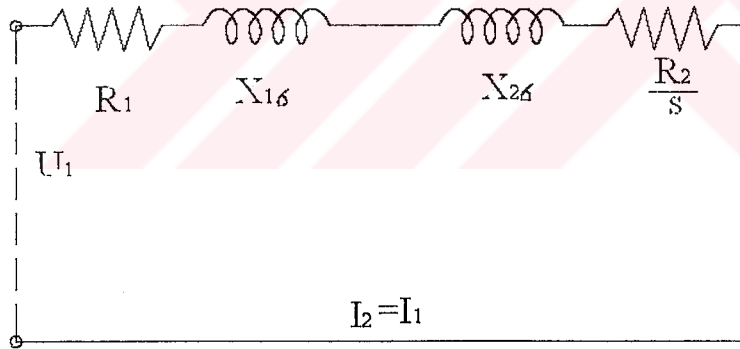
$r_r$ : Rotorun yarıçapı

n devir sayısındaki moment, güç cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$M = \frac{N}{2\pi \cdot n}$$

Burada  $2\pi \cdot n$  açısal hızdır. N ise momenti meydana getiren aktif güçtür.

Moment ifadesini genel olarak bulmak istersek,



Şekil 3.19. Asenkron motorun eşdeğer şeması

$$N_{\delta 1} = N_{\delta 2} + N_m$$

$$N_{\delta 1} = m_2 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} \quad (3.19.)$$

$N_{\delta 1}$  : Statordan rotora geçen güç

$N_{\delta 2}$  : Dışarıya verilen güç

$N_m$  : Mekanik güç

Mekanik olarak  $N_{\delta 1} = M \mathcal{W}_1$  ifade edilebilir.

$I_2 = \frac{U_1}{Z_{2r}}$  akım yerine yazılırsa,

$$N_{\delta 1} = m_2 \cdot \left( \frac{U_1}{Z_{2R}} \right)^2 \cdot \frac{R_2}{s} \text{ bulunur.} \quad (3.20.)$$

$Z_{2R} = \sqrt{\left( \frac{R_2}{s} \right)^2 + X_{2\sigma R}^2}$  ifadesi yerine yazılırsa,

$$N_{\delta 1} = m_2 \cdot \frac{U_1^2}{\left( \frac{R_2}{s} \right)^2 + X_{2\sigma R}^2} \cdot \frac{R_2}{s} = m_2 \cdot \frac{U_1^2}{\frac{R_2^2}{s} + s \cdot X_{2\sigma R}^2} \cdot R_2 \quad (3.21.)$$

Statordan rotora aktarılan güç kaymaya bağlı olduğu gözükmemektedir.

Bilindiği gibi  $N_{\delta 1} = M \mathcal{W}_1$  ve de açısal hızın da  $\mathcal{W}_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60}$  olduğu bilindiğine göre,

Moment cinsinden ifadeleri yazmaya çalışırsak,

$$M = \frac{N_{\delta 1}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60}} = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n_1} \cdot N_{\delta 1} = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n_1} \cdot m_2 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n_1} \cdot m_2 \cdot \left( \frac{U_1}{Z_{2R}} \right)^2 \cdot \frac{R_2}{s} \text{ yazılabilir.}$$

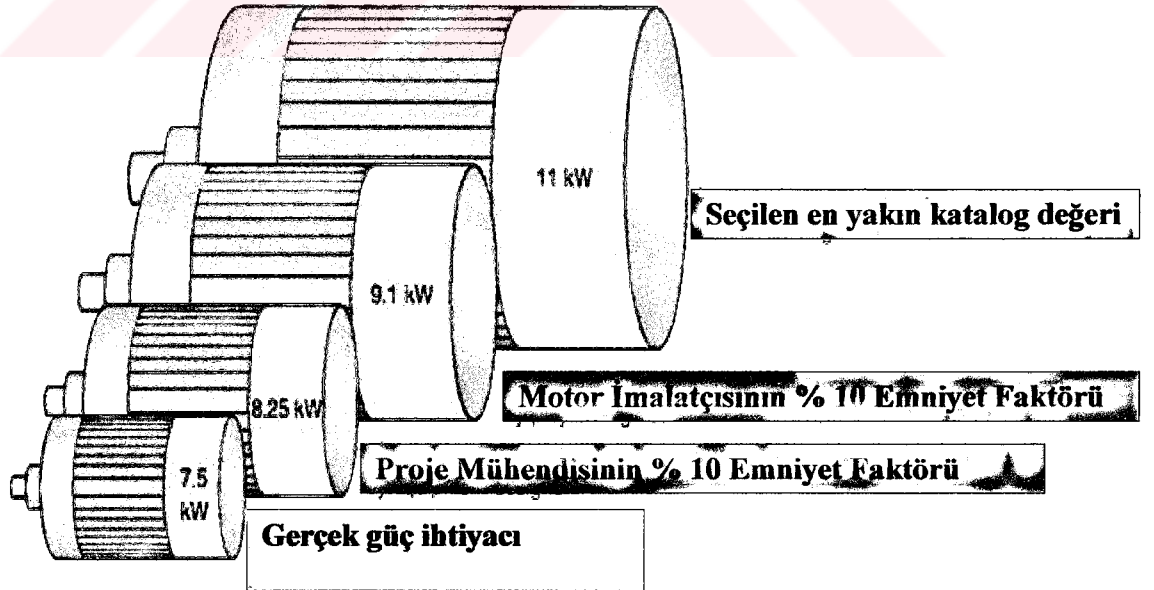
Buradan da,

$$M = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n_1} \cdot m_2 \cdot \frac{U_1^2}{\frac{R_2^2}{s} + s \cdot X_{2\sigma R}^2} \cdot R_2 \text{ ifadesi bulunuz.} \quad (3.22.)$$

## BÖLÜM 4. ELEKTRİK MOTORLARININ SEÇİMİ

### 4.1. Giriş

İdeal bir motor seçimi, motor ömrü, yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ve performans değerlendirmesi açısından önemlidir. Uygun bir motor seçimi, hem enerji tasarrufu sağlar, hem de arıza riskini azaltır. Küçük seçilmiş bir motor kayıplardan kaynaklanan ısıyı beklenen çabuklukta dağıtamaz ve yanma riski ile karşı karşıya kalır. Motor büyük seçildiğinde ise motor soğuk kalmakla birlikte, verimsiz çalışma nedeniyle hem fazla maliyet ve hem de enerji kayıplarında (işletim maliyeti) artış sorunu yaşanır. Şunu unutmamak gerekir, tüm fiziksel sistemlerde verim sadece bir noktada en büyük olur. Diğer çalışma bölgelerinde verimsiz (daha çok kayıplı) çalışma olacaktır.



Şekil 4.1. Motor seçimi

Motor seçilirken, çoğu kez olması gerekenden daha büyük motor seçilmektedir. Bunun sonucunda ise hem kurulum ve hem de işletim aşamalarında, kısacası sürekli çok ücret ödemek zorunda kalır. Bu uygun makine kullanma çözümü, tüm makinelerde geçerlidir. Örneğin 5kW'lık jeneratöre ihtiyacı olan bir kullanıcı, aralarında çok yatırım maliyeti yok diyerek 20 kW'lık bir jeneratör alır ise; ihtiyacı olmayan bu gücü kullanmayacağı için, hem jeneratörü ve hem de jeneratörü süren dizel ya da benzin motoru verimsiz çalışacak, bir yandan daha fazla gürültü ve diğer yandan daha fazla petrol tüketiminden sürekli şikayet edecektir[7].

## 4.2. Elektrik Motorları Seçim Kriterleri

Bir elektrik motoru seçerken aşağıda belirtilen hususları dikkate almak gerekmektedir.

- Yükün sürekli hal davranışı
- Motor gücünün belirlenmesi
- Sınır aşımı
- Yol vermede atalet momentinin etkisi
- Çalışma süreleri

### 4.2.1. Yükün sürekli hal davranışı

Mekanik yükün devir sayısı – moment ilişkisinin yanında, bu yükü teşkil eden iş makinesinin özel davranışı da önem arz eder. Hızlanmasını tamamlamış ve sürekli halde çalışan bir makinenin, çalışma noktası etrafındaki momentinin değişimine göre, mekanik yükün davranışını genel olarak 3 grupta toplayabiliriz[7].

- Sürekli sabit moment ihtiyacı olan yükler
- Moment ihtiyacı değişen olan yükler
- Moment ihtiyacı çok ciddi değişimler gösteren yükler

Motorlar, belirli bir süre boyunca üzerlerinde aşırı ısınmaksızın çalışabilecekleri bir anma gücünde imal edilirler. Bu anma değerleri motorun plakasında ve kataloglarında verilir. Plakasında 5kW yazan bir motor, 5kW'lık mekanik güç üretecek şekilde tasarlanmıştır. Diğer bir deyişle, bu plaka gücü şebekeden çekilen gücü değil üretilen mekanik gücün tasarım değerini anlatır[7].

Motor üreticileri yukarıda belirtilen 3 tip yük davranışına uyuşacak şekilde 3 farklı görev süresi için üretim yaparlar. Görev süresi oranı (İngilizcede Duty Cycle diye anılır); motorun anma gücünde çalıştığı sürenin, toplam geçen süreye olan oranıdır ve % olarak verilir. Görev süresi %100'den küçük olan motorlar, her çalışma periyodunda görev süreleri oranını tarafından belirlenen süre kadar soğutma amaçlı durdurulmalıdır. Görev süresi oranı %50 olan bir motor, 30 dakika anma gücünde yüklendiyse, 30 dakika da soğuma amaçlı durdurulmalıdır[7].

#### 4.2.1.1. Sabit momentli uygulamalar

Santrifüj kompresörler ve ekstrüderler sürekli çalışmada nispeten sabit moment çekerler. Yol verme işlemi yapıp, motor hızlanmasını tamamlayıp sistem belirli bir çalışma noktasına oturduğunda, yükün moment ihtiyacındaki değişme yaklaşık olarak %3-5 değişir. Bu tip uygulamalarda motor gücü seçimi için yük momentinden türeteceğiniz güce bakılır[7].

$$M_{yük} = \frac{P_m}{\omega_m} \quad , \quad \omega_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad dir. \quad (4.1.)$$

Buradan,

$$P_m = \frac{M_{yük}}{\omega_m} \text{ olacaktır. (Gücün birimi Watt çıkacaktır.)} \quad (4.2.)$$



$T_{yük}$  (yük momenti; iş makinesi kataloglarındaki devir sayısı x moment eğrisinden faydalanarak bulunur) ve çalışma noktası açılma hızı kullanarak, mekanik gücün talep edeceği mekanik güç ( $P_m$ ) ve dolayısı ile motorun mekanik güce vermesi gereken güç bulunur[7].

Burada görev süresi oranı göz ardı edilmemelidir. Bu makineler genellikle sürekli olarak çalışırlar. Bu nedenle sürekli çalışmaya uygun; görev süresi oranı %100 olan (İngilizce de continuous-duty diye anılır) motorlar seçilmelidir[7].

#### 4.2.1.2. Değişken momentli uygulamalar

Santrifüj pompalar ve fan gibi yükler moment gereksinimleri yavaş değişen uygulamalar olup, değişim aralığı %20-100 arasında olabilmektedir. Bu tür bir yükü süren motor sistemin en yüksek devir sayısında oluşacak en büyük güce göre seçilmelidir. Tabiki burada sadece en büyük güç gereksinimi yanında, bu sürecin ne kadar sürdüğü de bilinmelidir. Motor bu tepe yük gücünü ilgili çalışma süresi aralığında sağlayabilecek büyüklükte ve uygun görev süresi oranında seçilmelidir[7].

#### 4.2.1.3. Şok değişken momentli uygulamalar

Testereler, kesme tezgahları, sıkıştırma presleri ve kesme presleri gibi uygulamalarda yük momenti ani ve ciddi olarak değişir; bu değişimi şok değişim olarak tanımlayabiliriz. Yükün artan moment ihtiyacına cevap olarak motorun daha yüksek moment üretebilmesi için devir sayısı yavaşça düşer, bu motorun dış karakteristiği gereğidir. Şayet yük değişimi aşırı olursa, yük momenti -özellikle asenkron- motorun devrilme momentini (motorun üretebileceği en büyük moment) aşabilir ve motorun bloke olmasına neden olabilir. Bu gibi uygulamalarda motorun bloke olmadan dönmeye devam edebilmesi için, anma momentinden çok, motorun devrilme momenti önem arz eder. Bu nedenle yükün çekeceği en büyük momentten daha büyük devrilme momentine sahip karakter ve büyüklükte bir motor seçilmelidir[7].

Tüm uygulamalarda olduğu gibi yine burada da motorun görev süresi seçimi önemlidir. Motorun prostedeki çalışma süresi dikkate alınarak uygun görev süresi oranına sahip bir motor seçilmelidir[7].

#### **4.2.2. Motor gücünün belirlenmesi**

##### **4.2.2.1. Sabit moment çeken uygulamalar**

En kolay seçim özelliğindedir. Sürülen iş makinesinin etiketinden yada kataloğundan çalışma noktası parametrelerini (önerilen devir sayısı ve o devir sayısında çekilecek moment) belirleyiniz. Şayet bu mümkün değil ise daha ileri teknikler ile, motoru döndürebilmek için gerekli olan momentin ölçülmesi yada hesaplanması gerekecektir[7].

Yükün gücü; motorun %75-100'ü kalacak şekilde bir seçim uygundur. Örneğin 75 birim güçlük bir yük için 75 ila 100 birim güçlük motor seçilir. Yük uzun bir çalışma periyodunda sabit kalıyor ise yükün tam gücü yakın bir seçim yapılabilir, diğer bir deyişle 95 birimlik yük güç için 100 birim güçte motor seçilebilir. Yük değişmezliği ve çalışma süresi açısından uygun şartlar varsa, tam güç civarında yapılacak bu seçim verimi optimize ederek; en ekonomik işletim ve kurulum maliyeti sağlar[7].

##### **4.2.2.2. Değişken momentli uygulamalar**

Uygun motor seçimi için, yükün işletim aralığını bilmek gerekir: değişimin hangi devirler ve momentler aralığında olduğu belirlenmelidir. En fazla yüklenme değerinin ne olduğu ve ne kadar sürdüğüne özel önem verilmelidir. Örneğin yükü %20-100 aralığında değişen bir pompa için, motor seçimi en büyük yüklenmeye göre yapılmalıdır. Çünkü motor en büyük yüklenmeyi aşırı ısınma olmaksızın sürebilmelidir[7].

#### 4.2.2.3. Şok momentli uygulamalar

Efektif yük momenti (yük momenti belirli bir aralıkta ani ve ciddi olarak değişmektedir) ve en büyük yük momentinde devrilme yaşamayacak bir motor seçilmelidir. Bu tip uygulamalarda sorun yaşamamak için sürekli çalışmaya uygun (Görev süresi oranı 1 olan) motor seçilmesi önerilir. Ortalama moment ve devir sayısından elde edilecek yük gücünün, motor gücünün %75-100 aralığında kalması uygun olacaktır[7].

#### 4.2.3. Sınır aşımı

Motor servis faktörleri (SF: S1,...S9) aslında emniyet faktörleri olup; kısa çalışma aralıklarında aşırı ısınma olmadan motor kapasitesinin ne kadar aşılabileceğini belirtir. Örneğin; servis faktörü 1.15 olan standart B Tasarımında bir asenkron motor plaka değerinde belirtilen güçten %15 daha fazla güçte aşırı ısı olmaksızın kısa süreli olarak çalışabilir. Bu emniyet yükün değişken olduğu ve motor anma momentini aşabileceği durumlarda esneklik sağlar. Ancak, servis faktörlerinin emniyet payı olduğunu göz ardı etmeyerek, tutumlu kullanmak gerekir. Birçok üretici firmada ön görülen aşırı yüklenme süresi; 15 dakikalık çalışma periyodu içinde 2 dakika olarak verilmiştir. BU değerler üretici firmaların kataloglarından temin edilebilir. Anma değerlerinin üzerinde sürekli olarak (zorlanarak) çalıştırılan motorum ömrü kısa olacaktır[7]!

#### 4.2.4. Yol vermede atalet momentinin etkisi

Atalet momenti (J) de üstesinden gelinmesi gereken bir yük teşkil eder. Motor, yükü durma halinden başlatıp hızlandırarak işletim devir sayısına getirir ve hızı korumak için gerekli olan momenti beslemeye devam eder. Özellikle yol verme esnasında çekilen akımın, motorun yapısına bağlı olarak, anma akımından çok daha büyük olduğu (asenكرون motorlarda 4-10 katı) unutulmamalı ve uygun yolverici düzeneği planlanmalıdır[7].

Büyük akım çekilen yolverme sürecinde motorlar aşırı ısınmakta ve bazen mekanik tahribatlar bile oluşabilmektedir. Örneğin büyük güçlü sincap kafes rotorlu asenkron motorlarda, sincap kafes çubukları kaynak noktalarından kırılılabilmektedir[7].

Atalet momentinin büyük olması yolverme süresini uzatır. Bunu birkaç ilişki ile gösterelim:

Tambur şeklinde olduğu varsayılan bir rotorun dönme eksenine göre atalet momenti;

$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$  olup, burada r rotor yarıçapı ve m rotor kütesidir. Atalet momentinin birimi

$\text{kg} \cdot \text{m}^2$  olacaktır[7].

Basitleştirilmiş hareket denklemi;

$M_m - M_{yük} = J \cdot \frac{d\omega_m}{dT}$  olduğundan, gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$dT = J \cdot \frac{d\omega_m}{M_m - M_{yük}} \Rightarrow T_{yv} = \int_0^{t_{yv}} dT = J \cdot \int_0^{\omega_n} \frac{d\omega_m}{M_m - M_{yük}} \quad (4.3.)$$

(4.3.)

Atalet momenti (J) büyüdükçe  $T_{yv}$  yolverme süresinin orantılı olarak uzayacağı, yolverme akımının büyük olduğu bilgisi ile, akımın karesi ile orantılı bakır kayıplarının çok daha büyük olacağı ve makinenin yolverme esnasında çok ısınacağı görülür.

Yolverme momenti ihtiyacı ve akımının değerlendirilmesi yine motor tasarım sınıflarına göre yapılır[7].

#### 4.2.5. Çalışma süreleri

Sürekli çalışma en kolay durumdur. Yolverme ile başlar, uzun süreli kararlı çalışma ile devam eder, ısı üretimi ve dağıtımı kontrol altında olup, bu durum motor durdurulana

kadar sürer. Bu şartlarda motor anma değerlerinde yada yakınında sorunsuzca çalıştırılabilir, zira sıcaklık artışı kontrol altındadır[7].

Kesikli çalışma en karmaşık çalışma şeklidir. Özellikle bu tür şartlarda ısınma, üstesinden gelinmesi gereken en önemli konudur. Günümüz uçakları ile bir benzetme yapılırsa, motorun ömrü motorun başlatılma sayısı ile yakından ilgilidir, zira yol verme anında açığa çıkan aşırı ısıya yaşlanmaya neden olur. Bu nedenle, motorların 1 saat içinde yapabileceği başlatma ve durdurma sayısı sıcaklık artışının ön görülen aralıkta kalabilmesi açısından sınırlıdır. Her zamanki çalıştırma tarzının dışında, ardı ardına çalıştırılıp durdurulan motorlarda sıcaklığın ciddi oranda arttığı kolayca görülür[7].

Pratik bir yaklaşım ile, 10<sup>0</sup>C daha soğuk çalıştırılan bir motorun ömrünün 2 kat uzadığı söylenilebilir. Bu ifade konunun önemini açıkça belirtir. Maksimum mekanik yük değerinde seçilmiş motor kesikli çalışma altında kısa sürede yanar. Pratik olarak yaklaşmak gerekirse, kesikli çalışma şartlarında standart güçler açısından bir büyük motorun seçimi uygun olacaktır[7].

### **4.3. Yanlış Motor Seçiminden Meydana Gelen Sorunlar**

Uygulamada belirli bir işin yapılmasına yardımcı olan elektrik motorlarının nasıl seçileceği daima problem oluşturmuştur. İşe göre motor seçiminde yetkili kişileri karasızlığa götüren en önemli etkenler işin özellikleri ile çalışma ortamının özellikleridir. Motor seçimi için oluşturulan tablolarda birkaç önemli iş tespit edilerek motor güçleri belirlenmiştir. Fakat endüstride çok sayıda iş ve çalışma ortamı olduğu düşünülürse, bu tabloların ne kadar yetersiz kalacağı görülecektir. Teknolojinin gelişimi sonucunda işlerin çeşitlenmesiyle, her işe uygun tablolar hazırlamak da oldukça zordur. Bu nedenle işe göre motor seçiminin süreç yönü öğrenilirse, iş ne olursa olsun motor seçimi kolaylıkla yapılabilecektir[7].

#### 4.3.1. Motor gücünün küçük seçilmesi

- Motorda aşırı ısınma meydana gelir.
- Kaymanın artması, devrin düşmesi, rotor geriliminin bir miktar artması gibi sorunlar meydana gelir.
- Motor momenti yük momentini karşılayamaz.
- Yapılan işin kapasitesi, dolayısıyla da iş verimi düşer.

#### 4.3.2. Motor gücünün büyük seçilmesi

- Kuruluş ve işletme masrafları artar.
- Motorun verim eğrisinin maksimum noktasından aşağıda çalışması gerçekleşir.
- Güç katsayısının düşer, dolayısıyla devreden çekilen akım artar.
- Fiziksel olarak büyüklük artar.

#### 4.3.3. Koruma türünün uygun seçilmemesi

- Tozlu ortamlar için gerekli koruma sağlanmazsa, sargılar üzerinde biriken toz, sargının ısınıp dışarı artmasını engeller. Ayrıca bilyeler üzerine biriken toz motor milini sıkıştırır. Dolayısıyla her iki durumda da motor yanabilir.
- Sulu ortamlar için gerekli ortamlar sağlanmazsa rulmanlar paslanır ve sargılar yalıtım özelliklerini yitirirler. Bu etkenler sonucu motor yanabilir.
- Dokunmaya karşı koruma sağlanmazsa can güvenliği tehlikeye girer.
- Koruma gerektirmeyen bir ortam için, suya, toza veya dokunmaya karşı korunmuş motor seçilmişse maliyet artar.

#### 4.3.4. Soğutma türünün uygun seçilmemesi

- Yeterli derecede soğutulmayan motor kısa sürede yanar.
- Soğutmaya fazla ihtiyaç duyulmayan bir ortam için seçilecek etkili bir havalandırma yöntemi maliyeti artıracaktır.

Motorun doğru seçimi, ekonomik yönden büyük yarar sağlar. Birçok endüstri tesisinde kuruluş ve işletme masraflarını büyük ölçüde etkiler. Ayrıca işletmenin devamlılığında doğru elektrik motoru seçimi önem taşır. Üretimde zamanın büyük önemi vardır. Elektrik motorunun yanlış seçimi sonucunda işlerin aksamasıyla kaybedilen zaman işletmenin kazancına olumsuz etkide bulunacaktır[7].

#### 4.3.5. Motor gücünün seçimi

Motor gücünün doğru olarak seçimi endüstri tesislerinin kuruluş ve işletme masraflarına büyük ölçüde tesir eder. Gereğinden daha küçük güçteki bir motorun kullanılmasını sistemin normal çalışmasını temin edemez, meydana gelen aksaklıklar ve motorun devir sayısındaki aşırı düşmeler iş kapasitesinin düşmesine yol açar[7].

Çok daha güçlü bir motorun kullanılması ise tesisin ekonomik yönden kötüleşmesine ve maliyetin daha fazla yükselmesine ayrıca enerji masraflarının büyük ölçüde artmasına sebep olur. Bu halde yalnız kuruluş masrafları daha fazla artmakla kalmayıp motor veriminin düşmesinden dolayı enerji kayıpları artar. Bu kayıplar dışında alternatif akım tesislerinde güç faktörü kötüleşir. Bu suretle şebekenin ve kuvvet santralindeki jeneratörün reaktif yükü artar[7].

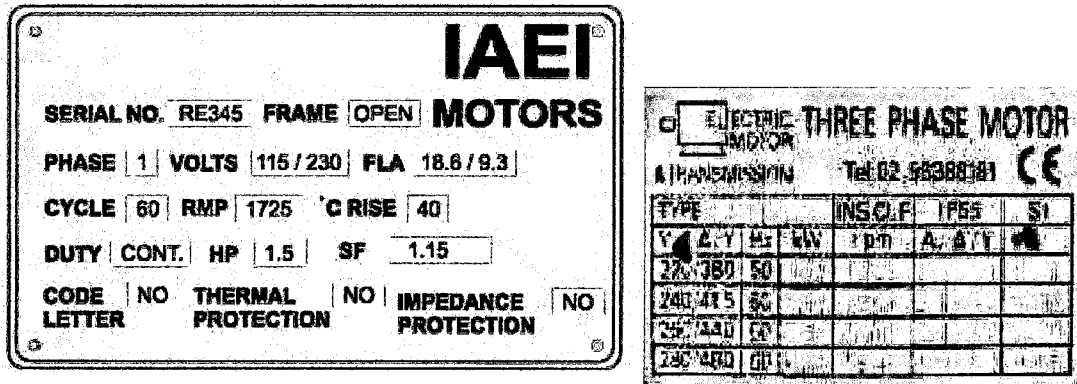
Yük diyagramına göre seçilen motor tam yükte yüklenmeli ve çalışması sırasında müsaade edilen bir sınır değerine kadar ısınmalı fakat bu değeri aşmamalıdır. Keza motor çalışması esnasında meydana gelen aşırı yükleri karşılamalı ve iş makinesinin istenilen zaman içinde yol almasını temin eden yeterli büyüklükte bir yol alma momenti oluşturmalıdır[7].

Birçok hallerde motorun gücü ısınmaya göre tayin edilir. Fakat bundan başka motor yüklenebilirlik kabiliyeti yönünden uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir[7].

Devamlı yük halinde meydana gelen ısı sebebiyle motorun sıcaklık derecesi yükselir. Şayet motor, çevresindeki ortama hiç ısı vermemiş olsaydı, sıcaklık derecesi sonsuz olabilirdi. Fakat motorun dış yüzeyinden ortama vermiş olduğu ısı motorun yükselen sıcaklık derecesiyle birlikte artar. Bu suretle motorun ısınması azalır ve belirli bir zaman sonra sıcaklık derecesi artışı sona erer. Sıcaklık derecesinin sabit bir değere eriştiği ısı alış verişindeki bu denge durumu motorun sürekli çalışması durumunda meydana gelir. Fakat çoğu kere bu sürekli rejim sıcaklık derecesine erişmeden ya motorun çalışması sona erer ya da yükte ve bunun sonucu olarak kayıplarda bir azalma ve motor sıcaklık derecesinde bir düşme olur[7].

#### 4.4. Elektrik Motorlarının Etiket Değerleri

Endüstride en yaygın olarak kullanılan motor olan asenkron motor motorlara ilişkin etiket değerleri ve bu konudaki diğer hususların kavranması, motor seçebilmek için parametrelerin iyice anlaşılması hedeflenmektedir[7].



Şekil 4.2. Motor tanıtım kartı



#### 4.4.1. Akım:

##### 4.4.1.1. Tam yük akımı:

Anma geriliminde anma gücünde mekanik güç ile yüklenmiş motorun hattın çektiği akımdır.

Hat akımı  $I_L = 380A$  olan üçgen bağlanmış bir motorda, sargı akımı,

$$I_1 = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220A \text{ olur}[7]. \quad (4.4.)$$

##### 4.4.1.2. Kilitli rotor akımı:

Anma gerilimi altında yol verme esnasında yada rotorun kilitli kalması durumunda hattın çekilen akımdır[7].

##### 4.4.1.3. Servis Faktör Akımı

Etikette belirtilen servis faktörü oranında aşırı olarak yüklenmiş motorun çekeceği hat akımıdır. Servis faktörü 1.15 olan bir motor, kısa süreli %15 fazla yüklenmeyi kaldırabilir[7].

#### 4.4.2. Kod Harfi:

Kilitli rotor durumunda çekilecek akım hakkında bilgi veren bir harftir. Kataloglarda verilir[7].

#### 4.4.3. Dizayn

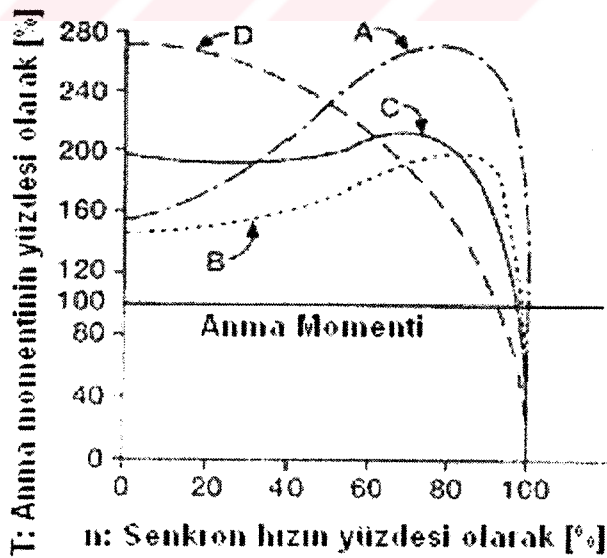
Asenkron motorun devir sayısı-moment eğrisinin (dış karakteristik) şeklini gösteren tasarım tipini gösterir harftir. Bu harf A, B, C ve D harflerinden biridir[7].

Dizayn B; makul yol verme momenti, orta değerde yol verme akımı ve bir çok endüstriyel uygulamada iyi performans sergileyen standart bir endüstriyel motoru simgeler[7].

Dizayn C; büyük yol verme momentlerinin ihtiyaç hissedildięi mekanik yükler ile kullanılan, büyük yol verme momentli motoru simgeler[7].

Dizayn D; özellikle daha büyük yol verme momentlerine ihtiyaç hissedilen uygulamalarda kullanılır. Bu tasarımdaki motorlar yol verme de yüksek moment sağlamakla beraber, yüklenmeyle devir sayıları fazla değişen motorlardır. Dizayn D motorların tam yükteki devir sayıları düşüktür ve verimleri daha düşüktür. Özellikle düşük devirli kesme presleri yada asansör gibi, yüksek yol verme momentleri ihtiyaç duyulabilecek uygulamalar için uygundur. Bu sınıf, momentin verime göre daha fazla önem arz ettiği uygulamalarda tercih edilir[7].

Dizayn A; devir sayısı az değişen ve en büyük devrilme momentine sahip motora ilişkin tasarımı simgeler. Diğer tasarımlardan en az %50 fazla yol verme akımı çeker, kullanımı azdır. Özellikle enjeksiyon kalıp uygulamaları için uygundur[7].



Şekil 4.3. Asenkron motorun devir sayısı-moment eğrisi

#### 4.4.4. Verim:

Girişteki elektrik gücünün, hangi oranda milden mekanik güç olarak çıktığını belirtir[7].

#### Çerçeve Büyüklüğü:

Motorlar, aynen giysilerdeki beden standardı gibi, kullanılan yere uyacak şekilde standart büyüklüklerde imal edilirler. Bu konuda çeşitli standartlar vardır (NEMA, IEC, DIN). Özellikle bir motorun yerine başka bir motor takılacak ise uygunluk için çerçeve büyüklüğü göz önüne alınmalıdır. Örneğin aynı çerçeve büyüklüğündeki motorların; montaj ayakları, mil yüksekliği gibi önemli boyutları uyuşur[7].

#### 4.4.5. Frekans

Motorun çalışması tasarlanan şebeke frekansıdır. Dünyada yaygın kullanılan frekanslar 50 ve 60 Hz'dir[7].

#### 4.4.6. Tam yük hızı

Anma geriliminde beslenmiş motorun anma yük momenti ile yüklenmesi durumunda mildeki devir/dakika cinsinden hızı belirtir. Devir/dakika birimi çoğu kez İngilizce kısaltması ile verilir (rpm) [7].

#### 4.4.7. Yalıtım Sınıfı:

Yalıtım sınıfı, motorda kullanılmış yalıtım maddelerinin sıcaklık ile yaşlanması hakkında bir ölçüttür. Öngörülen en büyük yüzey sıcaklığını verir. Motorlarda kullanılan başlıca yalıtım sınıfları[7]:

Tablo 4.1 Motor yalıtım sınıfına göre yüzey sıcaklıkları

Yalıtım Sınıfı	Müsaade edilen en büyük yüzey sıcaklığı
A Class	105
E Class	120
B Class	130
F Class	155
H Class	180

#### 4.4.8. Kutup Sayısı ve senkron hız:

Statordaki sargının tasarımı ile ilgili olup her zaman çift bir sayıdır: 2, 4, 6, 8, 10 vb değerler alır. Uygulanan frekans ve kutup sayısının fonksiyonu olarak döner alan hızı (senkron hız) oluşur[7]:

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} \text{ [rpm]} \quad (4.5.)$$

Burada p; çift kutup sayısı olup, 4 kutuplu bir statorda 2 değerini alır. Yaygın kullanılan frekanslar için senkron devir sayıları aşağıda verilmiştir. Mildeki devir sayısı senkron devir sayısından %2-6 daha küçüktür[7].

Tablo 4.2. kutup sayısı ve frekansa göre devir sayısı

Kutup Sayısı (2p)	Senkron Hız	
	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720

#### 4.4.9. Güç Faktörü:

Şebekeden çekilen aktif gücün, görünür güce oranıdır ( $PF=P/S$ ).

Servis Faktörü (SF: Service Factor):

Servis faktörü bir motorun ne kadar aşırı yüklenebileceği hakkında bilgi verir. Servis faktörü 1.15 olan bir motor kısa süreli olarak etiket çıkış gücünün %15 fazlası ile yüklenilebilir[7].

#### 4.4.10. Kayma:

Mil hızının senkron hızdan ne kadar farklı olduğunu bağıl olarak belirtir. Senkron devir sayısı 1500rpm olan bir motor  $s=0.05$ 'te çalışıyor ise mil devir sayısı;

$$n=(1-0.05) \times 1500=1425\text{rpm olacaktır}[7]. \quad (4.6.)$$

#### 4.4.11. Sıcaklık:

##### 4.4.11.1. Çevre Sıcaklığı:

Motorun çalıştığı ortam için ön görülen maksimum sıcaklıktır. Standart motorlar için öngörülen çevre sıcaklığı 40 santigrad derecedir. Gemi makine daireleri ve kazan daireleri gibi sıcak ortamlarda bu parametreye dikkat edilmelidir[7].

##### 4.4.11.2. Sıcaklık artışı:

Motor sargılarının çalıştırılmamış durumdaki sıcaklığından, tam yüklü sürekli çalışma şartları arasında müsaade edilir sargı sıcaklığı değişim aralığıdır[7].

#### 4.4.12. Gerilim:

Motorun tasarlanan performans değerlerinde çalışabilmesi için uygulanması gereken gerilimdir. Etiketle faz arası gerilim verilir, haliyle bir sargı üzerine düşen gerilim, sargıların yıldız yada üçgen bağlanmış olmasına göre değişecektir[7].

$V_L = 380V$  olan günümüz alçak gerilim şebekesi faz arası gerilimi, yıldız bağlı bir motorun faz arasına uygulanırsa, motorun bir sargısı üzerine:

$$V_1 = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V \text{ olur}[7]. \quad (4.7.)$$

#### 4.4.13. Anma gücü:

Anma gerilim ve yükünde milde oluşacak mekanik gücü ifade eder. kW yada hp (beygir gücü) olarak verilir. Elektrik tarafından çekilen güç ile karıştırmayınız[7].

#### 4.4.14. Görev Süresi Oranı:

Görev süresi oranına göre asenkron motorlar farklı çerçeve büyüklüklerinde olabilirler. Standart görev süresi oranı tanımları aşağıda verilmiştir[7]:

S1: Sürekli çalışma görevleri için.

S2: Kısa süreli görevler için.

S3: Makul yol verme süresi ve kesikli çalışma için.

S4: Uzun yol verme süreleri ve kesikli çalışma için.

S6: Periyodik işlerde sürekli işletim için. Birbirine eş değer aralıklı uzun süreli görevler için.

S7: S6 özelliklerine ilave olarak elektriksel frenleme işlerinin olduğu görevler için.

S8: Yük momenti ve hızın değişiklik gösterdiği sürekli periyodik işler için.

S9: Yük momenti ve hızın değişiklik gösterdiği periyodik olmayan işler için.

#### 4.4.15. Ortam Koruma Sınıfı:

Farklı özelliklerdeki ortamlar için yapılan özel tasarımları ifade eder. Standartlar ile belirlenmiştir. Yaygın ortam sınıflamaları aşağıda verilmiştir[7]:

IP54: Hava şartlarından etkilenmez

IP55: Su serpintisine korumalı

IP56: Yüksek basınçlı su serpintisine korumalı

IP65: Su serpintisi ve toza karşı tam korumalı

IP66: Basınçlı su serpintisi ve toza karşı tam korumalı

IP67: Suya dalmaya karşı korumalı

Patlayıcı, yanıcı ortamları için de geliştirilmiş farklı standartta motorlar bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Asenkron motoru

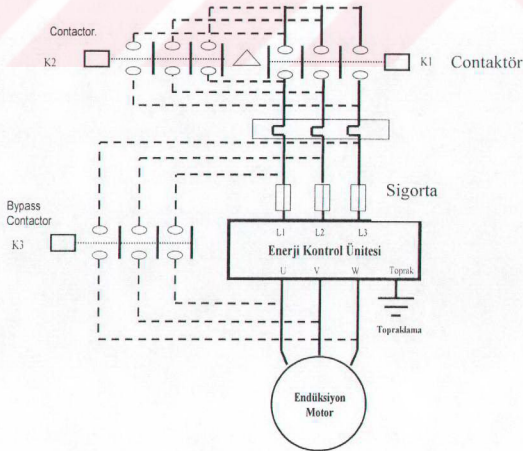
## BÖLÜM 5. ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ KONTROL ÜNİTESİ

### 5.1. Enerji Kontrol Ünitesinden İstenen Özellikler

Bir motor kontrol ünitesinden Yumuşak Yol verme, Optimizasyon, Yumuşak Durdurma, Geliştirilmiş Güç Faktörü, Daha Düşük Enerji İhtiyacı, Geliştirilmiş Güvenilirlik ve Artan Üretim gibi faktörlerin yanında azalan elektrik maliyetleri ve artan verimlilik, sağlanması beklenmektedir.

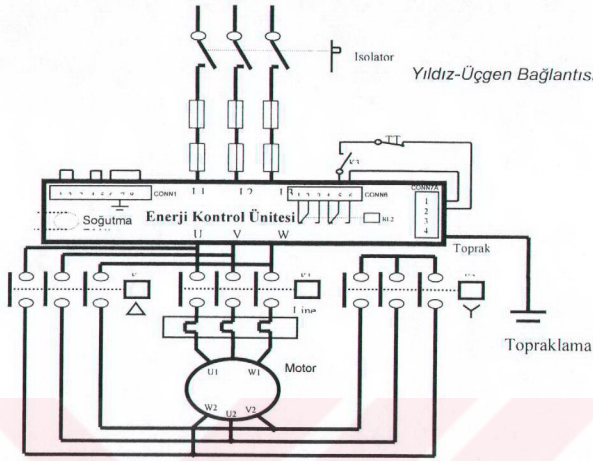
Motor üzerindeki yük değiştiğinde, ihtiyaca göre gücün motora dinamik olarak uyarlanması gerekmektedir. Her an işin yapılması için istenilen doğru gücü tam zamanında hesaplanması sağlanmalıdır.

Bir endüksiyon motoruna Enerji Kontrol Ünitesinin bağlantı şekli aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Elektrik kontrol ünitesinin bağlantı şekli





Şekil 5.2. Elektrik kontrol ünitesini yıldız-üçgen motora bağlantı şekli

## 5.2. Motor Kontrol Üniteleri ile Pratik Çözümler

PROBLEM	ÇÖZÜM
<b>Elektriksel Problemler</b> * Yüksek yol verme akımı * Voltaj düşmeleri ve yanmalar * Kontaktör yıpranması, arızası * Aşırı yüklenme/ısınma	* Azaltılmış şiddetli akış ve yol verme akımı. * Elektrik ekipmanı ve motor sargılarında azaltılmış yıpranma, daha sık motor yol verme ve durdurma. * Motor ve motor üzerindeki parçaların korunmasının artırılması.
<b>Mekanik Problemler</b> * Yüksek şok yükü, boşluk * Transmisyon yorgunluğu / arızası kayış gevşemesi ve kayması * Gürültü ve titreşim	* Yumuşak hızlanma. * İletim sistemlerinde azalan mekanik zorlanma. * Değişken hızlanma zamanları. * Kontrollü dereceli duruş. * Arttırılmış emniyet.
<b>Ekonomik Problemler</b> * Maksimum talep ödemeleri * Ekipman bakımı * Azalmış motor ömrü * Boşa giden enerji	* Azaltılmış tepe gücü yükü talebi ve geliştirilmiş güç faktörü. * Azaltılmış bakım maliyetleri ve ekipman ömrünün uzatılması. * Daha düşük maliyetli devreye alma * Enerji tasarrufu ile birlikte hızla kendini amorti etme.
<b>Uygulamadaki Problemler</b> * Artan duruşlar, imalat kaybı * Üründe hasar, kontrol eksikliği	* Üretimdeki ürünlerin hasar riskinin en aza indirilmesi. * Problemsiz çalışma ve üretimin artırılması. * Geliştirilmiş kontrol ve durum bilgisi.

### 5.3. Üç Fazlı Endüksiyon Motorları

Üç fazlı endüksiyon motorları, imal edilmişindeki kolaylık ve düşük maliyet, güvenilirlik ve bunlara karşın sağladığı yüksek verim sayesinde, görünen gelecekte de mekanik enerjinin temel kaynağı olarak kalacağına benzemektedir. Bu motorlarla ilgili önemli bir problem; gerek yüksek yol verme akımı süresince ve gerekse normal çalışma süresince motor torkunun, yük torkuna uyarlanması konusunda bu motorun yeterli olmamasıdır. Yol verme sırasında motor, genellikle, bir saniye dilimi içinde yüklemeyi tam sürata çıkartan %150-200 torku üretir ki bu durum sürülen hatta zarar verebilir[16].

Motor aynı zamanda nominal akımın( $I_n$ ) 8-10 kez fazlasını çekebilir, ki bu da güç kaynaklarında stabilite problemlerine yol açabilir. Motor uzun dönemlerde hafif yükte çalışırken, bu hafif yükü sürmek için gereken tork için harcanan aşırı akım nedeniyle motor verimliliği düşer. Sabit bir terminal geriliminde bu akım da (manyetik akım olarak da bilinir) sabit olacağından, motorlarda görülen toplam kayıpların % 30 ila % 50 dolaylarında bir kısmını oluşturur[16].

### 5.4. Yumuşak Yol verme Yumuşak Durdurma

Motorların kontrollü hızlandırılması ve yavaşlatılması için E.K.Ü'nin motor hızlanma zaman ayarı vardır ve normal olarak invertörlerde görülen harmonik distorsiyon seviyeleri olmaksızın akımı kontrol edebilir. AC Endüksiyon motorlarının yol verme ve durma ile ilgili bir çok problemi vardır ve bunlar düzeltilmezse bir çok aksaklıklara neden olabilir. E.K.Ü'nin uygulanan gerilimin dalga şeklini kontrol edebilme ve değiştirebilme niteliği mevcut olmalıdır. AC Endüksiyon motorlarında mevcut olan kayıpların zararını azaltmış olur. Konvansiyonel yumuşak yol verme cihazlarıyla benzer olarak E.K.Ü da motor terminallerine uygulanan gerilimi gereken doğrulukla kontrol edebilmek için tristör kullanılmaktadır. Tristörün bir özelliği, pals verildiğinde süratle "OFF" konumundan "ON" konumuna geçebilmesidir. Ve cihaz içindeki akım, AC beslemesindeki her yarım-çevrim sonunda sıfıra düşünceye kadar "ON" konumunda kalabilmesidir ki buna kendi kendine durum değiştirme denir[16].

### 5.5. Kontrol Teknolojisi

Tristör açma noktasının besleme geriliminin her yarı dalga boyunun sıfır kesişme noktasına bağlı olarak kontrol edilmesi ile, tristörden geçen akımı regüle etmek mümkündür. Tristör açık duruma geçme noktası, dalga boyu çevrim bitişine ne kadar yakın olursa, akacak akım o kadar az olacaktır. Tam tersi durumda ise tristör açık duruma geçme noktası, dalga boyu çevrim başlangıcına ne kadar yakın olursa akacak akım o kadar çok olacaktır. Bu prensibin kullanılması ve her motor fazına iki tristörün anti paralel olarak bağlanması ile, E.K.Ü, tristörlerin açma noktalarını hassasiyetle kontrol ederek gerilimi motor terminallerine göre ayarlar. Bu da motora yükü hızlandırmak için sadece gerekli olan gerilimi sağlayacaktır. Örnekleyecek olursak, her yarı çevrimdeki açma noktasını büyük bir gecikme ile başlatarak ve bunu seçilmiş bir zaman periyodu üzerinden dereceli olarak azaltarak, motora uygulanan gerilim göreceli olarak düşük bir değerden başlar ve tam gerilime doğru çıkar. Motor torku, uygulanan gerilim ile karesi doğru orantılı olduğu için, kalkış torku rampalı ve adımsız bir şekilde ve motor ile sürdüğü yükü yumuşak yol vererek kaldırır[16].

### 5.6. Optimizasyon

E.K.Ü ile motora sürekli dinamik kontrol uygulanır. Tristör faz kontrolü, motor yüklemesindeki değişimlere göre, motor terminal gerilimini değiştirmek için kullanılır. Hafif veya değişken yük altındaki bir motorun terminal gerilimi azaltılarak, manyetik çekirdek saturasyonunu azaltmak mümkün olmakta ve böylece motorun verimliliği artmakta, elektrik maliyetlerinde de tasarruf edilebilmektedir. Yükteki herhangi bir değişkenlik (azalma ve artma) E.K.Ü'nin çıkışı değiştirilerek, otomatik olarak dengelenir. Böylece şartlarda meydana gelen değişmeye cevap verilmiş olur[16].

### 5.7. Uygulamalar

E.K.Ü her kafes sargılı AC endüksiyon motoruna takılabilir. Bu motorlar ticaret ve sanayide kullanılan motorların büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. E.K.Ü cihazı

“direct on-line” olarak (doğrudan hat üzerine) takılabilir veya Star-Delta (Yıldız-Üçgen) starteri ile birlikte hat içine takılabilir. Sonucun başarılı olması, uygulamaya ve motor çevrimi durumuna bağlıdır. Tam yüklenmiş bir motor her ne kadar ideal bir yumuşak kalkış (yol verme) uygulaması ise de, zamanın çoğunluğunda planlanmış olan maksimum gücü sağlayan bir motorda optimizasyon için alan yoktur. Genel olarak %70’ten daha az yük durumunda tasarruf imkanı vardır. Ancak yaklaşık %50 yük altında motor verimliliği belirgin bir şekilde düşmeye başladığı zaman E.K.Ü fiili tasarruf alanı sunar. Sanayi motorları tipik olarak nominal kapasitelerinin sadece %50’si kadar yüklerde çalışmaktadırlar. Çoğu durumda motorlar sürekli olarak düşük yükte çalışırlar. Çünkü ender olarak karşılaştıkları maksimum yükleme koşuluna göre boyutlandırılmışlardır. Bunun nedeni kısmen güç beslemelerindeki dalgalanmalar, imalatçı spesifikasyonlarındaki emniyet marjları, stoklardaki motor güçleri ve motor çalışma çevrimlerindeki değişkenliklerdir[16].

### 5.8. Yüksek Verimli Motorlar

E.K.Ü yüksek verimli bir motora takılabilir, motor kalkışında ve durmasında mükemmel bir kontrol sağlayabilir. Bunun ötesinde tüm enerji sarfiyatında da ek bir tasarruf sağlaması mümkündür. Yüksek verimli motorlar her zaman mevcut olan motor demir kayıplarının etkisini azaltır. Yüksek verimli motorlar, motorun yük aralığında sabit bir tasarruf sağlar. E.K.Ü bu sabit tasarrufu kabul eder ve sonra dinamik olarak demir kaybının etkisini değiştirerek yük değiştikçe bu kaybın yol açtığı zararı azaltır[16].

### 5.9. Güç Faktörü

Endüksiyon motorlarının kullanılmasının meydana çıkan reaktif gücün en büyük nedeni olduğu bilinmektedir, bu nedenle de zayıf bir güç faktörü üretilmektedir. Reaktif güç, motorun endüktif elemanının bir özelliğidir. Motor tam yüklendiğinde, en verimli durumunda çalışacaktır ve yük endüktif olmaktan daha çok rezistif (dirençli) olacaktır. Bu durumda, daha iyi bir güç faktörü olacaktır, ancak, motor düşük yükte çalışıyorsa daha fazla endüksiyonlu olacak bu nedenle de güç faktörü daha kötü olacaktır[16].

E.K.Ü, motordaki Cosφ (Güç Faktörünü) artırarak iyileştirecektir. Bu da güç faktörünü düzeltici cihazlara ihtiyacı azaltacaktır. Yok etmeyecektir çünkü sistemde motorlar haricinde endüktif karakteristiği olan yükler de mevcut olacaktır[16].

### 5.10. Motor Verimliliği

Üç fazlı endüksiyon motoru, tipik olarak, Tam yükte veya tam yüke yakın çalışırken oldukça verimlidir. Bu verim %80 - %92'yi bulmaktadır. Ancak yandaki grafikte görüldüğü gibi yük mutlak çıkışın %50'sinden aşağı düşüyorsa motor verimliliği çok bariz bir şekilde düşer[16].

Motor hızlarının değiştirilmesine ihtiyaç duyulmayan uygulamalarda, E.K.Ü motorlarda enerji tasarrufları sağlayacaktır. Daha az geliştirilmiş olan yumuşak yol vericiler tam iletimde kalırlar ve motor sanki doğrudan ana beslemeye bağlanmış gibi çalışır. Ancak nominal gerilimdeki hafif yüklerde endüksiyon motorlarında daima manyetik akım fazlalığı vardır. E.K.Ü, yükü her an tespit ederek, ve motor terminal gerilimini buna uygun şekilde ayarlayarak, uyarma enerjisinin ve yük kaybının bir kısmını tasarruf edebilir. Böylece motor hafif yüklerde verimsiz çalışırken, motor Güç faktörü daha geniş bir alana taşınmış olur. Çünkü E.K.Ü, motoru, her an ve tam zamanında, yaptığı işe elektronik olarak uyarlar; bu demektir ki motor her zaman ideal tam yük koşulunda çalışır. E.K.Ü. takılmış olan bir motor her zaman %100'e yakın bir verimle çalışacaktır[16].

### 5.11. E.K.Ü.'lerinin Uygulama Alanları

Air Condition	Öğütücü
Otomatik kapılar	Taşlayıcı
Karıştırıcılar	Enjeksiyon kalıplama
Bagaj aktarma	Hidrolik sistemler
Şişeleme hatları	Torna makinaları
Döner testereleler	Takım Tezgahları
Kompresörler	Mikser ve Blenderler
Konveyörler	Kağıt makinaları
Kırma makinaları	Ezme makinaları
Basınçlı kalıp döküm makinaları	Presler
Kurutma tesisleri	Baskı makinaları
Vinçler	Pompalar

Ekstrüderler  
Fanlar  
Besleyici silindirler

Dikiş makinaları  
Vakum makinaları  
Örme ve dokuma makinaları

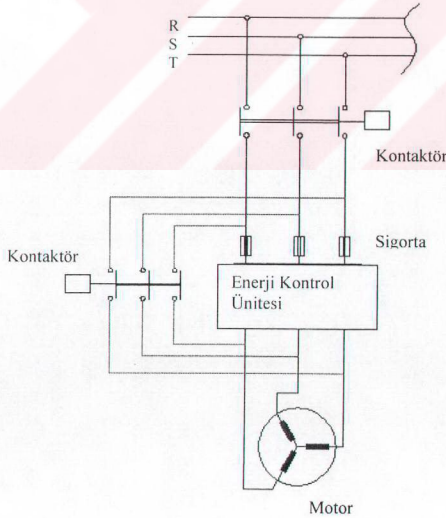
### 5.12. Örnek Uygulamalar

- Kompresör 75kW: E.K.Ü. olmadan ortalama güç tüketimi 54,93kWh, E.K.Ü. ile ortalama güç tüketimi 44,78kWh, ortalama tasarruf %18.
- Kompresör 30kW: E.K.Ü. olmadan ortalama güç tüketimi 26,49kWh, E.K.Ü. ile ortalama güç tüketimi 23,03kWh, ortalama tasarruf %13.
- Plastik Enjeksiyon 22kW: E.K.Ü. olmadan ortalama güç tüketimi 17,43kWh, E.K.Ü. ile ortalama güç tüketimi 10,32kWh, ortalama tasarruf %40.
- Plastik Enjeksiyon 150kW: E.K.Ü. olmadan ortalama güç tüketimi 117kWh, E.K.Ü. ile ortalama güç tüketimi 85 kWh, ortalama tasarruf %27.
- Konveyör 15kW: E.K.Ü. olmadan ortalama güç tüketimi 10,53kWh, E.K.Ü. ile ortalama güç tüketimi 8,4kWh, ortalama tasarruf %20.
- Axial Fan 7,5 kW: E.K.Ü. olmadan ortalama güç tüketimi 7,85kWh, E.K.Ü. ile ortalama güç tüketimi 5,3kWh, ortalama tasarruf %32.

## BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

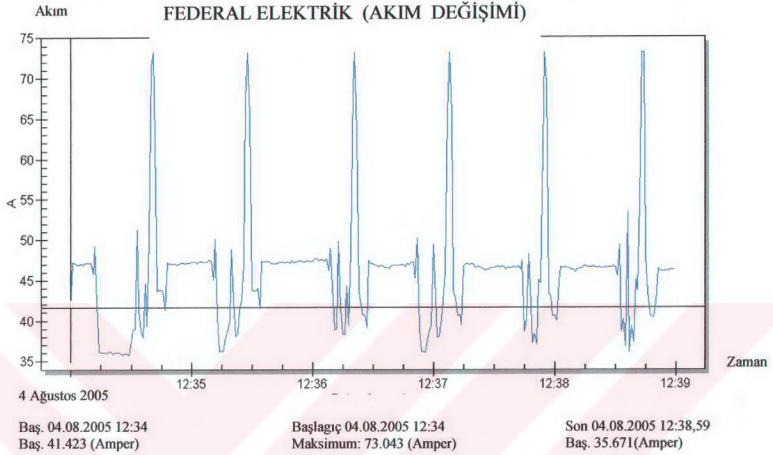
### 6.1. Uygulama 1.

1. Organize Sanayi Bölgesi 1. Yol No: 25 Hanlı ADAPAZARI adresindeki Federal Elektrik fabrikasında, enjeksiyon atölyesindeki bir plastik enjeksiyon makinasına 30 kW'lık Motor Kontrol Ünitesi, enjeksiyon makinesindeki enerji tüketim değerini, gözlemlemek için takılmıştır. Bağlantı şekli şekil 6.1. deki gibi motora seri olarak bağlanmıştır. Motorun güç beslemesi E.K.Ü.'sinde bulunan giriş çıkış bağlantı yerlerine bağlantı yapılmıştır. E.K.Ü.'sinde istendiğinde devreden çıkabilmesine olanak sağlayan kontaktör mevcuttur. Bu sayede sadece kontaktörün çekilmesi ile E.K.Ü.'sini devre dışı bırakılarak, motorun eski şekliyle çalışması sağlanır.

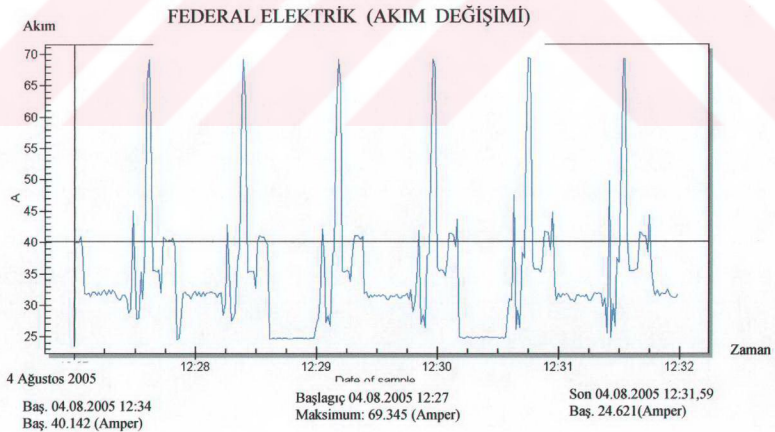


Şekil 6.1. Enerji kontrol ünitesinin enjeksiyon motoruna bağlantısı

Bu çalışmada sağlıklı bir sonuç almak için, E.K.Ü. devrede değilken ve devreye alındıktan sonra 5'er dakikalık aynı iş periyotları için, Circutor cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerle ilgili sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.



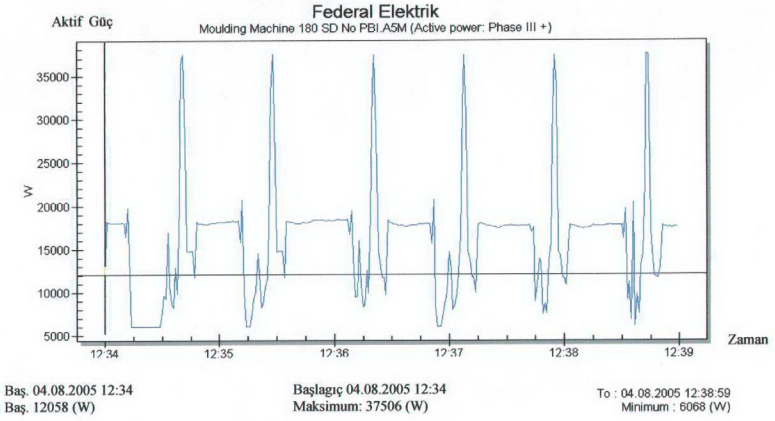
Şekil 6.2. E.K.Ü. devrede yokken akımın zamana göre efektif değişimi



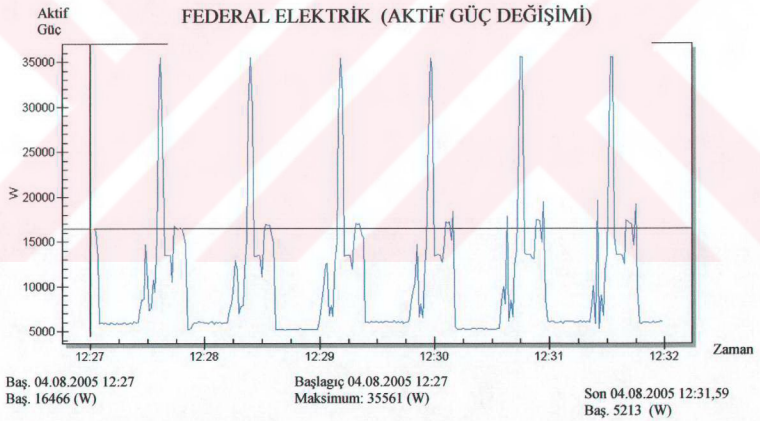
Şekil 6.3. E.K.Ü. devrede iken akımın zamana göre efektif değişimi

**FEDERAL ELEKTRİK (AKTİF GÜÇ DEĞİŞİMİ)**

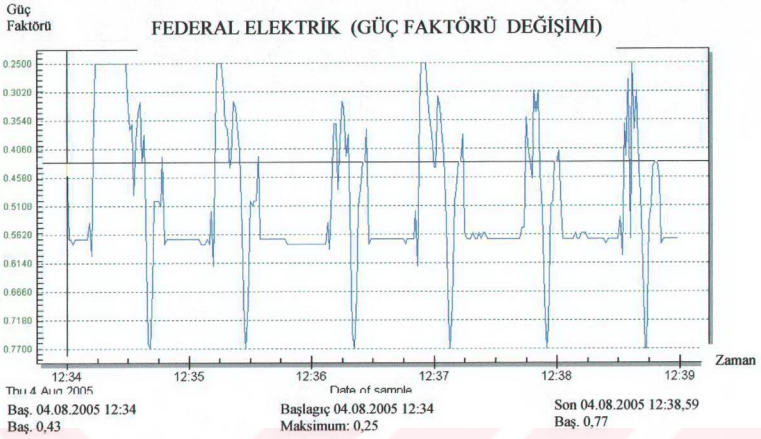




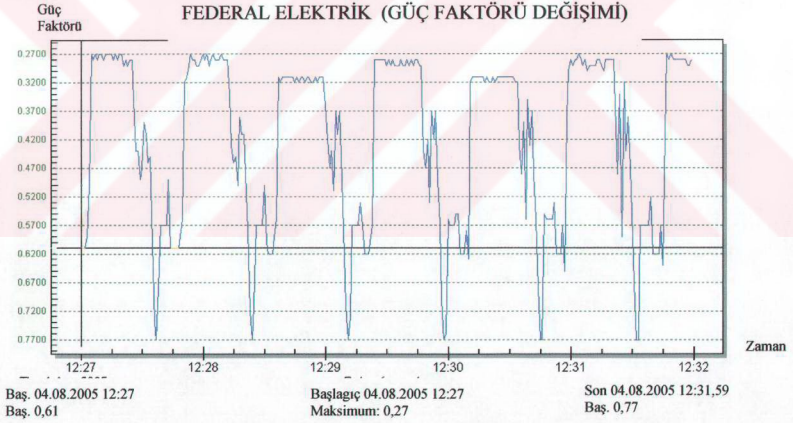
Şekil 6.4. E.K.Ü. devrede yokken aktif gücün zamana göre değişimi



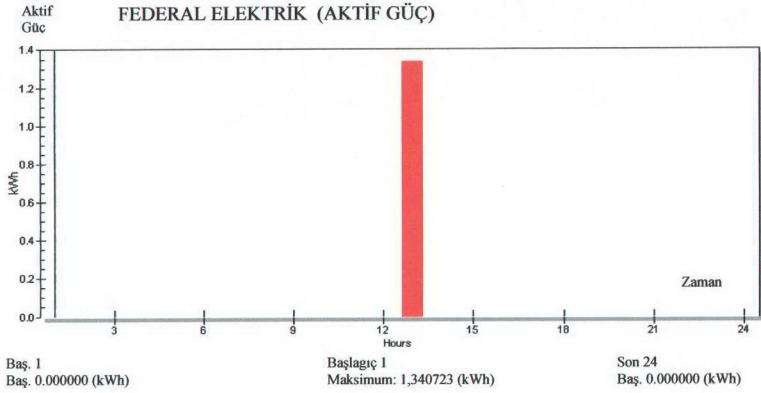
Şekil 6.5. E.K.Ü. devrede iken aktif gücün zamana göre değişimi



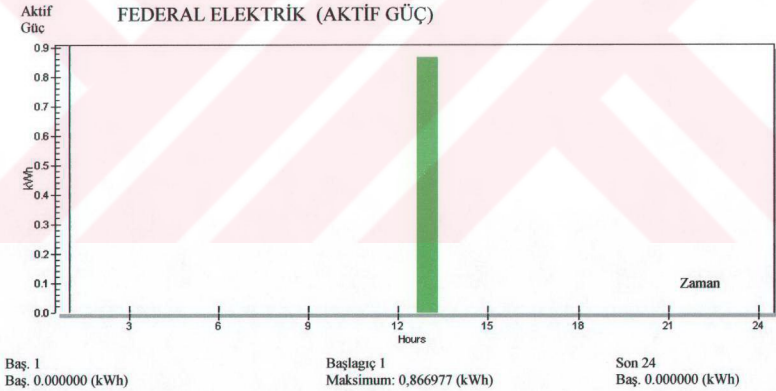
Şekil 6.6. E.K.Ü. devrede yokken güç faktörünün zamana göre değişimi



Şekil 6.7. E.K.Ü. devrede iken güç faktörünün zamana göre değişimi



Şekil 6.8. E.K.Ü. devrede yokken aktif enerji tüketimi



Şekil 6.9. E.K.Ü. devrede iken aktif enerji tüketimi

### 6.1.1. Uygulama 1. Sonuçlarının İncelenmesi

Tablo 6.1. Circuter cihazı ile ölçülen sonuçlar (1. uygulama için)

	E.K.Ü. Yok İken		E.K.Ü. Takılı İken	
	Max	Min	Max	Min
<b>Çekilen Akım (A)</b>	73.04	35.67	69.35	24.62
<b>Çekilen Güç (kW)</b>	37.51	6.07	35.56	5.21
<b>Güç Faktörü (PF)</b>	0.25	0.77	0.27	0.77
<b>Enerji Tüketimi (5 dak) kWh</b>	1.341		0.867	

E.K.Ü. devrede yokken Şekil 6.2.'de akımın zamanla efektif değişim grafiğini incelediğimizde, maksimum 73,04 Amper, minimum 35,67 Amper olduğu görülmektedir. Şekil 6.3.'de E.K.Ü.'si devrede iken ise maksimum 69,35 Amper, minimum 24,62 Amper olduğu görülmektedir. Şebekeden çekilen Akımın azaldığı görülmektedir.

E.K.Ü. devrede yokken Şekil 6.4.'de aktif gücün zamanla değişim grafiğini incelediğimizde, maksimum aktif güç 37,51 kW, minimum aktif güç 6,07 kW iken, şekil 6.5.'de E.K.Ü.'si devrede iken ise maksimum aktif güç 35,56 kW'a minimum aktif güç'te 5,21 kW'a düştüğü görülmektedir.

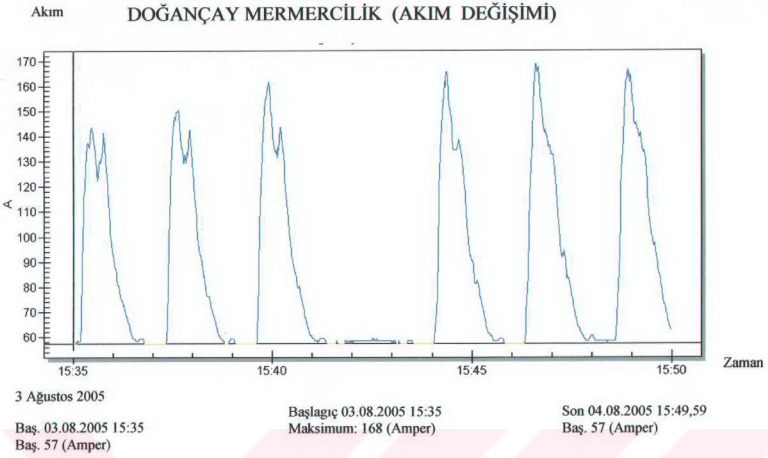
Görüldüğü gibi, 5 dakikalık bir periyot içinde, % 35.3 lük bir enerji tasarrufu kaydedilmiştir. Bu makinanın, günde 18 saat ve 260 gün çalıştığı dikkate alındığında ve yaklaşık olarak ödenen elektrik enerjisinin birim fiyatını 0.12 YTL/kWh olarak düşünürsek, yıllık yaklaşık 3,200.00 YTL gibi bir tasarruf ortaya çıkmaktadır. Circuter cihazı çok hassas ölçüm yapmasına karşı, elektrik enerjisinde tasarruf yaptığından kesin emin olmak için bu makina üzerine süzme bir saat takılmıştır. Bu sayaçtan da benzer tasarruf değerleri elde edildiği gözlenmiştir.

E.K.Ü'lerinin, Optimizasyon özelliği ile enerji tasarrufunun yanı sıra, bu makina için Soft Start ve Zamanlı Durdurma gibi özellikleriyle, bakım tutum, motor ömrü ve emniyet açısından da kullanılması oldukça faydalı olduğu gözlemlenmiştir.

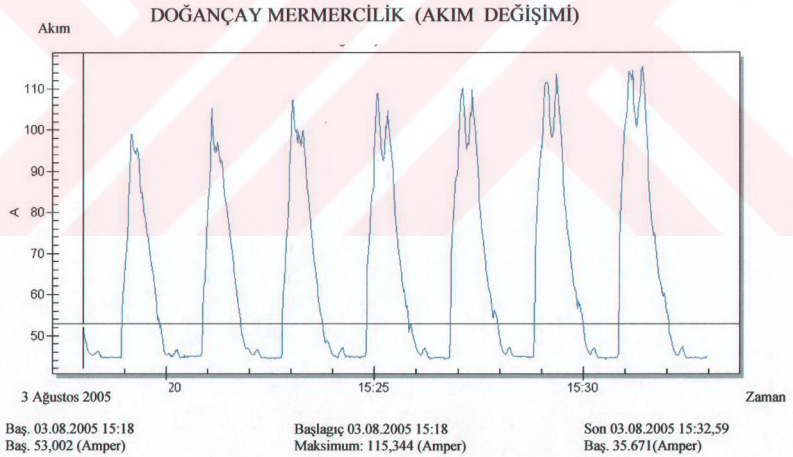
## 6.2. Uygulama 2.

Akçay yolu üzeri Adapazarı adresindeki Doğançay Mermercilik fabrikasında, Mermer Blok Kesme Makinasına 110 kW'lık Motor Kontrol Sistemi takılarak, Mermer Blok Kesme Makinası için elektrik enerjisi tüketim değerleri gözlenmiştir. Bağlantı şekli şekil 6.1. deki gibi motora seri olarak bağlanır. Motorun güç beslemesi E.K.Ü.'sinde bulunan giriş çıkış bağlantı yerlerine bağlantı yapılır. E.K.Ü.'sinde istendiğinde devreden çıkabilmesine olanak sağlayan kontaktör mevcuttur. Bu sayede sadece contactöre basmak sureti ile E.K.Ü.'sini devre dışı bırakmak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada sağlıklı bir sonuç almak için, E.K.Ü. devrede değilken ve devreye alındıktan sonra 15'er dakikalık aynı iş periyotları için, Circutor cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları tablo 6.2.'de belirtilmiştir.



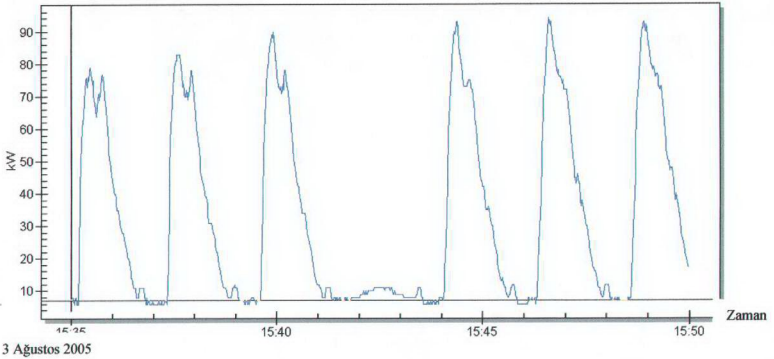
Şekil 6.10. E.K.Ü. devrede yokken akımın zamana göre efektif değışimi



Şekil 6.11. E.K.Ü. devrede iken akımın zamana göre efektif değışimi

Aktif  
Güç

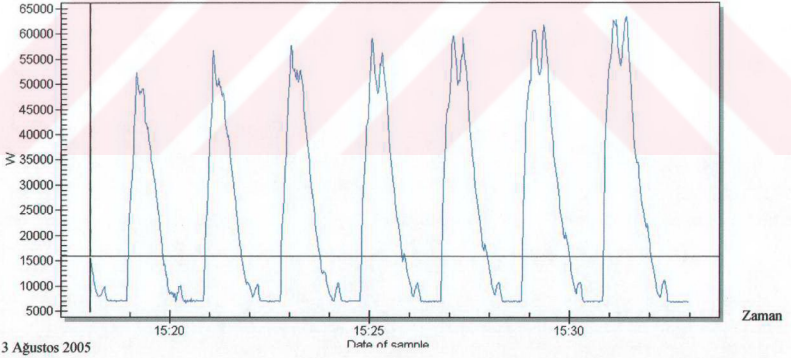
## DOĞANÇAY MERMERCİLİK (AKTİF GÜÇ DEĞİŞİMİ)

Baş. 03.08.2005 15:35  
Baş. 7 (kW)Başlangıç 03.08.2005 15:35  
Maksimum: 94 (kW)Son 03.08.2005 15:49:59  
Baş. 6 (kW)

Şekil 6.12. E.K.Ü. devrede yokken aktif gücün zamana göre değişimi

Aktif  
Güç

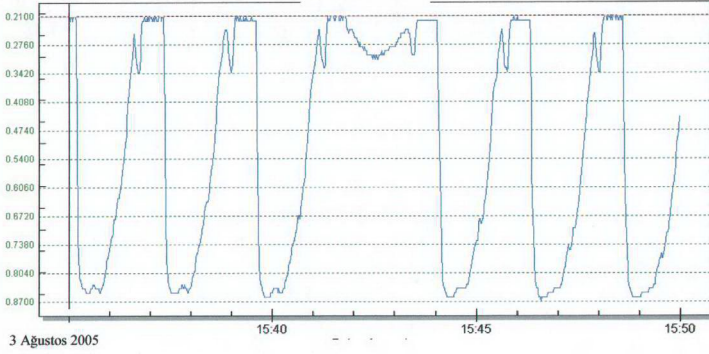
## DOĞANÇAY MERMERCİLİK (AKTİF GÜÇ DEĞİŞİMİ)

Baş. 03.08.2005 15:18  
Baş. 15853 (W)Başlangıç 03.08.2005 15:18  
Maksimum: 63407 (W)Son 03.08.2005 15:32,59  
Baş. 6710 (W)

Şekil 6.13. E.K.Ü. devrede iken aktif gücün zamana göre değişimi

Güç  
Faktörü

## DOĞANÇAY MERMERCİLİK (GÜÇ FAKTÖRÜ DEĞİŞİMİ)



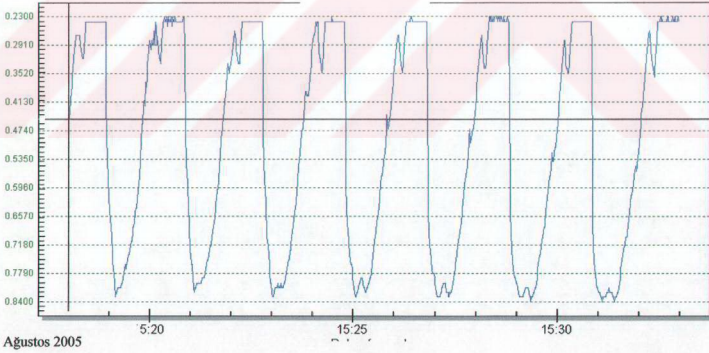
Zaman

Baş. 03.08.2005 15:35  
Baş. 0,21Başlagıç 03.08.2005 15:35  
Maksimum: 0,21Son 03.08.2005 15:49,59  
Baş. 0,87

Şekil 6.14. E.K.Ü. devrede yokken güç faktörünün zamana göre değişimi

Güç  
Faktörü

## DOĞANÇAY MERMERCİLİK (GÜÇ FAKTÖRÜ DEĞİŞİMİ)



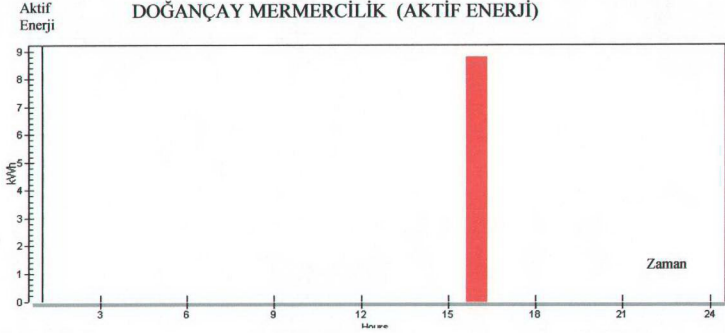
Zaman

3 Ağustos 2005

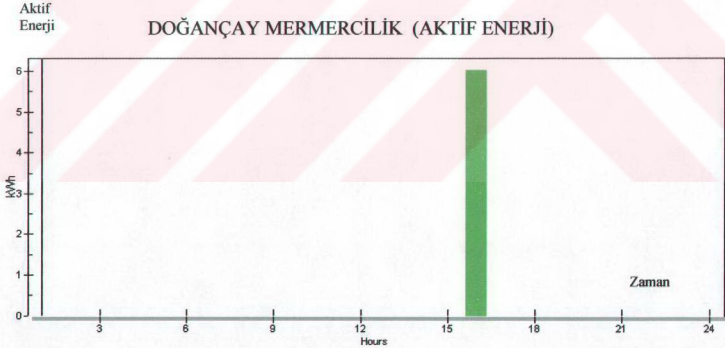
Baş. 03.08.2005 15:18  
Baş. 0,45Başlagıç 03.08.2005 15:18  
Maksimum: 0,23Son 03.08.2005 15:32,59  
Baş. 0,84

Şekil 6.15. E.K.Ü. devrede iken güç faktörünün zamana göre değişimi





Şekil 6.16. E.K.Ü. devrede yokken enerji tüketimi



Şekil 6.17. E.K.Ü. devrede iken enerji tüketimi

### 6.2.1. Deney Sonuçlarının İncelenmesi

E.K.Ü. devrede yokken Şekil 6.10.'da akımın zamanla efektif değişim grafiğini incelediğimizde, maksimum 168 Amper, minimum 57 Amper olduğu görülmektedir. Şekil 6.11.'de E.K.Ü.'si devrede iken ise maksimum 115,34 Amper, minimum 44,39 Amper olduğu görülmektedir. Şebekeden çekilen Akımın azaldığı görülmektedir.

E.K.Ü. devrede yokken Şekil 6.12.'de aktif gücün zamanla değişim grafiğini incelediğimizde, maksimum aktif güç 94 kW, minimum aktif güç 6 kW olmaktadır. Şekil 6.13.'de E.K.Ü.'si devrede iken ise maksimum aktif güç 63,41 kW'a minimum aktif güç'te 6,71 kW'a olduğu görülmektedir.

Tablo 6.2. Circuter cihazı ile ölçülen sonuçlar (2. deney için)

	E.K.Ü. Yok İken		PBI 110 Takılı İken	
	Max	Min	Max	Min
Çekilen Akım (A)	168.00	57.00	115.34	44.39
Çekilen Güç (kW)	94.00	6.00	63.41	6.71
Güç Faktörü (PF)	0.87	0.21	0.84	0.23
Enerji Tüketimi (15 dak) kWh	8.795		6.026	

Söz konusu ölçümlerle ilgili, Circuter datalarının grafikleri de ayrıca ekteki sayfalarda sunulmuştur.

Görüldüğü gibi, 15 dakikalık bir periyot içinde, % 31.4 lük bir enerji tasarrufu kaydedilmiştir. Burada dikkat edilecek diğer bir husus ise, E.K.Ü.'nin takılı olmadığı ilk periyotta 6 kesim yapılırken, takıldıktan sonra 7 kesim yapıldığıdır. Her ne kadar her iki periyodun da aynı olması için özen gösterilmişse de, ilk periyotta 4. kesimin başlamasının akabinde mermerde bir ayrılma meydana gelmiş ve testere boşa çalışmıştır. Bu nedenle, belki de daha yüksek bir enerji tasarrufunun elde edilmesi de mümkün görülmektedir.

Bu tip bir tasarrufun, bakım, tutum ve motor ömrü dikkate alınmadan yalnızca enerji maliyetlerinizi ciddi olarak aşağı çekeceği aşikardır. Aşağıdaki tabloda sunulan çalışma şartlarında :

Günlük Çalışma Saati : 12 saat  
Yıllık Çalışma Günü : 300 gün  
Enerji Maliyeti : 0.12 YTL kWh

yıllık 4,785.00 YTL lik bir enerji tasarrufu hesaplanabilir.

Ayrıca, optimizasyon sayesinde motorun soğuk çalışması ile ömrünün uzaması, soft start ile sistemin yorulmaması, düşük kalkış akımları ile limit aşım cezalarının elimine edilmesi, kontaktörlerdeki aşınma ve arızaların azalması da bu sistem ile gerçekleşeceği gözlemlenmiştir.



## **BÖLÜM 7. CİRCUTER ÖLÇÜM DEĞERLERİ**

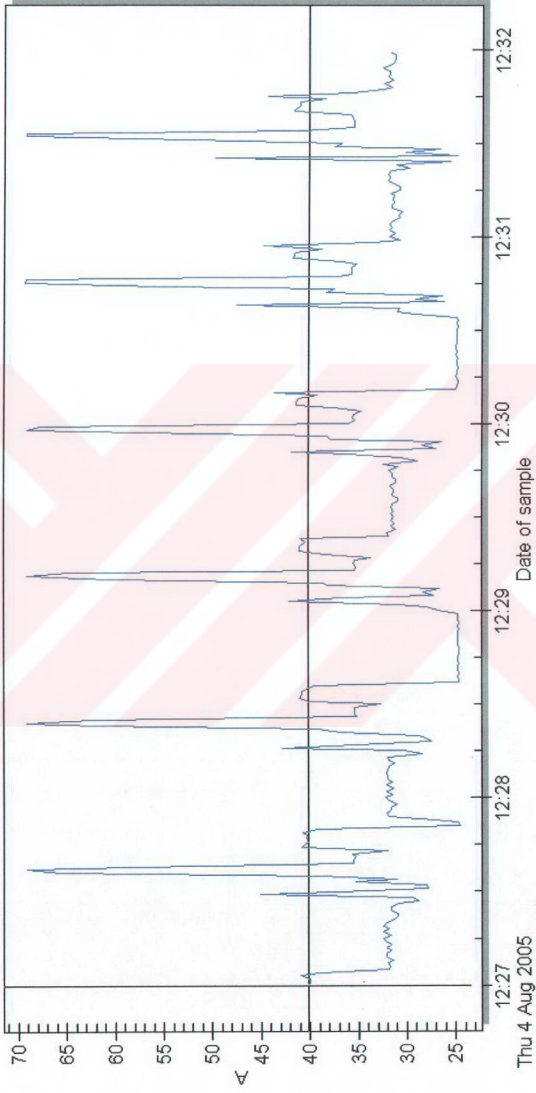
### **7.1. Federal Elektrik Fabrikasında Yapılan Ölçüm Değerleri**

Circuter ölçüm cihazı ile yapılan akım, aktif güç, güç faktörü ve aktif enerji değişim değerleri, aşağıdaki sayfalarda grafik halinde verilmiştir.



## Federal Elektrik

Moulding Machine 180 SD With PBLA5M (Current: Phase III)



Thu 4 Aug 2005

Act : 04.08.2005 12:27:00  
Act : 40.142 (A)

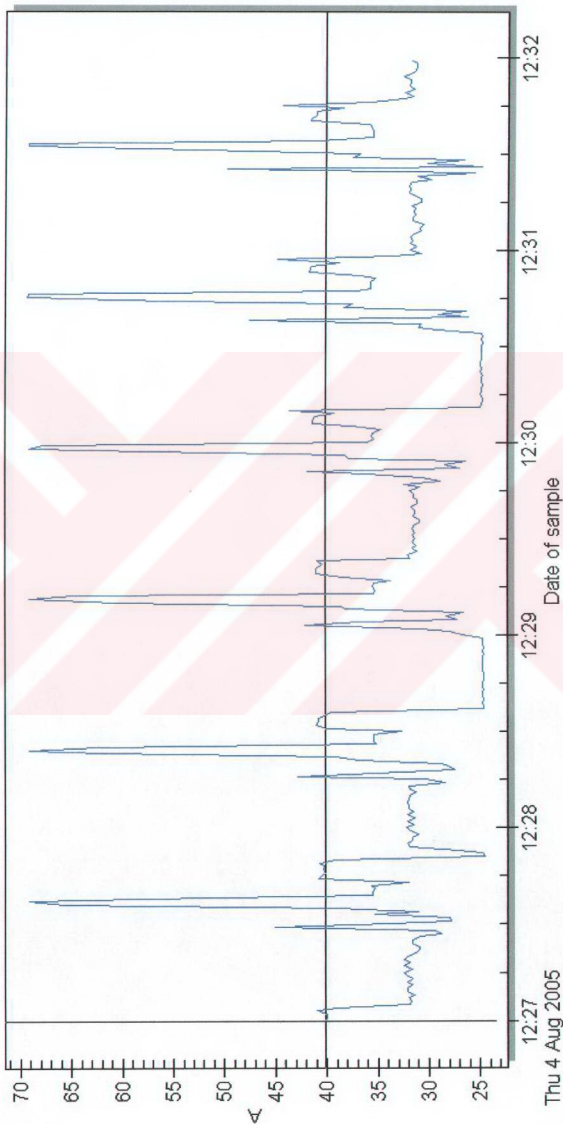
From : 04.08.2005 12:27:00  
Maximum : 69.345 (A)

To : 04.08.2005 12:31:59  
Minimum : 24.621 (A)

Şekil 7.1. Akımın efektif değışimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

## Federal Elektrik

Moulding Machine 180 SD With PBI-A5M (Current: Phase III)



Act : 40.142 (A)

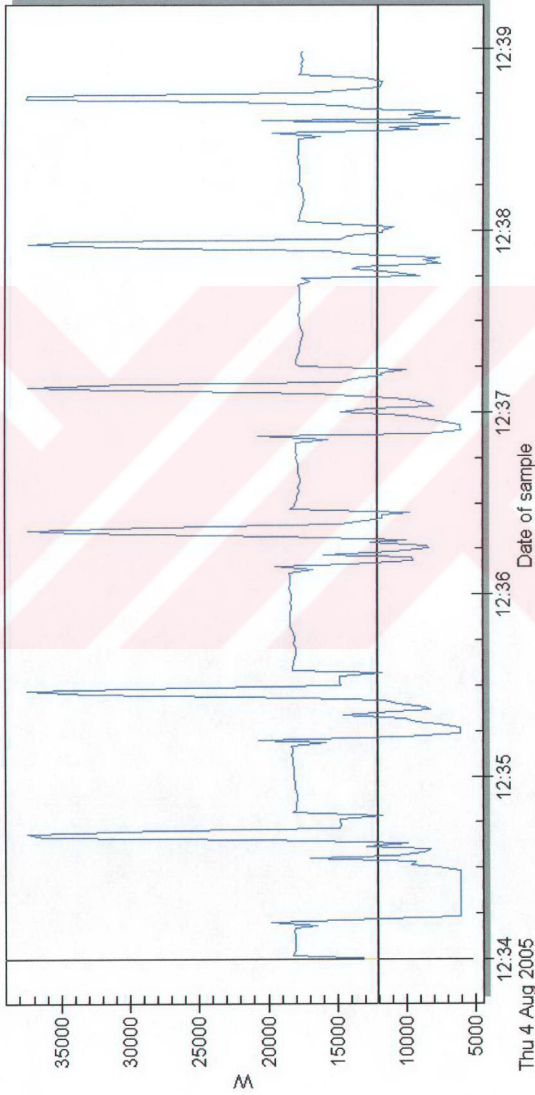
From : 04.08.2005 12:27:00  
Maximum : 69.345 (A)

To : 04.08.2005 12:31:59  
Minimum : 24.621 (A)

Şekil 7.2. Akımın efektif değışimi E.K.Ü. devrede iken Circuitur cihazı ile yapılan ölçüm değeri

## Federal Elektrik

Moulding Machine 180 SD No PBI.A5M (Active power: Phase III +)



Thu 4 Aug 2005

Act : 04.08.2005 12:34:00  
Act : 12058 (W)

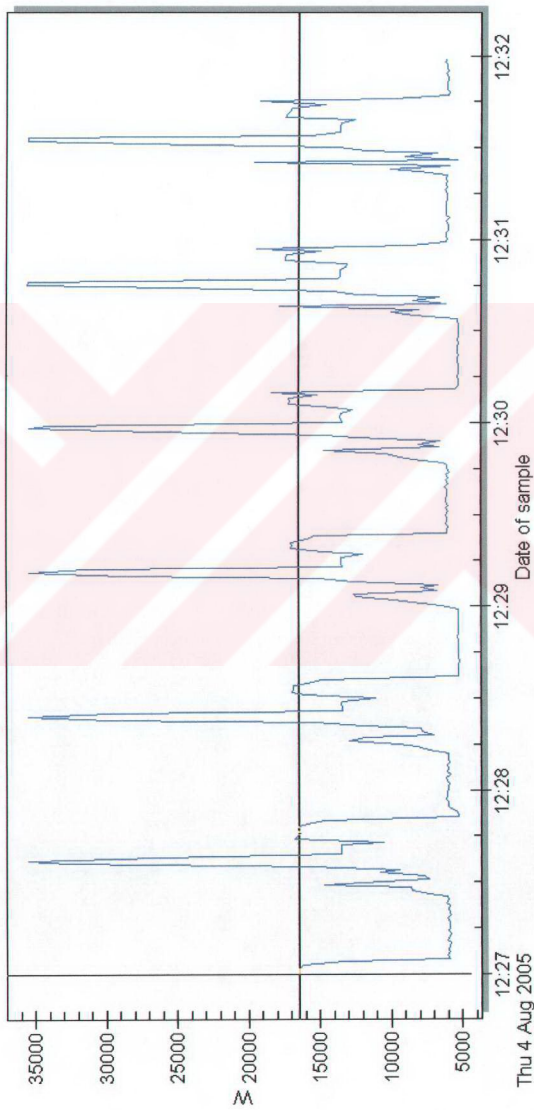
From : 04.08.2005 12:34:00  
Maximum : 37506 (W)

To : 04.08.2005 12:38:59  
Minimum : 6068 (W)

Şekil 7.3. Aktif gücün değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuiter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

## Federal Elektrik

Moulding Machine 180 SD With PBI-A5M (Active power: Phase III +)



Act : 04.08.2005 12:27:00  
Act : 16466 (W)

From : 04.08.2005 12:27:00  
Maximum : 35561 (W)

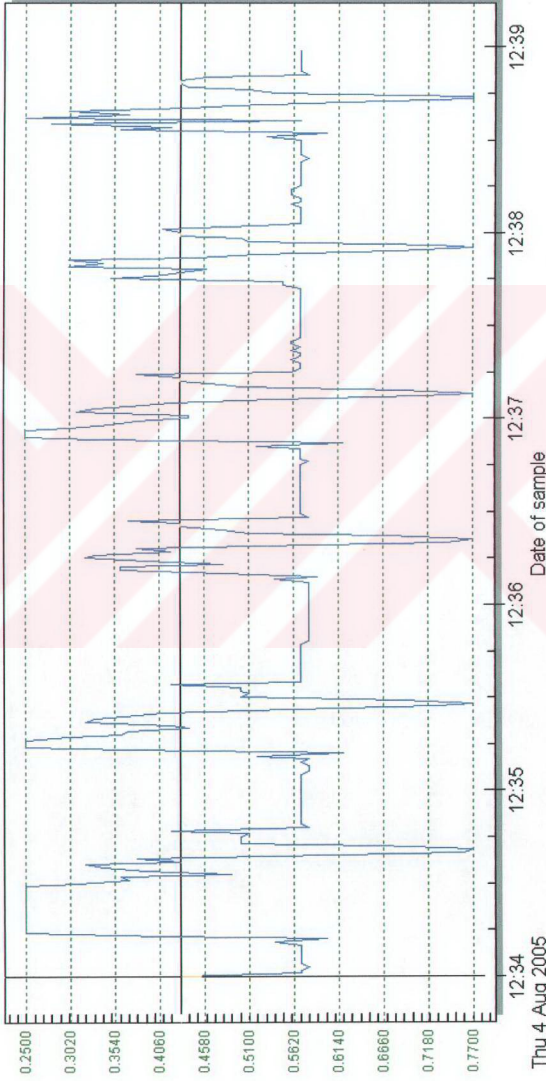
To : 04.08.2005 12:31:59  
Minimum : 5213 (W)

Şekil 7.4. Akatif güçlüm değışimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri



# Federal Elektrik

Moulding Machine 180 SD No PBI.A5M (Power factor: Phase III +)



Thu 4 Aug 2005

Date of sample

Act : 04.08.2005 12:34:00

Act : 0.43

From : 04.08.2005 12:34:00

Maximum : 0.25

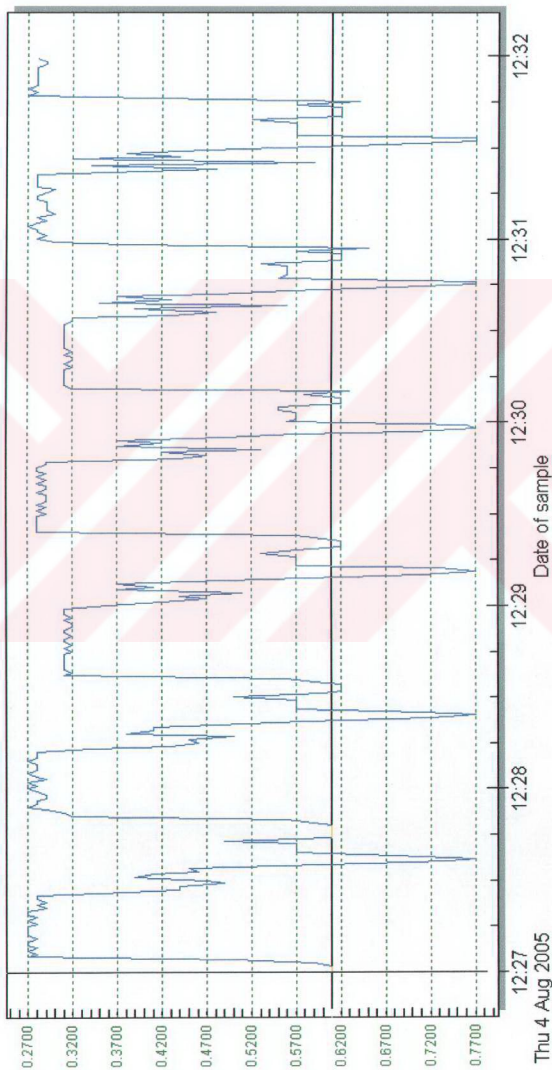
To : 04.08.2005 12:38:59

Minimum : 0.77

Şekil 7.5. Güç faktörü değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuiter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

## Federal Elektrik

Moulding Machine 180 SD With PBI.A5M (Power factor: Phase III +)



Thu 4 Aug 2005

Act : 04.08.2005 12:27:00

Act : 0.61

From : 04.08.2005 12:27:00

Maximum : 0.27

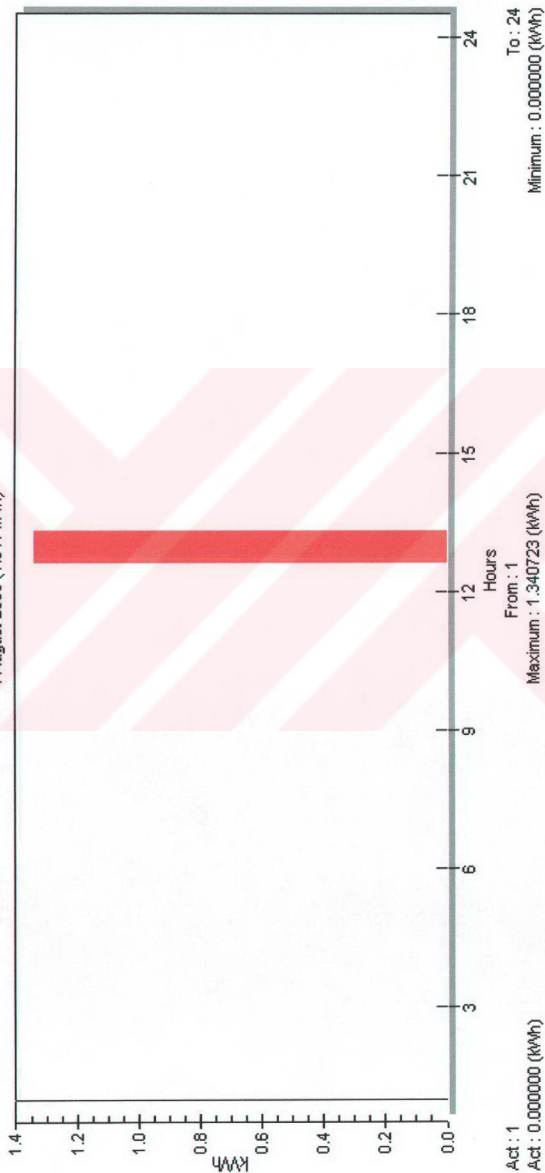
To : 04.08.2005 12:31:59

Minimum : 0.77

Şekil 7.6. Güç Faktörü değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuiter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

### Moulding Machine 180 SD No PBI.A5M (Energy: Active energy +)

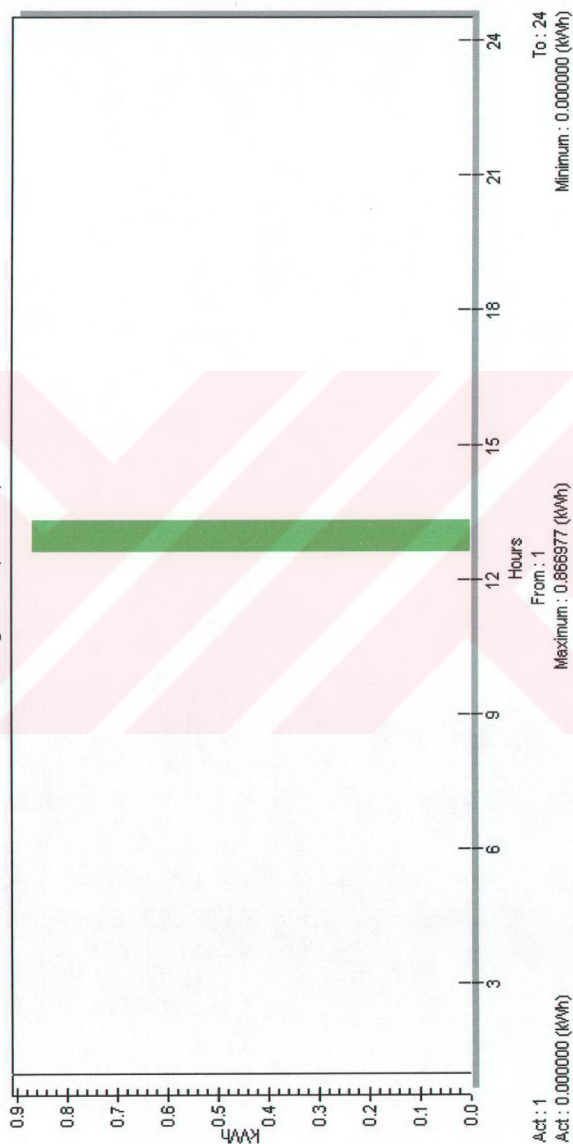
4 August 2005 (1,341 kWh)



Şekil 7.7. Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

### Moulding Machine 180 SD With PBI.A5M (Energy: Active energy +)

4 August 2005 (0.867 kWh)

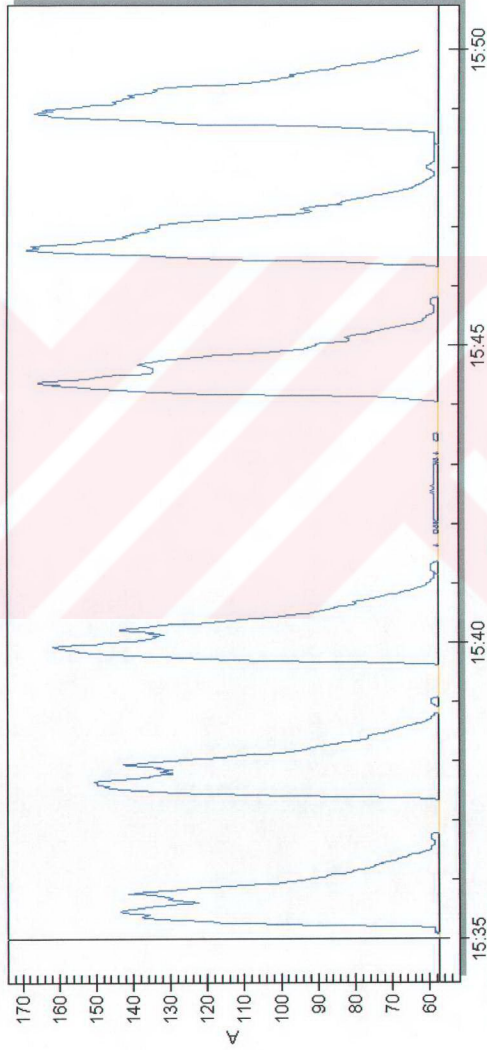


Şekil 7.8. Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuiter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

## 7.2. Doğançay Mermer Fabrikasında Yapılan Ölçüm Değerleri

### MARBLE 110kw Saw No PBI.A5M (Current: Phase III)

Doğançay Mermercilik



Wed 3 Aug 2005

Date of sample

Act : 03.08.2005 15:35:00

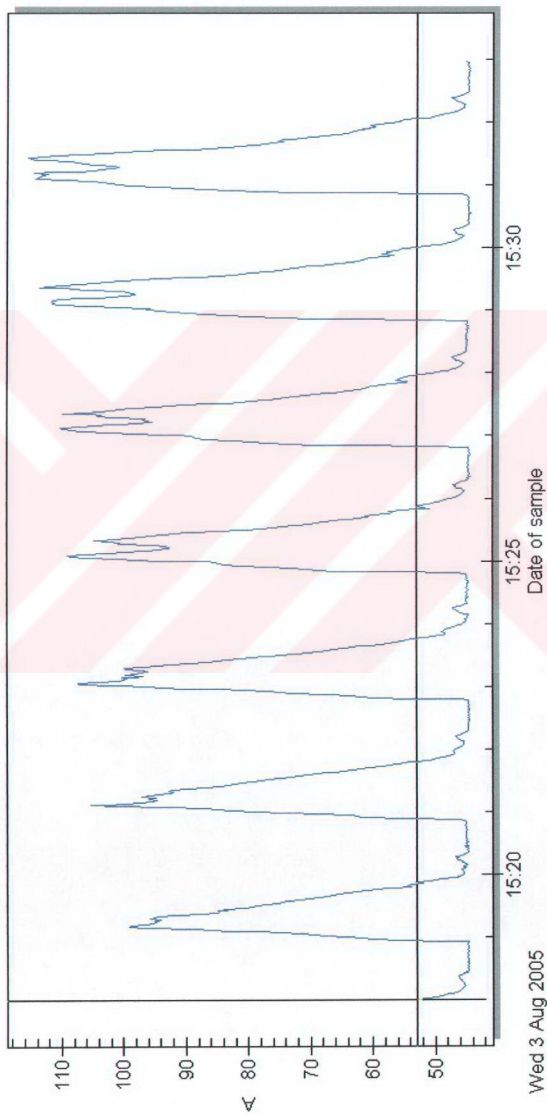
From : 03.08.2005 15:35:00

To : 03.08.2005 15:49:51

Şekil 7.9. Akımın Efektif değerimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

# MARBLE 110kw Saw With PBI.A5M (Current: Phase III)

Dogancay Mermercilik



Wed 3 Aug 2005

Act : 03.08.2005 15:18:00

Act : 53.002 (A)

From : 03.08.2005 15:18:00

Maximum : 115.344 (A)

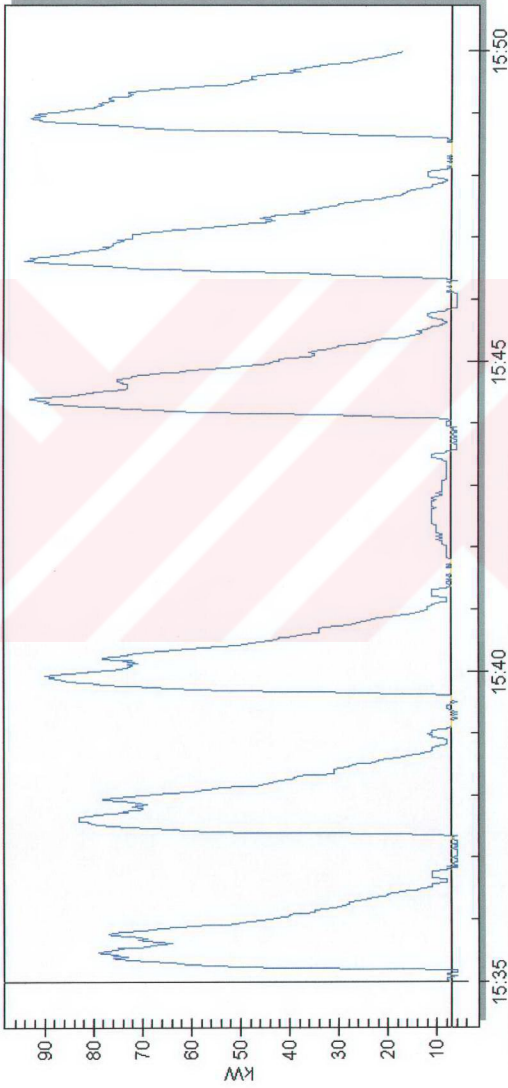
To : 03.08.2005 15:32:59

Minimum : 44.390 (A)

Şekil 7.10. Akımın Efektif değışimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

# MARBLE 110kw Saw No PBI.A5M (Active power: Phase III +)

Dogancay Mermercilik



Wed 3 Aug 2005

Date of sample

Act : 03.08.2005 15:35:00

Act : 7 (kW)

From : 03.08.2005 15:35:00

Maximum : 94 (kW)

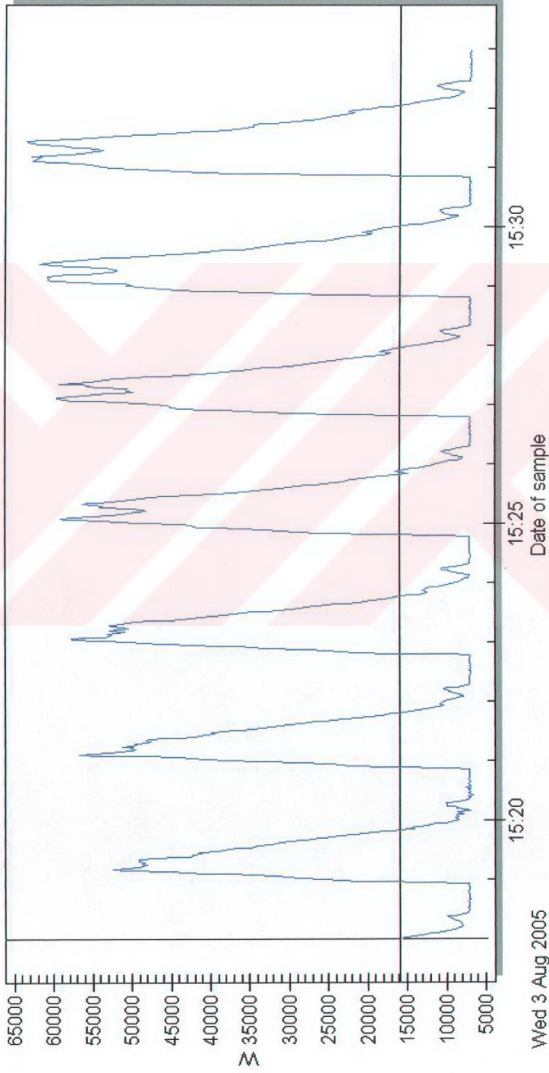
To : 03.08.2005 15:49:59

Minimum : 6 (kW)

Şekil 7.11. Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

# MARBLE 110kw Saw With PBI.A5M (Active power: Phase III +)

Dogancay Mermercilik



Wed 3 Aug 2005

Act : 03.08.2005 15:18:00

Act : 15853 (W)

From : 03.08.2005 15:18:00

Maximum : 63407 (W)

To : 03.08.2005 15:32:59

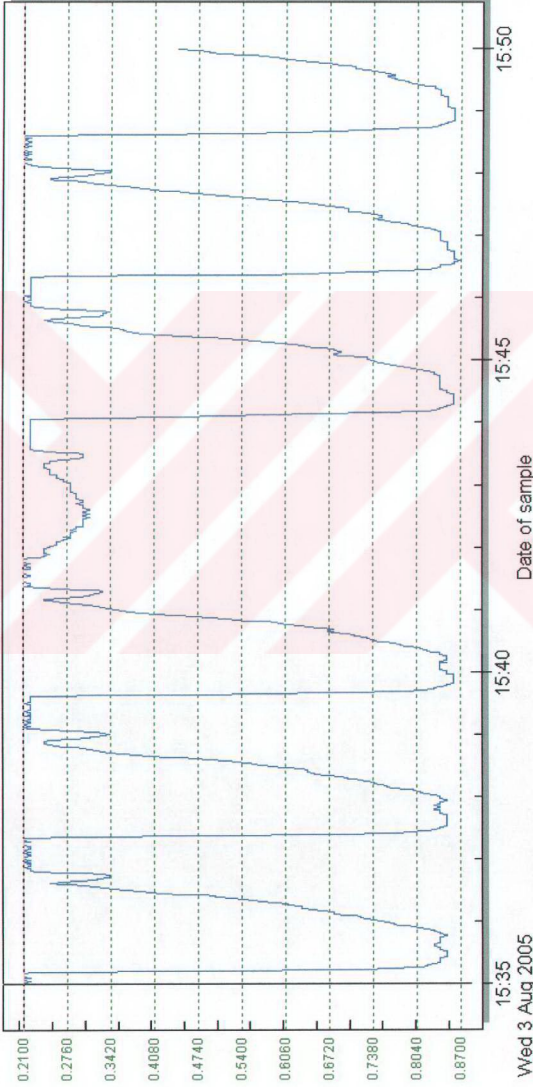
Minimum : 6710 (W)

Şekil 7.12. Aktif Güç değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri



## MARBLE 110kw Saw No PBI.A5M (Power factor: Phase III +)

Dogancay Mermercilik



Wed 3 Aug 2005

Act : 03.08.2005 15:35:00

Act : 0.21

From : 03.08.2005 15:35:00

Maximum : 0.21

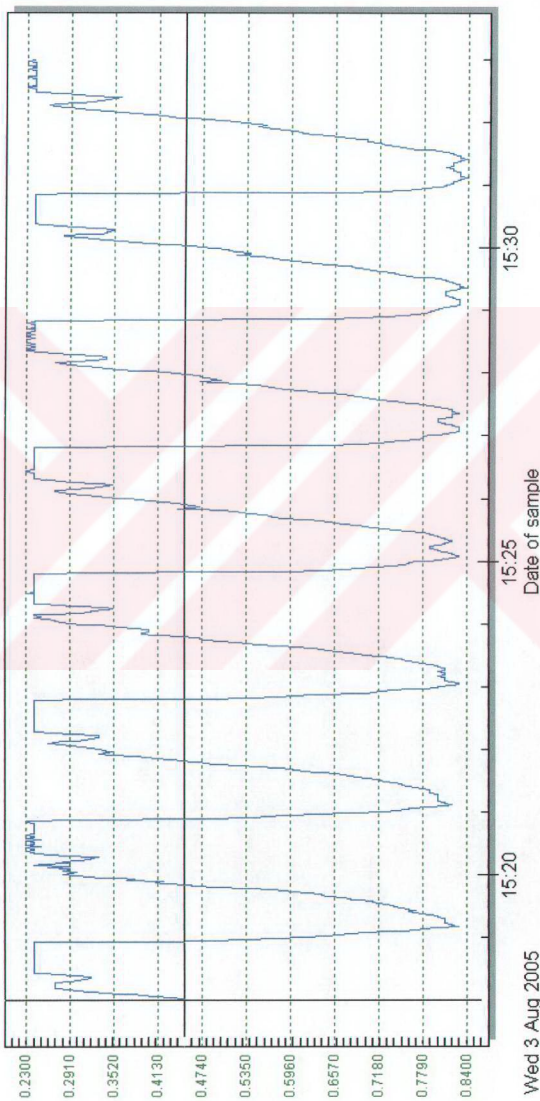
To : 03.08.2005 15:49:59

Minimum : 0.87

Şekil 7.13. Güç Faktörü değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

# MARBLE 110kw Saw With PBI.A5M (Power factor: Phase III +)

Dogancay Mermercilik



Act : 03.08.2005 15:18:00  
Act : 0.45

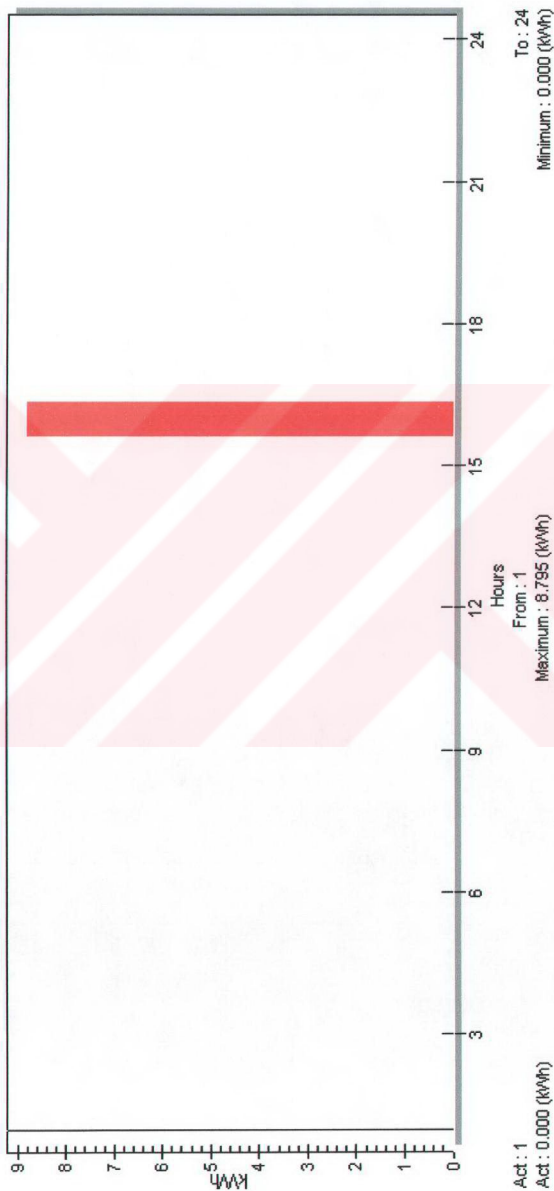
From : 03.08.2005 15:18:00  
Maximum : 0.23

To : 03.08.2005 15:32:59  
Minimum : 0.84

Şekil 7.14. Güç Faktörü değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

## MARBLE 110kw Saw No PBLA5M (Energy: Active energy +)

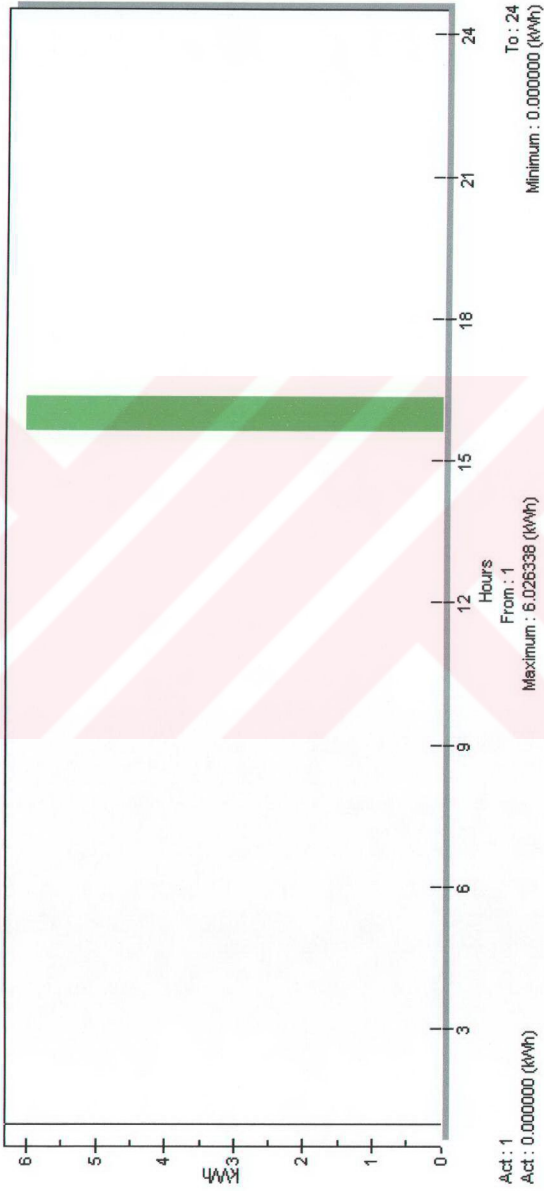
3 August 2005 (8.795 kWh)



Şekil 7.15. Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede yokken Circuter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

### MARBLE 110kw Saw With PBI.A5M (Energy: Active energy +)

3 August 2005 (6.026 kWh)



Şekil 7.16. Aktif Enerji değişimi E.K.Ü. devrede iken Circuiter cihazı ile yapılan ölçüm değeri

## BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Endüstride kullanılan elektrik enerjisinin %65'inden fazları elektrik motorlarında kullanıldığı bilinmektedir. Genellikle elektrik motorlarının ilk tasarım esnasında büyük seçilir. Yapılan araştırmalara göre kullanılan elektrik motorları kapasitelerinin %50'sini ancak kullanmaktadırlar. Bu olay elektrik motorlarında oluşan kayıpları artırır. Bunu önlemek için, ilk tasarım esnasında uygun motor seçilmesi gerekir.

Elektrik motorları hakkında verilen bilgiler sayesinde, elektrik motorları hakkında bilgi edinilmektedir. Bu sayede hangi tip motorun nerede kullanıldığı daha iyi anlaşılmaktadır.

Elektrik motorlarında, ilk kalkış esnasında meydana gelen aşırı akımları önlemek için uygulanan yol verme işlemlerinin çeşitleri ve hangi tip motorlara nasıl yol verildiği belirtilmiştir.

Elektrik motorlarında hız kontrolü sayesinde, istenilen şartlarda motorun çalışması gerçekleştirilebilir. Bu sayede motor gerektiği kadar enerji harcayacağından enerji ekonomisi sağlanacaktır.

Elektrik motorlarının tanımak için çalışma koşulları, hız aralıkları, moment ihtiyacı, ilk kalkış akımı vb. parametrelerden bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler oldukça karmaşık olduklarından dolayı, bu olay elektriki olarak modellenerek çözümlenebilir. Böylece hesap yapma işlemleri kolaylaşmış olur.

Elektrik motorlarının değişik çalışma koşullarında verim değerleri, motorun yapısına, kullanılan malzemenin kalitesine ve motor kapasitesine göre değişmektedir. Eğer motor seçimi yapılacaksa, yüksek verimli motor seçilmesi daha uygun olur.

Elektrik motorlarında ilk kalkış ve sürekli çalışma esnasında üretilen moment, ihtiyaç duyulan momente yakın olmalıdır.

Eğer bir elektrik motoru gereğinden büyük seçilmişse ve düşük kapasitede çalışıyorsa verimleri çok düşük olur. Verim değerini arttırmak için elektrik motoruna çok basit bir şekilde montajı yapılan elektrik kontrol üniteleri takılabilir. Elektrik kontrol üniteleri elektrik motorunun çalışma durumunu algılayarak, gerektiği kadar gerilim uygulanmasını sağlar. Bu sayede verim değerleri artmış olur. Düşük verimli motorlarda enerji kontrol ünitelerinin kullanılması ile %15 ile %40'lara varan enerji ekonomisi sağlanabilir.

Enerji Kontrol Üniteleri aşağıda belirtilen özellikleri sağlaması istenir.

Elektrik motorlarının yumuşak kalkış yapması istendiği durumlarda, örneğin bir vinç ile malzeme kaldırırken, vinçin malzemeyi yavaş bir şekilde kaldırması istenebilir. E.K.Ü.'sinin yumuşak kalkış yapma özelliği sayesinde vince bağlı olan elektrik motorunun yumuşak kalkış yapması sağlanabilir. Aynı şekilde yumuşak şekilde durması istenebilir.

E.K.Ü.'lerinin akım sınırlama özelliği ile, akımın belirli değeri aştığında, motorun zarar görmemesi için kendini korumaya alınmasını sağlar.

Zaman ayarlı durdurma özelliği ile, makinanın çalışma sürelerini hafızasında kaydederek, makinanın çalışmadığı zamanı algılayarak, elektrik motorunu devre dışı bırakabilir. Örneğin bir enjeksiyon makinası 5 dakikada bir parça bastığını düşünelim, makinanın malzemesinin bittiği durumlarda, mola verildiğini veya makinanın 5 dakika geçmesi halinde hala parça basılmaması gibi durumlarda elektrik motorunun durdurulması sağlanır. Bu sayede boş yere elektrik motoru çalışmamış olur.

Enerjinin depolama özelliği ile, kayış kasnak sistemleri gibi enerjiyi depolayan sistemlerde, elektrik motorunun boşta çalışması durumunda, elektrik motoruna uygulanan gerilim kısa süreli kesilerek enerji ekonomisi sağlanabilir.

Sinyal optimizasyonu özelliği ile, E.K.Ü. elektrik motorunun bağlandığı makinadan sinyal olarak, makinaya gerektiği kadar gerilim göndermesi sağlanır.

Kontrollü yıldız-üçgen kalkış özelliği ile, ilk kalkış akımının küçük ve kalkış süresinin kısa olması sağlanır.

Kayış kilitleme koruması özelliği ile, kayış kasnak sistemlerinde kayışın sıkışması durumunda, elektrik motorunun zorlanarak zarar görmesi istenmez. Bu durum da E.K.Ü. motorun zarar görmesini önler, gerektiğinde motoru devre dışı bırakır.

Direkt yol verme opsiyonu özelliği ile, kırıncılar gibi direkt yol vermesi gerekli olan sistemlerde direkt yol verme işlemi gerçekleştirilir.

## KAYNAKLAR

- [1] İKİZLİ O. “Makine fakültesi öğrencileri için elektrik makinaları notları”
- [2] MERGEN A. FAİK, ZORLU S. “Elektrik makinaları II asenkron makinalar” Birsen Yayınevi 2005-12-09
- [3] SARIOĞLU M. KEMAL “Elektrik makinaları temelleri (senkron makinalar)” Birsen Yayınevi 2002
- [4] YÜCEL M. ERGÜN “Endüstriyel tesislerde elektrik kuvvet ve kontrol sistemi” Altıncioğlu Matbası 1991
- [5] ALERİCH WALTER N. “Elektrik Motorlarının Kontrolü” (Çeviri ve Radaksiyon Muammer GÜKBULUT, Bülent AKGÜN
- [6] MCGRAY DENİS O’KELLYV “Performance and control of electrical machines” W-Hill Book Company 1991
- [7] TURAN M. “Elektrik motorları ders notları” 2005
- [8] NASAR MCGRAY S. A. “Handbook of electrical machines” w-hill book company 1987
- [9] FITGERALD, GRABEL & HIGGINBOTHAM “Basic Electrical Engineering” 1967
- [10] ARİFOĞLU U. “Elektrik – elektronik mühendisliğinin temelleri” (cilt –I, cilt – II) 2000
- [11] KAYA D., GÜNGÖR C. “Mühendis ve makine dergisi kasın 2002 sayı 514 sanayide enerji tasarruf potansiyeli”
- [12] BODUROĞLU T. “Elektrik makinaları dersleri (teori, hesap ve konstrüksiyon) (doğru akım makinaları)” Beta Basın Yayıım Dağıtım A.Ş. 1988
- [13] Elektrik enerjisinde ulusal politika Ekim 2000



- [14] “Sanayicinin ucuz elektrik kullanım kılavuzu” İstanbul Sanayi Odası Şubesi Kasım 2000
- [15] [www.eksenerji.com.tr](http://www.eksenerji.com.tr)
- [16] [www.somar.co.uk](http://www.somar.co.uk)
- [17] “Sanayide enerji yönetimi esasları” cilt III ocak 2004
- [18] GÜNAL Y. “Pompaların Elektrik Motorları İle Tahriki” Makale Enerji Dergisi 1997
- [19] VURAK M. BÜLENT “Değişken Debili Sirkülasyon Pompaları” Araştırma Enerji Dergisi 1997
- [20] FİTZGERALD A.E., KINGSLEY C., STEPHEN D. UMANS “Electric machinery” Mc Graw Hill
- [21] ALACALI M., ALTUNSAÇLI A. “Elektrik Makinaları” Color Ofset – İSKENDERUN 2001