

MERMER KESME MAKİNELERİNDE
İNVERTER PARAMETRELERİ DEĞİŞTİRİLEREK
ELEKTRİK ENERJİSİ OPTİMİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa DURSUN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Ocak 2009

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERMER KESME MAKİNELERİNDE İNVERTER PRAMETRELERİ
DEĞİŞTİRİLEREK ELEKTRİK ENERJİSİ
OPTİMİZASYONU**

Mustafa DURSUN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Ocak 2009

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN danışmanlığında,
Mustafa DURSUN tarafından hazırlanan
MERMER KESME MAKİNELERİNDE İNVERTER PARAMETRELERİ
DEĞİŞTİRİLEREK ELEKTRİK ENERJİSİ OPTİMİZASYONU
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca
.../.../...

Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan Prof.Dr. Hasan ÇİMEN	
Üye Doç.Dr. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ	
Üye Yrd. Doç. Murat CANER	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MERMER KESME MAKİNELERİNDE İNVERTER PARAMETERLERİ
DEĞİŞTİRİLEREK ELEKTRİK ENERJİSİ
OPTİMİZASYONU

Mustafa DURSUN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Bu çalışmada mermer kesme işleminde inverterle yapılan çalışmalar ve inverter kullanmadan yapılan çalışmalar üzerinde durulmuştur. Ayrıca kullanılan inverter parametrelerinin değişiminin elektrik enerji tüketimine ve spesifik enerji üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kesme deneyleri için bilgisayar tabanlı dairesel testereli blok kesme makinesi kullanılmıştır. Deneylerde Uşak yeşil mermeri adında bir mermer türü için ilerleme hızı ve inverter parametrelerinin enerji tüketimine etkisi incelenmiştir.

Deneylerin ilk aşaması invertersiz olarak 0,5-0,6-0,7 m/dk. ilerleme hızlarında sabit 2866 d/dk. testere dönüş hızında gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki aşamalar inverter kullanılarak enerji tasarrufu modunda açık döngü V/f olarak ayarlanmış ve 0,5-0,6-0,7 m/dk. ilerleme hızlarında ve 2389–2627–2866 d/dk testere dönüş hızlarında yapılarak tüketilen aktif güç ve spesifik enerji incelenmiştir. Sonuç olarak uygun kesme parametreleri belirlendiği takdirde enerji tüketiminin optimize edilebileceği görülmüştür.

2008, 91 sayfa

Anahtar kelimeler: Bilgisayar tabanlı otomasyon, inverter, enerji tasarrufu, açık döngü V/f, spesifik enerji, optimize.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECTS OF INVERTER PARAMETERS TO ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION IN MARBLE CUTTING MACHINES

Mustafa DURSUN

**Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric Education**

Supervisor: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

In this study, focused on studies made of inverter and without inverter in the marble cutting process. The effect to electric energy consumption and specific energy of changing of inverter parameters used in the marble cutting process are investigated. PC based block cutter with circular diamond saw blade is used for cutting experiments. In experiments are investigated effect of inverter parameters to electric energy consumption and saw rotation speed for a kind of marble called Uşak green marble.

In first stage of experiments, realized in 2866 m/min. stable of saw rotation speeds in 0,5-0,6-0,7 m/min. rotation speeds as without inverter. Afterwards processes are investigated active energy and specific energy consumed as set a open loop V/f in energy saving mode with inverter and made in 0,5-0,6-0,7 m/min. rotation speeds and in 2389–2627–2866 saw rotation speeds. As a result, it is understood that if the correct cutting parameters are determined, energy consumption can be optimized.

2008, 91 pages

Keywords: PC based instrumentation, inverter, energy saving, open loop V/f, specific energy, optimize.

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmalarında beni yönlendiren verdiği değişik fikirlerle konuya farklı açılardan bakma becerisini kazandıran danışman hocam Prof. Dr. Hasan ÇİMEN'e, makinenin otomasyon sistemi konusu başta olmak üzere her türlü konuda desteğini esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Said Mahmut ÇINAR'a, ve bilgisine başvurduğum bütün arkadaşlarıma, ayrıca beni yetiştirip bu günlere getiren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa DURSUN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 S/T Mermer Kesme Tezgahları	5
2.2 Mermer Kesme Makinelerinin Çeşitleri	5
2.2.1 İki ayaklı S/T mermer kesme makineleri	6
2.2.2 Dört ayaklı S/T mermer kesme makineleri	7
2.3 Asenkron Makinler	8
2.3.1 Asenkron motorun yapısı	8
2.3.2 Asenkron motorun çalışma prensibi	10
2.3.3 Asenkron motorlarda döner alan	11
2.3.4 Asenkron motorlarda kayma	14
2.3.4.1 Kayma hızı ve kayma	15
2.3.5 Asenkron motorun eşdeğer devre modeli	16
2.3.6 Asenkron motorlarda güç ve moment	19
2.3.7 Asenkron motorlara yol verme metotları	25
2.3.8 Asenkron makinenin temel kontrol ilkeleri	26
2.3.8.1 Skaler kontrol (V/f kontrol)	27
2.3.8.2 Açık döngü V/f kontrol	30
2.3.8.3 Kapalı çevrim V/f kontrol	32

2.3.8.4 Vektörel kontrol	34
2.3.8.5 Doğrudan vektör kontrol yöntemi	43
2.3.8.6 Dolaylı vektör kontrol yöntemi	44
2.4 İnverterler	46
2.4.1 İnverterin yapısı	47
2.4.2 Besleme tipine göre inverterler	48
2.4.2.1 Gerilim beslemeli inverterler	48
2.4.2.2 Akım beslemeli inverterler	49
2.4.3 İnverter devrelerinde frekans ve gerilim denetimi	50
2.4.3.1 İnverterde frekans denetimi	50
2.4.3.2 İnverterde gerilim denetimi	50
2.4.3.3 Darbe genişlik denetimi	51
2.4.3.4 Darbe genişlik modülasyonu (PWM)	53
3. MATERYAL ve METOT	55
3.1 İki ayaklı S/T mermer kesme makinesi	55
3.2 Deneylerde kullanılan dairesel testereli blok kesme makinesi	56
3.3 Yazılım ara yüzü	57
3.4 Kontrol elemanları	60
3.4.1 İnverterler	60
3.4.1.1 Testere inverteri	60
3.4.1.2 Vagon inverteri	61
3.4.2 İnverter kullanılarak enerji tasarrufu	62
3.5 Spesifik enerji	63
3.6 Kesme parametreleri	63
3.7 İnverterdeki kesme parametrelerinin ayarlanması	65

4. BULGULAR	66
4.1 İlerleme hızının ve testere dönüş hızının aktif güç üzerindeki etkisi	67
4.2 İlerleme hızının ve testere dönüş hızının spesifik üzerindeki etkisi	68
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	70
6. KAYNAKLAR	71
6.1. İnternet Kaynakları	75
7. ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

E_r	Rotorda indüklenen gerilim / faz , Volt
E_r'	Statora indirgenen rotor gerilimi / faz, Volt
E_s, E_m	Statorda indüklenen gerilim / faz , Volt
$e(t)$	Hata
F	Toplam manyeto motor kuvveti
f, f_l	Temel dalga ve şebeke frekansı, Hz
f_r	Rotor frekansı , Hz
f_s	Stator frekansı, Hz
I_r'	Stotara indirgenmiş rotor akımı, Amper
I_s	Stator akımı, Amper
k_s	Sargı katsayısı
k_{s1}	Stator sargı katsayısı
k_{s2}	Rotor sargı katsayısı
L_s	Stator sargı indüktansı, Henry
L_{s1}	Stator kaçak indüktansı, Henry
L_r'	Rotor sargı indüktansı , Henry
L_{r1}'	Rotor kaçak indüktansı, Henry
L_{sm}	Stator faydalı indüktansı, Henry
M_d, T	Döndürme momenti, Tork, Nm.
$M(s)$	Denetim organı çıkışı
N_d	Deneme sargısı sarım sayısı
N_1, N_s	Stator sarım sayısı / faz
N_2, N_r	Rotor sarım sayısı / faz
n	Devir sayısı (Genel)
n_r	Rotor devir sayısı, d/d
n_s	Senkron devir sayısı, d/d
η	Verim, randıman

$2p$	Kutup sayısı
p	Çift kutup sayısı
P	Güç(genel)
P_{AG}	Hava aralığı gücü, Watt
P_{Cu}	Bakır kayıpları, Watt
P_f	Milden alınan mekanik güç, Watt
P_{Fe}	Demir kayıpları, Watt
P_g	Rotor giriş gücü, Watt
P_{in}	Şebekeden alınan güç, Watt
P_k	Kısa devre gücü, Watt
P_m	Rotorda indüklenen mekanik güç, Watt
$P_{s,v}$	Sürtünme+vantilasyon kayıpları, Watt
P_T	Toplam motor kayıpları, Watt
P_z	İlave kayıplar, Watt
R_{Fe}	Demir kayıpları eşdeğer direnci, Ohm
R_r	Rotor direnci / faz , Ohm
R_{r1}'	Stator indirgenmiş rotor direnci / faz, Ohm
R_s	Stator direnci / faz, Ohm
s	Kayma
X_r	Rotor reaktansı /faz, Ohm
X_r'	Statoru indirgenmiş rotor reaktansı /faz, Ohm
X_s	Stator reaktansı / faz , Ohm
Z	Empedans, Ohm
Z_1	Stator empedansı / faz , Ohm
Z_{ab}	Hava aralığı empedansı / faz , Ohm
Z_g	Giriş empedansı / faz , Ohm
Z_k	Kısa devre empedansı, Ohm
Z_m	Mıknatıslama devresi empedansı / faz , Ohm
Z_r'	Statora indirgenmiş rotor empedansı / faz, Ohm
ω_e	Şebeke açısal hızı, rad/s

ω_r	Rotor alanı açısal hızı, (rad/s)
ω_s	Döner alan açısal hızı, (rad/s)
Φ	Hava aralığı akısı, (Weber)

2. Kısaltmalar

AA Alternatif akım

ASM Asenkron motor

Cos ϕ Güç katsayısı

CSI Akım beslemeli invertör

DA Doğru akım

DGM, PWM Darbe genlik modülasyonu

d/d Devir/dakika

emk Elektromotor kuvvet

INV İnvörtör

mmk Manyetomotor kuvvet

Mot. Motor

Nm Newton Metre

VSI Gerilim beslemeli invertör

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Asenkron motordaki üç fazın gösterilişi	10
Şekil 2.2 İdealleştirilmiş 3 fazlı 2 kutuplu asenkron motor	12
Şekil 2.3 Üç fazlı stator sargılarında mmf dağılımı	13
Şekil 2.4 Asenkron motorun (rotor devresi) statora indirgenmiş bir faz eşdeğer devresi	17
Şekil 2.5 Asenkron motorun güç akış diyagramı	20
Şekil 2.6 Asenkron motorun rotor devre direncinin iki kısma ayrılmış durumdaki eşdeğer devresi	21
Şekil 2.7 Gerilim beslemeli inverterli açık döngü V/f kontrolü	31
Şekil 2.8 İnverterli kapalı döngü V/f hız kontrolü	33
Şekil 2.9 Clark dönüşümü	39
Şekil 2.10 Park dönüşümü	41
Şekil 2.11 Bir asenkron motorun dolaylı vektör kontrollü sürme blok diyagramı	46
Şekil 2.12 Gerilim beslemeli inverter devresi	49
Şekil 2.13 Akım beslemeli inverter devresi	49
Şekil 2.14 Bir faz köprü inverter	51
Şekil 2.15 Darbe genişlik denetimi ile inverter çıkış geriliminin denetimi	52
Şekil 2.16 Darbe genişlik bildirimli dalgaların temel biçimleri	53
Şekil 2.17 (a) Referans sinüse göre üçgen dalgaya ilişkin inverter çıkışı (b) Frekans değiştirilmiş referans sinüse göre inverter çıkışı	54
Şekil 3.1 Yazılım ara yüzü	57
Şekil 3.2 Yazılım manuel kontrol ara yüzü	58
Şekil 3.3 Yazılım elektriksel veriler ara yüzü	59
Şekil 3.4 İnverter tuş paneli ve anlamları	61
Şekil 4.1 İlerleme hızının ve testere dönüş hızının aktif güç üzerindeki etkisi	67
Şekil 4.2 İlerleme hızının ve testere dönüş hızının spesifik enerji üzerindeki etkisi	68

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No
Resim 2.1 İki kolonlu S/T mermer kesme makinesi	6
Resim 2.2 Dört kolonlu S/T mermer kesme makinesi	7
Resim 2.3 Üç fazlı bir asenkron motoru oluşturan kısımlar	9
Resim 2.4 Sincap kafesli (kısa devre çubuklu) rotorun yapısı	9
Resim 3.1 İki ayaklı S/T mermer kesme makinesi	55
Resim 3.2 Dairesel testerele blok kesme makinesi önden görünüş	56
Resim 3.3 Testere inverteri ön görünüşü	60
Resim 3.4 Vagon inverteri görünüşü	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 İnverterli Kesme Parametreleri	64
Çizelge 3.2 İnvertersiz Kesme Parametreleri	65

1. GİRİŞ

Eski çağlardan beri mermer, önemli bir yapı ve süsleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Yeterince sağlam olması, cazip renk ve desenler göstermesi, kullanışlı olması gibi nedenlerden dolayı mermer, yapı ve süsleme malzemesi olarak tercih edilmektedir. Mermer ocaklarından elde edilen blokların insanların hizmetine sunulması için bazı aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Mermer bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan mermer işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda mermer işleme tesislerinde verimli bir biçimde işlemlerin sürdürülmesi gerekmektedir. Mevcut makinelerin bilinçli ve verimli kullanımları, mevcut mermer işleme tesislerinin hem verimliliklerini artıracak hem de üretim maliyetlerini düşürecektir.(Bayram vd. 2003).

Mermer endüstrisinde, ocaklardan üretilen mermer blokları, işleme fabrikalarına getirilerek, plaka ve levhalar halinde kesilmek suretiyle değişik ebat ve ölçütler de mermer ürünleri şekline dönüşmektedir. Bu süreçte, fabrika işletmeciliğinde en yaygın olarak kullanılan, diskli blok kesme (ST) makineleridir. ST makinelerinin kullanımı, gerek küçük ölçekli, orta ölçekli ve gerekse büyük ölçekli mermer fabrikalarında sıklıkla görülmektedir. ST makinelerinin daha ziyade iki ayaklı olan tipleri, özellikle küçük ve orta ölçekli mermer işleme fabrikalarının üretim proseslerinde bel kemiğini oluşturmaktadır. (Gündüz 2003)

Mermer kesme işleminde ki önemli hususlardan biride kesim sırasındaki enerji tüketimidir. S/T mermer kesme makinelerinde elektrik enerjisi tüketimini doğrudan etkileyen testere dönüş hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, testere özellikleri, kesme işleminde kullanılan su miktarı, kesilen kayacın fiziko-mekanik yapısı gibi çok sayıda parametre vardır. (Çınar 2006). Bu yüzden tüketilen enerjinin çok iyi bir şekilde optimize edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde ki elektrik enerjisi tüketiminde ki artış ve bu ihtiyacın karşılanmasındaki güçlükler sebebiyle elektrik enerjisinin tasarruflu kullanılması çok büyük önem arz etmeye

başlamıştır. Ülkelerin gelişmişlikleri sanayileriyle doğru orantılı olduğundan dolayı üretilen elektriğin büyük kısmının sanayilerde tüketilmesi gerekmektedir.

Yaşanan petrol ve doğalgaz krizleri, artan talep ve fiyatlar ve çevresel kaygılar nedeniyle, yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ve en önemlisi enerjinin verimli kullanımının önemi giderek artmaktadır. Buradan da anlaşıldığı gibi elektrik enerjisinin üretim, dağıtım ve kullanım sistemlerinin iyi derecede optimize edilmesi gerekiyor.(İnt.Kyn.1).

Bu çalışmada; mermer sanayinde kullanılan iki ayaklı ve dört ayaklı mermer kesme makinelerine değinilmiş ve laboratuvar ortamında bulunan iki ayaklı ST makinesi üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneyler de makinenin mermeri en optimum şekilde kesmesi için gerekli olan inverter parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Birinci bölümde çalışmanın amacı anlatılmış. İkinci bölümde günümüze kadar yapılan çalışmalardan bahsedilmiş, optimizasyon, inverterler, ST makineleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde mermer kesmede kullanılan asenkron motorlardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde kullanılan inverter ve değiştirilmesi gereken parametreleri tanıtılmıştır. Son bölümde ise yapılan deney sonuçlarına göre bir mermerin en uygun inverter parametreleri altında kesilmesinin sonuçları ve elde edilen grafikler gösterilmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

ST makineleri ile mermer bloklarının kesim karakteristiklerinin analizi üzerine, birebir işletme boyutunda araştırma çalışmalarına literatürde çok fazla rastlanılmamaktadır. Genellikle, literatürde yer alan bilgi ve bulgular, laboratuvar boyutlu küçük diskli kesme makineleri (baş kesme ve/veya yan kesme makineleri) ile farklı tür mermer blok örneklerine ait kesim karakteristikleri üzerine yapılmış çalışmalardır.(Gündüz 2003).

Xu vd. (2001) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarında dairesel testereli bir mermer makinesinde gri granitin kesimi için farklı çalışma koşullarında kesme kuvvetleri ve enerjisinin değişimini incelemişlerdir. Kuvvet ve kesim gücü ölçümlerini bilgisayar ortamına aktarmışlar ve verileri işlemek için Matlab yazılımı kullanmışlardır. Xu vd. (2002) aynı deney düzeneği ile bu kez kesme sırasında oluşan ısıyı da ölçmek üzere deney düzeneğine sıcaklık ölçer ilave etmişlerdir. Yüzey sıcaklığının da tıpkı kesme enerjisi ve kuvvetleri gibi kesimde atılan malzeme miktarı ile orantılı olduğunu görmüşler.

Spiegel vd. (2002) çeşitli yük ve hız durumlarında indüksiyon motor / sürücü işleminin verimini artırmak için bulanık tabanlı bir enerji optimizasyon kontrol ediciyi incelemişlerdir. Enerji optimize edici, verimli optimize işlemi süresince sabit motor hızını korumak için motor mil devrini kontrol eden hız kontrol edicilerinden oluşan bulanık mantık tabanlı algılayıcılardır. Verimli kazançlar elde etmek için kontrol edicilerle deneysel bir test sisteminde, değişik güçte seçilen motorlarla deneyler yapmışlardır sonuçta %12 den yüksek verimli kazançlar elde edilmiştir.

Tunç vd. (2004) Türkiye de ki enerji kaynaklarını, elektrik enerji tüketim değerini bazı Avrupa ülkelerindeki benzer değerlerle karşılaştırmış ve araştırmışlardır. Aynı zamanda 2010 ve 2020 yılları arasında Türkiye de ki elektrik enerjisi tüketim oranı ve gelecekte yapılacak yatırımlarla ilgili yorumlar oluşturmuşlar ve lineer optimizasyon modelini Türkiye'nin gelecekte yapacağı elektrik güç kaynağı yatırımlarını en uygun bir şekilde tahmin etmek için geliştirmişlerdir. Sonuç olarak hidrojen, nükleer ve rüzgar santrallerinin

Türkiye'nin elektrik enerjisini göğüslemede önemli bir paya sahip olması gerektiğini ve bu yüzden doğru enerji yönetim modelinin Türkiye'nin geleceği için çok önemli olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Büyüksağış ve Gökten (2005) kesim sırasında mermere etkiyen kuvvetlerden hareketle harcanan enerjiyi hesaplamışlardır. Çalışmalarında tamamen bilgisayar kontrollü bir deney düzeneği kullanmışlardır. Farklı tipte mermer kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada iki farklı parametreye göre kesim enerjisi incelenmiştir. Çalışmalarını yedi farklı mermer üzerinde yapan ekip mermerlerin tamamında benzer değişimler olduğunu görmüştür.

Chuang (2005) Taipei Tamshui elektrikli hızlı tren hattında çalışan trenlerin fren durumlarında ürettikleri enerjinin hat üzerinde hareket eden diğer trenlerde kullanılması için bir sistem önermiş ve enerji optimizasyonu sağlanabileceğini göstermiştir. Kleimaier ve Shröder (2000) elektrik ve benzin motoru ile çalışan hibrit taşıtlar için önerdikleri kontrol ve optimizasyon yöntemi ile yakıt tüketiminde optimizasyon yapılabileceğini göstermişlerdir.

Çınar (2006) mermer kesme işleminde kullanılan elektrik enerji tüketimi ve kesme parametrelerin bu tüketime etkisini incelemiştir. Kesme deneyleri için bilgisayar tabanlı dairesel testereli blok kesme makinesi kullanmış ve deneylerde Bilecik Bej mermeri ve Denizli travertenini için ilerleme hızı ve testere dönüş hızının enerji tüketimine etkisini incelemiştir. Kesme parametrelerinin optimum değerleri belirlenebilirse tüketilen elektrik enerjisinin de optimize olabileceği sonucuna varmıştır.

Ostadi vd. (2006) bir fabrika için lineer olmayan bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu modeli, fabrikadaki aktivitelere ve işlemlere dayalı elektrik enerjisi tüketimi için en uygun değer ve zamanları ayarlayan uygun parametreleri belirlemek için formüle etmişlerdir.

2.1 S/T Mermer Kesme Tezgahları

Mermer teknolojisinin günümüzde giderek önem kazanmasına paralel olarak, mermer blok işletmeciliğinde S/T diskli blok kesim makinelerinin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Farklı karakteristik yapıya sahip mermer bloklarının sektörde yer alması mermer işlenmesinde büyük bir rekabeti doğurmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak da mermerlerin kesimi ve işlenmesi de daha ekonomik olmalıdır. Bu nedenle mermerlerin fabrikalarda işlenmesinde kullanılan kesim ekipmanlarının detaylı olarak incelenmesi kaçınılmaz olmaktadır. (Gündüz 2003)

2.2. Mermer Kesme Makinelerinin Çeşitleri

Bu makineler (1.8-3.0 m.) çapında, 4-6 mm. kalınlığında dairesel bir disk etrafına tutturulmuş, soketlerle kesim yaparlar, dönme hızları yüksektir. Hız kontrollüdürler, hidrolik sistem vasıtasıyla ilerler. (Köse, Onargan 1992). Bu tezgahlar fabrikalar tarafından oldukça fazla kullanılan blok kesici makinelerdir. Mermer sektöründe üretimin en az %60 - %70 kısmı S/T tezgahlarında gerçekleştirilmektedir. Küçük ölçekli fabrikalardan entegre tesislere kadar bu makinelerden yararlanılmaktadır. İki tipi vardır:

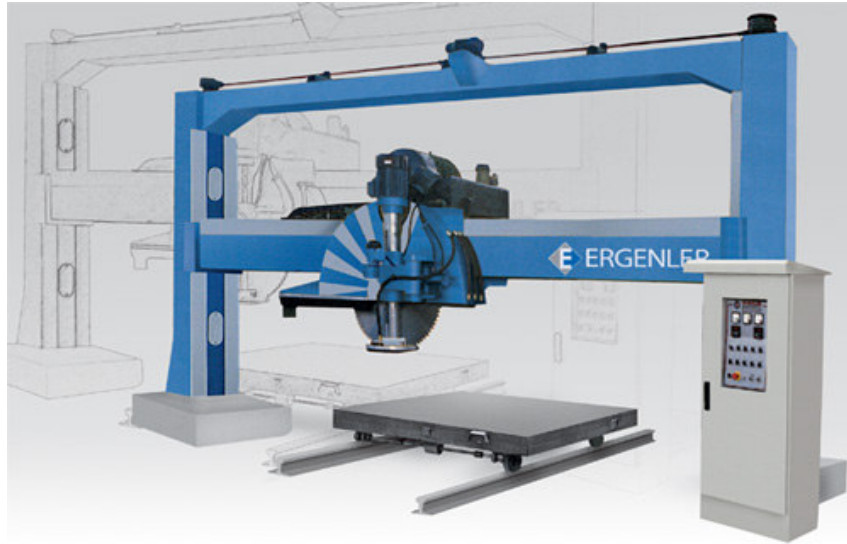
- a) İki ayaklı S/T
- b) Dört ayaklı S/T

Bu makinelerde ortak özellik bir dikey testere, birde yatay testere bulunmasıdır. Dikey olarak 800 mm. çaptan 1800 mm. çapa kadar olan testereleler kullanılmakta, yatay testere ise 350 mm. den 500 mm. çapa kadar testereleler kullanılmaktadır. Bu tezgahlarda dikey testereyi çalıştıran ana motor 75 kW ile 150 kW'a kadar değişmektedir. Yatay testereyi çalıştıran motor ise 25 kW ile 35 kW'a kadar çeşitli güçlerde yapılmaktadır. Bu tezgahlarda hareketler kayış kasnak sistemi ile motordan testereye iletilmektedir.

Kesim için gerekli olan devir sayısı kovan miline bağılı olan kasnağın değiştirilmesi ile ayarlanmakta, elbette bu sistemde istenilen devir sayısı genelde yakalanamamakta, ortalama devir sayısı ile yetinilmektedir. Bu tezgahlarda dikey kesicinin çapına göre 900 dev/dk. İle 650 dev/dk.'lık devirler kullanılmaktadır. Yatay testerede ise ortalama 1700 dev/dk. İle 2500 dev/dk.'lık devirler uygulanmaktadır. (Bağcıvandemir 1997).

2.2.1 İki ayaklı S/T mermer kesme makineleri

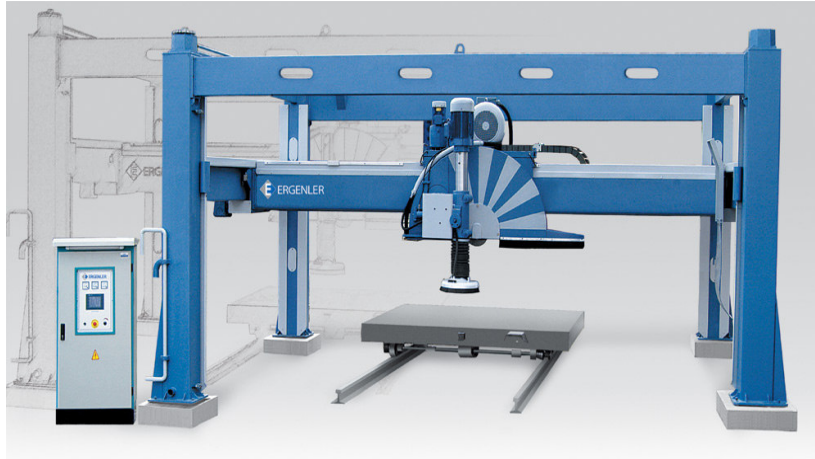
İki ayaklı S/T ler; Bu makineler iki kolon üzerinde bir köprüden oluşmuştur. Kolonlar genelde döküm malzemeden imal edilmiştir. Köprü gövdesi de dökümden yapılan makineler tercih sebebidir. Bu makinelerde dikey ve yatay testerelerinde bulunduğu köprü, sağ sola hareketlidir. Bu hareket çoğunlukla hidrolik sistemle yapılmaktadır. (Bağcıvandemir 1997).



Resim 2.1 İki kolonlu S/T mermer kesme makinesi (İnt. Kyn. 2)

2.2.2 Dört ayaklı S/T mermer kesme makineleri

Bu makinelerde dört adet kolon bulunmakta, bu kolonlar üzerine köprü yerleştirilmiştir. Dört ayaklı S/T’lerde araba sabit hareket ettirilmez. Araba sadece taşın yerleştirilmesinde ve stok sahasında tezgah altına taşın taşınmasında kullanılır.



Resim 2.2 Dört kolonlu S/T mermer kesme makinesi (İnt.Kyn. 3)

Motor ve testereler iki ayaklı S/T tezgahlarında ki gibidir. İki ayaklı S/T de köprü sadece aşağı yukarı hareket edebilmekteyken, dört ayaklı S/T de iki değişik hareketi yapabilir. Dört ayaklı S/T’ler iki ayaklı S/T’lere oranla daha pahalı makinelerdir. Kesim hassasiyeti ise oldukça yüksektir. Bu nedenle ihraç edilecek taşlar genelde dört ayaklı S/T’lerde kesilmektedir. (Bağcıvandemir 1997).

Makine hareketleri mümkün olduğunca operatör müdahalesinden bağımsız kontrol edilebilir olmalıdır. Ne kadar az operatör müdahalesi gerek olursa makine işlemleri o ölçüde çabuk ve hassas yapılabilecektir. Son zamanlarda, mermer kesme ve işleme makinelerinde otomasyona geçilerek, endüstriyel bilgisayarlarla kontrol edilebilen ve kesme hızları invertörlerle düzenlenen makineler sayesinde, üretim miktarlarında ve ürün kalitelerinde artış gözlenmiştir. (Büyüksağış 1998).

2.3 Asenkron Makineler

Asenkron makineler motor olarak, stator sargıları ile aldığı elektrik enerjisini rotorundan dönme hareketi yaparak mekanik enerjiye çeviren ve generatör olarak, rotorundan aldığı dönme hareketi mekanik enerjisini, bazı koşullar altında, stator sargılarında elektrik enerjisine, çeviren elektro-mekanik makinelerdir. (Boduroğlu 1981)

Asenkron motorların dönme sayıları sabit değildir, fakat dönme sayısı yükte az değişir. Dönen diğer elektrik makinelerine kıyasla daha sağlam, daha az bakım isteyen ve daha ucuz makinelerdir. Son yıllarda, yarı iletken güç elektroniğindeki teknolojik gelişmeler ile asenkron makinelerin kontrolü kolayca yapılabilmektedir. Özellikle frekans değiştiricilerinde tristörlerden sonra güç transistorlerinin ve IGBT (kapısı izole iki kutuplu transistor)'lerin kullanılır hale gelmesini burada belirtmek gerekir. Bu gelişmelerle asenkron motorların hızının kontrolü, moment kontrolü ve yumuşak yol verme (softstarting) işlemleri ile bu makineler, diğer üstün yapısal özellikleri ile doğru akım makinelerinin endüstrideki yerini almaya başlamıştır.(Koca 2006)

2.3.1 Asenkron motorun yapısı

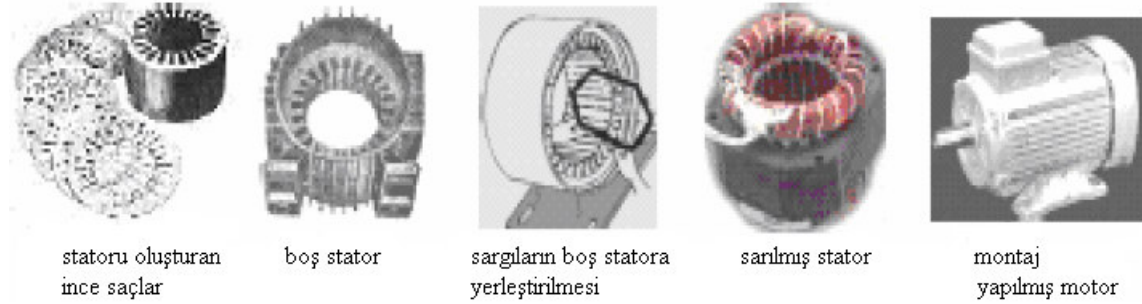
Asenkron makineler başlıca iki kısımdan oluşur;

- Hareket etmeyen stator ve stator sargıları
- Dönme hareketi yapan rotor ve rotor sargıları

Stator, makinenin hareket etmeyen kısmıdır. Statorda magnetik akıyı ileten stator saç paketi ile stator sargıları vardır. Stator saç paketi iki yüzü izole edilmiş 0.5 mm'lik silisyum demir saçların bir araya getirilerek ve basınç altında sıkıştırılması ile elde edilir. İnce saçlar kalıplar kullanılarak büyük presler yardımı ile işlenerek oluklar ve dişlerle birlikte gereken

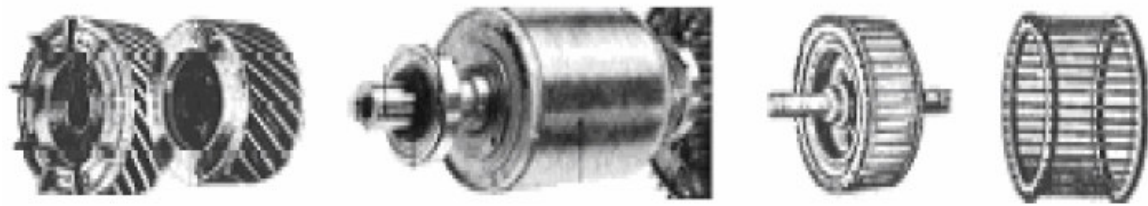
delikler açılarak üretilirler. Oluklar, uygun kalıplar yardımı ile motorun elektrik karakteristiklerine etkiyen değişik biçimde üretilirler. (Sarioğlu, 2003)

Resim 2.3’de üç fazlı, bir asenkron motorun kısımlarını gösteren resimleri verilmiştir. Bu resimde stator gövdesi, saç paketi, stator sargıları ve montajı yapılmış motor görülmektedir.



Resim 2.3 Üç fazlı bir asenkron motoru oluşturan kısımlar (ABB)

Rotor asenkron motorun dönen kısmıdır ve rotor saç paketi ile rotor sargılarından oluşur. Rotor saç paketi 0.5 mm’lik silisyum saçlardan yapılır. Saçların yüzeyleri çok ince bir film tabakası ile yalıtılmıştır. Saçlar özel kalıplarla pres altında oluk, dişler ve sıkıştırma cıvata delikleri oluşacak şekilde saç şeritlerinden kesilerek çıkartılır. Saçlar bir araya getirilerek pres altında sıkıştırılır ve cıvatalarla bu halde kalması sağlanır. Resim 4’de ise sincap kafesli bir rotorun yapısı görülmektedir.(Sarioğlu, 2003)



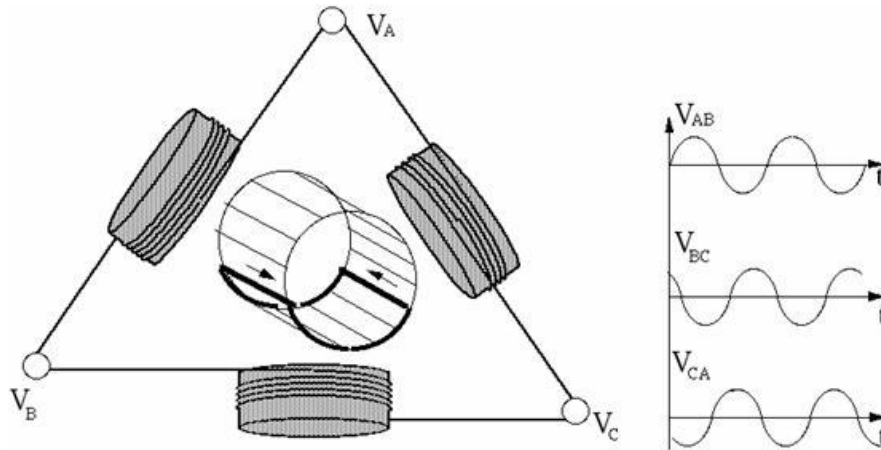
Resim 2.4 Sincap kafesli (kısa devre çubuklu) rotorun yapısı (ABB)

Sincap kafesli motorlarda rotor oluklarına bakır çubuklar yerleştirilir. Bu çubuklar her iki baştan dairesel halkalarla kısa devre edilerek, sincap kafesine benzeyen kendi üzerine kapatılmış bir sargı elde edilir. Sincap kafesli motor sargısı özel kalıplarla rotor oluklarına

basınç altında alüminyum püskürtülerek de üretilir. Böylece üretilen rotor sincap kafesi alüminyumdan yapılmış olur. (Sarıoğlu, 2003)

2.3.2 Asenkron motorun çalışma prensibi

Asenkron motorların stator sargılarına, sargı gerilim değerleri göz önünde bulundurularak (yıldız-üçgen durumu) üç fazlı gerilim uygulandığında, stator sargılarından geçen akımlardan dolayı manyetik stator akı yoğunluğu oluşur. Bu manyetik akı yoğunluğunun çok az bir kısmı kaçak olarak havadan devresini tamamlarken büyük kısmı da stator demir nüvesi üzerinden, stator-rotor arasındaki hava boşluğundan ve rotor demir nüvesi üzerinden devresini tamamlar. Dolayısıyla, hem stator sargılarında hem de rotor sargılarında Faraday yasasına göre gerilim indüklenir. Rotor sargıları kısa devre olduğundan, rotor devresinden kısa devre akımı dolaşır. Rotor akımından dolayı rotor akı yoğunluğu oluşur. Stator sargılarından geçen akımdan dolayı stator döner alanı, rotor sargılarından geçen akımdan dolayı da rotor döner alanı meydana gelir. Stator ve rotor döner alanlarının karşılıklı etkileşimi sonucunda motorda bir dönme torku oluşur. Stator manyetik akı yoğunluğu stator döner alanı yönünde ve hızında, rotor manyetik akı yoğunluğu da rotor döner alanı yönünde ve hızındadır. (Çolak 2001).



Şekil 2.1 Asenkron motordaki üç fazın gösterilişi (İnt.Kyn.4)

2.3.3 Asenkron motorlarda döner alan

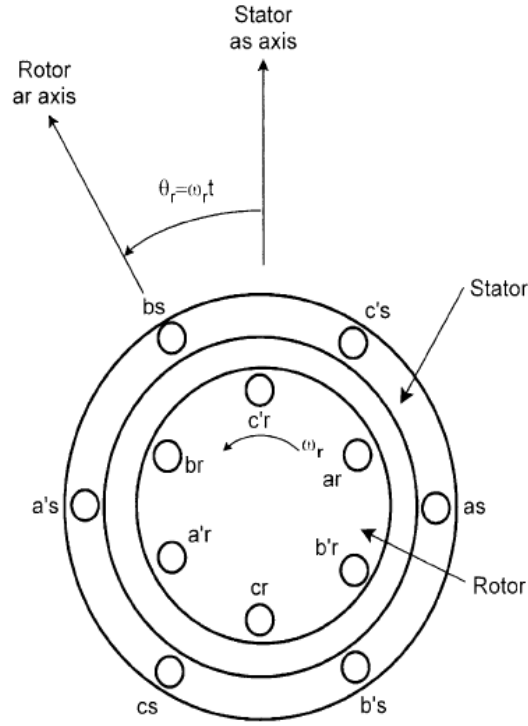
Asenkron motorların çalışmasını kısaca özetlersek:

1. Alternatif akımın uygulandığı stator sargılarında dönen bir manyetik alan olmalıdır.
2. Manyetik alan içerisinde bulunan bir iletken akım geçirilirse o iletken manyetik alanın dışına itilir.
3. Aynı adlı kutuplar birbirini iter, zıt kutuplar birbirlerini çeker.

Döner manyetik alanın meydana gelmesi için birbirinden faz farklı en az 2 tane manyetik alana ihtiyaç vardır. Bunun için üç fazlı motorlarda ;

- a) Üç fazlı stator sargıları stator oyuklarına birbirinden 120° 'lik elektriki açı farkıyla yerleştirilir.
- b) Üç fazlı stator sargılarına, aralarında 120° 'lik faz farkı olan alternatif gerilim uygulanmalıdır. (İnt.Kyn.7)

Aşağıdaki şekilde 3 fazlı dengeli bir güç kaynağının 3 fazlı stator sargılarına uygulandığında senkron bir döner alan oluştuğu görülmektedir.



Şekil 2.2 İdealleştirilmiş 3 fazlı 2 kutuplu asenkron motor (Bose 2002).

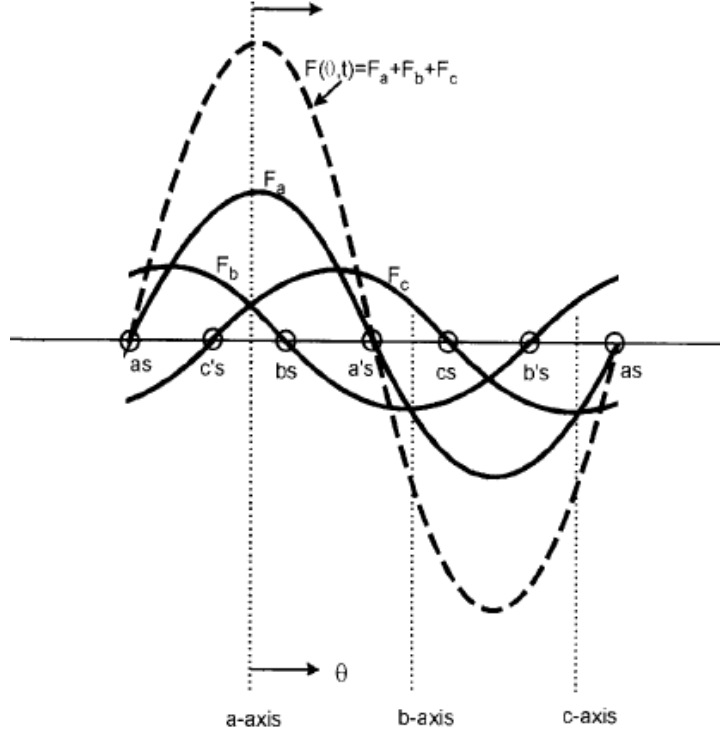
Üç fazlı sinüsoydal akımlarının üç fazlı stator sarımlarının etkisi altında kaldığını düşünürsek,

$$i_a = I_m \cos \omega_e t \quad (2.1)$$

$$i_b = I_m \cos \left(\omega_e t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (2.2)$$

$$i_c = I_m \cos \left(\omega_e t + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (2.3)$$

Her bir faz bobini sinüsoydal olarak dağıtılmış mmf dalgası bağımsız olarak üretecektir. Şekil 2.3 de $i_a = I_m, i_b = -I_m/2$, ve $i_c = -I_m/2$ olduğunda $t = 0$ anındaki mmf dalgaları görülmektedir. (Bose 2002).



Şekil 2.3 Üç fazlı stator sargılarında mmf dağılımı (Bose 2002)

Uzaysal açı θ , ani mmf değerleri aşağıdaki gibi verilir,

$$F_a(\theta) = Ni_a \cos \theta \quad (2.4)$$

$$F_b(\theta) = Ni_b \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.5)$$

$$F_c(\theta) = Ni_c \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.6)$$

Burada N bir faz bobinindeki sarım sayısıdır. Sonuç olarak θ açısındaki mmf aşağıdaki gibi verilir, (2.4) den (2.6) ya olan eşitlikleri (2.7) de yerine koyarsak,

$$F(\theta) = F_a(\theta) + F_b(\theta) + F_c(\theta) = Ni_a \cos \theta + Ni_b \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + Ni_c \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (2.7)$$

$$F(\theta, t) = NI_m \left[\begin{aligned} &\cos \omega_e t \cos \theta + \cos\left(\omega_e t - \frac{2\pi}{3}\right) \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ &+ \cos\left(\omega_e t + \frac{2\pi}{3}\right) \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned} \right] \quad (2.8)$$

(2.8) eşitliğini sadeleştirirsek, $F(\theta, t)$ ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} NI_m \cos(\omega_e t - \theta) \quad (2.9)$$

Eşitlik (2.9) gösteriyor ki tepe değeri $3/2 NI_m$ olan sinüsoydal olarak dağıtılmış mmf dalgası senkron hız ω_e de hava aralığında dönüyor. İki kutuplu bir makinede, $F(\theta, t)$ akım değişiminin her saykılında bir devir yapar. Bunu P kutuplu bir makine için ifade edersek devirsel hız aşağıdaki gibi yazılır. (Bose 2002).

$$N_e = \frac{120f_e}{P} \quad (2.10)$$

Burada N_e rpm olarak senkron hızdır ve $f_e = \omega_e / 2\pi$ Hz. olarak stator frekansdır.

2.3.4 Asenkron motorlarda kayma

Asenkron makinenin çalışma prensibinin endüksiyon yoluyla olduğunu söylemiştik. Rotor iletkenlerinde bir gerilimin indüklenmesi için, stator alanına ait kuvvet çizgilerinin rotor iletkenlerini kesmesi gerekir. Bu sebeple rotor iletkenleri kuvvet çizgilerinin hızından yani döner alanın hızından farklı bir hızla dönmelidir. Rotor senkron hızda dönerse rotor iletkenlerinde bir gerilimin indüklenmesi söz konusu olmaz. Bu sebeple asenkron makinenin enerji dönüşümü yapabilmesi için gerek ve yeter şart, rotor hızının senkron

hızdan farklı olmasıdır. Motor çalışmada, yüklenme ile devir sayısı düşeceğinden rotor hızı daima döner alan hızından düşük olacaktır. Rotor hızı ile senkron hız arasındaki farkı, kayma hızı olarak tanımlanır.(İnt.Kyn.4).

2.3.4.1 Kayma hızı ve kayma

Kayma Hızı: Rotor hızı ile senkron hız arasındaki fark kayma hızı olarak tanımlanır:

$$n_k = n_s - n_r \quad (2.11)$$

n_k : Kayma hızı

n_s : Senkron hız

n_r : Rotor hızı

Kayma: Kayma hızının senkron hıza oranı ise kayma'dır.

$$s = \frac{n_k}{n_s} \quad (2.12)$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (2.13)$$

Rotor senkron hızda dönüyorsa $s=0$

Rotor duruyorsa $s=1$

$$n_r = (1 - s)n_s \quad (2.14)$$

$$\omega_r = (1 - s)\omega_s \quad (2.15)$$

$$n_r = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_r = f \quad (2.16)$$

$$n_r = n_s \Rightarrow s = 0 \Rightarrow f_r = 0 \quad (2.17)$$

$$f_r = sf \quad (2.18)$$

$$f_r = \frac{n_s - n_r}{n_s} f \quad (2.19)$$

2.3.5 Asenkron motorun eşdeğer devre modeli

Asenkron motor büyüklüklerinin hesaplamasında motorun bir fazına ait eşdeğer devrenin çıkarılması genel olarak başvurulan bir yöntemdir. Motora ait elektriksel büyüklüklerin ölçülebilir olması bakımından, transformatörlerde olduğu gibi ASM'un rotor tarafı, stator tarafına dönüştürülerek elde edilen devre kullanılmaktadır. Rotor devresinin stator tarafına dönüştürülmesi demek, rotoru durdurulmuş bir ASM'un rotor gerilimlerini, gerilim dönüştürme oranı “a” ile çarpmak ve rotora ait görünür gücü sabit tutmak demektir.(Sarioğlu 1977).

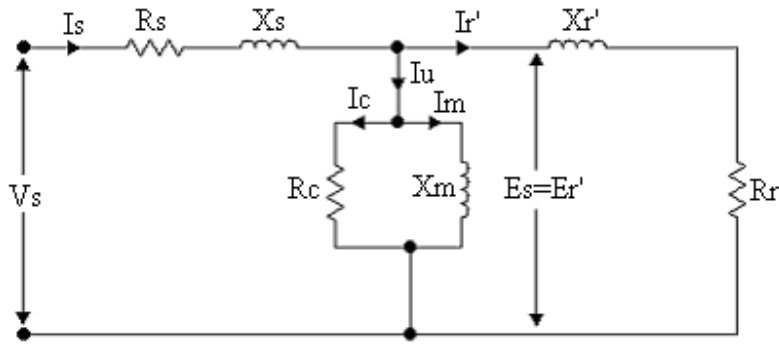
Stator tarafına dönüştürülen direnç, reaktans ve emk değerleri; stator ve rotor sargılarının faz başına sarım sayıları ve sargı faktörlerinin oranları sonucu bulunan dönüştürme oranı, aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.(Boduroğlu 1988).

$$a = \frac{N_s \cdot k_{s1}}{N_r \cdot k_{s2}} \quad (2.20)$$

Eşdeğer devrenin stator bölgesinde, stator direnç ve reaktansı ile boşa çalışma bileşenleri bulunmaktadır. Rotor bölgesinde ise, rotor sargılarının direnç ve reaktansları bulunmaktadır. Bu iki devre, elamanları bakımından bir trafo ile aynıdır. Stator ve rotor sargılarında indüklenen gerilimlerin bir ideal trafonun sargılarında indüklenen gerilimler olduğunu kabul ederek, bu iki devreyi yine ideal bir trafo ile birleştirirsek, trafonun eşdeğer devresinin benzerini elde ederiz. Bu eşdeğer devre, bir trafoyu tam olarak modelleyebilirken, asenkron makine için, elektromekanik enerji dönüşümü yapması

sebebiyle, mekanik yükü modelleyebileceğimiz bir değeri bu eşdeğer devreye katmakla ancak kullanılabilir hale getirebiliriz. Bu değer, yüklenmenin bir ölçüsü olan kayma değeridir. Rotor devresi için, kayma değerini yok sayarak şekilde bir model geliştirmeliyiz. (Chapman 2002)

Dönüştürme oranı ile çarpılarak stator tarafına indirgenen büyüklükler üslü (') olarak gösterilir.



Şekil 2.4 Asenkron motorun (rotor devresi) statora indirgenmiş bir faz eşdeğer devresi
(Çolak 2001)

Burada;

R_s =Stator direnci

X_r' = Rotor reaktansı

X_s =Stator reaktansı

R_r' = Rotor direnci

R_c = Nüve kayıpları direnci

E_s =Stator gerilimi

X_m = Mıknatıslanma endüktansı

E_r' =Rotor gerilimi

Asekron motorun eşdeğer devresindeki stator ve rotor gerilimleri;

$$E_s = 4,44 \cdot N_1 \cdot k_{s1} \cdot f_s \cdot \phi \quad (2.21)$$

$$E_r = 4,44 \cdot N_1 \cdot k_{s2} \cdot f_r \cdot \phi \quad (2.22)$$

Eşdeğer devrede gösterilen stator ve rotor reaktansları;

$$X_s = \omega_s \cdot L_s = 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_s \quad (2.23)$$

$$X_r = \omega_r \cdot L_r = 2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L_r \quad (2.24)$$

Stator ve rotor kaçak reaktansları;

$$X_{s1} = \omega_s \cdot L_{s1} = 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_{s1} \quad (2.25)$$

$$X_{r1} = \omega_r \cdot L_{r1} = 2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L_{r1} \quad (2.26)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadelerdeki L_{s1} ve L_{r1} ;

$$L_{s1} = L_{sm} - L_s \quad (2.27)$$

$$L_{r1} = L_{sm} - L_r \quad (2.28)$$

Eşitlikleri ile bulunurlar. Asenkron motorun çalışmasında kaymanın önemi büyüktür. Bazı durumlarda eşdeğer devre kaymanın durumuna göre de çıkarılabilir.

Motor milinin döndürülmediği (kilitli rotor) durumunda kayma, $s = 1$ dir. Bu çalışma şartlarında :

$$E_s = E_r \quad (2.29)$$

$$f_s = f_r \quad (2.30)$$

$$Z_r = R_r + j X_r \quad (2.31)$$

Eşitlikleri yazılabilir. Motorun normal çalışma durumunda kayma $s < 1$ dir. Bu durumdaki rotor büyüklükleri; aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$E_r' = s \cdot E_r \quad (2.32)$$

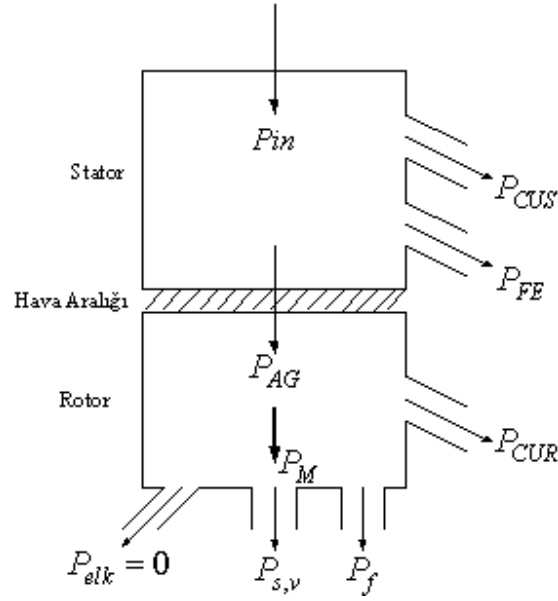
$$f_r = s \cdot f_1 \quad (2.33)$$

$$Z'r = R'r + j(s \cdot X'r) \quad (2.34)$$

ASM' un rotoru senkron hızla dönmüş olsaydı kayma $s = 0$ olacaktı. Bu durumda $E_r' = s \cdot E_r$ ifadesinden rotor sargılarında gerilim indüklenmeyeceğinden rotor sargılarından akım geçmeyecek ve moment(tork) sıfır olacaktı. (Korkmaz 2005)

2.3.6 Asenkron motorlarda güç ve moment

Üç fazlı asenkron motorların stator sargılarına uygun değerde gerilim uygulandığında herhangi bir kontrol ünitesine gerek kalmadan motor çalışır. Uygun gerilim değeri ise motorun bağlantı durumuna göre değişir. Sargı bobinleri 380 V'a göre yapılmış bir asenkron motor yıldız üçgen çalıştırılacaksa, 380 voltluk bir şebeke gerilimi her iki çalışma durumu içinde uygundur. Motor çalışırken şebekeden P_{in} girişi gücünü çeker. Bu giriş gücü, statorda bakır ve demir kayıplarına uğradıktan sonra stator-rotor arasındaki hava boşluğundan rotora aktarılır. Rotor devresinde de bakır kayıpları, demir kayıpları, rüzgar kayıpları, sürtünme kayıpları ve kaçak yük kayıplarına uğrayan güç, mile yük gücü veya mekanik güç olarak aktarılır. Ancak rotor demir kayıpları diğer kayıplar yanında çok küçük olduğundan, rotor devresinde gösterilmez. Motor toplam demir kayıpları stator tarafında stator demir kaybı olarak gösterilir. Bu açıklamalar ışığı altında bir asenkron motorun güç akış diyagramını aşağıdaki gibi gösterebiliriz. (Çolak 2001)



Şekil 2.5 Asenkron motorun güç akış diyagramı (Chapman 2002)

Burada;

P_{in} : Şebekeden alınan güç

P_{CUS} : Stator bakır kayıpları

P_{CUR} : Rotor bakır kayıpları

P_{FE} : Stator+rotor demir kayıpları

P_{AG} : Hava aralığı gücü (Statordan rotora intikal eden güç)

P_M : Endüklenen mekanik güç

$P_{s,v}$: Sürtünme+vantilasyon kayıpları

P_f : Milden alınan mekanik güç

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot E_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi \quad (2.35)$$

$$P_{CUS} = 3 \cdot I_s^2 \cdot R_s \quad (2.36)$$

$$P_{CUR} = 3 \cdot I_r^2 \cdot R_r \quad (2.37)$$

$$P_{FE} = 3 \cdot \frac{E_s^2}{R_C} \quad (2.38)$$

$$P_{AG} = P_{in} - (P_{CUS} + P_{FE}) \quad (2.39)$$

$$P_{AG} = 3 \cdot I_r^2 \frac{R_r}{S} \quad (2.40)$$

$$P_M = P_{AG} - P_{CUR} \quad (2.41)$$

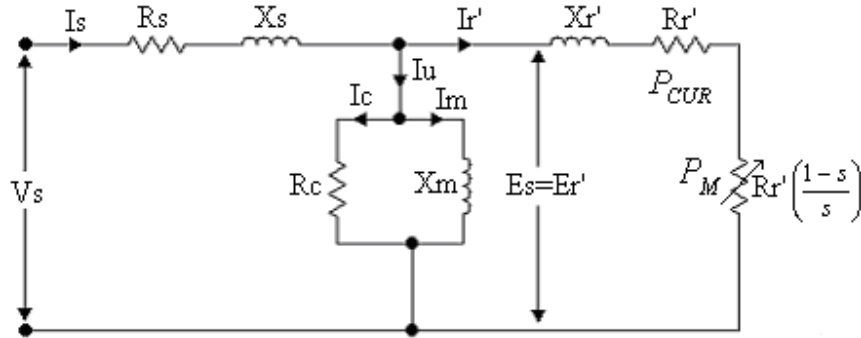
$$P_f = P_M - P_{s,v} \quad (2.42)$$

$$P_{CUR} = s \cdot P_{AG} \quad (2.43)$$

$$P_M = P_{AG} - P_{CUR} = (1-s)P_{AG} \quad (2.44)$$

$$= 3I_r^2 \cdot \frac{R_r}{S} - 3 \cdot I_r^2 \cdot R_r = 3 \cdot I_r^2 \cdot R_r \cdot \left(\frac{1}{S} - 1 \right) = 3 \cdot I_r^2 \cdot R_r \cdot \left(\frac{1-s}{S} \right) \quad (2.45)$$

İndüklenen güç ifadesine bakıldığında, rotor direnci iki kısma ayrılabilir. Birinci direnç rotor bakır kayıplarına, ikinci direnç ise indüklenen mekanik güce karşılık gelir. Bu eşdeğer devre aşağıda gösterilmiştir.(Chapman 2002).



Şekil 2.6 Asenkron motorun rotor devre direncinin iki kısma ayrılmış durumdaki eşdeğer devresi (Chapman 2002)

Stator tarafı empedansı (Z_s) üzerinde düşen gerilim V_s 'ye göre çok küçük olacağından ihmal edilerek, (ayrıca $Z_m \gg Z_s$ olduğundan) R_c ve X_m empedansı öne alınarak rotora V_s

gerilimi direk uygulanırsa; sekonder tarafına aktarılmış rotor akımı ifadesi ile hesaplanabilir. (Korkmaz 2005).

$$I_r' = \frac{E_s}{Z_g} = \frac{E_s}{\left(R_s + \frac{R_r'}{s}\right) + j(X_s + X_r')} \quad (2.46)$$

Toplam rotor giriş gücünün $P_g = 3 \cdot (I_r')^2 \cdot R_r' / s$ ve moment değerinin P_g / ω_s olduğu göz önüne alınırsa ; aşağıdaki ifade elde edilir.

$$M_d = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{E_s^2}{\left[\left(R_s + \frac{R_r'}{s}\right)^2 + (X_s + X_r')^2\right]} \cdot \frac{R_r'}{s} \quad (2.47)$$

Kaymanın durumuna göre moment ifadesini yazmak mümkündür:

Kaymanın sıfıra yakın olduğu bölgede ($s \approx 0$) çok büyük olan R_r' / s yanında; R_s , X_s ve X_r' ihmal edilerek döndürme momenti ; (Sarioğlu 1977)

$$M_d = \frac{3 \cdot E_s^2}{\omega_s \cdot R_r'} \cdot s \quad \text{olur. Burada, } \frac{3 \cdot E_s^2}{\omega_s \cdot R_r'} = A \quad \text{kabul edilirse moment;}$$

$$M_d = A \cdot s \quad (2.48)$$

Şeklinde yazılarak yukarda ki eşitlik moment ifadesi elde edilebilir. Burada stator gerilimi, rotor direnci ve senkron hız sabit olduğundan küçük kaymalarda momentin kayma ile doğrusal değiştiği sonucuna varılır.

$s \approx 1$ olduğu durumda; rotor devri $n_r = 0$ dır. Bu bölgedeki momente kalkış momenti, akıma da yol alma akımı denir.(Boduroğlu 1988).

$$M_d = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{E_s^2}{\left[(R_s + R_r')^2 + (X_s + X_r')^2 \right]} \cdot R_r' \quad (2.49)$$

Eş. 2.47 ifadesinde, $s = 1$ yazılarak ; yukarda ki eşitlik ifadesi elde edilir. $s = 1$ için Şekil 2.4' deki eşdeğer devreden; aşağıdaki ifadesi elde edilir.

$$I_r = \frac{E_s}{\sqrt{(R_s + R_r')^2 + (X_s + X_r')^2}} \quad (2.50)$$

Bu ifadeden ASM' un yol alma ya da kalkış momentinin rotor direnci R_r' ye bağlı olduğu R_r' nin büyütülmesi ile kalkış momentinin artırılabilceği görülmektedir.

Eş. 2.51 ile ifade edilen momentin kaymaya göre türevinin sıfır olmasını sağlayan moment değerinde kayma maksimumdur (Sarul 1993).

$$\frac{d}{d_s} \cdot M_d = 0 \quad (2.51)$$

koşulu en büyük momentin elde dileceği kayma değerini vereceğinden, bu şartlarda $R_s \ll R_r' / s$ olacağından ve $R_s \approx 0$ alınabilir. Bu durumda maksimum momentteki maksimum kayma ifadesi yaklaşık olarak; (Çolak 2001).

$$s = s_m \cong \pm \frac{R_r'}{X_s + X_r'} \quad (2.52)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Yukarıdaki türev işlemlerinde kaymanın birinci türevinin sıfır, ikinci türevinin negatif olduğu görülür. Yukarda ki eşitlik ile hesaplanan kaymaya 'devrilme kayması' da denir. $s = s_m$ yazılarak maksimum moment; aşağıda ki ifade ile bulunabilir.(Korkmaz 1993).

$$M_{\max} = \frac{3 \cdot E_s^2}{2 \cdot \omega_s \cdot (X_s + X_r')} \quad (2.53)$$

Buradan üç fazlı ASM' larda maksimum momentin kaymaya ve rotor direncine bağlı olmadığı görülür. Yukarıda ki eşitlik ifadesine göre moment stator geriliminin karesine ve kaçak reaktanslara bağlıdır. (Korkmaz 1993).

Kaçak reaktanslar küçültülürse maksimum moment büyür. Anma gerilimi ve frekansında çalışan bir ASM'un maksimum moment, anma momentinin 1,6 katından küçük olmamalıdır (Sarioğlu 1977).

Yukarıda ki eşitlik ile ifade edilen formülde , ω_s ve $(X_s + X_r')$ değerleri f_s ile orantılı olduğundan E_s ve f_s dışındaki ifadeler “K” gibi bir katsayısı içinde toplanırsa, maksimum moment için aşağıdaki eşitlik ifadesi elde edilir. (Korkmaz 2005).

$$M_{\max} = K \cdot \left(\frac{E_s}{f_s} \right)^2 \quad (2.54)$$

Buradan E_s / f_s sabit tutularak stator gerilimi ve frekansının birlikte değiştirilmesi ile maksimum momentin sabit kaldığı görülmektedir. ASM' lar için yukarıda yazılan ifadeler şu kabullerin yapılması durumunda geçerlidir.

- Uygulanan gerilim dengeli ve sinüsoidal olmalıdır.
- Hava aralığındaki uzay harmoniklerinin temel dalga dışındaki bileşenleri ihmal edilmiştir.
- İlave kayıplar ve harmonik momentleri ihmal edilmiştir.
- Manyetik doyma ihmal edilmiştir. (Korkmaz 1993).

2.3.7 Asenkron motorlara yol verme metotları

Asenkron motorlar üç fazlı sistemden beslenir ve sargılan 220 V veya 380 V değerindeki gerilime göre sarılırlar. Özel durumlarda sargılara uygulanacak gerilim farklı değerlerde olabilir. Eğer motor tam yük altında üçgen çalışacak şekilde imal edildiyse, motorun stator sargıları direkt olarak 380 V gerilime göre sarılırlar. Tam yük altında yıldız çalışacak şekilde imal edilen motorların stator sargıları ise 220 V gerilime göre sarılırlar. Sargılara uygulanan bu gerilim, sargı empedanslarının küçük olması nedeniyle kalkınma anında çok fazla akım çekilmesine neden olur. Motor ilk kalkınma anında rotor dönmediği için sekonderi kısa devre edilmiş bir trafo gibi çalışır. Dolayısıyla rotor devresinden ve buna bağlı olarak stator devresinden kalkınma ,anında yaklaşık olarak tam yük akımının 4-8 katı kadar bir akım çekilir. Kalkınma torkları ise tam yük torkunun 2-3.5 katı kadardır. Bundan dolayı asenkron motorlar genellikle boşa çalıştırılıp, anma hız değerlerine ulaşıldıktan sonra yüklenirler. Asenkron motorların kalkınma anında fazla akım çekmesi kumanda devresinde kullanılacak elemanlar ve iletkenlerin maliyetini artıracığından, bazı yöntemler yardımıyla kalkınma akımı belirli değerlerde tutulur. Bu yöntemlerin ana prensibi, stator sargılarına düşük gerilim uygulamaktır. Bu maksatla aşağıdaki metotlar kullanılır:(Çolak 2001)

1. Motora yıldız-üçgen yol verilir.
2. Stator sargılarına ön direnç bağlanır.
3. Stator sargıları ayarlı üç fazlı bir güç kaynağından beslenir.
4. Rotoru sargılı asenkron motorlarda, rotor sargılarına harici dirençler bağlanır. Sincap kafesli asenkron motorlarda ise rotor yapıları uygun şekilde imal edilerek kalkınma anında rotor etkin direncinin büyük olması sağlanır.

2.3.8 Asenkron makinenin temel kontrol ilkeleri

Endüstriyel uygulamaların çoğunda değişken hızlı tahrik sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir asenkron makinenin kontrolü temel olarak şu büyüklükler değiştirilerek gerçekleştirilir:

1. Stator uç gerilimi
2. Stator sargısı kutup çifti sayısı
3. Stator frekansı

Bu üç yöntemden kısaca bahsetmek gerekirse; stator uç geriliminin değiştirilmesi yöntemiyle yapılan hız kontrolü ancak dar bir aralıkta olur. İndüklenen moment, gerilimin karesiyle orantılıdır. Uygulaması basit bir yöntem olup hızın karesi ile değişen yük momentli tahrik sistemleri için uygundur.(Humphries 1988)

Kutup sayısının değiştirilmesini esas alan yöntem, kademeli bir hız kontrolü sağlar. Kademe değişimlerinde akım sıçramaları oluşur, istenilen her hız değerine ulaşamaz ve en önemlisi de yöntemin sadece özel yapıdaki motorlarda kullanılması mümkündür.

Stator frekansı değiştirilerek yapılan kontrol ise;

$$n_s = \frac{f_s}{p} \quad (2.55)$$

senkron hızının değiştirilmesini esas alır. Motorun hızı arttırılmak istendiğinde frekans arttırılır, bu durumda indüklenen moment azalacaktır. Makinenin uç gerilimini frekans ile birlikte arttırmak bu sakıncayı ortadan kaldırır. Hız kontrol aralığı sıfır ile makinenin mekanik yapısı arasında olur. Frekans değiştirilerek yapılan hız kontrolünde doğrudan ve ara devreli frekans çeviriciler kullanılır.(Chapman 2002).

Ara devreli frekans çeviriciler yapısal olarak bir doğrultucu, bir ara devre ve bir dc eviriciden oluşurlar ve ara devrenin yapısına göre akım ara devreli ve gerilim ara devreli olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Gerilim ara devreli çeviriciler ise doğrultucu tipine göre sabit gerilim ara devreli (SGAFÇ) ve değişken gerilim ara devreli (DGAFC) olmak üzere kendi arasında ikiye ayrılır. SGAFÇ'de frekans ve gerilim evirici üzerinden değiştirilirken DGAFC'de ise gerilim doğrultucu, frekans ise evirici üzerinden değiştirilir.

Gerilim aradevreli eviricilerle sürülen asenkron motorlarda kontrol edilebilen büyüklükler stator geriliminin etkin değeri, frekans ve faz farkıdır. Makinede bu büyüklüklerin uygun seçilmesi ile hız ve moment kontrolü yapılabilir. Genelde iki tür kontrol yöntemi vardır. (Humphries 1988).

- a) Skaler kontrol (V/f kontrol
- b) Vektörel kontrol

2.3.8.1 Skaler kontrol (V/F kontrol)

Motordaki manyetik alan sabit bir değerde tutulmuş haldeyken sürekli halde hızın yada momentin kontrolüne olanak sağlayan kontrole skaler kontrol adı verilir. Bunun nedeni kontrol edilen stator akım ve gerilimi sinüzoidal olarak kabul edilmesi ve sadece bunların genlik ve frekanslarının değiştirilmesidir. Belli bir eksen takımına göre açısız konumlarda bir değişiklik ise söz konusu değildir. (Humphries 1988)

Pratikte en çok kullanılan skaler kontrol yöntemi sabit Volt/Hertz (V/f) kontrolüdür. Bu isim motorda sabit olarak kabul edilebilecek bir akı elde etmek amacıyla stator geriliminin frekansla orantılı bir şekilde değiştiriliyor olmasından gelir. V/f yöntemi esas olarak statorun hareketi manyetik alanın hızını frekansı değiştirerek kontrol etmeyi içerir. Motorda

oluşan moment sadece kayma hızına bağlıdır. Sadece akı geri beslemesi gerektiğinden kontrol sistemi oldukça basittir.

Başka bir skaler kontrol yöntemi olarak da "Moment kontrolü" tekniği kullanılır. Bu yöntemde yine manyetik alan sabit tutulurken stator akımlarının genlik ve frekansları değiştirilerek sürekli hal moment değeri kontrol edilir. Bu durumda, hız geri beslemesi akım geri beslemesiyle desteklenmelidir. Bu da sistemi, V/f yöntemine göre biraz daha karmaşık bir hale sokar.(Chapman 2002).

V/f kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için motorun beslendiği güç kaynağının, değişken genlik ve frekansta gerilimler üretebilecek özellikte olması gerekir. Motoru inverter ile sürmek için motorun geçici durumunu da dikkate almak gerektiğinden, motora ait bir geçici durum matematiksel model kurulmalıdır. Bunun için motor denklemlerinin α - β referans çatı ekseninde yazılması yeterlidir. Motorun, stator referans çatısında stator ve rotor gerilim denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.(Krause 1986).

$$U_{s\alpha} = R_s I_{s\alpha} + \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} \quad (2.56)$$

$$U_{s\beta} = R_s I_{s\beta} + \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} \quad (2.57)$$

$$U_{r\alpha} = R_r I_{r\alpha} + \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + \omega_r \psi_{r\beta} \quad (2.58)$$

$$U_{r\beta} = R_r I_{r\beta} + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \omega_r \psi_{r\alpha} \quad (2.59)$$

Burada $U_{s\alpha\beta}$, $U_{r\alpha\beta}$; $I_{s\alpha\beta}$, $I_{r\alpha\beta}$ ve $\Psi_{s\alpha\beta}$, $\Psi_{r\alpha\beta}$ sırasıyla stator ve rotorun gerilim, akım ve akı vektörleridir. R_s ve R_r ise stator ve rotorun dirençleridir. Stator ve rotorun akı bileşenleri, yine stator ve rotorun akım vektörleri cinsinden ifadesi:

$$\psi_{s\alpha} = L_s I_{s\alpha} + L_m I_{r\alpha} \quad (2.60)$$

$$\psi_{s\beta} = L_s I_{s\beta} + L_m I_{r\beta} \quad (2.61)$$

$$\psi_{r\alpha} = L_r I_{r\alpha} + L_m I_{s\alpha} \quad (2.62)$$

$$\psi_{r\beta} = L_r I_{r\beta} + L_m I_{s\beta} \quad (2.63)$$

şeklindedir. Burada L_s ve L_r sırasıyla stator ve rotorun öz endüktansları, L_m ise stator ve rotor arasındaki ortak endüktanstır. Denklem (2.60-2.61)-(2.62-2.63)'ten stator ve rotor akımları, stator ve rotor akıları cinsinden ifade edilecek olursa;

$$I_{s\alpha} = \frac{1}{\sigma L_s L_r} (L_r \psi_{s\alpha} - L_m \psi_{r\alpha}) \quad (2.64)$$

$$I_{s\beta} = \frac{1}{\sigma L_s L_r} (L_r \psi_{s\beta} - L_m \psi_{r\beta}) \quad (2.65)$$

$$I_{r\alpha} = \frac{1}{\sigma L_s L_r} (L_s \psi_{r\alpha} - L_m \psi_{s\alpha}) \quad (2.66)$$

$$I_{r\beta} = \frac{1}{\sigma L_s L_r} (L_s \psi_{r\beta} - L_m \psi_{s\beta}) \quad (2.67)$$

$$\sigma = \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_s L_r} \quad (2.68)$$

Burada σ 'ya kaçak akı katsayısı denilmektedir. Motorun stator ve rotor akımları cinsinden ürettiği elektromanyetik moment ise şu şekilde ifade edilebilir.

$$T_e = 3 \frac{P}{2} L_m (I_{s\beta} I_{r\alpha} - I_{s\alpha} I_{r\beta}) \quad (2.69)$$

Burada T_e motorun ürettiği elektromanyetik moment, P motorun kutup sayısıdır. Motorun mekaniksel dinamiği üretilen moment cinsinden şu şekilde ifade edilir.

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_e - T_L - B\omega_m \quad (2.70)$$

$$\frac{2}{p} \omega_r = \omega_m \quad (2.71)$$

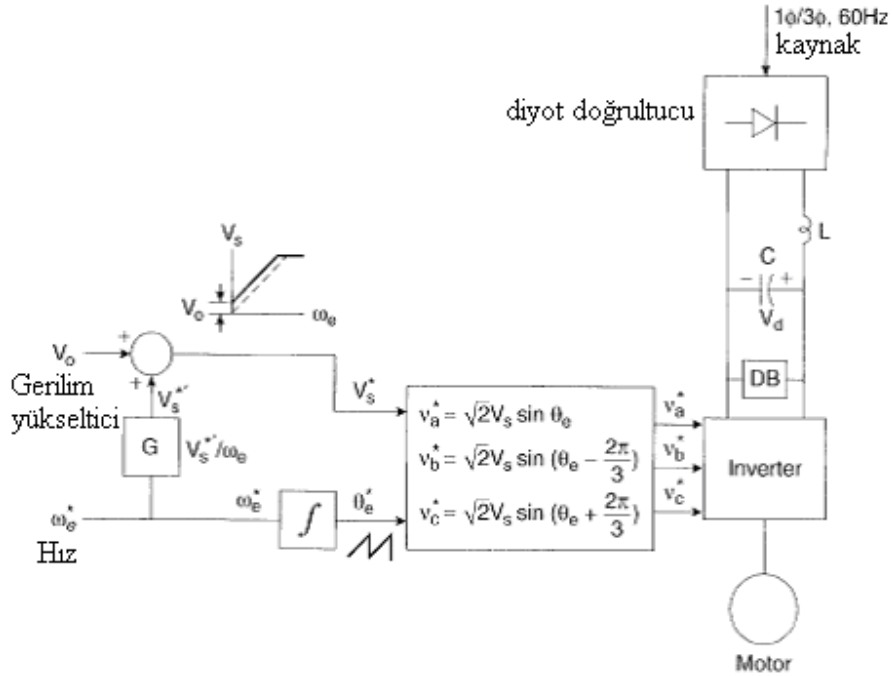
Burada J motorun ataleti, T_L yük moment, B sürtünme katsayısı, ω_r motorun elektriksek hızı ve ω_m motorun mekaniksel hızıdır. Denklemler (2.60)-(2.70) çözülecek olursa motora ait hem geçici durum hem de sürekli durum sonuçları elde edilir. (Deniz ve Altun 2006).

2.3.8.2 Açık döngü V/F kontrol

Açık çevrim skaler kontrole ilişkin sürücü devre, şebeke yanında bir veya üç fazlı kontrollü doğrultucu, L (endüktif) ve C (kapasitif) filtre elemanlarından oluşan ara devre ve eviriciden oluşur. Eviriciye uygulanan kontrol işareti frekans referansından gelmektedir. Gerilimin genliği için kontrollü doğrultucuya, kontrol işareti, frekans referansının belli bir katı olacak şekilde uygulanmaktadır. Frekansın ve dolayısı ile hızın çok düştüğü çalışma noktalarında statora uygulanan gerilim de çok düşecektir. Bu durumda stator direnci üzerindeki kayıplar artık ihmal edilemez bir noktaya gelecektir. Bu nedenle yardımcı bir V_0 gerilimi kontrollü doğrultucunun kontrol işaretine eklenerek stator kayıpları kompanze edilir. Böylece anma hava aralığı akışı ve maksimum moment, hızın yaklaşık sıfır olduğu noktaya kadar sağlanabilir. (Boduroğlu 1981).

Sürekli rejimde çalışmada eğer yük moment artarsa, hız azalacak ve kayma büyüyecektir. Artan yük momentine göre sistem yeni çalışma noktasında dengeye gelecektir. Bu tip açık çevrim çalışmada, frekans referansı ani olarak (basamak biçiminde) arttırılıp, azaltılırsa motor devrilme moment noktasını aşar ve kararsız çalışma bölgesine geçebilir. Bunu önlemek için akımdan geri besleme alınarak, frekans referansındaki basamak biçimli artış ve azalışlar olduğunda, evirici kontrol işaretinin daha yavaş biçimde değişmesi sağlanabilir.

Böylece motorun, frekans değişimlerini, kararlı çalışma bölgesinin dışına çıkmadan izlemesi sağlanabilir.(İnt.Kyn.8).



Şekil 2.7 Gerilim beslemeli inverterli açık döngü V/F hız kontrolü (Bose 2002)

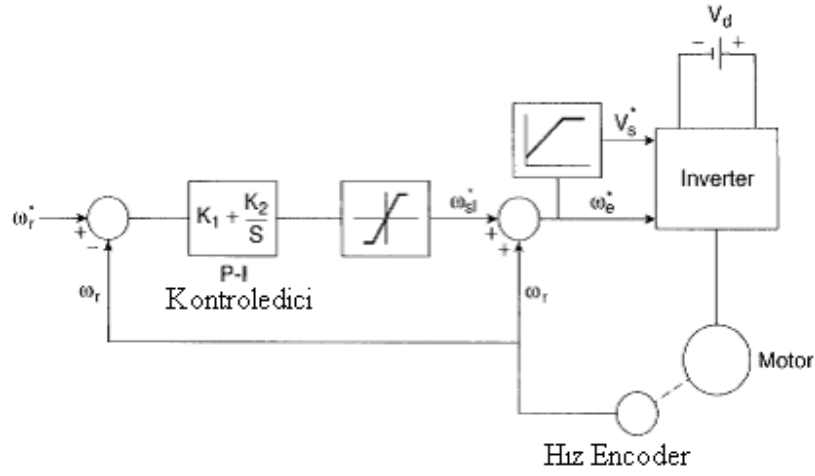
Şekilde V/f hız kontrol metodunun blok diyagramı görülmektedir. Güç devresi tek fazlı veya üç fazlı AC kaynak, LC filtre ve PWM gerilim beslemeli inverter ile bir diyot doğrultucudan oluşmaktadır. İdeal olarak kontrol için geri besleme sinyaline ihtiyaç yoktur. ω_e frekansı ilk kontrol değişkenidir, çünkü makinenin küçük kayma frekansı ω_{sl} 'i ihmal edersek yaklaşık olarak ω_r hızına eşittir. Faz gerilimi V_s direk olarak şekilde gösterildiği gibi G kazanç faktörüyle frekans girişinden üretilir, böylece ψ_s akısı sabit kalır. Makinenin stator direnci ve kaçak indüktansı ihmal edilirse, akı ψ_m hava aralığı akısına veya ψ_r rotor akısına eşit olacaktır. Frekans düşük hızlarda küçük olduğundan, stator direnci üzerine stator geriliminin büyük kısmı düşecektir, böylece akı zayıflayacaktır. Artırıcı gerilim V_0 eklenir ve böylece nominal akı ve karşılık gelen tam momentin sıfır hıza düşmesi sağlanmış olur. Dikkat edersek artırıcı gerilimin etkisi yüksek frekanslarda ihmal edilebiliyor. ω_e sinyali θ_e açısını oluşturmak için integre ediliyor ve uygun sinüzoidal faz gerilimleri (V_a ,

V_b , ve V_c sinyalleri) şekilde gösterilen ifadelerle oluşturuluyor. PWM kontrol edicide inverter bloğuyla birleştirilmiştir.(Bose 2002).

Açık çevrim kontrolde şebeke gerilimdeki dalgalanmalar, evirici çıkış gerilimine de yansiyarak hava aralığı akışında dalgalanmalara neden olup, moment ve hız salınımlar yaratabilmektedir. Yine açık çevrim kontrolde motorun yük alma ve yük atma durumlarında hızının değişmesi engellenemez. Bu tip sakıncaların önüne geçmek için kapalı çevrim kontrollü sürücüler oluşturulmaktadır. (İnt.Kyn.8)

2.3.8.3 Kapalı çevrim V/F kontrol

Kapalı çevrim kontrolde sürücü, sabit gerilim ara devreli frekans çevirici olabilir. Motora uygulanacak gerilimin genliği ve frekansı darbe genişlik modülasyonu ile evirici üzerinden kontrol edilebilir. Hıza ilişkin geri besleme işareti tako generator ve döner kodlayıcı (encoder) üzerinden alınıp, referans değeri ile karşılaştırılarak elde edilen hata işareti G1 kontrolörüne uygulanır. G1 kontrolörü çıkışındaki işaret frekans referansı olarak alınıp, akımdan gelen geri besleme işareti ile toplanarak G2 kontrolörüne aktarılır. G2 çıkışında motora uygulanacak frekansa ilişkin kontrol işareti elde edilmektedir. Bundan aynı zamanda gerilim için kontrol işareti de, düşük frekanslardaki stator kayıpları kompanzatörünü de içeren V_s / f_s fonksiyon generatoru bloğu üzerinden elde edilir. G1 ve G2 PI tipi kontrolörler olabilir. kapalı çevrim kontrolde motor akımından da geri besleme alınmaktadır. Böylece hız referansındaki basamak biçimli artış ve azalmalarda, frekans kontrol işaretinin referansı daha yavaş izlemesi sağlanıp, motorun devrilme momentini aşarak, kararsız çalışma bölgesine geçmesi önlenir. Yani rotor hızının, moment-hız öz eğrisindeki değişimleri, lineer çalışma bölgesi içinde kalarak izlemesi sağlanır. Stator akımından alınan geri besleme ile aynı zamanda, sürücü sistemi ve motorun, aşırı yüklenme ve aşırı akımlara karşı korunması da sağlanır.(İnt.Kyn.8).



Şekil 2.8 İnverterli kapalı döngü V/F hız kontrolü (Bose 2002)

Açık çevrim V/f kontrolün bir ilerişi şekil 2.8 de gösterildiği gibi kayma sistemli kapalı döngü hız kontrolüdür. Burada, hız döngü hatasını bir oransal-integral (P-I) kontrol edici ve sınırlayıcı vasıtasıyla ω_{sl} kayma komutu oluşturur. Kayma şekilde ki gibi frekans komutu oluşturmak için geri besleme hız sinyaline eklenir. ω_e frekans komutu aynı zamanda V/f fonksiyon jeneratöründen gerilim komutunu oluşturur. Çünkü sabit akıda kayma torkla orantılıdır. Tasarı bir hız kontrol döngüsü içinde açık döngü bir tork kontrol olarak düşünülebilir. Geri besleme akım sinyali döngünün her yerinde kullanılmaz. Bir artırıcı hız komutuyla, makineyi stator akımı veya tork sınırına karşılık gelen bir kayma sınırıyla serbestçe hızlandırır, ve daha sonra yük torkuyla zorlanarak sabit durumda kayma değerine yerleşir. ω_r hız komutu bir basamak azaltılırsa motor hızı düzelir veya dinamik frenlemeye girer ve sabit bir negatif kaymayla $-\omega_{sl}$ yavaşlar. (Bose 2002)

2.3.8.4 Vektörel kontrol

Serbest uyarmalı doğru akım makineleri hız kontrolünün kolayca yapılabilmesi nedeni ile sanayide yaygın olarak kullanılan değişken hızlı kontrol sistemleri sınıfında, uzun bir süre rakipsiz kalmıştır. Ancak bu makinelerin en büyük dezavantajları olan komütatör ve fırça yapısı, makinenin hem belirli aralıklarda bakım gereksinimine hem de fırça kollektör teması nedeni ile patlayıcı, parlayıcı ve tozlu ortamlarda kullanılamamasına, yüksek devir sayılarına ve yüksek gerilimlere çıkılamamasına neden olmuştur. Bütün bu dezavantajları nedeni ile değişken hızlı tahrik sistemlerinde doğru akım makinesi yerine, güvenle kullanılacak başka bir makinenin yerleştirilebilmesi için mikro elektroniğin günümüzde ulaşmış olduğu teknolojik seviyeye gelmesinin beklenmesini gerektirmiştir. Asenkron makineler sağlam yapıları, bakım gerektirmemeleri, yüksek güç / ağırlık oranları ve her türlü ortam koşullarında çalışabilmeleri gibi üstün özellikleri nedeniyle uzun süreden beri kullanılmakta ve endüstrinin ilgisini çekmekteydiler, fakat doğru akım makineleri ile kontrol açısından rekabet edebilmeleri ancak mikro elektronik alanındaki önemli gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur. Bu gelişmeler sayesinde, karmaşık kontrol ve dönüşüm algoritmalarını yüksek hızlarda uygulayabilen büyük kapasiteli mikro kontrolörlerin tasarlanmış olması yanı sıra, yine artan güç ve hızda güç elektroniği anahtarlama elemanlarının üretimi ile mümkün olmuştur. Asenkron makinelerin kontrolüne ilişkin diğer bir problem de sinüzoidal sargı akımları oluşturmak üzere bağlandıkları eviriciden kaynaklanan akım harmonikleridir. Bu harmonikler motor sargılarındaki ilave ısınmanın yanı sıra makinenin momentinde oluşturdukları harmonik momentlerinin salınım etkisi nedeni ile makinenin bağlı olduğu mekanik sistemlerde vurutulara ve hızda da dalgalanmalara yol açmaktadırlar. Günümüz güç elektroniği anahtarlama elemanları olarak çoğunlukla kullanılan IGBT'ler ile yaklaşık 20 kHz anahtarlama frekanslarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Hızlı anahtarlama elemanlarının kullanımı ile bu elemanlardan oluşturulan eviriciler üzerinden beslenen makinede harmonik akımları ve dolayısı ile, harmonik momentleri etkisi azalmaktadır. Asenkron makinenin karmaşık kontrol ve dönüşüm algoritmaları gerektirmesinin nedeni makinenin doğrusal olmayan yapısından kaynaklanmaktadır. Oysa serbest uyarmalı doğru akım makinesi doğrusal bir kontrol

yapısına sahiptir. Bunun nedeni akıyı ve momenti oluşturan akım bileşenlerinin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmesidir. Bu sayede akı sabit tutulduğunda, moment kendini oluşturan akım bileşeni ile doğrusal olarak kontrol edilmektedir. Momentin akım ile kontrolü, moment değişimlerinde hızlı cevap sağlar. Serbest uyarmalı doğru akım makinesinin endüvi reaksiyonu, doyma ve histerisiz etkilerinin ihmal edildiği durumdaki matematiksel modeli aşağıdaki gibi yazılabilir. (Patino, 2000).

$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (2.72)$$

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (2.73)$$

Bu modelde sırasıyla V_f , R_f , i_f , L_f uyarma devresi gerilim, direnç, akım ve indüktansını, V_a , R_a , i_a , L_a , e_b endüvi devresi gerilim, direnç, akım ve indüktansı ile ters emk'yı temsil etmektedir. Makinenin uyarma akısının uyarma akımı ile aşağıdaki gibi doğrusal olarak değiştiği varsayımıyla,

$$\psi = L_f i_f \quad (2.74)$$

Yazılabilir. Makinenin ters elektromotor kuvveti (e_b), e_b , emk sabiti k'_b olmak üzere, uyarma akısı ψ ve makinenin açısal hızı ω cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$e_b = k'_b \psi \omega \quad (2.75)$$

Son olarak, makinenin moment ifadesi ise aşağıdaki gibidir:

$$M_e = k'_m \psi i_a = k'_m L_f i_f i_a \quad (2.76)$$

Makinenin (2.74) ile verilen denklemlerinde yer alan endüvi ve uyarma akımları yukarıdaki varsayımlar altında (2.75) ve uyarma akısı sabit tutularak birbirinden bağımsız hale getirilebilir. Uyarma ve endüvi eksenleri birbirine dik eksenlerdir ve sırasıyla asenkron makinenin d-q eksen takımlarına karşı düşmektedirler. (2.76)'daki moment ifadesinde, i_f akıyı oluşturan uyarma akımıdır. Serbest uyarmalı makinede bu akım sabit tutularak sabit bir uyarma akısı elde edilir ve böylece moment, i_a endüvi akımı ile doğrusal olarak değiştirilebilir. Endüvi reaksiyonu ihmal edildiği takdirde bu iki akımın değişimi birbirini etkilemeyecektir.

Asenkron makinada ise akıyı ve momentı ayrı ayrı kontrol edebilecek iki akım bileşeni mevcut değildir; sadece stator akımı vardır. Stator akımı ise sinüzoidal bir akım olması nedeni ile genlik, frekans ve faz bilgilerini içerir. asenkron makina da kontrol edilmesi gereken büyüklük, genliği, fazı ve frekansı ile tanımlanan akım vektörüdür. Bu kontrol işlevi literatürde vektör kontrolü olarak adlandırılır.(Sarioğlu, 2003).

Makinenin stator akım vektörü, doğru akım makinesindeki uyarma ve endüvi akımlarına benzer şekilde biri akıyı, diğeri momentı oluşturmak üzere birbirine dik iki bileşene ayrılmalıdır. Akı baz alınarak stator akımının bileşenlerine ayrılması işlemi akı oryantasyonu olarak adlandırılır. Baz alınacak akıya göre farklı akı oryantasyon yöntemleri mevcuttur. Ancak tüm bu yöntemlerde akıyı oluşturan ve akı ile aynı yönde olan akım bileşeni yardımcı ile akı sabit tutulup diğer akım bileşeni ile moment doğrusal olarak ayarlanır. Böylece asenkron makine, hız referansı değişimlerine ve yük moment değişimlerine doğru akım makinesi kadar hızlı cevap verebilmektedir. Şimdi yöntemin daha iyi anlaşılması için öncelikle asenkron makinenin d-q eksenindeki modeli verilecektir. Asenkron makinenin bağıntılarını yazarsak: (Gülez 1999).

$$V_{sd} = R_s i_{sd} - \omega_s \left[\sigma L_s i_{sq} + \frac{L_m}{L_r} \psi_{rq} \right] + \frac{d}{dt} \left[\sigma L_s i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} \psi_{rd} \right] \quad (2.77)$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} - \omega_s \left[\sigma L_s i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} \psi_{rd} \right] + \frac{d}{dt} \left[\sigma L_s i_{sq} + \frac{L_m}{L_r} \psi_{rq} \right] \quad (2.78)$$

$$0 = R_r' \left[\frac{1}{L_r'} \psi_{rd} - \frac{L_m}{L_r'} i_{sd} \right] - \omega_r \psi_{rq} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} \quad (2.79)$$

$$0 = R_r' \left[\frac{1}{L_r'} \psi_{rq} - \frac{L_m}{L_r'} i_{sq} \right] + \omega_r \psi_{rd} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} \quad (2.80)$$

$$M_e = p \frac{L_m}{L_r'} (i_{sq} \psi_{rd} - i_{sd} \psi_{rq}) \quad (2.81)$$

Makinenin modeli 5 adet doğrusal olmayan denklemden oluşmaktadır. Modelde görülen

$\omega_s i_{sd}$, $\omega_s \psi_{rd}$, $\omega_s i_{sq}$, $\omega_s \psi_{rq}$, $\omega_r \psi_{rd}$, $\omega_r \psi_{rq}$, $i_{sq} \psi_{rd}$, $i_{sd} \psi_{rq}$ çarpımlarının yanı sıra makinenin parametrelerinin, özellikle de rotor devresi parametrelerinin akım genlik ve frekansları ile değişmesi sistemi doğrusal olmayan bir sistem haline getirmektedir. Ayrıca, artan frekansla endüktansların değeri azalırken deri olayı nedeniyle direnç artmakta, hava aralığı akısı ise doymadan etkilenmektedir. Bütün bu özellikler göz önüne alınarak kontrol açısından bakıldığında oldukça karmaşık ve zor bir sistem ortaya çıkmaktadır. Bu sistemin doğru akım makinesine benzer kontrolünü geliştirebilmek için hem doğrusal olmayan kontrol kurallarının geliştirilmesine, hem de bu kuralların uygulanabilmesi için hızlı işlem yapabilen kontrolörlere (DSP, Digital Signal Processor, dijital işaret işleyici) gerek vardır.

Makinenin hava aralığında senkron hızla dönen d-q eksen takımındaki modelinde makinenin tüm giriş (v_{sq} , v_{sd}) ve durumları (i_{sd} , i_{sq} , ψ_{rd} , ψ_{rq}) d ve q eksen takımına göre tanımlıdır. Bu büyüklükler (d-q) şeklindeki kartezyen büyüklükler yerine, genlik ve açı biçimindeki polar büyüklüklerle de ifade edilebilir. Giriş ve durum büyüklüklerinin vektörel olarak gösterimi aşağıdaki gibidir: (Chapman 2002).

$$\vec{V}_s = V_{sd} + jV_{sq} = |\vec{V}_s| e^{j\phi_v} \quad (2.82)$$

$$\vec{I}_s = i_{sd} + ji_{sq} = |\vec{I}_s| e^{j\phi_i} \quad (2.83)$$

$$\vec{\psi}_r = \psi_{rd} + j\psi_{rq} = |\vec{\psi}_r| e^{j\phi_\psi} \quad (2.84)$$

Tanımlanan vektörel gösterim ve bu vektörlerin d-q eksen takımlarındaki izdüşümleri şekil 2.14' de verilmiştir. Makinenin d-q eksen takımındaki modelinde parametreler sabit, giriş ve durum değişkenleri ise doğru akım bileşenleri şeklindedir. d-q eksen takımı, statorda duran α - β eksen takımına göre $\omega_s = \theta$, açısal hızıyla dönerken bu ekseninde tanımlı V , girişi ile i_s , ψ_s ve ψ_r vektörlerinin α - β eksen takımına göre konumları sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\omega_s = \theta_s \quad : \text{d-q eksen takımının açısal hızı}$$

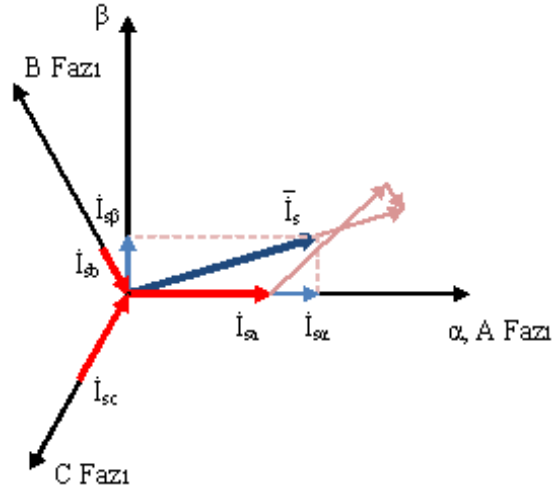
$$\omega_v = \omega_s + \dot{\phi}_v \quad : \vec{V}_s, \text{ gerilim vektörünün açısal hızı}$$

$$\omega_i = \omega_s + \dot{\phi}_i \quad : \vec{i}_s, \text{ akım vektörünün açısal hızı}$$

$$\omega_{\psi_s} = \omega_s + \dot{\phi}_{\psi_s} \quad : \vec{\psi}_s, \text{ stator akı vektörünün açısal hızı}$$

$$\omega_{\psi_r} = \omega_s + \dot{\phi}_{\psi_r} \quad : \vec{\psi}_r, \text{ rotor akı vektörünün açısal hızı}$$

Şekil 2.9'da da gösterildiği gibi tüm vektörler bir baz eksen d-q' ya göre tanımlanmıştır. Elde edilen modelin daha basitleştirilmesi ve dolayısıyla kontrole daha uygun hale gelebilmesi için yukarıda sıralanan tüm büyüklüklerin keyfi seçilen bir eksene göre tanımlanması yerine, giriş veya değişkenlerden biri baz seçilerek, diğer değişkenlerin buna göre tanımlanması da mümkündür. (Jaroslav 2004).



Şekil 2.14 Clark Dönüşümü (Jaroslav 2004)

Farz edelim ki a ekseni ve α ekseni aynı yöndedir çeyrek faz farklı stator akımları $i_{s\alpha}$ ve $i_{s\beta}$ aşağıda gösterildiği gibi gerçek 3 faz stator akımları ile ilişkilidir.

$$i_{s\alpha} = k \left[i_{sa} - \frac{1}{2}i_{sb} - \frac{1}{2}i_{sc} \right] \quad (2.85)$$

$$i_{s\beta} = k \frac{\sqrt{3}}{2} (i_{sb} - i_{sc}) \quad (2.86)$$

Burada;

i_{sa} : Motor A fazının gerçek akımı [A]

i_{sb} : Motor B fazının gerçek akımı [B]

$i_{s\alpha,\beta}$: Motor C fazının gerçek akımı [C]

k sabiti değişmeyen güç dönüşümü için $k = 2/3$ 'e eşittir. Bu durumda i_{sa} ve $i_{s\alpha}$ nicelikleri eşittir. $i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0$ olduğunu varsayarsak, çeyrek faz farklı elemanlar 3 faz sistemin sadece 2 fazını kullanarak ifade edilebilir.

$$i_{s\alpha} = i_{sa} \quad (2.87)$$

$$i_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}i_{sa} + \frac{2}{\sqrt{3}}i_{sb} \quad (2.88)$$

Clark dönüşümünde asenkron motorun statorunda üç faza ait büyüklükleri (a, b, c) referans eksen sisteminde 2 boyuta taşınır. İki boyuttaki büyüklükler (α , β) tanımlanır.

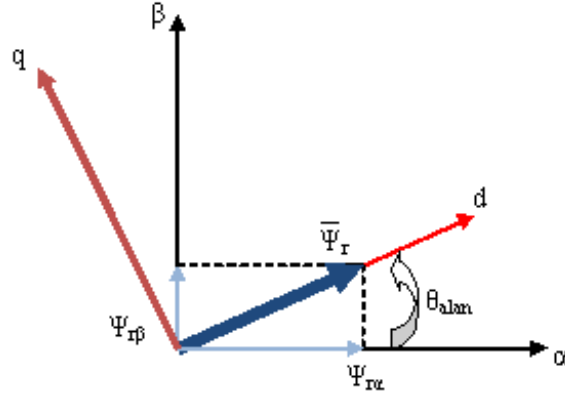
$$i_{sa} = i_{s\alpha} \quad (2.89)$$

$$i_{sb} = -\frac{1}{2}i_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}i_{s\beta} \quad (2.90)$$

$$i_{sc} = -\frac{1}{2}i_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{s\beta} \quad (2.91)$$

Şekil 2.9’da bu dönüşüm gösterilmiştir. Daha sonra α , β eksen sisteminde tanımlanan büyüklükler uygun bir θ açısı ile d, q eksen takımına taşınır. Bu dönüşüm ise Park dönüşümü olarak adlandırılır.

Clarke dönüşümü ile hesaplanan $i_{s\alpha}$ ve $i_{s\beta}$ elemanları, α , β stator referans eksenine bağlıdır. Vektör kontrolde bütün nicelikler aynı referans ekseninde ifade edilmelidir. Stator referans eksenini kontrol işlemi için uygun değildir. $\bar{i}_s$ uzay vektörü faz akımlarının açısal frekansına eşit bir oranda döner. $i_{s\alpha}$ ve $i_{s\beta}$ elemanları zaman ve hıza bağlıdır. Bu elemanlar faz akımlarının açısal hız olarak aynı hızda stator referans ekseninden d-q referans eksenine dönüştürülebilir. O zaman i_{sq} ve i_{sd} elemanları hıza ve zamana bağlı olmazlar. d eksenini rotor akısıyla aynı eksendedir. Dönüşüm aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Burada θ_{field} rotor akı yönüdür. (Jaroslav 2004).



Şekil 2.10 Park dönüşümü (Jaroslav 2004).

Eğer rotor akısı d ekseninde olacak şekilde yani $|\bar{\psi}_r| = \psi_{rd}$ ise $\psi_{rd} = 0$ olur. Buna göre, rotor akısından oryantasyonlu model uygun şekilde düzenlenebilir. Burada moment ifadesi doğru akım makinesinin moment ifadesine benzemektedir. Makinenin rotor akısının sadece d eksen bileşeni vardır ve rotor akısı burada doğru akım makinesinde ki d eksenindeki uyarma akısına karşı düşmektedir. Asenkron makinenin q eksenindeki akımı ise doğru akım makinesinin q eksenindeki endüvi akımına karşı düşmektedir. Serbest uyarımalı doğru akım makinesinde akı, uyarma akımı ile kontrol edilmektedir. Burada ise d eksen rotor akısı d eksen stator akımı ile kontrol edilmektedir. Bu ifade de durum denklemi düzenlenir.

Makinenin d eksen akısı ile akım arasındaki ilişki doğrusal olup bir transfer fonksiyonu ile verilebilir. Akı denkleminin sürekli rejimdeki değeri ile akım arasındaki ilişki bulunabilir. Bu denklem sabit uyarımalı doğru akım makinesinin endüvi denklemine benzemektedir.

$E_{sq} = \omega_s \frac{L_s}{L_m} \psi_{rd}$ olup ters EMK'ya karşı düşmektedir. Makinenin rotor akısının d eksen

üzerinde olması durumunda d-q modeline ilişkin blok şema çıkartılabilir. (Ohtani 1989).

Moment ifadesinde yer alan ψ_r : rotor akısı, i_{sd} ve i_{sq} ise i_s akımının rotor akısına ve ona dik olan eksen üzerindeki bileşenleridir. ψ_r akısını oluşturan akım bileşeni i_{sd} doğru akım

makinesindeki i_f 'ye, i_{sq} ise i_a 'ya benzemektedir. Akı i_{sd} ile sabit tutulurken, moment i_{sq} ile doğrusal olarak değiştirilebilmektedir. Rotor döner alanı üzerinde tanımlı bu büyüklükler artık doğru akım büyüklükleridir. Akımın, biri rotor akısı yönünde diğeri ise buna dik yönde iki bileşene ayrılabilmesi için rotor akısının modül ve açısının elde edilmesi gerekmektedir. Rotor akısı ölçülebilen bir büyüklük olmadığından ölçülebilen büyüklükler yardımı ile oluşturulması gerekmektedir. Rotor akısının elde edilmesi ile akımın sabit tutulmak istenen modülü ve akımların dönüşümü için gerekli dönüşüm vektörlerinin oluşturulacağı açı elde edilecektir. Rotor akısının elde edilmesinde doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki yöntem söz konusudur. (Jaroslav 2004).

Daha öncede söz edildiği gibi, rotor akısı baz alınarak geliştirilen kontrol yöntemine rotor akısından yönlendirmeli vektör kontrol adı verilir. Makine modelinin rotor akısından yönlendirmeli basit bir modelinin elde edilmesinde temel unsur, makine rotor akısının d ekseninde tutulabilmesidir. Bunu sağlamak üzere, makineye uygulanması gerekli giriş, stator geriliminin genliği ve bu gerilimin frekansıdır ve bu değerler hesaplanarak uygulanmalıdır. (Cahpman 2002)

Rotor akısından yönlendirmeli makine modelleri elde edilebildiği gibi stator akısından yönlendirmeli veya hava aralığı akısından yönlendirmeli modeller ve bu modellere dayalı kontrol sistemleri geliştirilebilir. Makinenin d-q eksen takımına dayalı bu kontrol yöntemleri genel olarak vektör kontrol yöntemleri olarak da adlandırılır ve daha önceden de bahsedildiği gibi iki ana kısma ayrılır:

- a) Doğrudan vektör kontrol yöntemi
- b) Dolaylı vektör kontrol yöntemi

Bu kontrol yöntemleri dışında doğrudan moment veya akı kontrol yöntemi de mevcuttur. Söz konusu yöntemlerden doğrudan moment veya akı kontrol yöntemi stator akısından kaynaklanan bir yöntemdir. Doğrudan ve dolaylı vektör kontrol yöntemleri ise genellikle rotor akısından kaynaklı vektör kontrol yöntemleridir. Buna karşılık stator akısı veya hava

aralığı akısından kaynaklanan vektör kontrol yöntemleri de vardır. Burada doğrudan ve dolaylı vektör kontrol yöntemlerinde sadece rotor akısından kaynaklanan vektör kontrol yöntemleri ele alınacaktır. (Ohtani 1989).

Rotor akısından yönlendirmeli (oryantasyonlu) vektör kontrolünde kontrol işlevinin gerçekleştirilmesi için rotor akısının genlik ve fazının elde edilmesi gereklidir. Rotor akısının genliği kontrolde geri besleme işareti olarak kullanılırken, fazı ise d-q'dan a-b-c veya a-b-c'den d-q'ya yapılacak dönüşümlerde, dönüşüm açısı olarak kullanılacaktır. Doğrudan veya dolaylı vektör kontrol yöntemlerinin birbirinden farkı akının genlik ve fazının elde edilme şekline dayanmaktadır. (Ohtani 1989).

2.3.8.5 Doğrudan vektör kontrol yöntemi

Doğrudan vektör kontrol yönteminde rotor akısı, hava aralığı akısının sensörlerle ölçülmesiyle elde edilir. Hava aralığı akı bileşenleri, makinenin fiziksel yapısı üzerinde yapılan özel bir düzenleme ile statorda birbirine dik olarak yerleştirilmiş ($\alpha - \beta$ eksenlerinde) iki akı sensörü yardımıyla doğrudan ölçülmektedir. Rotor akısının genliği ve fazını oluşturabilmek için ölçülen akı bileşenleri dışında, makinenin faz akımlarının (a-bc eksen takımındaki büyüklükler) 'da ölçülmesi ve a-b-c'den $\alpha - \beta$ 'ya bir dönüşüm ile $\alpha - \beta$ eksenlerindeki bileşenlerinin elde edilmesi gereklidir. (Ohtani 1989).

Hava aralığı akı bileşenleri, $\alpha - \beta$ eksenlerindeki akım bileşenleri, ve makine parametrelerinden hareketle akı ve moment hesaplayıcısının hesaplamış olduğu rotor akısının genlik ve fazı ile moment değeri elde edilebilir. Rotor akısının hesaplanan $\alpha - \beta$ eksen takımındaki değerlerinden hareketle, rotor akısının genliği ve fazı hesaplanır. Rotor akısının fazı, a-b-c'den veya $\alpha - \beta$ 'dan, d-q'ya yapılan dönüşümlerde kullanılmak amacıyla hesaplanmaktadır. Dönüşüm için kullanılan θ_s yardımıyla ölçülen statör a-b-c faz akımlarından hareketle d-q eksen takımındaki akımlar elde edilebilir. Rotor akısının genliği

ve akımın q eksenindeki bileşeninden hareketle moment ifadesi de aşağıdaki gibi yazılabilir. (Jaroslav 2004).

$$M_e = p \frac{L_m}{L_r} \psi_{rd} i_{sq} \quad (2.92)$$

Bu şekilde, hesaplanan rotor akı genliği ve moment, referans akı ve moment değerleri ile karşılaştırılmış ve oluşan akı ve moment hataları PI tipindeki akı ve moment kontrolörlerine uygulanmıştır. Kontrolörlerin ürettiği kontrol işaretleri makinenin d-q akım bileşenlerinin referans büyüklükleri olarak kullanılmaktadır. Akı hesaplayıcısının ürettiği diğer bir büyüklük de dönüşüm açısıdır. Bu dönüşüm açısı kullanılarak makinenin d-q bileşen akımları referans akımlarla karşılaştırılmak üzere makinenin stator faz akımlarından türetilir. Böylece referans ve gerçek d-q akım bileşenlerinin karşılaştırılmaları sonucunda oluşan akım hataları akım kontrolörlerine uygulanmakta ve d-q eksen takımındaki referans stator gerilim bileşenleri üretilmektedir. Bu gerilim bileşenleri de dönüşüm açısı kullanılarak PWM üreticisi için gerekli olan a-b-c eksen takımındaki referans gerilim büyüklüklerine dönüştürülmektedir. (Jaroslav 2004).

2.3.8.6 Dolaylı vektör kontrol yöntemi

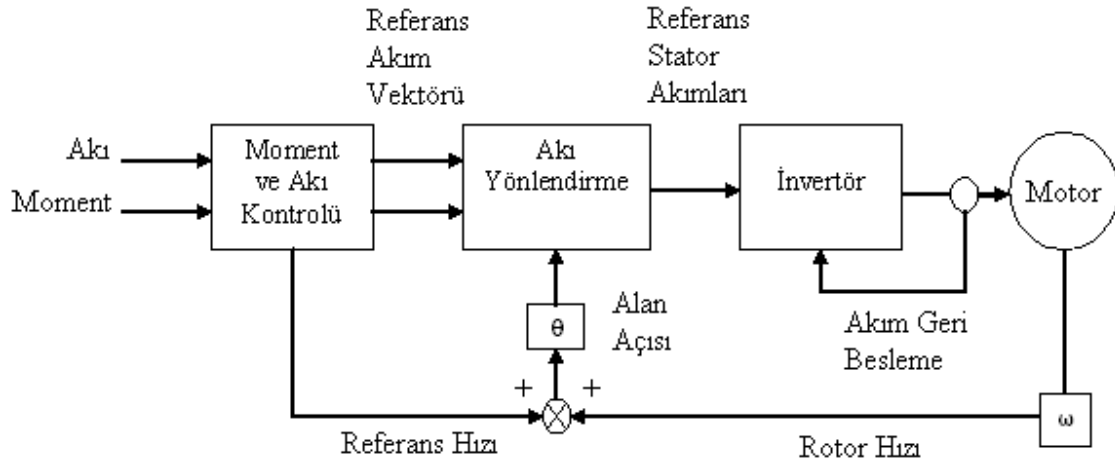
Bu tür kontrol yönteminin en yaygın olanı, rotor akısından yararlanılarak geliştirilen yöntemdir. Bu amaçla rotor akı vektörünün genliğinin ve a-b-c ile d-q arasındaki dönüşümleri sağlayacak olan fazının üretilmesine gerek vardır. Bu yöntemde verilen bir akı referans değerine karşılık, d-ekseninde referans akım değeri elde edilir.

Makinenin moment referans değeri ise ilgili denklemlerden hareketle makinenin moment ve rotor akımlarının açısal hızı arasındaki ilişki ile verilebilir. Momentin referans değeri hız hatasından elde edilebilir. Hız hatasının sadece bir kazanç ile çarpılması momentin referans değerini elde etmek için yeterliymiş gibi görünse de makinenin yüklenmesi nedeniyle oluşacak sabit hız hatasını kompanze edebilmek amacıyla kazanç terimine ilave olarak hız

hatasının integralinin alındığı bir terim daha gerekli olur. Oran+İntegral özelliğine sahip olan PI tipi bir kontrolörün kullanılması ve bu kontrolöre hız hatasının uygulanması sonucunda kontrolörün çıkışı vektör kontrolü oluşturmak için gerekli olan moment referans değerini üretir. Moment referans değerinden hareketle momenti oluşturan akım (akımın q bileşeni) hesaplanabilir. Diğer kontrol girişi olan ve dönüşüm için kullanılan θ açısı, rotor akımlarının açısal hızı ve makinenin açısal hızı yardımıyla elde edilebilir. Motor milinin açısal hızı ile bağlı bir takogeneratör yardımıyla ölçülür. (Gülez 1999).

Buradan hareketle θ dönüşüm açısı elde edilir. Doğrudan vektör kontrol yönteminde sinüs üçgen karşılaştırılması ve histerezisli akım kontrol yöntemi ile PWM işaretleri üretilmektedir. Aynen burada olduğu gibi dolaylı vektör kontrol yönteminde elde edilen d-q referans akım bileşenleri ve dönüşüm açısından hareketle, sinüs-üçgen karşılaştırılması ve histerezisli akım kontrol yöntemi ile PWM işaretleri üretilir. Böylece sinüs-üçgen karşılaştırılması ile PWM üretilmesine dayalı dolaylı vektör kontrol sistemi ya da histerezis akım kontrollü PWM üretilmesine dayalı vektör kontrol sistemi yöntemleri ile kontrol gerçekleştirilebilir. Uygulamada üretilen referans işaretleri makine parametrelerine, özellikle de rotor devresi zaman sabitine bağlıdır. Rotor frekansı, rotor zaman sabiti ifadesinde yer alan direnç ve endüktans üzerinde oldukça etkilidir. Ayrıca bu yöntemin gerçekleştirilebilmesi için makinenin hız veya konumunun mutlaka ölçülmesi gereklidir. (Ohtani 1989).

Bu nedenle hız ve konum algılayıcılarını dışarıda bırakan sensörsüz kontrole uygun değildir. Şekil 2.11’de bir motorun dolaylı vektör kontrollü sürme blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.11 Bir asenkron motorun dolaylı vektör kontrollü sürme blok diyagramı (Ohtani 1989).

2.4 İnverterler

İnverterler doğru akımı alternatif akıma çeviren “DC – AC Konverter” lerdir. Bir inverterin görevi girişindeki bir doğru gerilimi, çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektir.

DC – AC inverterlerinin kullanışlı olmalarının sebebi çıkış gerilimi ve frekansının ayarlanabilmesidir. İnverterin çıkış gerilimleri kare dalga şeklindedir. Bu sebeple uygulamada, gerilim harmoniklerinin etkisi hayli fazladır. Bu mahsuru ortadan kaldırmak için devreye bazı elemanlar ilâve edilir. DC – AC inverterlerin temel elemanları yarı iletkenlerdir (transistör, tristör, mosfet gibi). Transistör ve MOSFET küçük güçlü elemanlar olduğundan düşük ve orta değerli güç devrelerinde kullanılır. Fakat hızlı anahtarlamaaya sahip olduklarından yüksek frekanslı devrelerde kullanılabilirler.

Yarı iletken güç elektroniğindeki gelişmeler sonucu inverterler motor kontrol ünitelerinde de kullanılmaya başlanmıştır. İnverter kontrol sistemi, Ward-Leonard veya geleneksel AC

gerilim kontrol yöntemlerine göre daha az enerjiye gereksinim duyar ve ideal hız ayar olanağı sağlar. Ayrıca PLC ile birlikte kullanılarak her türlü ihtiyaca cevap verebilecek şekilde düzenlenebilir.

Geleneksel primer gerilim kontrolünde motorun devir sayısı sabit frekansta, motorun uç gerilimi değiştirilmek sureti ile ayarlanıyorken inverter kontrollü sistemlerde motorun gerilimi yanında frekansı da değiştirilir. Bu da motora her devirde optimum döndürme momenti sağlar. AC motor kontrolü yapılan bir sistem, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) adı verilen yarı iletken elemanlarla oluşturulan bir düzenle kontrol edilir. İnverterle kontrol edilen asenkron motorun avantajları şunlardır; (Kasapoğlu 1989)

1. Optimal frekansla motor verimi artar.
2. Doğrultucuda kayıpların azaltılması sonucu olarak giriş akımı düzeltilir ve güç faktörü artar.
3. Enerji gereksinimi daha azdır.
4. Yüksek devir imkanı sağlanır.
5. Seri ivme ile kalkış imkanı olur.
6. Motor ısınması daha az düzeydedir.

2.4.1 İnverterin yapısı

İnverter ünitesi, kontrol kartları, güç anahtarlama transistörleri, çıkış trafosu ve filtrelerden oluşur. ON-LİNE UPS modellerinde sürekli olarak devrededir. Diğer modellerde şebekenin tolerans dışı yükselmesi, düşmesi veya kesilmesi durumunda çalışır. Genel olarak üç ayrı inverter ünitesinden bahsedebiliriz.

1-Kare dalga çıkışlı veya kare dalgadan pasif filtrelerle üretilmiş sinüs çıkışlı UPS inverterler.

2-Sinüsoidal (Trapez dalga) çıkışlı UPS'lerin düşük frekanslı PWM'le çalışan inverterler.

3-Sinüs çıkışlı UPS'lerin yüksek frekans PWM'le çalışan inverterler.

İnverter ünitelerinin gücü UPS çıkış gücü ile orantılıdır. Bütün sistemdeki en kritik bölge inverterlerdir. İnverterlerin görevi doğrultucu veya bataryalardan gelen DC gerilimi AC gerilime çevirmektir. Bu AC gerilim düzenlenip süzülerek kritik yükün ihtiyacı olan sinüzoidal gerilim oluşturulur. İnverterlerde dalga biçimlendirmede temel ilke, transistör veya tristör gibi anahtarlama elemanlarının iletim ve tıkama sürelerinin uygun bir biçimde belirlenmesidir. Bu belirleme ile birlikte elemanların anahtarlama sırası da çok önemlidir. (Şahin 1996).

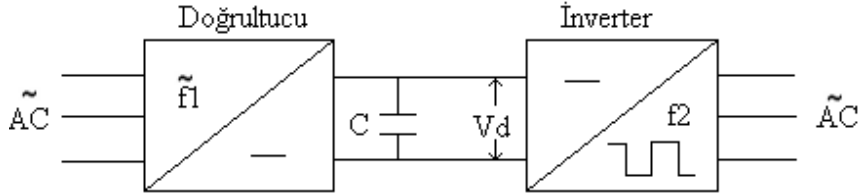
2.4.2 Besleme tipine göre inverterler

İnverterler uygulamadaki besleme özelliklerine göre 'akım beslemeli' ve 'gerilim beslemeli' olarak iki grupta toplanırlar. Akım beslemeli veya gerilim beslemeli inverterler arasında yapılacak seçim, yükün özelliklerine göre değişir. Gerilim beslemeli inverterlerde gerilim dalga biçimi DC gerilimi ve anahtarlama yöntemiyle belirlenir. Yük bu dalga biçimine etki edemez. Eğer yük harmonik akımlara yüksek empedans gösteren bir özellik taşıyorsa, bu tip yükün gerilim beslemeli bir inverterle sürülmesi daha uygundur. Akım beslemeli inverterlerde ise akım dalga biçimine yük etki edemez. Eğer yükün harmonik akımlara düşük empedans gösteren bir özelliği varsa, bu durumda akım beslemeli inverter kullanmak daha uygun olacaktır. (Gürdal 2002)

2.4.2.1 Gerilim beslemeli inverterler

Gerilim beslemeli inverter devrelerinde, inverterin bir DC gerilim kaynağından beslendiği varsayılmıştır. Dolayısıyla bu inverterlerde çıkış gerilimi her zaman DC kaynak gerilimine bağlıdır. İnverterin çıkış akımı, yük admitansının bir işlevidir. Şekilde görüldüğü gibi giriş gerilimi doğrultulduktan sonra, çok büyük paralel C sığası üzerinde süzülmemekte ve invertere

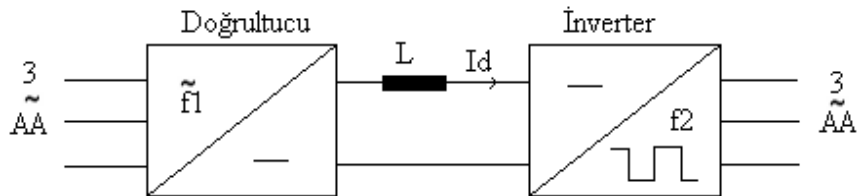
sabit DC gerilim beslemesi yapılmaktadır. Şekil 2.12 Gerilim beslemeli inverter devresi görülmektedir. (Gürdal 2002).



Şekil 2.12 Gerilim beslemeli inverter devresi (Gürdal 2002).

2.4.2.2 Akım beslemeli inverterler

Bu inverterler de DC kaynağın gerilimine bağlıdır. Akım beslemeli inverterlerde inverteri besleyen kaynak bir sabit akım kaynağı özelliğini taşır. İnverterin kaynaktan çektiği akımın sabit kalması, oldukça yüksek değerde bir endüktans ile sağlanır. Şekil 2.13’de görüldüğü gibi giriş gerilimi doğrultulduktan sonra çok büyük bir seri L endüktansı üzerinden değişmez akım kaynağı yaratılarak DC akım beslemesi yapılmaktadır. (Gürdal 2002)



Şekil 2.13 Akım beslemeli inverter devresi (Gürdal 2002)

2.4.3 İnverter devrelerinde frekans ve gerilim denetimi

İnverterler, kullanım amaçlarına göre iki grupta toplanırlar. Bunlardan birincisi doğru akım kaynağından alternatif akım üreten inverterler, ikincisi üretilen bu alternatif akımın gerilimini ve frekansını değiştiren inverterlerdir. Birinci durumda inverterin çıkış frekansını sabit olması dolayısıyla inverter yapısı son derece basitleştirilebilir. Fakat çoğu uygulamalarda gerilim ve frekans beraber denetlenmesi gerekmektedir. Bu durum inverterin yapısını karmaşıktırmaktadır. (Kassakian 1991).

2.4.3.1 İnvertelerde frekans denetimi

İnverterlerin çıkış frekansının denetimi, istenen alternatif akım biçiminin her yarı periyotta uygun yarıiletken anahtar elemanlarının (Tristör, Transistör, MOSFET vb.) tetiklenerek, iletme girme sayısı ile değişir.

Anahtarlama elemanlarını iletme sokan kontrol devreleri anahtarlama elemanlarının sırasını uygun olarak vermelidir. Bu işlem bir frekans üretici ile yapılır. Frekans üreticinin zamanlama vuruşları mantık devreleri tarafından üretilir. Üretilen bu tetikleme sinyali anahtarlama elemanlarına verilir. Burada inverter frekansı referans osilatör ile belirlenir. (Şahin 1996).

2.4.3.2 İnverterlerde gerilim denetimi

İnverter uygulamalarında, alternatif akım çıkış geriliminin doğru akım besleme gerilimine oranının sürekli bir şekilde denetlenmesi sık karşılaşılan bir durumdur.

Motor denetiminde kullanılan evirgeçlerde, motorun değişik frekans değerlerinde belirli (V/f) oranını sağlamak, kesintisiz güç kaynaklarında giriş gerilimi değişimlerini karşılayabilmek için, çıkış gerilimini denetlemek gerekir.

İnverter çıkış geriliminin, inverter içinde denetimi, (Şahin 1996).

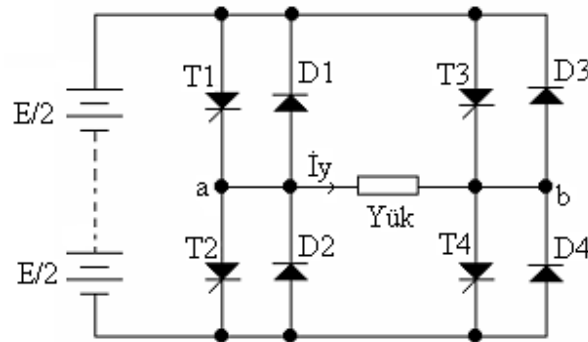
a) Darbe genişlik denetimi

b) Darbe genişlik modülasyonu (PWM)

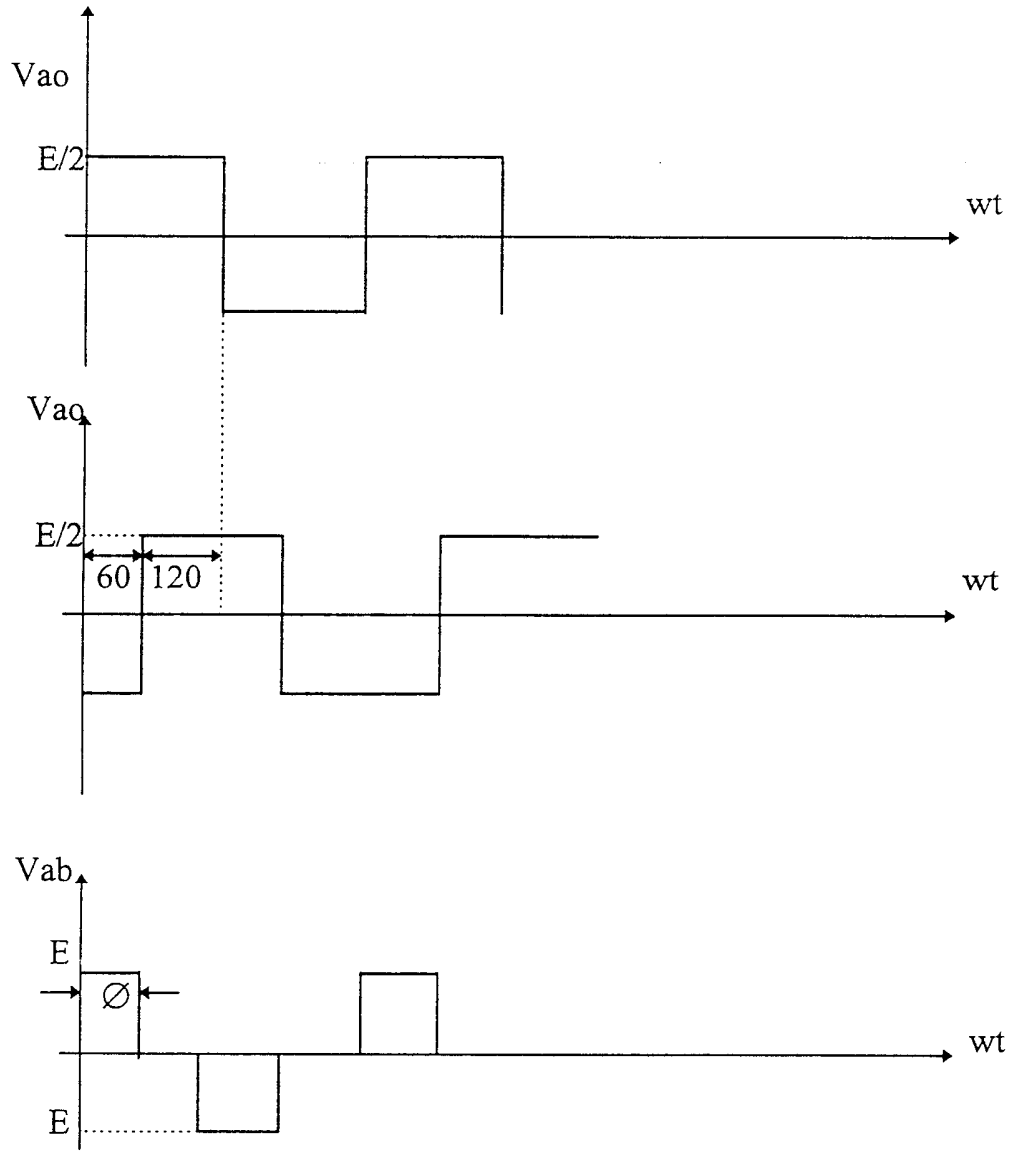
2.4.3.3 Darbe genişlik denetimi

Şekil 2.14’de görülen inverterde gerilim denetimi, aynı kolda bulunan T3 ve T4 tristörlerini, T1 ve T2 ‘ye göre belli bir gecikmesiyle iletme sokulmasına dayanır. Şekil 2.15’de görüldüğü gibi biri diğerine göre ϕ açısı kadar faz kaydırılmış iki kare dalga değişimi elde edilir.(Kassakian 1991).

Sonuçta yük uçlarında $V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$ gerilim elde edilir. Faz farkı büyüklüğüne göre çıkış geriliminin değeri değiştirilmiş olur.



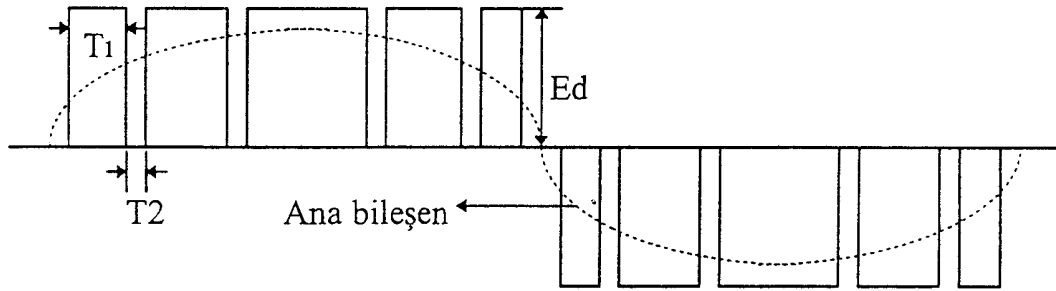
Şekil 2.14 Bir fazlı köprü inverter (Kassakian 1991).



Şekil 2.15 Darbe genişlik denetimi ile inverter çıkış geriliminin denetimi (Kassakian 1991).

2.4.3.4 Darbe genişlik modülasyonu (PWM)

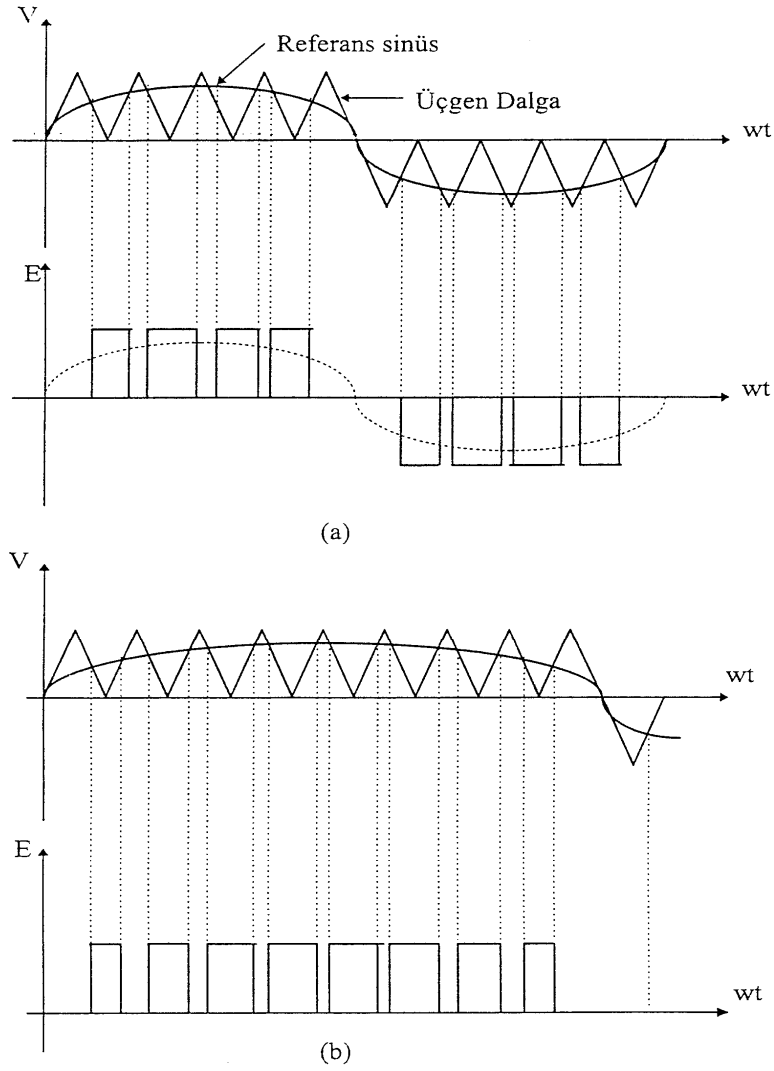
Kıyma ya da darbeleme tekniği, inverterin değişken gerilim çıkışını denetlemek için kullanılabilir. Kare ya da basamak dalga çıkış gerilimleri, her period da birkaç kez yinelenir ve böylece eşit genlikte birkaç darbe elde edilebilir. Her bir darbenin genliği inverterin giriş geriliminin genliğine eşittir. Şekil 2.16'da darbe genişliği T_1 ile sıfır süresi T_2 yarım periyot boyunca değişmezler. Çıkış genliği yarı periyot boyunca olan toplam iletim süresinin değiştirilmesiyle denetlenebilir. Darbe genişliğini sabit tutup, darbe sayısını değiştirmekle ya da darbe sayısını değiştirmeyip darbe genişliğini değiştirmekle elde edilir. Kısaca özetleyecek olursak ; inverter çıkışının gerilimi, anahtarlama elemanlarının iletimde olduğu sürenin, tıkamada olduğu süreye oranının değiştirilmesi ile elde edilir. (Gürdal 2002).



Şekil 2.16 Darbe genişlik bindirimli dalgaların temel biçimleri (Gürdal 2002).

İnverterdeki yarıiletken anahtarlama elemanlarının tetikleme anlarını belirlemek ve eş zamanlamayı sağlayabilmek için Şekil 2.17 (a)'da gösterilen yöntem kullanılır. İnverterin çıkışının gerilimin ve frekansını belirleyecek bir sinüs referans işareti, frekans ve genliği sinüsten daha büyük bir üçgen dalga ile karşılaştırılır. Bu iki işaretin çakışma noktaları, anahtarlama elemanlarının tetikleme anlarını belirler. Bindirimli işaret, iki işaretin eşit olduğu noktalarda seviye değiştirmektedir. (Gürdal 2002).

İnverter çıkış gerilimini azaltmak ve yükseltmek için referans sinüsün genliği azaltılır veya yükseltilir. Frekansın değiştirilmesi sinüs işaretinin frekansının değiştirilmesi ile elde edilir. Darbe genişlik bindirimli inverterler, her yarı periyotta ayrı dönemde yalnızca iki darbe verecek şekilde yapılabilirler. [Şekil 2.17 (b)]. Burada, prensipte görülen en küçük harmonikler 5. ve 7. Dereceden harmoniklerdir. Yarı periyottaki darbe sayısı arttıkça harmonik sayısı harmonik sayısı azalır. (Kasapoğlu 1989).

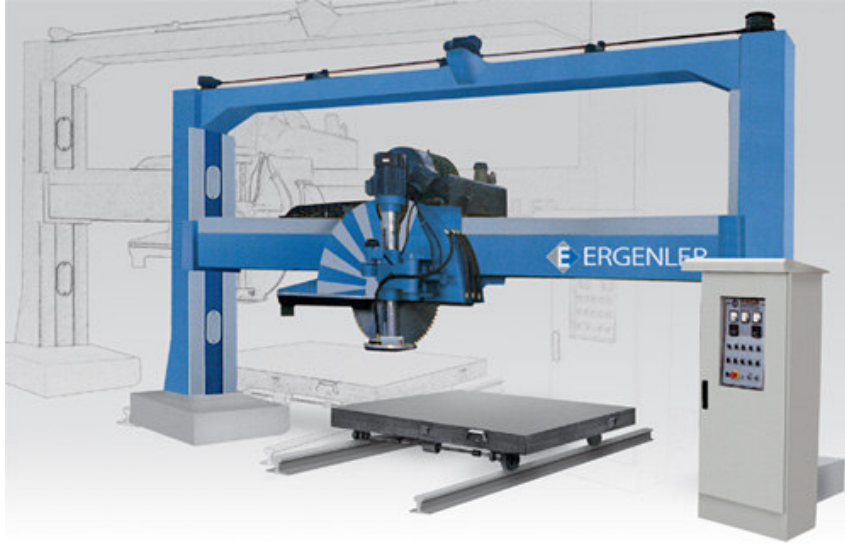


Şekil 2.17 (a) Referans sinüse göre üçgen dalgaya ilişkin inverter çıkışı
(b) Frekansı değiştirilmiş referans sinüse göre inverter çıkışı (Kasapoğlu 1989).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 İki Ayaklı S/T Mermer Kesme Makinesi

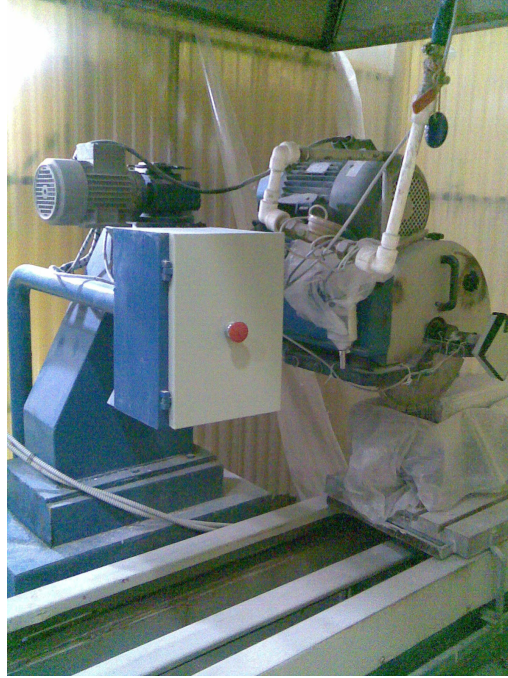
Makineye S/T adını Stripper ve Trimmer kelimeleri vermektedir. Stripper kelimesi “dilimleyerek ayırmak”, Trimmer kelimesi ise “keserek ayırmak” anlamına gelmektedir. Makine üzerinde bulunan iki testere bu fonksiyonları yerine getirmektedir. Dilimleme düşey testere ile yapılırken kesme yatay testere tarafından gerçekleştirilmektedir. Resim 3.1’de görülen iki kolonlu makinede testereleri taşıyan platform iki boyutta hareket etmektedir. Platformun ileri-geri hareketi ile kesme ilerlemesi ve yukarı-aşağı hareketiyle kesme derinliği değişmektedir. Dilim kalınlıkları ise kesilecek mermeri taşıyan vagonun öne-arkaya hareketi ile değiştirilebilmektedir. (Çınar 2007).



Resim 3.1 İki ayaklı S/T mermer kesme makinesi (İnt.Kyn.2)

3.2 Deneylerde Kullanılan Dairesel Testereli Blok Kesme Makinesi

Tasarlanan makinenin yapısı mermer endüstrisinde “Yan Kesme” olarak bilinen mermer makinesine benzemektedir. Endüstride kullanılan S/T mermer makinelerinde düşey ve yatay olmak üzere iki kesici testere bulunmasına rağmen, Resim 3.2’de görüldüğü gibi makine üzerinde sadece düşey testere bulunmaktadır. Yatay testerenin kesme işlemine etkisi ihmal edilebildiğinden makinede düşey testerenin bulunması yeterli görülmüştür.



Resim 3.2 Dairesel testereli blok kesme makinesi önden görünüş

Deneylerinin hassas ve seri bir şekilde yapılabilmesi için makine tamamen bilgisayar ile kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Makinenin bilgisayarla kontrolü gerçekleştirilen ara yüz yazılımı ile sağlanmaktadır. Makinenin çalışma koşulları ara yüz yazılımı sayesinde gözlenip kontrol edilebilmektedir.

3.3 Yazılım ara yüzü

“Mermer Test Programı” ana penceresi üzerinde dokuz buton bulunmaktadır. “BAŞLA”, “ANA STOP”, “PROGRAM”, “RESET”, “MANUEL”, “VERİLER”, “ANALİZÖR”, “ANALİZÖR AYAR” ve “ÇIKIŞ” butonları bulunmaktadır. Ancak burada “PROGRAM” “RESET” ve “MANUEL” butonları aktif halde değildir. Bu butonlar pano üzerindeki start butonuna basınca aktif hale gelmektedir.

Mermer Test Programı

BAŞLA ANA STOP PROGRAM RESET MANUEL VERİLER ANALİZÖR ANALİZÖR AYAR ÇIKIŞ

☐ Ters Kesim

Disk Dönüş (m/sn) 0.1

İlerleme Hızı (m/dk) 0.00

Kesme Der. (mm) -31

Enerji (Wh) 0.000 R

Güç (W) 0.000

Gürültü (dB) 0.1

Titreşim Hızı (mm/sn) 11.556

Su Debisi (l/dk) 0.0

Testere sıcaklığı (°C) 17.9

Kuvvetler (N)

X 119,192

Y 70,066

Z 128,164

Hata Sil

Taş Bilgisi

Otomasyon Bilgileri

İşlem Durumu

Hata Mesajı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Çevresel Hız (m/sn)										
İlerleme Hızı (m/dk)										
Kesme Derinliği (mm)										

Sabitler

☐ Çevresel Hız (m/sn)

☒ İlerleme Hızı (m/dk) 0.4

☒ Kesme Derinliği (mm) 50

Kesme Genişliği (mm) 10

Su Debisi (L/dk) 15

Testere Çapı (mm) 400

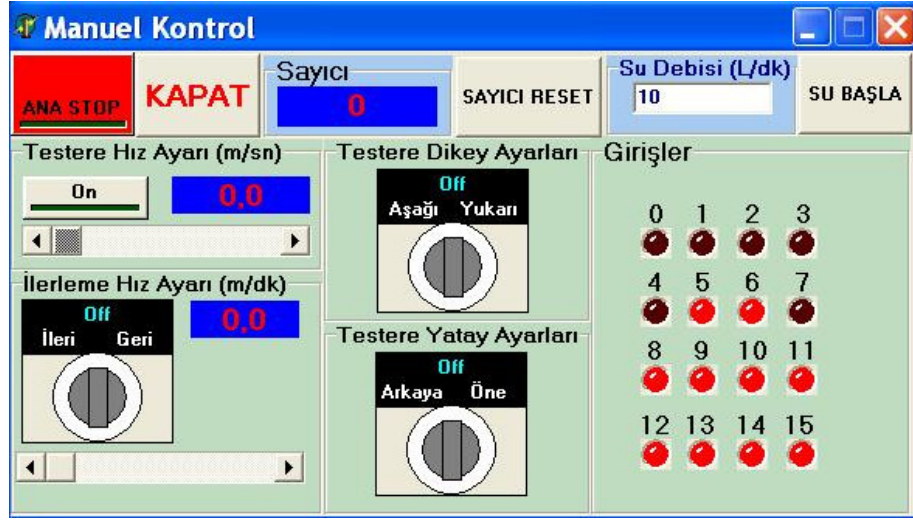
☐ İnvertörsüz Kesim

Şekil 3.1 Yazılım ara yüzü

Pencerde butonların alt kısmında kesme sırasında kayaca etkiyen kuvvetler, testere dönüş hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, tüketilen enerji, güç, gürültü, titreşim hızı, su debisi, testere sıcaklığı ve makinenin otomasyon durumunu gözlemlemek için etiketler kullanılmıştır. Çizelgenin altında yer alan bölümde çevresel hız, ilerleme hızı, kesme

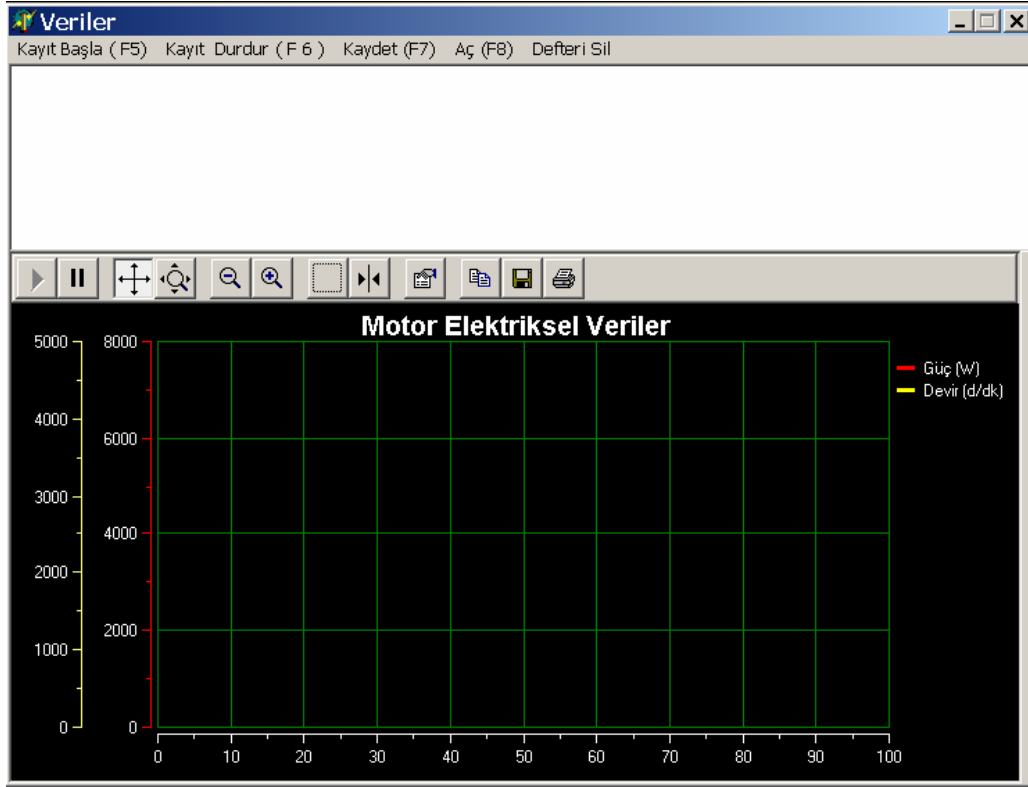
derinliği, kesme genişliği, testere çapı ve su debisi değerlerinin girildiği metin kutuları bulunmaktadır.

Ayrıca en alt kısımda yer alan invertersiz kesim bölümü vardır. Bu bölüm işaretlendiğinde sistem mermeri inverter kullanmadan kesmektedir.



şekil 3.2 Yazılım manuel kontrol ara yüzü

şekil 3.2’de verilen “Manuel Kontrol” alt program penceresi üzerinde farklı tipte butonlar bulunmaktadır. “ANA STOP”, “KAPAT”, ve testere “ON” butonları bulunmaktadır. Ayrıca ilerleme hız ayarı, testere dikey ayarı ve testere yatay ayarı swichleri bulunmaktadır. Bu butonlar istenilen yöne göre tıklandığında pozisyon numaraları değişmektedir. Dijital girişlerin lojik durumlarını göstermek içinde LED ler kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Yazılım elektriksel veriler ara yüzü

Şekil 3.3’de verilen “Veriler” alt program penceresi üzerinde farklı eğriler çizmek için grafik alanı ve verilerin gösteriminde kullanılan metin kutusu bulunmaktadır. Pencere üzerinde kayıt başlatmak ve durdurmak için “Kayıt Başla” ve “Kayıt Durdur” menü butonları bulunmaktadır. Bu menü butonlarına kayıt başlatma ve durdurma işlemlerini pratikleştirmek için F5 ve F6 kısa yol tuşları atanmıştır. Bunlardan başka pencere üzerinde önceden kaydedilmiş bir dosyayı açmak için “Aç (F8)”, toplanan verileri belirtilen konumdaki dosyaya kaydetmek için “Kaydet (F7)” ve metin kutusuna yazılan verileri silmek için “Deferi Sil” menü butonları bulunmaktadır.

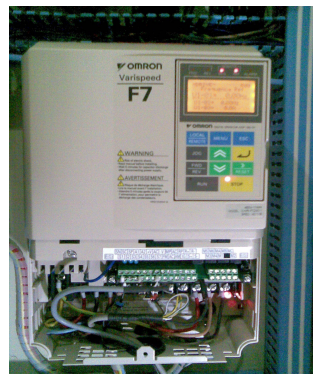
3.4 Kontrol elemanları

3.4.1 İnverterler

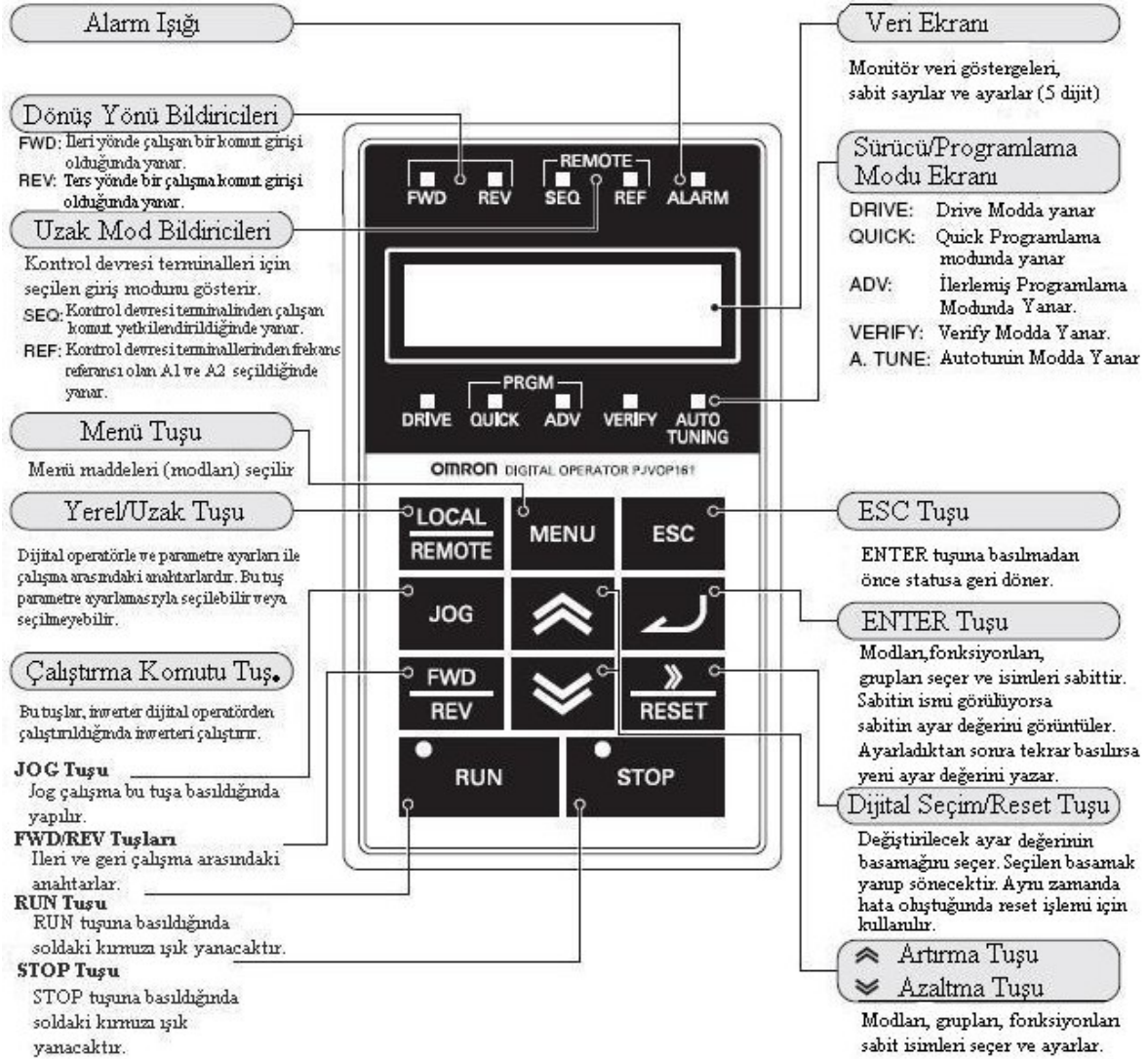
Asenkron motorlarda hız ayarı yapmak için birkaç farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla; stator geriliminin genliği değiştirmek, bilezikli (rotoru sargılı) asenkron motorlarda rotor devresi direncini değiştirmek ve stator gerilimin frekansını değiştirilmiştir. Birinci ve ikinci yöntem hız ayarı için kullanılmakla birlikte elde edilen hız ayarı çok geniş aralıklarda olmadığından fazla tercih edilmemektedir. Üçüncü yöntem ise geniş bir aralıkta hız ayarı yapılabilirdiği için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Stator geriliminin frekansı inverter denilen hız kontrol cihazları ile gerçekleştirilmektedir. İnverterler sayesinde asenkron motorların hız ayarı istenilen aralıkta yapılabilir. İnverterler, prensip olarak öncelikle AC gerilimi doğrultup DC gerilime çevirmekte sonra elde edilen DC gerilimden motoru beslemek için istenilen frekans ve genlikte AC bir gerilim elde edilmektedir.(Çınar 2007)

3.4.1.1 Testere inverteri

Deneylerde testere inverteri olarak OMRON firmasının F7 3G3RV modelinin 11 kw, 400 V olan modeli kullanılmıştır. Aşağıdaki resimlerde kullanılan inverter ve ön panelindeki tuş takımı ve açıklaması görülmektedir.



Resim 3.3 Testere inverteri ön görünüşü



Şekil 3.4 İnverter tuş paneli ve anlamları

3.4.1.2 Vagon invertleri

Vagon motoru için 0.75kW gücünde SIEMENS marka invertör kullanılması uygun görülmüştür. Aşağıda Resim 4.4’de kullanılan invertör görülmektedir. İnvertörün analog girişi aynı testere invertöründe olduğu gibi hız ayarı yapacak şekilde yapılandırılmıştır. Vagon ileri ve geri hareket ettiğinden invertörün iki dijital girişi ileri ve geri çalıştırma için kullanılmaktadır.



Resim 3.4 Vagon inverteri görünüşü

3.4.2 İnverter kullanılarak enerji tasarrufu

Her üretim sanayi tesisinde enerji sarfiyatları çok önemli yer tutmakta ve gider tablolarında büyük bir pay almaktadır. Bu nedenle sanayi tesislerinde enerji tasarrufu önemleri gündemin ilk sıralarında yerini almaktadır. Endüstrideki yapılmış olan eski sistemi revize ederek, yeni teknolojik gelişmeleri kullanarak birçok sistemde enerji tasarrufu yapılabilir. Ancak yapılmasında sorunlarla karşılaşmakta, yatırım ilk bakışta boşa para harcanacak yer olarak gözükmektedir. Oysa uzun süreli düşünüldüğünde yatırım bedeli geriye fazlasıyla dönmektedir. Ömrünü tamamlamış olan mekanik sistemler küçük bir otomasyon sistemi ile yenilendiğinde sistem daha verimli çalışacak ve daha az elektrik enerjisi tüketecektir. Sistem size hem işgücü kazandıracak hem de üretimi artırma olanağına sahip olma şansı verecektir.

Sanayi de birçok elektrik motoru bulunmaktadır. Genellikle motorlar seçilirken çalışma güçleri yerine toleranslı olarak daha fazla güçte seçilirler ve % 100 performansında da kullanılmazlar. Bu nedenle çoğu zaman gereksiz yere enerji tüketirler. Motor veya sistemlerin gereksinimleri olduğu zaman gereksinimleri kadar enerji tüketmeleri için basit bir otomasyon sistemi kurulması halinde enerji tüketim miktarı azalacaktır.

3.5 Spesifik Enerji

Spesifik kesme enerjisi kesme verimliliğini ölçen önemli bir parametredir. Spesifik enerji birim hacimdeki kayayı kesmek için gerekli enerji olup, her metre kesim için direk uyumluluk göstermektedir. Aynı zamanda spesifik enerji delme, kazma, kırma ve öğütme gibi kaya çalışma işlemlerinin verimliliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmakta olup, kesme işlemi sırasında kaya dayanım ve sertliği ile kesici şartlarına işaret eder.(Ersoy ve Atıcı 2004).

3.6 Kesme Parametreleri

Mermer kesme makinesinde enerji optimizasyonu yaparken birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar arasında ilerleme hızı, testere dönüş hızı, mermerin cinsi, su miktarı, kontrol yöntemi gibi birçok değişken vardır. Bunları en optimum şekilde ayarlamak gerekmektedir. Bunların hepsinin incelenmesi yüzlerce deney ve çok fazla zaman alacağından bugüne kadar incelenmiş deneylerin yanı sıra kontrol yöntemini değiştirerek kesimin enerji harcamadaki etkisinin incelenmesi uygun görülmüştür.

Kullanılan testere inverterinde 3 adet kontrol yöntemi vardır. Bunlar açık döngü (V/f) kontrol, Vektörel kontrol ve kapalı döngü (V/f) kontroldür. Deneylerde açık döngü V/f kontrol yöntemlerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Buna göre yapılacak kesim işlemlerinde Uşak yeşil mermeri adında mermer kullanılmış ve kesme derinliği (V_k) sabit tutularak, testere dönüş hızı (V_d) ile ilerleme hızı değiştirilerek aktif güç ve spesifik enerji tüketimi incelenmiştir. Aşağıdaki çizelgelerde yapılan deneylerin kesme parametreleri görülmektedir.

Çizelge 3.1 İnverterli kesme parametreleri

Deney	Kesme derinliği [mm]	İlerleme hızı [m/dk]	Testere Dönüş hızı [d/dk]	Harcanan Aktif Güç [W]	Harcanan Spesifik Enerji [W/mm ³]
Açık Döngü V/f Kontrol Enrgy Saving (Enerji Tasarrufu) Modu	50	0,5	2389	3166,035	2,702
	50	0,5	2627	3234,542	2,760
	50	0,5	2866	3326,199	2,883
	50	0,6	2389	3370,187	2,427
	50	0,6	2627	3539,451	2,548
	50	0,6	2866	3765,298	2,711
	50	0,7	2389	3774,647	2,365
	50	0,7	2627	3932,82	2,465
	50	0,7	2866	4134,165	2,591

Çizelge 3.2 İnvertersiz kesme parametreleri

Kesme derinliği [mm]	İlerleme hızı [m/dk]	Testere Dönüş hızı [d/dk]	Harcanan Aktif Güç [W]	Harcanan Spesifik Enerji [W/mm ³]
50	0,5	2866	3494,857	3,029
50	0,6	2866	3734,41	2,739
50	0,7	2866	4000,514	2,507

3.7 İverter Kesme Parametrelerinin Ayarlanması

Yukarda ki inverter tuş takımlarının gösterildiği menüden ‘quick drive (hızlı erişim)’ bölümüne girilir, menü içinde ilerleyerek ‘open loop V/f (açık döngü V/f)’ seçeneği aktif edilir. Daha sonra ‘advanced drive (ilerlemiş kullanıcı erişimi)’ bölümüne gelerek menülerden ‘energy saving (enerji tasarrufu)’ kısmı aktif edilir. İlerlemiş kullanıcı erişimi bölümünden çıkılır ve auto tuning (otomatik ayar) bölümüne gelinir burada sistem bir kere auto tuning (otomatik ayar) yapılır ve bu sayede inverter motor parametrelerini kendi içinde otomatik olarak belirler. Makine açık döngü V/f ile kesime hazırdır.

4.BULGULAR

Yukarıda “çizelge 3.1 ve 3.2 de Kesme parametreleri” başlığı altında verilen sıra ile gerçekleştirilen 12 deneyden elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak analizleri gruplar halinde verilmiştir. 0,5–0,6–0,7 m/dk ilerleme hızıyla invertersiz olarak sabit 2866 d/dk. testere dönüş hızında ve inverterli olarak aynı ilerleme hızlarında 2389–2627–2866 d/dk testere dönüş hızlarında, açık döngü V/f ve enerji tasarrufu modunda deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerden aktif güç ve spesifik enerji değerleri elde edilmiştir. Burada ilk olarak 0,5 ilerleme hızında 2389–2627–2866 d/dk testere dönüş hızlarında ki aktif güç ve spesifik enerji tüketimi incelenmiştir. Daha sonrada aynı testere dönüş hızları 0,6 ve 0,7 ilerleme hızları için yapılmış ve tüketilen aktif güç ve spesifik enerjiler incelenmiştir.

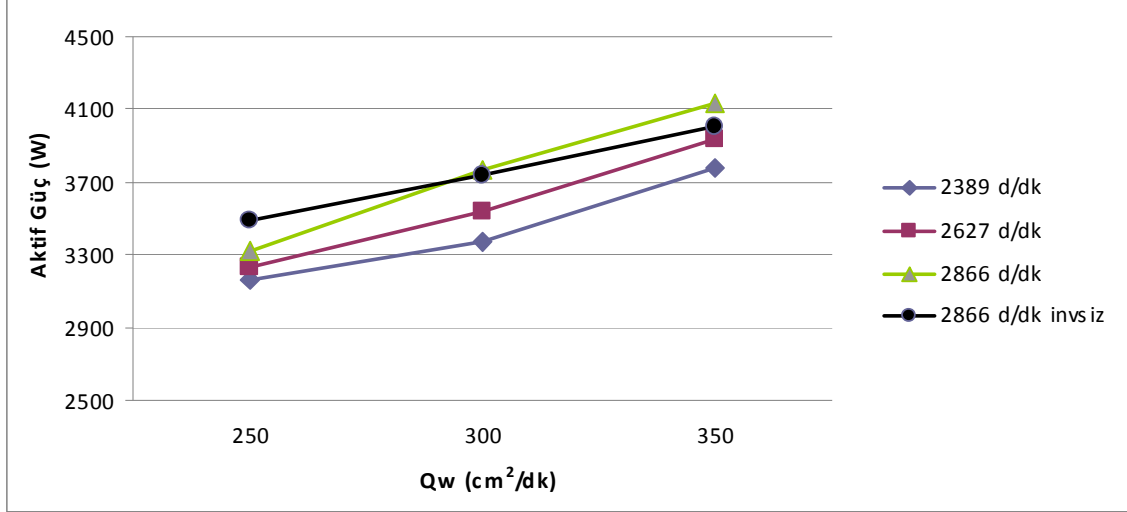
Deneylerde açık döngü V/f kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu kontrol yönteminin kullanılmasının amacı şudur; hızın ve dolayısıyla frekansın çok düştüğü çalışma noktalarında statora uygulanan gerilim de düşmektedir. Bu durumda stator direnci üzerindeki kayıplarda ihmal edilemeyecek kadar yükselecektir. Bu nedenle açık döngü V/f kontrol sisteminin girişine uygulanan yardımcı bir gerilim kontrollü doğrultucudan gelen sinyalle birleştirilerek statora uygulanan gerilimin artması sağlanacak ve stator kayıpları kompanze edilecektir. Böylece anma hava aralığı akışı ve maksimum moment dengede tutulmuş olacaktır. Dolayısıyla sistem kararlı olarak çalışmasını sürdürecektir.

Yapılan deneyler sonucunda invertersiz olarak kesilen mermerde harcanan aktif güç miktarının inverter kullanılarak kesilen mermerdeki tüketilen aktif güç miktarından fazla olduğu ve aynı zamanda spesifik enerji miktarlarında fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Aşağıda sırasıyla grafikler eşliğinde ilerleme hızının ve testere dönüş hızının kesme işlemi üzerindeki etkileri üzerinde durulacaktır.

4.1 İlerleme Hızının ve Testere Dönüş Hızının Aktif güç Üzerindeki Etkisi

Hk= 50 mm Vk= 0,5–0,6–0,7 m/dk. Vc = 2389–2627–2866 d/dk



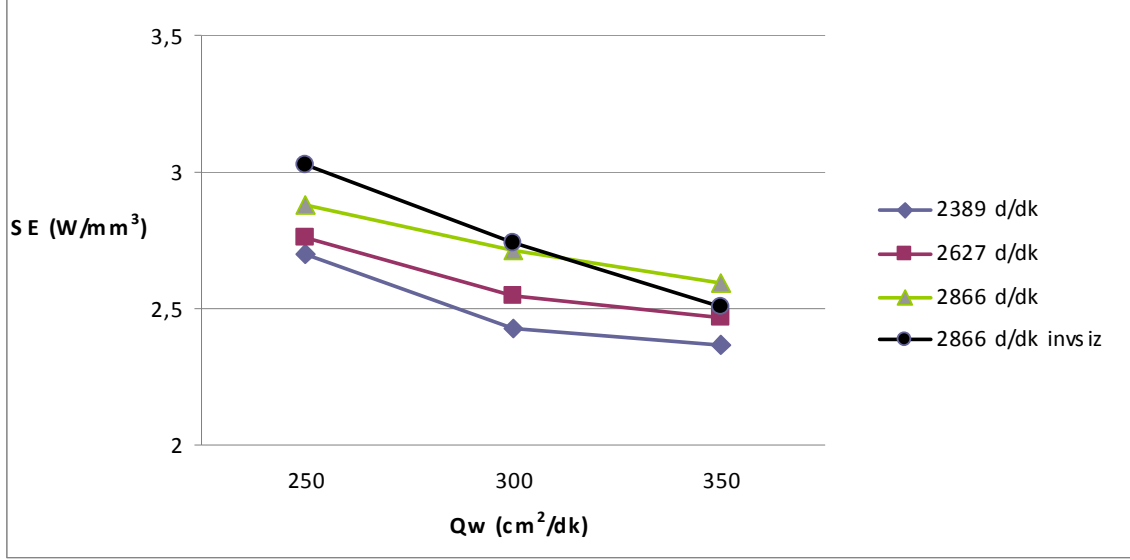
Şekil 4.1 İlerleme hızının ve testere dönüş hızının aktif güç üzerindeki etkisi

Yukarda ki şekilde inverter kullanarak değişik ilerleme hızlarında ve testere dönüş hızlarında açık döngü V/f kontrol yönteminde yapılan kesim işlemlerinin ve inverter kullanmadan sabit devirde yapılan kesim işleminin aktif güç eğrileri görülmektedir. Grafikten 2389 d/dk. ile kesilen mermerde ilerleme hızı arttıkça çekilen aktif güç miktarının arttığı açıkça görülmektedir. Grafikten 300 ile 350 cm²/dk ilerleme hızlarında invertersiz kesimin bazı inverterli kesimlere göre daha az aktif güç tükettiği görülmesine karşın en optimum değer inverterle yapılan 250 ile 300 cm²/dk ilerleme hızlarında olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığı altında en optimum kesim aralığının 250 ile 300 cm²/dk ilerleme hızlarında olduğunu söylemek mümkündür.

İnverter kullanılmasıyla bazı aralıklarda güç tüketiminin artmasına rağmen getirmiş olduğu birçok avantaj bulunmaktadır. Bunların başlıca avantajları geliştirilmiş kontrol teknikleriyle hız kontrolü, tork kontrolü, dijital ve analog giriş-çıkışlar, haberleşme, pozisyon kontrolü, genişletme kartlarıyla programlanabilme ve enerji tasarrufu modu v.b.

4.2 İlerleme Hızının ve Testere Dönüş Hızının Spesifik Enerji Üzerindeki Etkisi

Hk= 50 mm Vk= 0,5–0,6–0,7 m/dk. Vc = 2389–2627–2866 d/dk



Şekil 4.2 Testere dönüş hızının ve ilerleme hızının spesifik enerji üzerindeki etkisi

Spesifik kesme enerjisi birim hacimdeki kayacı kesmek için ihtiyaç duyulan enerji miktarı veya kayadan yeni bir yüzey açma olarak tanımlanır ve birimi J/m³ veya MPa'dır. Etkili ve verimli bir kesmenin yapılabilmesi için kesme hızının maksimum ve spesifik kesme enerjinin minimum olduğu nokta veya belirli bir aralık olmasına bağlıdır. Bu değer veya aralık kesme işleminin en ekonomik olduğu durumdur. Bu nedenle, spesifik enerji kesme verimliliğin bir ölçüsü ve kriteridir. Spesifik kesme enerjisi optimizasyonu kesme derinliği, kesme hızı, motor kapasitesi, testerenin geometrik özellikleri ile çalışma parametreleri, kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri gibi faktörler tarafından etkilemektedir.

Yukarıdaki şekilde farklı ilerleme hızları ve testere dönüş hızları için spesifik kesme enerjisi ile ilerleme hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Grafikten ilerleme hızı arttıkça spesifik enerjinin azaldığı açıkça görülmektedir. Ancak bir önceki grafikte kıyaslandığında 300 ile 350 cm²/dk ilerleme hızlarında harcanan aktif güç miktarı 250 cm²/dk da harcanan

aktif güç miktarına göre daha fazlaydı, oysaki bu grafikte 300 ile 350 cm²/dk ilerleme hızlarındaki spesifik enerji miktarının daha az olduğu görülmektedir. Fakat 300 ile 350 cm²/dk ilerleme hızları arasında ki spesifik enerji miktarları birbirine çok yakındır. Bu veriler dikkate alındığında en uygun kesme işleminin 350 cm²/dk ilerleme hızında ve 2389 d/dk testere dönüş hızında gerçekleştiği görülmüştür.

Kesilebilirliğin tahmininde spesifik kesme enerjisinin etkili bir gösterge olduğu göz önüne alınırsa ve spesifik kesme enerjisi kesme maliyeti ile direk olarak uygunluk gösterdiğinden bu aralıklarda yapılan kesim işleminin üreticiye çok fazla kazanç sağlayacağını söyleyebiliriz.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gerçekleştirilen deneylerde ilerleme hızının ve testere dönüş hızının açık döngü V/f ve enerji tasarrufu modunda aktif güç ve spesifik enerji üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

Deneylerde açık döngü V/f kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu kontrol yönteminin kullanılmasının amacı şudur; hızın ve dolayısıyla frekansın çok düştüğü çalışma noktalarında statora uygulanan gerilim de düşmektedir. Bu durumda stator direnci üzerindeki kayıplarda ihmal edilemeyecek kadar yükselecektir. Bu nedenle açık döngü V/f kontrol sisteminin girişine uygulanan yardımcı bir gerilim kontrollü doğrultucudan gelen sinyalle birleştirilerek statora uygulanan gerilimin artması sağlanacak ve stator kayıpları kompanze edilecektir. Böylece anma hava aralığı akışı ve maksimum moment dengede tutulmuş olacaktır. Dolayısıyla sistem kararlı olarak çalışmasını sürdürecektir.

Testere dönüş hızı enerji tüketiminde önemli rol oynamaktadır, çünkü testere dönüş hızının kayış kasnak yardımıyla yapılması veya kutup sayısının değiştirilerek devir ayarının yapılması optimum enerji açısından önemlidir. Gelişmiş inverterler kullanılarak basit bir şekilde devir ayarı yapabiliriz ve gelişmiş kontrol yöntemleri uygulayabiliriz. Bu sayede kesilen mermer optimum enerji ile kesilir ve işletmeye zaman ve maddi açıdan önemli katkılar sağlar.

Deney sonuçlarına bakarak Uşak yeşil mermeri için $350 \text{ cm}^2/\text{dk}$ ilerleme hızında ve 2389 d/dk testere dönüş hızında optimum enerjinin sağlandığını söylemek mümkündür, bu, sonuç da bize inverter kullanmanın işletmeye ne kadar fayda sağlayacağını göstermektedir. İşletme inverter kullanmadan bu mermeri kesseydi aynı ilerleme hızlarında invertersiz olarak 4000 W'lık bir güç harcayacaktı hâlbuki inverter kullandığımızda bu değer 3775 W'a inmiştir, arada 225 W'lık bir güç kaybı vardır. Eğer işletme günde 8 saat çalışacaksa bu aradaki fark katlanarak artacaktır. Bu sayede inverter kullanmanın tüketilen enerji açısından fabrikalara ne kadar fayda sağlayacağı açıktır.

6.KAYNAKLAR

Bağcıvandemir, M., 1997, “Mermer Oyma Makinesi Tasarımı ve Kesme Hareketlerinin İnverterle Kontrolü”, Yüksek Lis.Tezi, AKÜ.,Fen Bil. Ens., Afyon.

Bayram, F., Kulaksız, S., Özçelik, Y., 2003, “Katraklarda Mermerlerin Fiziki-Mekanik Özelliklerinin ve Kesim Hızının Elmas Soketlerdeki Aşınmalara Etkisi”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, Ankara.

Boduroğlu, T., 1988, “Asenkron Motorların Tasarım ve Konstrüksiyonu Cilt II., Kısım 3”, Beta Basım A.Ş., İstanbul.

Boduroğlu, T., 1981, “Asenkron Makineleri Dersleri Cilt II, Kısım 2”, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası Gümüşsuyu, İstanbul.

Bose, B.K., 2002, “Modern Power Electronics and AC Drivers”, The University of Tennessee, Knoxville, USA.

Buyuksagis, I. S. and Goktan, R. M., 2005, “Investigation of Marble Machining Performance Using an Instrumented Block-cutter”, Journal of Materials Processing Technology, Nov., Vol.169, pp.258-262.

Büyüksağış, I. S., 1998, “ Dairesel Testereli Blok Kesme Makinelerinde Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri ”, Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Chapman, S.J., 2002, “Electric Machinery and Power System Fundamentals”, 1st edition, BAF SYSTEM, Australia.

Chuang, H.J., 2005, "Optimisation of Inverter Placement for Mass Rapid Transit Systems by Immune Algorithm", IEE Proceedings of Electric Power Applications, Jan., Vol.152, pp.61- 71.

Çolak, İ., 2001, "Asenkron Motorlar", Nobel Yayın Dağıtım, 1.Baskı, Ankara.

Çınar, S.M., 2007, "Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu", Yük.Lis.Tezi, AKÜ., Fen Bil.Ens., Afyon.

Deniz, E., Altun, H., 2006, "Beş Seviyeli Kaskat İnverterle Beslenen 3 fazlı Asenkron Motorun V/F Kontrolü", Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, Elazığ.

Ersoy A., Atıcı Ü., 2004, "Spesifik Kesme Enerjisi ile Spesifik Deformasyon Enerjisinin Değerlendirilmesi", KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas.

Güleç, K., Pastacı, H., Engin, Ş., Karlık, B., 1999, "The Mathematical Structure of Dynamic Speed Controller of An Induction Motor Feed With a Voltage Source Inverter Drive by Using Based on a DSP-TMS320C50 System." 2nd International Conference on Mathematical and Computational Applications in Engineering.

Gündüz, V., 2003, "Mermer İşleme Fabrikalarında ST Makinelerin Kesim Performanslarının Belirlenmesi", Yük.Lis.Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bil. Ens., Adana.

Gürdal,O., 2000, "Güç Elektroniği", Nobel Yayın Dağıtım Ltd., Ankara.

Humphries, J.T., 1988, "Electronic AC Motors and Controls", Merrill publishing, Columbia.

İbrahim, A.M., 2004, “Fuzzy Logic for Embedded Systems Applications”, Amsterdam, Boston, Mass.

Jaroslav, L., Petr, S., 2004, “3-Phase AC Induction Motor Vector Control Using a 56F80X, 56F800 or 56F8300 Device” Freescale Semiconductor, USA.

Kasapoğlu, A., 1989, “Güç Elektroniği”,Birsen Yayınevi, İstanbul.

Kassakian, J.G. , 1991, “Principles of Power Electronics”, USA.

Kızır, S. ve Ertunç, H.M., 2006, “Mikro Kontrolör Tabanlı PID Kontrol Sistemi Eğitim Seti”, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 6-8 Kasım, pp.474-479.

Kleimaier, A. and Schröder, D., 2004, “Optimization Strategy for Design and Control of a Hybrid Vehicle”, IEEE Proceedings of 6th International Workshop on Advanced Motion Control, Nagoya-Japan, Dec.8-10, Vol.2, pp.1084- 1089.

Koca, Z., 2006, “Üç Fazlı Asenkron Motorların Yapay Sinir Ağları ile Vektör Esaslı Hız Kontrolü”, Yüksek Lis. Tezi., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bil.Ens., Kahramanmaraş.

Korkmaz, Y., 1993, “Asenkron Motora Ait Büyüklüklerin Bilgisayarda Çizilen Daire Diyagramından Tespiti”, Yük.Lis.Tezi, GÜ. Fen Bil. Ens, Ankara.

Korkmaz, Y., 2005, “İnvertörle Beslemenin Değişik Sargılı Asenkron Motorların Performansına Etkileri”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Ankara.

Krause, P., 1986, “Analysis of Electric Machinery”, McGraw Hill.

Ohtani, T., Takada, N., 1989, “Vector Control of Induction Motor Without Shaft Encoder” IEEE-IAS Annu, Meeting.

Onargan, T., Köse, H., 1997, “MERMER”, (Geliştirilmiş II.Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Yayın No: 220, ISBN 975 441 095 X, İzmir.

Ostadi, B., Moazzami, D., Rezaie, K., 2007, “A Non-linear Programming Model for Optimization of the Electrical Energy Consumption in Typical Factory”, Elsevier, Applied Mathematics and Computation 187, pp.944-950.

Sarioğlu, M.K., Gökaşan, M., Boğosyan, S. 2003, “Asenkron makineler ve Kontrolü”, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Sarioğlu, K., 1977, “Asenkron Makineler Cilt III”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

Sarul, M.H., 1993, “Tristörlü bir İnverterde Komitasyon Şartlarının İyileştirilmesi ve Bu İnverterle Asenkron Motor Sürülmesinde Harmonik Kayıplarının İncelenmesi.”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniv., Fen Bil.Enst, İstanbul.

Spiegel, R.J., Turner, M.W., McCormick, V.E., 2003, “Fuzzy-logic-based Controllers for Efficiency Optimization of Inverter-fed Induction Motor Drivers”, Elsevier, Fuzzy Sets and Systems 137, pp.387-401.

Şahin,E., 1996, “Eviriciler”, Bitirme Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bil. Ens., İzmit.

Tunç, M., Çamdalı, Ü., Parmaksızoğlu, C., 2006, “Comparison of Turkey’s Electrical Energy Consumption and Production with Some European Countries and Optimization of Future Electrical Power Supply Investments in Turkey”, Elsevier, Energy Policy 34, pp.50-59.

Xu, X. P., Li, Y. Malkin, S., 2001, “Forces and Energy in Circular Sawing and Grinding of Granite”, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Feb., Vol.123, pp.13-22.

Xu, X. P., Li, Y., Zeng, W. Y. and Li, L. B., 2002, “Quantitative Analysis of the Loads Acting on the Abrasive Grits in the Diamond Dawing of Granites”, Journal of Materials Processing Technology, Oct., Vol.129, pp.50-55.

Yüksel, İ., 2006, “Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri”, Nobel, 5. baskı, Ankara.

6.1 İnternet Kaynakları

	Erişim Tarihi
1. http://www.emo.org.tr	26/12/2007
2. http://www.ergenlermakina.com	27/12/2007
3. http://www.ergenlermakina.com	09/01/2008
4. http://www.tkntr.net	10/03/2008
5. http://www.plcprogramlama.com	26/03/2008
6. http://www.elektrik.gen.tr	03/04/2008
7. http://www.otomasyontr.org	28/05/2008
8. http://www.elektrik.gen.tr	15/05/2008

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa DURSUN

Doğum Yeri : Kayseri

Doğum Tarihi : 25.10.1981

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Kayseri Merkez Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi, 1999

Ön Lisans :Erciyes Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksekokulu,2002

Lisans :Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 2006

Yüksek Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
2008