

OG MOTORLARINDA ENERJİ TASARRUFU AMAÇLI FREKANS KONVERTÖRÜ KULLANIMI VE UYGULAMALARI

Attila YAPAR

attilayapar@kontekotomasyon.com.tr

ÖZET

Toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %40'ını tüketen elektrik motorlarında enerji verimliliği konusu, mühendislik çalışmalarında her zaman güncelliğini koruyan en önemli konulardan biridir. Artan nüfusla ve buna paralel tüketimle birlikte içme suyu, atık su ve zirai (sulama) amaçlı altyapı sistemlerinde kullanılan motorların güçlerinin büyümesinden ve imalat üretim kapasitelerinin artmasından dolayı prodesteki motor güçlerinin artması; sayıları standart alçak gerilim motorlarına göre çok az olmakla birlikte, tükettikleri enerji açısından toplam motorların tükettiği enerjinin %23' ünü tüketen orta gerilim motorları, enerji tasarrufu çalışmalarında dikkate alınması gereken ana unsurlardandır. Bu bildiri de orta gerilim motorlarında frekans konvertörü kullanılarak yapılabilecek enerji tasarrufu konusu, daha çok pratik örneklemelerle ele alınmaya çalışılmıştır.

GİRİŞ:

Elektrik motorlarının dünyadaki toplam elektrik tüketiminde payı, yaklaşık % 43-46 arasındadır. Motorların ihtiyacı olan enerjinin üretimi sırasında atmosfere yaklaşık 6.040Mt CO₂ (karbondioksit) salınımı yapılmaktadır. 2030 yılına kadar, etkili ve kapsamlı enerji politikaları izlenmezse, elektrik motorlarının enerji

tüketimi yılda 13.360 TWh ve bu enerjinin üretilmesi içinde yılda 8.570Mt CO₂ salınımı olacağı öngörülmektedir.

Elektrik motorlarının tükettiği enerjinin şu an son kullanıcılara maliyeti, yılda 565 milyar US\$ olup, bu rakamın 2030 yılında 900 milyar US\$ olması beklenmektedir.

Tablo1 :Sektörlere göre, EDMS* elektrik tüketimleri

Sektör	Elektrik Tüketimi	% Tüm EMDS elektrik tüketimi	% Sektör elektrik tüketim oranları
Endüstri	4488 TWh/yıl	%64	%69
Ticari	1412 TWh/yıl	%20	%38
Ev , işyeri ve binalar	948 TWh/yıl	%13	%22
Nakliye ve tarım	260 TWh/yıl	%3	%39

Kaynak: IEA istatistik, 2006 (national electricity demand); A+B International, 2009 (motor calculations)

* EMDS : Elektrik motor-driven system (Elektrik motorları ile tahrik edilen sistemler)

2030 yılına kadar, dünyadaki tüm ülkelerin minimum enerji performans standartlarına (MEPS) uyması durumunda yılda endüstriyel elektrik motorlarının enerji tüketimlerinde 322TWh tasarruf ve bunun yanında 206 Mt CO₂ salınımında engellenebileceği tahmin edilmektedir.

Elektrik motorları sektörlere göre sınıflandırılırsa,

İkametgahlar : Soğutma (klima, buzdolabı), fanlar, yemek pişirme cihazları (fırınlar, davlumbazlar, fırın fanları) küçük

ev aletler (mikserler), çamaşır makinaları, saç kurutma makinaları, hard disk ve fanlar, bahçede kullanılan cihazlar, otomatik kapı geçiş sistemleri ...

Ticari binalar: Motorlar genellikle ısıtma, soğutma sistemleri (HVAC), asansör, büro makinalarında (hard disk, fanlar)kullanılır.

Tarım : Pompa ve konveyör sistemleri.

Taşıma: Elektrik trenler, arabalar, motorsikletler.

Endüstri: Pompalar, fanlar, konveyörler, vinçler, kompresörler. Avrupa birliği ülkelerinde endüstride kullanılan elektriğin %70 ini elektrik motorları tüketmektedir.

Motorların sektörlerdeki payları :

- Endüstri :68.9%
 - Ticari : 38.3% (ağırlıklı HVAC)
 - Tarım : 20% - 25% (pompa ,fan)
 - İkematgah : 20% - 25% (soğutucu , dondurucu ve HVAC)
 - Ulaşım : 60% elektrikli taşıma sistemleri
- Kaynak (UIC, 2008).

Büyük güçlü motorlar: Büyük güçlü motorlar dendiğinde; gücü 375 kW, gerilim seviyesi 1kV üzerindeki motorlar anlaşılmaktadır. Adet olarak sayıları az olmakla birlikte, toplam motorların tükettiği enerjideki payları %23 civarındadır. Uygulama alanları, altyapı uygulamalarında (atıksu, içme suyu ve sulama amaçlı pompalar) ve endüstriyel tesislerde fan, pompa, konveyör ,vinç uygulamaları.

Tablo2 : Elektrik motorlarının tipleri, enerji tüketimleri ve adetleri

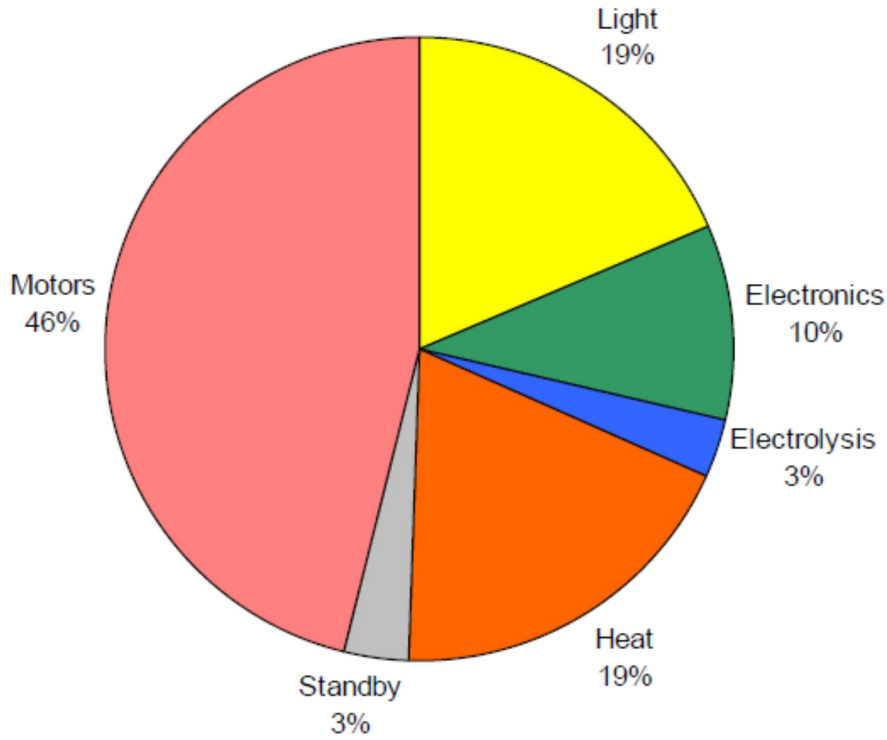
Minimum Size 1kW	Tüm Elektrik Motor Tipleri	Maksimum 100.000kW
Küçük motorlar	Orta büyüklükte genel kullanım amaçlı motorlar	Büyük Motorlar
10W-750 W	0,75kW -375kW	375kW -10.000kW
Pompa ,fan	Pompa, fan, kompresör,konveyör,endüstriyel taşıma ve kaldırma sistemleri	Endüstri ve altyapı uygulamaları
Tek fazlı	Çok fazlı	Çok fazlı
<240V	Alçak gerilim 200V-1000V	1kV-20kV gerilim seviyesinde
İndüksiyon, şönt sargı, vb.	Asenkron	Senkron Asenkron ,
	AC indüksiyon motorları	Özel dizayn
	2-4-6-8 kutuplu	Sahada montaj
Müşteriye özel imalat	Standart boyutlar (IEC), stoktan ya da kısa sürede teslim	
	Özel motorlar; Teknoloji: DC, kalıcı mıknatıslı, relüktans motor, step motor,servomotor vb Çevresel Şartlar: ex-proff, yüksek sıcaklık, vb.	
%9 enerji	%68 enerji	%23 enerji
2 milyar adet	230 milyon adet	0,6 milyon adet

Kaynak : A+B International ,2009

Tablo3 : Sektör ve son kullanıcı bazında global enerji tüketimleri (TWh) 2006

Sektör	Tüm	Aydınlatma	Elektronik	Elektroliz	Isıtma	Standby	Motor
Endüstri	6500	500	200	500	800	100	4400
Ulaşım	300	100	0	0	0	0	200
İkametgah	4300	900	700	0	1600	200	900
Ticari ve servis	3700	1300	500	0	300	200	1500
Tarım, orman ve balıkçılık	400	0	100	0	200	0	100
Diger	500	100	100	0	200	0	200

Kaynak: A+B International, 2009



Şekil 1 :Sektör ve son kullanıcı bazında global enerji tüketimleri (TWh) 2006

Özetle, yukarıdaki sayısal veriler bize, tüketilen elektrik enerjisini içinde elektrik motorlarının payının hangi seviyelerde olduğunu; elektrik motorlarının boyutlandırılmasında, seçilmesinde ve işletme aşamasında efektif kullanıldığında yapabileceğimiz enerji tasarrufunu ve bu sayede atmosfere atılacak CO₂ emisyonunu hangi boyutlarda azaltılabileceğimi göstermesi açısından çok önemlidir.

Burada, büyük güçlü motorların frekans konvertörü uygulamaları ile, nasıl enerji

tasarrufu yapılabileceği açıklanmaya çalışılacaktır.

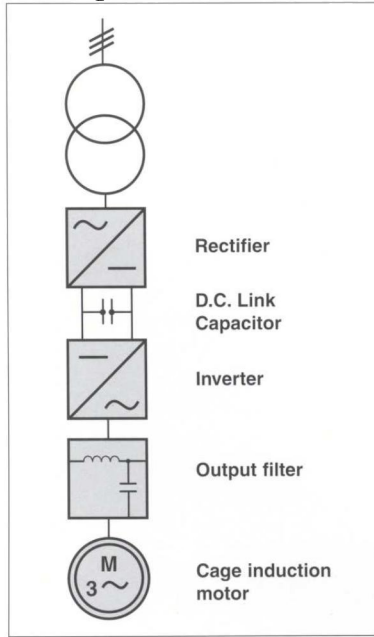
Öncelikle orta gerilim motorlarının yol vermesinde kullanılan frekans konvertörleri ve çeşitlerinin neler olduğuna bakılacak olursa;

Orta Gerilim Frekans Konvertörü Tipleri

Orta Gerilim frekans konvertörleri, yük tipine (karesel yük, sabit moment, sabit güç) motor gücüne, motor yapısına (kısa

devre asenkron motor, bilezikli asenkron motor, senkron motor, kalıcı mıknatıslı motor) ve imalatçıların geliştirdikleri teknolojilere göre farklılıklar gösterir. Uygulamalarda karşılaşılan başlıca tip frekans konvertörleri şunlardır;

1. Gerilim Kontrollü Inverterler (Voltage Source Inverter, VSI)



Şekil 2 : Gerilim kaynaklı OG frekans konvertörü

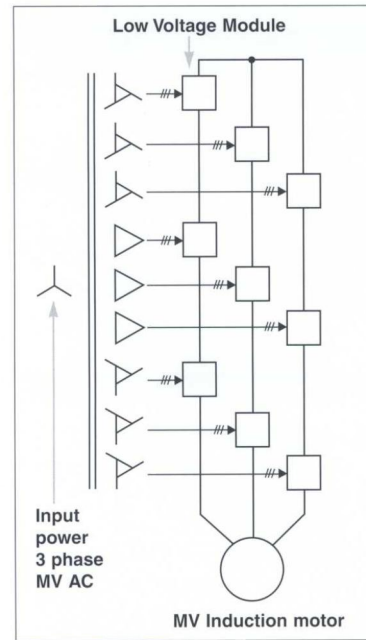
Sistem, DC barada sabit gerilim tutmak için gerilim kontrollü inverterden oluşur. Giriş harmonik seviyesini düşürmek için, giriş doğrultucu devresi (rectifier) 12 veya 24 pulse olarak seçilir. AC gerilim, doğrultucu devresinden DC gerilime dönüşmüş olarak çıkar. DC baradaki kondansatörler, doğrultucu çıkışındaki DC gerilimi düzeltmek, depolamak ve motorun ihtiyacı olan reaktif enerjiyi sağlamak için kullanılır.

DC gerilim, GTO (Gate Turn-Off Thyristor), yüksek gerilim IGBT (Insulated Gate Bipolar Thyristor) ya da IGCT (Integrated Gate-Commutated Thyristor) gibi güç elektroniği anahtarlama elemanları kullanılarak nötr noktası birleştirilmiş iki ya da 3 katlı evirici (inverter) devresinde istenen gerilimde ve frekansta alternatif gerilime dönüşür. Nötr

noktası birleştirilmiş DC bara motor yüklenebilirliğini artırır.

Bazı imalatçılar opsiyon olarak evirici çıkışında çıkış sinüs filtresi kullanır. Bunun amacı evirici çıkışındaki gerilimdeki pikleri elimine etmek ve motora tam sinüsoidal gerilim vermektir. Bu sayede evirici devredeki anahtarlama kaynaklı motor sargılarına uygulanacak du/dt pik gerilimleri engellenerek motor sargılarında oluşacak izolasyon sıkıntıları aşılmış olur, ayrıca da frekans konvertörü ile motor arası kablo mesafesi kısıtlaması ortadan kalkarak kablo boyu istenildiği kadar uzatılabilir.

1.1 Çok Katlı Gerilim Kontrollü Inverterler (Multi Level Voltage- Source Inverter, VSI)



Şekil3: Çok katlı gerilim kontrollü OG frekans konvertörü

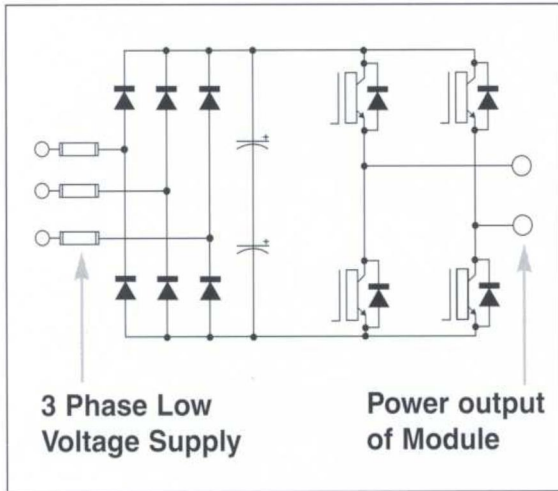
Bu tip frekans konvertörleri gerilim kontrollü inverterlerinin en yaygın kullanılan tipidir. Giriş besleme tarafında çok sargılı faz kaydırmalı özel bir transformatör kullanılır. Kullanılan transformatör sayesinde doğrultma devresi 24-36 pulse arasında olabilir.

Kullanılan modüllerde (low voltage module) doğrultma, DC bara ve evirici devreleri birlikte bulunur. 2 veya 3 katlı evirici tekniği kullanılır.

Bu tip frekans konvertörlerinde, çıkış filtrları kullanılmasına ihtiyaç yoktur. 36 pulse kadar kullanılabilen giriş doğrultucu devresi sayesinde harmonik akım seviyeleri standartlarda tanımlanan IEEE-519 (1992) değlerleri oldukça altındadır.

Tam yükte güç faktörü 0,95 civarındadır. Toplam frekans konvertörü verimi tam yükte transformatör dahil yaklaşık %97'dir.

Çıkış gerilimin sinüsoidal olmasından dolayı özellikle eski sistemlerin frekans konvertörü ile yenilenmesi durumlarında özel bir kablo ya da çıkış filtre kullanılmasına ihtiyaç yoktur.



Şekil 4. Alçak gerilim modülü

Avantajları:

- Çok düşük hızlarda tam tork verebilme
- Giriş güç faktörü 1'e yakın
- Motor sargılarında ekstra stres oluşmaz
- Kablo boyu istenildiği kadar olabilir.
- Küçük boyutlar
- Yüksek verimlilik
- Yüksek dinamik performans

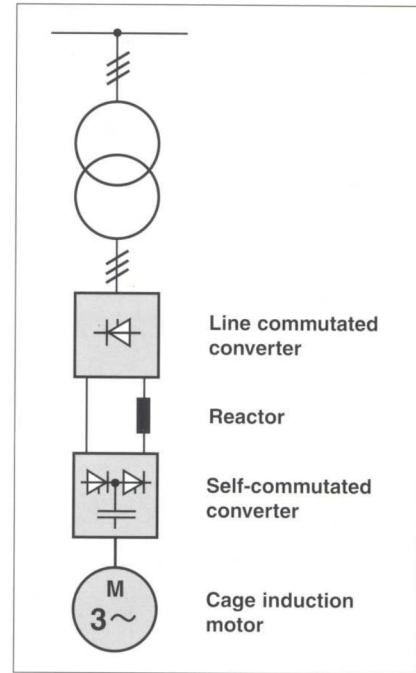
Uygulamalar: Fan, pompa, kompresör, extruder, yüksek dinamik hız hassasiyeti istenen yerler

Teknik Datalar

Güç	: 8000 kW'a kadar
Gerilim	: 2,3 – 6,9 kV
Çıkış Frekansı	: 0 – 200 Hz.
Konverter verimi	: %97-98
Hız kontrol aralığı	: 0-100%

2. Akım Kontrollü Inverterler (Current Source Inverter ,CSI)

Sistem DC baralı akım kaynaklı inverterden oluşur. Giriş tarafında kontrollü doğrultucu ve reaktörlü DC bara bulunur. Kendinden kontrollü inverter devresi DC akımı ayarlanabilir frekansta 3 faz akıma dönüştürür. Motor akımının genliği doğrultucu devresi ile, motorun hızı ise inverter devresinden kontrol edilir.



Şekil 5. Akım kontrollü inverter

Avantajları: 4 Bölge çalışma imkanı
Ekonomik bir çözüm.

Dezavantajları: Düşük hızlar için uygun değil.

Düşük hızlarda güç faktörü düşük.

DC barada reaktör kullanımı ilave kayıplar ve maliyet getirir.

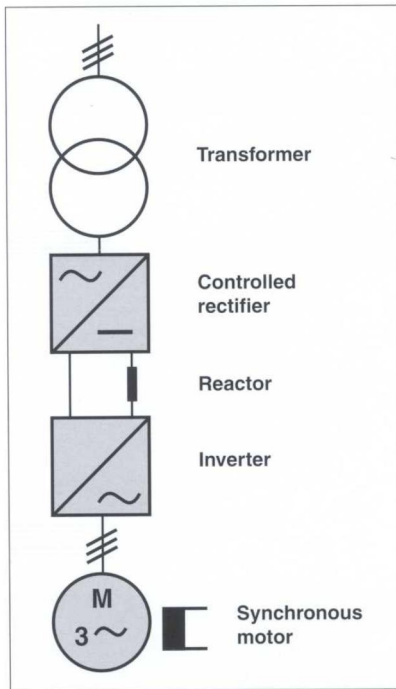
Uygulamalar : Pompa, Fan, Blower

Teknik Datalar

Güç : 8000kW ‘ kadar
Gerilim : 2,3 – 6,9kV
Çıkış Frekansı : 0 - 75Hz.
Konverter verimi : %97
Hız kontrol aralığı : 2-100%

3. *Yük anahtarlama Inverter (Load Commutated Inverter LCI)*

AC akımdan kontrollü doğrultucu ile DC akım elde edilir. DC barada reaktör kullanılır. Yük anahtarlama inverter DC akımı anahtarlama motora değişken frekans ve gerilim uygular. İnverter statik komutatör gibi davranır. Bu uygulamada senkron makine aynı DC makine gibi kontrol edilir.



Şekil6. Akım anahtarlama inverter

Avantajları: Orta ve yüksek güçlü motorlarda kullanılabilir.

Fırçasız ve bilezikli Senkron makineler için uygundur.

4 bölge çalışabilir.

Geniş hız ayar sahası ve güç aralığı

Dezavantajları:

Standart kısa devre asenkron motor için uygun değil.

Basit ve ekonomik bir çözüm değil.

Standart frekans konvertörüne göre hacmi büyük .

Uygulamalar;

Haddehane

Denizcilik

Çimento Değirmeni

Maden vinç kaldırma

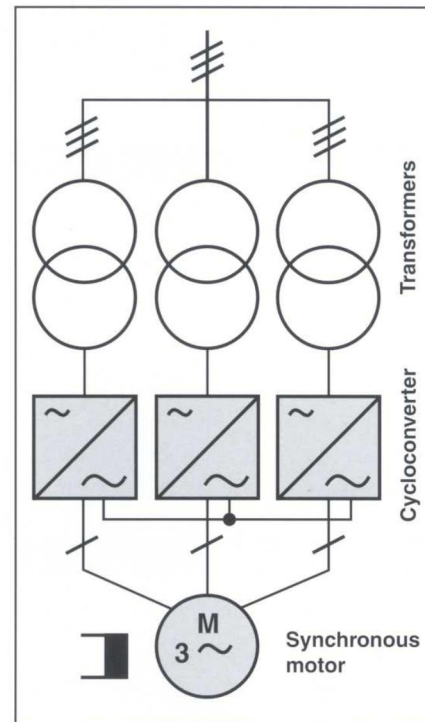
Tünel fanları

Teknik Datalar

Güç : 1-80 MW ‘a kadar
Maksimum hız : 7500 rpm
Konverter verimi : >%99
Hız kontrol aralığı (0)-10-100%

4. *Cycloconverter*

Her bir motor fazının paralel olmayan 6 pulse kendi inverteri bulunur.3 fazlı akım kaynaklı konvertör gibi davranır.



Şekil7. Akım anahtarlama inverter

Cycloconverter herhangi bir DC ara devre olmadan şebeke frekansı ve gerilimini yük frekansında değişken gerilime çevirir. Yük frekansı şebeke frekansının %40 ile sınırlıdır. Frekans ayar sahasının üzerinde konvertörün maksimum performansı stator ve uyarma akımının statik ve dinamik olarak kontrol edilerek sağlanır.

Avantajları:

4 bölge çalışma

Motor güç faktörü 1 yapılabilir.

Yüksek stall ve tutma torku

Düşük hızlarda mükemmel kontrol

Yüksek dinamik hassasiyette aşırı yük kapasitesi

Alan zayıflatma bölgesi: 1:3

Dezavantajları:

Maksimum çıkış frekansında limitli

Güç faktörü hız ayar bölgesi üzerinde sabit değil.

Uygun ekonomik bir çözüm olmayabilir.

Standart drive a göre fazla alan kaplar

Uygulamalar:

Hadde

Gemi uygulamaları

Maden vinç uygulamaları

Tunel fanları

Teknik Datalar

Güç : Alçak Gerilim 1,5-15 MW
'a kadar

Yüksek Gerilim 5-30MW

Maksimum hız: 600/720 rpm 50 Hz
sistemde

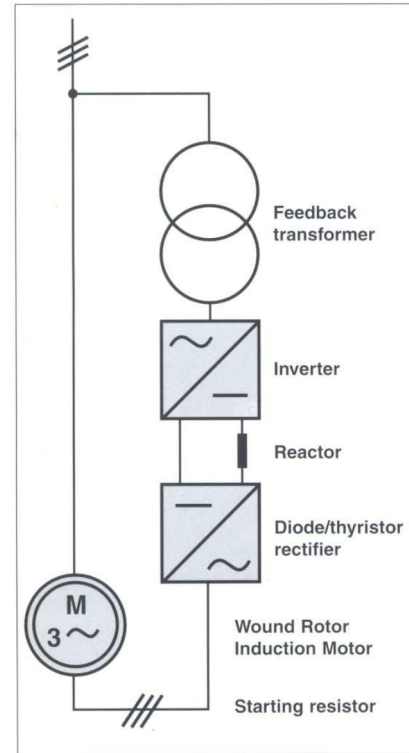
Hız aralığı : 0-100 Hz

Motor frekansı: 20-24 Hz.

5. *Kaskat / Kramer / slip enerji geri kazanım Inverter* (*Cascade/Kramer/ Slip Energy Recovery (SER)*)

Rotor gerilim ve frekansı 3 fazlı diyot ya da tristör köprü doğrultucu devresi ile reaktörlü DC baraya oradan da AC olarak

şebekeye basılır. Motorun hızı DC akımı kontrol edilerek sağlanır.



Şekil 8. Kaskat inverter

Avantajları:

Rotor devresinin enerjisini şebekeye vereceği için ekonomik bir çözümdür.

Yüksek toplam verim

Motora konvertörden bağımsız olarak yol verilir ve sabit hızda çalışır. Doğasından by-paslı bir sistem.

Mevcut bilezikli motorların revizyonu için uygun çözüm

Dezavantajları ;

Standart kısa devre motorlarda kullanılmaz
Güç faktörü hız ayar sahası dışında sabit değil.

Uygulamalar:

Fan, pompa

Bilezikli asenkron motor revizyonlarında

Kırıcı ve değirmen

Kompresör ve blower

Ağaç soyma makinaları

ENERJİ TASARRUFU

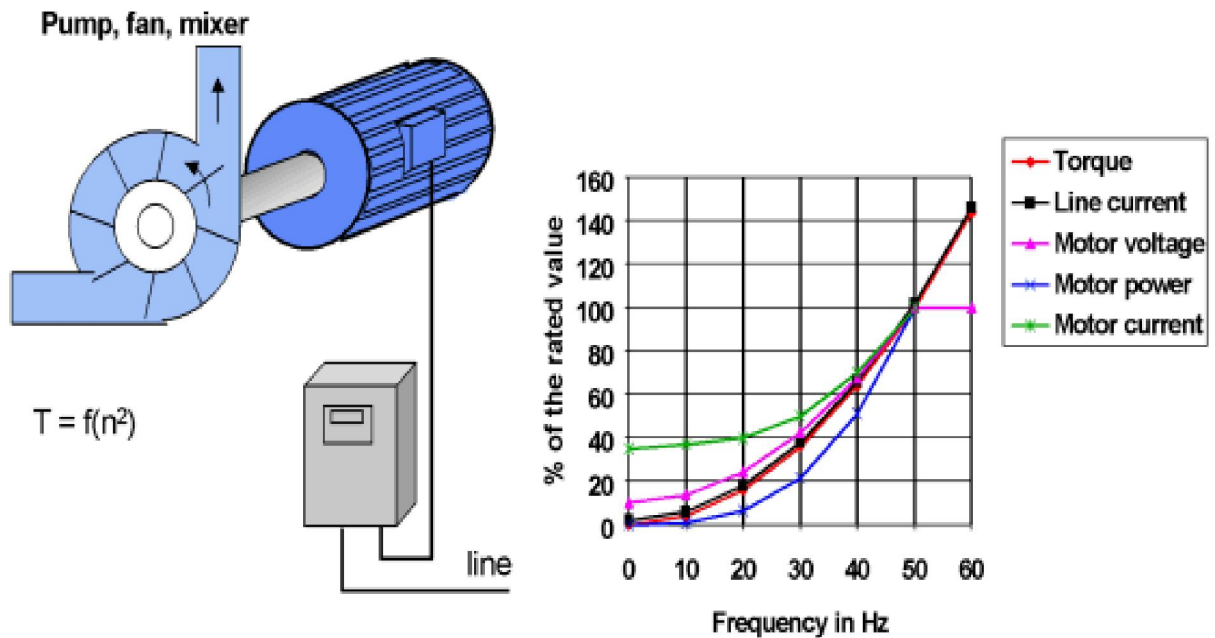
Giriş bölümünde de kısaca özetlendi gibi, toplam enerji tüketiminin büyük bölümü (yaklaşık %40'ı) elektrik motorları tarafından yapılmakta. Elektrik motorlarının alt kırılımları yapıldığında fan ve pompaların tüketimdeki payı % 38, kompresörlerin payı ise %32. (Kaynak DE Almeida et al. 2008b; A+B International,2009.) Yük karakteristiğinden dolayı, frekans konvertörü uygulamaları ile enerji tasarrufu yapılabilecek en iyi uygulamalar fan ve pompalardır. Bu bildiride, frekans konvertörü ile enerji tasarrufu çalışmaları hem yük karakteristiği açısından, hem de motor uygulamalarının büyük bir bölümünü kapsaması açısından öncelikle fan ve pompa uygulamaları sonrasında ise kompresör uygulamaları üzerinden incelenmiştir.

Frekans konvertörü ile motor uygulamasında tasarruf edebilmenin tek

şartı, prosesin bize hızı azaltma imkanı verebiliyor olmasıdır. Şu asla unutulmamalıdır ki bir fanın, pompanın, blowerın ya da kompresör motorunun nominal devrinde çalışması gereken bir yerde frekans konvertörü ile enerji tasarrufu yapmak söz konusu olamaz. Burada şu da yanlış anlaşılmasın, frekans konvertörü enerji tasarrufu yapmasa bile yumuşak kalkış-duruş özelliği bile sistemin mekanik ömrünü ve bakım süresini ciddi anlamda uzatmakta dolaylı olarak yine de bize ekonomik fayda sağlayabilmektedir. Frekans konvertörü ile enerji tasarrufu nasıl yapılabilir anlamak için öncelikle yük tiplerini incelemek gerekir.

a. Değişken Momentli Yükle;

Fan ve pompa yükleri karakteristik olarak değişken momentli yüklerdir. Değişken momentli yüklerde moment hız ile karesel orantılı değişir. Bu nedenle bu tip yüklere karesel momentli yüklerde denir.



Şekil 9 : Değişken momentli yükler ve devire göre akım, tork, güç ilişkileri

Değişken momentli yüklerde tasarrufun nasıl edilebileceğini aşağıdaki basit denklemler açıklamaktadır.

- Debi Hız İlişkisi $Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2$
- Basınç Hız İlişkisi $H_1 / H_2 = (n_1 / n_2)^2$
- Güç Hız İlişkisi $P_1 / P_2 = (n_1 / n_2)^3$

Q_1 : n_1 hızındaki debi
 Q_2 : n_2 hızındaki debi
 H_1 : n_1 hızındaki basınç
 H_2 : n_2 hızındaki basınç
 P_1 : n_1 hızındaki güç
 P_2 : n_2 hızındaki güç

Buradan çıkan sonuçlar ;

1. Hız ile debi doğru orantılıdır
2. Hız ile basınç karesel orantılıdır
3. Hız ile güç küpsel orantılıdır.

Küçük bir örnek verecek olursak motorun devri %10 yavaşlatıldığında, şebekeden çekilen güç;

$$n_2 = 0,9 n_1$$

$$P_1 / P_2 = (n_1 / 0,9 n_1)^3$$

$$P_1 / P_2 = (n_1 / 0,9 n_1)^3 \quad P_2 = 0,729 P_1$$

Yukarıdaki denklemden de görüldüğü gibi hızın %10 azalması durumunda çekilen güç ilk güce oranla %27 azalmıştır. Burada frekans konvertörünün verimini de %96-97 arası aldığımızda giriş gücü;

$P_2 = (0,729 / 0,96) P_1 = 0,76 P_1$ olacaktır.
Yaklaşık %24 tasarruf.

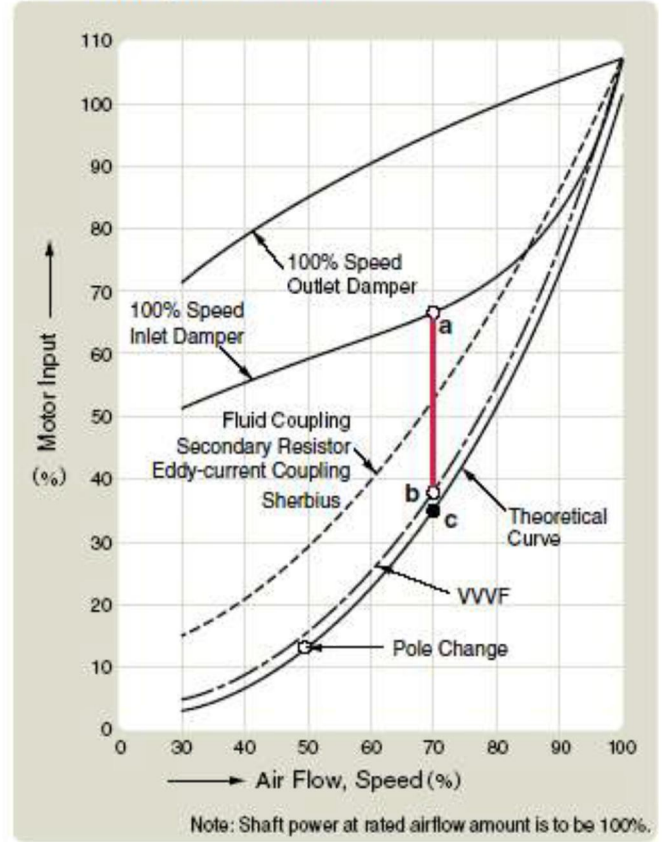
Pompa ya da fanın debi kontrolü mekanik olarak yapılıyorsa; yani sistemde vana ya da klepe kullanılıyorsa elbette vana ya da klepenin kısılması durumunda da şebekeden çekilen akım ve güç nominal değerlerin altında olacaktır. Fakat frekans konvertörü ile karşılaştırıldığında oldukça düşük oranlarda kaldığı görülür.

Aşağıda bir blowerda frekans konvertörü kullanılarak yapılan enerji tasarrufu uygulaması örneği verilmiştir.

Motor etiket değerleri: 500kW, 3300V, 6 kutup (1000rpm), motor verimi %95

Çalışma şartı: 1. %70 debi giriş damper ile motor nominal hızında

◆ Consumed power of blower motor



Şekil 10 : Blower motoru enerji tüketimi

2. %70 debi frekans konvertörü ile

Giriş damperi ile şebekeden güç tüketimi
 $500kW \times 0,9 \times 0,68 / 0,95 = 322kW$

0,68 a noktasında giriş damperi ile %70 debideki güç tüketimi
 0,95 motor verimi

Frekans konvertörü ile;
 $500 \times 0,9 \times (0,7)^3 = 154kW$

Motor giriş gücü :
 $154kW / 0,95 = 162,4kW$

Şebekeden çekilen güç ;

$162,4 / 0,97 = 167kW$ 0,97: frekans konvertörünün verimi

Tasarruf edilen enerji : $322 - 167 = 155kW$

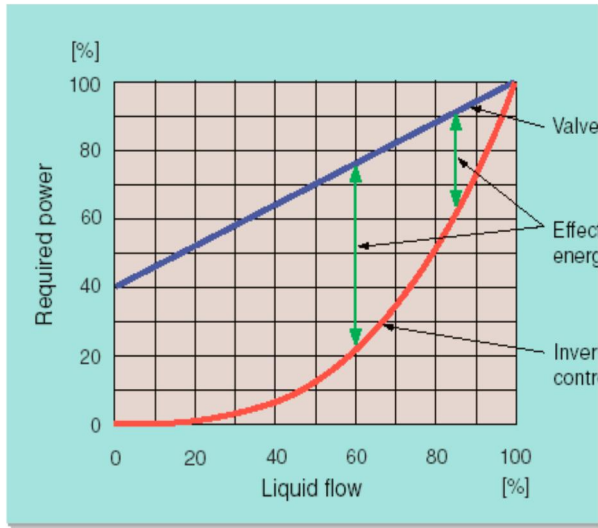
Bu motorun yılda 6000saat çalıştığını düşünürsek yıllık enerji tasarrufu:
 $155\text{kW} \times 6000 \text{ saat} = 930.000\text{kWh}$

*6000 saat çalışma yaklaşık 8.3 ay 24 saat çalışma.

Not: 0,9 çarpanı motorun nominal gücü ile mekanik güç arasındaki orandan gelmektedir.

Şimdide pompa uygulamasında enerji tasarrufunu inceleyelim.

Liquid flow and power characteristics



Şekil 11 : Sıvı akış ve güç karakteristiği.

Çalışma şartları:

Motor: 1000kW toplam çalışma saati 4000 saat

%85 akış çalışma zamanının yarısında

%60 akış çalışma zamanının diğer yarısında

Vana kontrolü ile çalışma;

%85 akışta,

$$P = \%91 \times 1000\text{kW} = 910\text{kW}$$

%60 akışta,

$$P = \%76 \times 1000\text{kW} = 760\text{kW}$$

Yıllık enerji tüketimi;

$$(910\text{kW} \times 2000\text{h}) + (760\text{kW} \times 2000\text{h}) = 3.340.000\text{kWh}$$

Frekans konvertörü ile;

%85 akışta,

$$P = (\%85)^3 \times 1000\text{kW} = 614\text{kW}$$

%60 akışta,

$$P = (\%60)^3 \times 1000\text{kW} = 216\text{kW}$$

Yıllık enerji tüketimi;

$$(614\text{kW} \times 2000\text{h}) + (216\text{kW} \times 2000\text{h}) = 1.660.000\text{kWh}$$

Yıllık enerji tasarrufu :

$$3.340.000\text{kWh} - 1.660.000\text{kWh} = 1.680.000\text{kWh} \text{ yaklaşık } \%50 \text{ tasarruf}$$

CO₂ Karbondioksit salınımındaki azalma ise 635.040kg

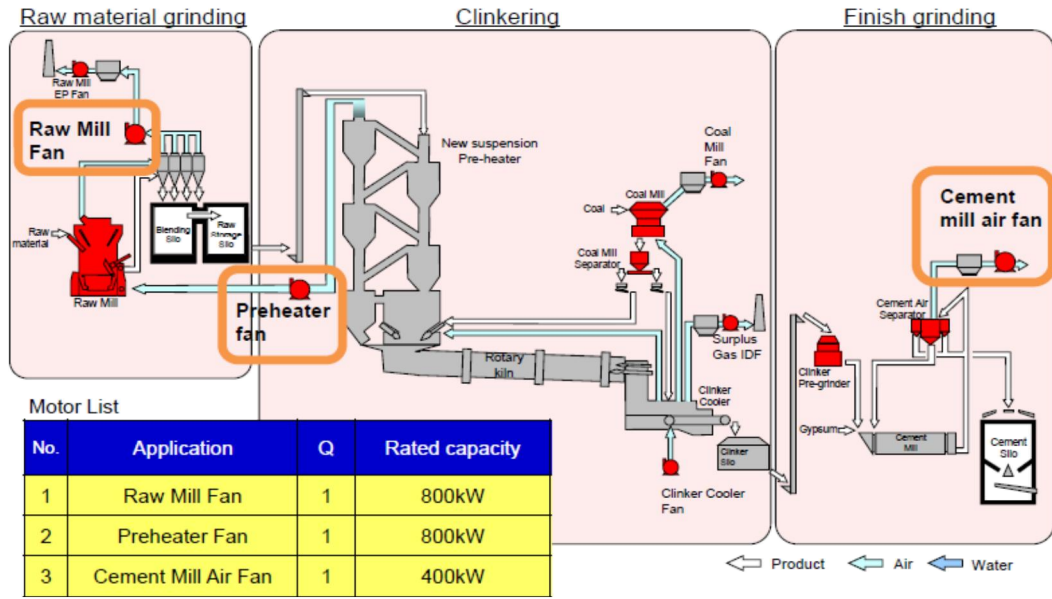
Çimento fabrikasında yapılan gerçek bir uygulama örneği;

Uygulama : Çimento fabrikası (Kuzey Vietnam'da)

Hedef : 3 fan motoruna enerji tasarrufu amaçlı frekans konvertörü uygulaması .

Mevcut durum: Fan motorlarının debisi damper kontrolü ile kontrol edilmekte.

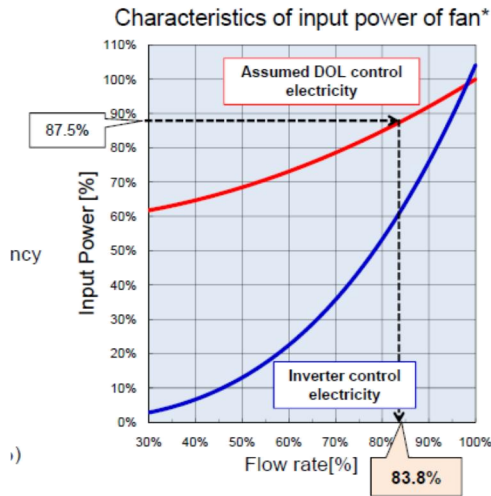
1. Farin Değirmen Fanı



Şekil12: Çimento fabrikasındaki 3 motora frekans konvertörü uygulaması

Nominal Güç: 800kW
 Nominal Gerilim: 6000V
 Nominal Akım: 94,9 A

%100 yükte şebekeden çekilen güç:
 Mil gücü / motor verimi =766kW



Şekil 13: Fanın giriş güç karakteristiği
 Güç faktörü : 0,86
 Devir : 1450 rpm

Çalışma Rejimi: Ortalama çekilen akım 75A , yılda toplam 7500 saat çalışma
 Fanın yük eğrisi bulunamadığından yandaki genel fan karakteristiği kullanılmıştır.

Mevcut durumdaki güç tüketimi;
 $P = \sqrt{3} \times 6000V \times 75A \times 0,86$
 $P = 670kW$

Giriş gücü (%)
 $670kW / 766kW = \%87,5$
 eğriden akış oranı: %83,8 bulunur.

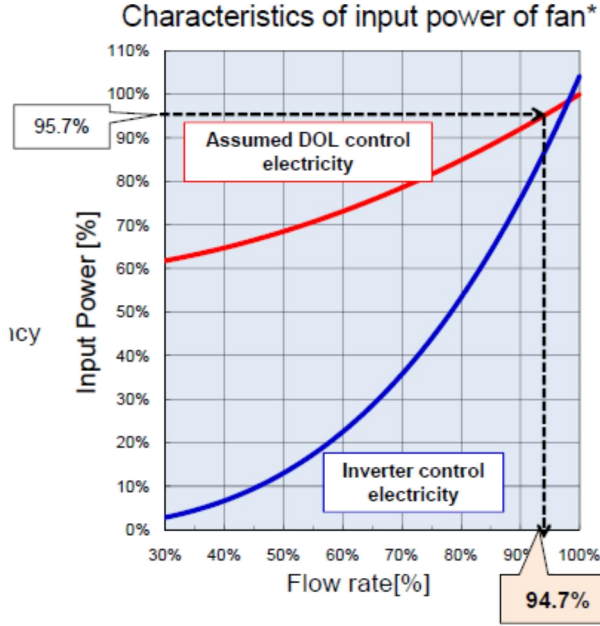
1. Klepe kontrolü ile enerji tüketimi : 670kW
2. Frekans konvertörü kullanıldığında;
 Hız değişimi 1: %83,8
 Mil gücü (kW) = Nominal Mil gücü (kW) x (Ortalama hız %)³
 $= 720kW \times 0,838^3 = 424kW$

Giriş gücü = mil gücü / motor verimi / FC verimi
 $= 470kW$

3. Enerji Tasarrufu : 670kW - 470kW = 200kW
 Yıllık enerji tasarrufu : 200kW x 7500saat = 1.500.000 kWh
 Yıllık enerji tasarruf tutarı : 1.500.000 kWh x 1.095 = 1.642.500.000 VDN

2. Ön Isıtıcı Fanı

Nominal güç : 800kW
Gerilim : 6000V
Akım : 95,7A
Güç faktörü : 0,85
Devir : 1450 rpm



Çalışma rejimi: ortalama çekilen akım 83A, yılda toplam 8000 saat.

Fanın yük eğrisi bulunamadığından yandaki genel fan karakteristiği kullanılmıştır.

Mevcut durumdaki güç tüketimi;

$$P \sqrt{3} \times 6000V \times 83A \times 0,85$$

$$P = 733kW$$

%100 yükte şebekeden çekilen güç:

$$\text{Nominal mil gücü} / \text{motor verimi} = 766kW$$

Giriş gücü (%)

$$733kW / 766kW = \%95,7$$

eğriden akış oranı: %94,7 bulunur.

1. Klepe kontrolü ile enerji tüketimi : 733kW
2. Frekans konvertörü kullanıldığında;

Hız oranı: %94,7

$$\begin{aligned} \text{Mil gücü (kW)} &= \text{Nominal Mil} \\ &\text{gücü (kW)} \times (\text{Ortalama hız \%})^3 \\ &= 720kW \times 0,947^3 = 612kW \end{aligned}$$

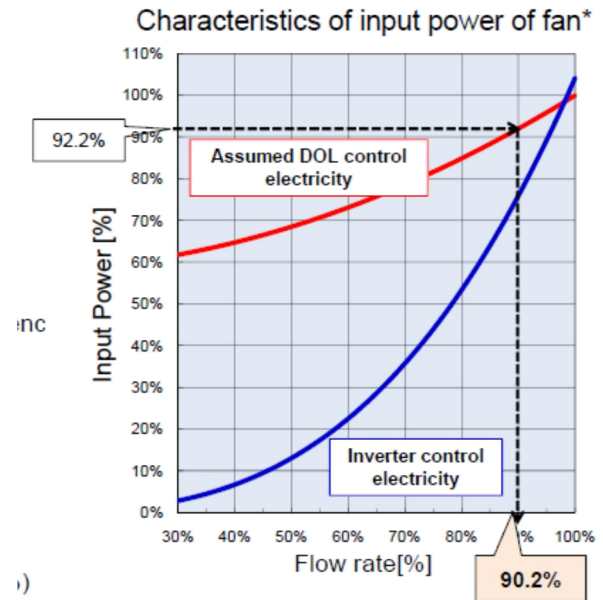
$$\begin{aligned} \text{Giriş gücü} &= \text{mil gücü} / \text{motor} \\ &\text{verimi} / \text{fc verimi} \\ &= 678kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{3. Enerji Tasarrufu} &: 733kW - 678kW \\ &= 55kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yıllık enerji tasarrufu} &: 55kW \times \\ &8000\text{saat} = 440.000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yıllık enerji tasarruf tutarı} &: \\ 440.000 \text{ kWh} \times 1.095 &= \\ 481.800.000 \text{ VDN} \end{aligned}$$

3. Değirmen Hava fanı



)

Nominal güç : 400kW

Nominal gerilim : 600kW

Nominal Akım: 48A

Güç faktörü : 0,85

Devir : 980 rpm

Çalışma rejimi: ortalama çekilen akım 40A, yılda toplam 6000 saat çalışma.

Fanın yük eğrisi bulunamadığından yandaki genel fan karakteristiği kullanılmıştır.

Mevcut durumdaki güç tüketimi;
 $P \sqrt{3} \times 6000V \times 40A \times 0,85$
 $P = 353kW$

%100 yükte şebekeden çekilen güç:
Nominal mil gücü / motor verimi = 383kW

Giriş gücü (%)
 $353kW / 383kW = \%92,2$
eğriden akış oranı: %90,2 bulunur.

1. Klepe kontrolü ile enerji tüketimi :
353kW
2. Frekans konvertörü kullanıldığında;
Hız oranı: %90,2

Mil gücü (kW) = Nominal Mil
gücü (kW) x (Ortalama hız %)³
 $= 360kW \times 0,902^3 = 264kW$

Giriş gücü = mil gücü / motor
verimi / fc verimi
 $= 293kW$

3. Enerji Tasarrufu : $353kW - 293kW$
 $= 60kW$
Yıllık enerji tasarrufu : $60kW \times$
 $6000\text{saat} = 360.000 \text{ kWh}$
Yıllık enerji tasarruf tutarı :
 $360.000 \text{ kWh} \times 1.095 =$
 $394.200.000 \text{ VDN}$

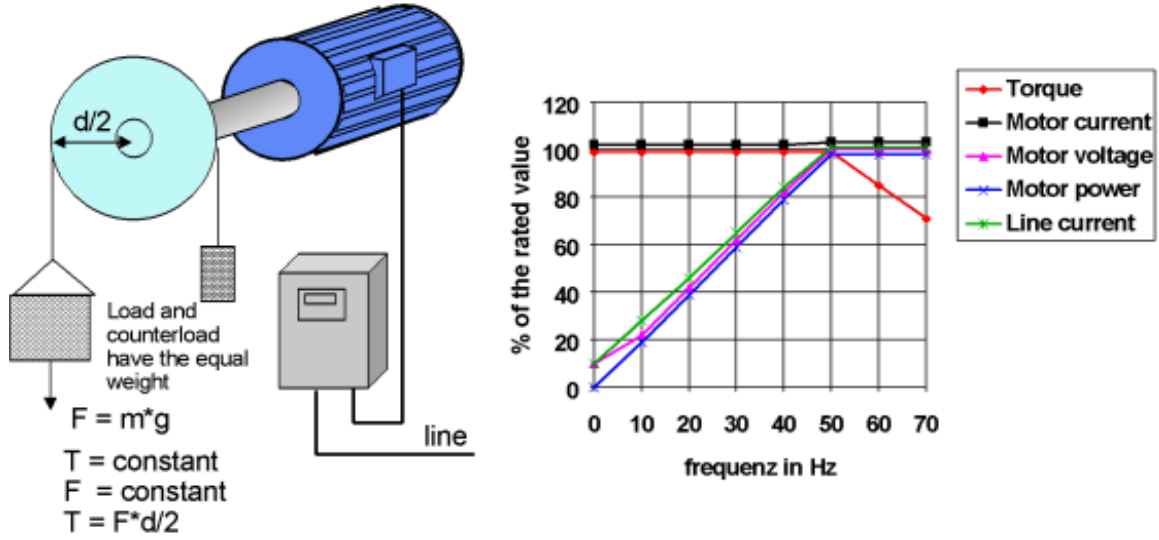
Tablo 5 : Uygulama Sonucu

		Farin Değirmen Fanı	Ön Isıtıcı Fanı	Değirmen Hava Fanı	Toplam
Motor Gücü	kW	800	800	400	2000
Enerji Tüketimi	kW	670	733	353	1.756
Enerji Tasarrufu	kW	200 (-%30)	55 (-8%)	60 (-17%)	315 (-18%)
Çalışma Saati	saat/yıl	7.500	8.000	6.000	----
Enerji Tasarrufu	MWh/yıl	1.500	440	360	2.300
CO ₂ azalması*	t CO ₂ / yıl	900	264	216	1.380
Tasarruf Tutarı**	US\$/ yıl	82.500,-\$	24.200,-\$	19.800,-\$	126.500,-\$

* 0,6t-CO₂ / MWh

** 1,095 VDN / kWh = 0,055 US\$ / kWh

b. Sabit Momentli Yükler ;
Elevator, conveyor, crane etc.



Şekil 16: Sabit momentli yükler ve devire göre akım, tork, güç ilişkileri

Sabit momentli yükler grubuna asansör, vinç, kompresör, konveyör yükleri girer. Yukarıdaki şekilden de görüleceği motor akımı, motor devri ile değişmez, tüm hız aralığında motor akımı dolayısı ile motor torku sabittir. Motor gücü ise devirle doğru

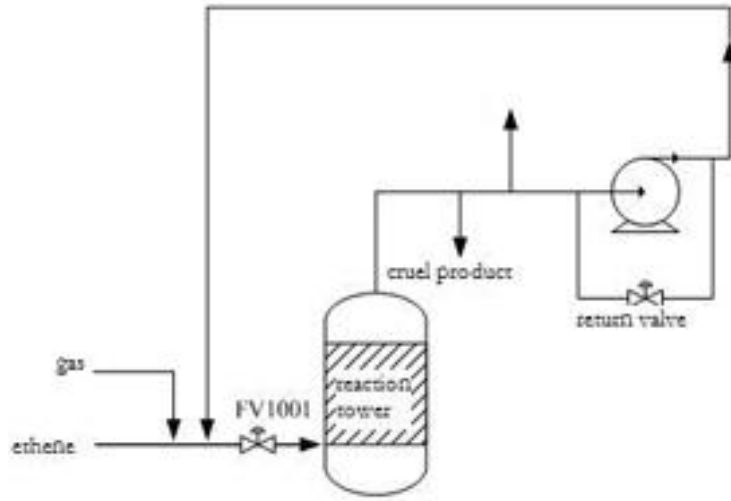
orantılı değişir. Motor devri hangi oranda değişirse, motorun şebekeden çektiği güçte o oranda değişir. Aşağıda santrifüj tip bir gaz kompresöründe enerji tasarrufu çalışması örneği bulunmaktadır.

Tablo 6 : Kompresör ve motor teknik bilgileri

Kompresör Modeli	4V-2S	Motor modeli	YB450M1-2
Üretici	Çinde kimyasal gazlar üreten bir fabrika	Üretici	Nanyang Motor Plant
Ortam	Karışık Gaz (CO ₂ ,H ₂)	Nominal güç P _{dn}	450kW
Güç	323 kW	Nominal hız n ₀	2980 rpm
Nominal hız	14029 rpm	Nominal gerilim U ₀	6kV
Nominal akış	20190 m ³ /h	Nominal akım I ₀	52.1A
Giriş Basıncı	1.35 MPa	Nominal güç faktörü	0.88
Çıkış Basıncı	1.85 MPa		
Acceleration rate	1:4.7		

Butanal ve oktanol gaz karışımı ve eten gazı sentez reaksiyon tankına girer. Propanalın gaz fazı katalizörün etkisi ile oluşur ve soğutmadan sonra kaba propanal elde edilir. Hava kompresör aracılığı ile

döndürülür. Sıvı propanal rectifying tankına girer, propanol ürün olarak dışarı alınır. Sistemin şematik gösterimi aşağıdadır.



Şekil 17: Prosesin şematik gösterimi

Kompresör motoruna direk olarak yol verilmesi, motorun her defasında ağır kalkış yükü ile karşı karşıya gelmesine neden olur. Ayrıca sistemin gürültüsü çok fazladır. Yüksek kalkış akımları ve ek olarak yüksek titreşimden dolayı motor çok

nadir tam yükte çalışabilmektedir. Ayrıca vana kontrolünden dolayı sistem gereksiz yere fazla enerji tüketmektedir. Bu sebeplerden dolayı frekans konvertörü takılmasına karar verilmiştir.

Tablo 7 : Karşılaştırma Tablosu

	Direk çalışma	Frekans konvertörü
Motor Hızı	2980rpm	1200rpm
Giriş Akımı	47A	7A
Güç Faktörü	0,47	0,85
Vana açıklık oranı (FV1001)	%35-40	%100
Giriş Basıncı	1,35Mpa	1,35Mpa
Çıkış Basıncı	1,85Mpa	1,43Mpa
Basınç Farkı	0.5MPa	0.08MPa
Çıkış akışı	20190m ³ /h	8455m ³ /h

Enerji tasarruf hesabı :

Yıllık çalışma süresi : 360 gün

Elektrik birim fiyatı 0.65yuan / kWh

Direk çalışma durumunda :

Giriş Gerilimi Ud :6kV

Ortalama Giriş Akımı: 47 A

Güç Hesabı $P_d = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi = 1.732 \times 6 \times 47 \times 0.47 = 230\text{kW}$,

Yıllık Enerji Tüketimi $C_d = T \times P_d = (360 \times 24) \times 230 = 1.987.200\text{kWh}$

Yıllık Enerji Maliyeti $= 1.987.200 \times 0.65 = 1.291.680,-\text{yuan}$

Frekans Konvertörü ile :

Giriş Gerilim Ud :6kV

Ortalama Giriş Akımı Ib : 7 A

Güç Hesabı $P_d = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi = 1.732 \times 6 \times 7 \times 0.85 = 62\text{kW}$,

Yıllık Enerji Tüketimi $C_b = T \times P_d = (360 \times 24) \times 62 = 535.680\text{kWh}$

Yıllık Enerji Maliyeti $= 535.680 \times 0.65 = 348.819,-\text{yuan}$

Yıllık enerji tasarrufu : $\Delta C = C_d - C_b = 1.987.200 - 535.680 = 1.451.520 \text{ kWh}$
Enerji Tasarruf oranı : $(\Delta C / C_d) \times 100\% = 1.451.520 / 1.987.200 = 73.0\%$,
Tasarruf Tutarı $M = 1.291.680 - 3.48.192 = 943.488 \text{ yuan (USD 138.748,-)}$

Elektrik tasarrufunun yanında diğer kazanımlar;

1. Yumuşak kalkış sayesinde, motor kalkış akımı nominal akımından çok daha azdır. Düşük kalkış akımları şebeke zorlanmalarını ve gerilim düşümünü engeller
2. Basınç farkının azalmasından dolayı 120 dB olan gürültü 75dB lere inmiştir. Mekanik ekipman üzerindeki ekstra yük ortadan kaldığından, ekipman ömürleri arttı ve bakım periyodları uzamıştır .
3. Güç faktörü 0,47 den 0,85'e yükselmiştir.

SONUÇ:

Elektrik enerjisinin büyük bir kısmını tüketen elektrik motorlarında, etkin bir enerji tasarrufu yapmanın uygulanabilir en basit yöntemlerinden olan, özellikle 1kV un altındaki alçak gerilim motorlarında yoğun olarak kullanılan frekans konvertörleri, orta gerilim uygulamalarında da güç elektroniği anahtarlama elemanlarındaki teknolojik gelişmeler ve pazara oldukça rekabetçi fiyatlarla girmeye çalışan yeni oyuncularından dolayı, düşen maliyetler sayesinde yakın zamanda çok daha hızlı bir şekilde gündemimizde olacak görünüyor.

Enerji tasarrufu yapılacak potansiyel uygulamalarda kesinlikle iyi bir ön etüt ve araştırma yapılmalıdır. Yapılacak araştırmanın sonunda, seçilecek frekans konvertörünün teknik özelliklerini uygulamanın ihtiyaçlarını karşılıyor olmasına bilhassa dikkat edilmelidir.

Bildiri de orta gerilim frekans konvertörlerinin sadece enerji tasarrufu

yönü anlatılmaya çalışılmış olup, elektrik sayacına yansımayan, ama dolaylı olarak kullanıcıya en az fatura kadar fayda sağlayan mekanik sistem üzerindeki faydalarının da göz ardı edilmemesi gerekiyor.

KAYNAKLAR

1. International Energy Agency 2011 Energy Efficiency, Policy Opportunities for Electrical Motor-Driven Systems .
2. Fuji Electric Medium Voltage IGBT Inverters product catalogue.
3. A Guide to Medium Voltage Variable Speed Drive (ABB).
4. Report on Energy Saving Survey by medium voltage inverter for cement factory- A case of cement factory in North Vietnam- 2011