

**DEĐIŐKEN HIZLI TAHRİK SİSTEMLERİNİN
AKIŞKAN KONTROLUNDA UYGULANMASI**

Prf. Dr. Tamer KUTMAN

İ. T. Ü. ELEKTRİK – ELEKTRONİK FAKÜLTESİ

GENEL

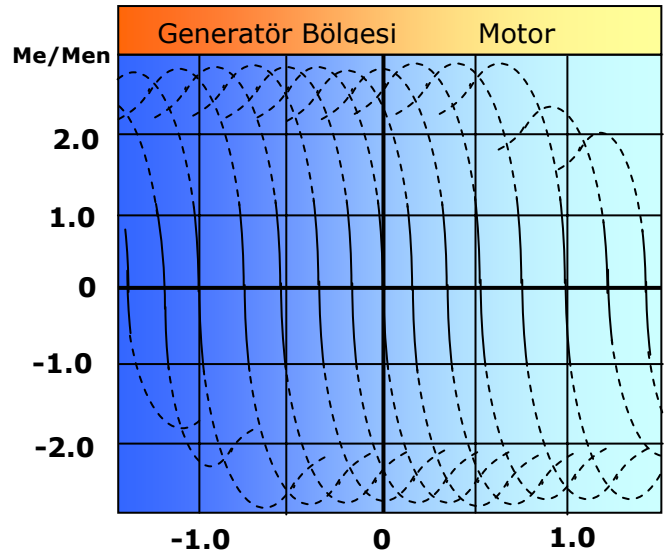
Dünyada üretilen elektrik enerjisinin yarısından fazlası, pompa, fan, üfleyici ve kompresör gibi, santrifüj ya da akışkan tahrik sistemlerinin çalıştırılmasında kullanılmaktadır. Tahrik motoru olarak bu tip yüklerin çoğunda da, sabit hızlı sincap kafesli asenkron motorlar yer alır.

Öte yandan akışkan tahrik sistemlerinde çoğu zaman debi ve basınç gibi çıkış büyüklüklerinin değişken olması istenir. Bu durumda tahrik sabit hızlı motorlarla yapıyorsa akışın bazı ek donanımlarla ayarlanması gerekir. Akışkan kontrolünde uygulanan yöntemlerde genellikle akışkan aktığı kesidi değiştiren ya da sınırlayan elemanlardan yararlanır. Bu elemanların başlıcaları valfler, çıkış damperleri, giriş vanaları ve düfüzyon birimleri, mekanik hız dönüştürücüler ve by-pass ünitesi gibi dolaşım sistemleridir. Akışı kısıtlayan bu düzenlerde girişten çekilen gücün bir kısmı sürtünme ile ısıya dönüşür ve sistem verimi düşer. Bu şekilde yapılan akışkan kontrolünü, araba kullanırken gaz pedalını sonuna kadar basıp hızı fren pedalını kullanarak ayarlamaya benzetebiliriz. Böylece enerjinin önemli bir kısmının boşa harcamakla kalmaz, aynı zamanda donanım da gereksiz yere yıpranmış olur. İyimser bir tahminle santrifüj yükler, günümüzde taşıt araçlarının tükettiği enerjinin üçte biri kadar harcamaktadırlar ve üretilen elektrik enerjisinin üçte ikisi santrifüj ya da akış sağlayan düzenlerde kullanılmaktadır. Durum bu açıdan değerlendirmede, değişken hızlı tahrik sistemlerinin akışkan kontrolünde uygulanmasının

uygulanmasının sağlayacağı enerji tasarrufu ve üretimin iyileştirilmesi, küçümsenmeyecek boyutlara varmaktadır.

ASENKRON MOTORDA HIZ AYARI

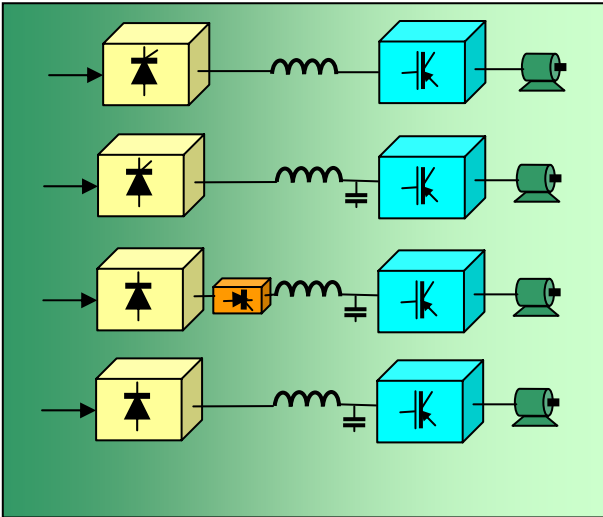
Geçmiş yıllarda kontrol olanaklarının daha basit olması nedeni ile, değişken hızlı tahrik uygulamalarında, DA motorları yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak kontrol ve güç elektroniğindeki gelişmeler sonucu günümüzde asenkron motorun hız kontrol olanakları, DA motorunun olanaklarına ulaşmıştır. Sincap kafesli motorların hız kontrolünde en elverişli yöntem, statora değişken frekans uygulamasıdır. Bilindiği gibi, frekansın yanısıra gerilimin efektif değeri de bununla orantılı olarak değiştirilirse, motorun devrilme momenti sabit kalır. Anma frekansının üstündeki besleme frekansında ise motora uygulanan gerilim sabit tutulur. Bu durumda motorun moment - hız özgeçirileri şekil-1 deki gibi değişir.



Şekil-1. Asenkron motorun moment - hız f_s/f_{sn} özgeçirileri

Pratikte bu işlem, çeşitleri şekil-2 de görülen ara devreli frekans çeviricilerle yapılmaktadır. Ara devre sadece seri bir endüktanstan oluşuyorsa çevirici akım ara devreli olarak tanımlanır (Şekil-2.). Bu düzende motor akımı doğrultucu tarafından kontrol edilir.

Ara devrede seri endüktansa ek olarak paralel kondansatör varsa çevirici, gerilim ara devreleridir. Bu tip çeviricilerde çıkış gerilimi, ya ara devre gerilimi (Şekil-2. b, c) , ya da çıkış gerilimi dalga şekli değiştirilerek (Şekil-6.d) kontrol edilir. Son yöntem darbe genişlik modülasyon ilkesine dayanır. Bu yöntemle çalışan ara devreli frekans çeviricilerin değerine göre başlıca üstünlükleri, kontrol hızının yüksek, güç faktörünün her çalışma noktasında bire yakın, kontrol hızının yüksek, güç faktörünün her çalışma noktasında bire yakın oluşudur.

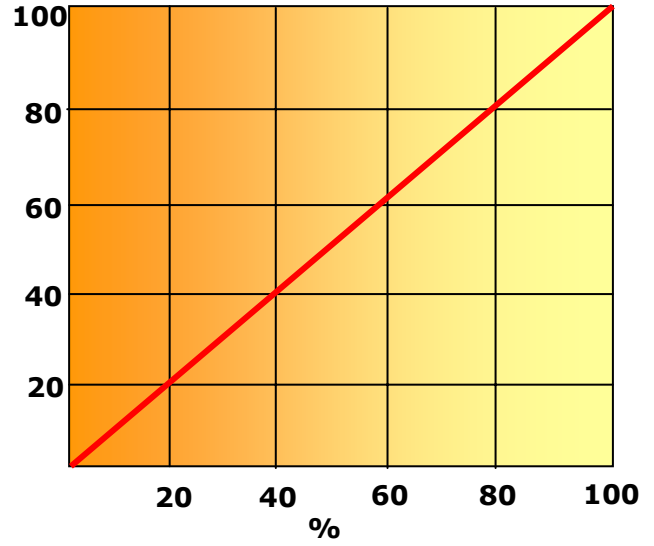


Şekil-2. Frekans çevirici çeşitleri
a) Akım ara devreli
b) Kontrollü doğrultucu ile denetlenen gerilim ara devreli
c) DA kıyıcı ile denetlenen gerilim ara devreli
d) DGM lu sabit gerilim ara devreli

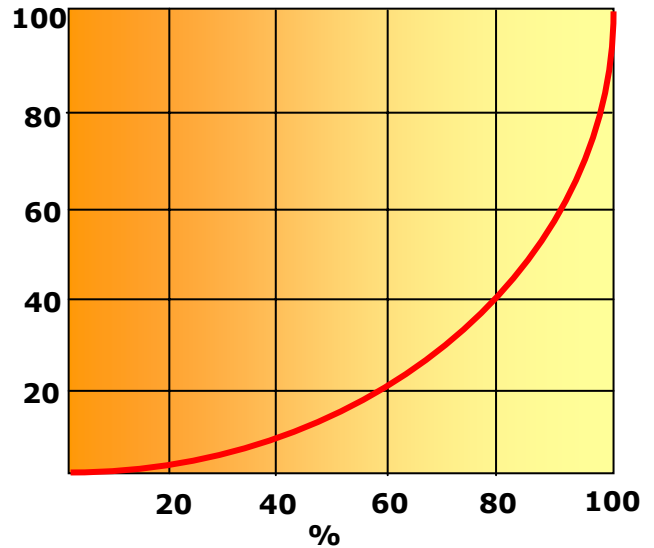
GENEL KONULAR

Motor devir sayısı ya da hızının değişken olması durumunda santrifüj yükler için genel kurallar şöyle sıralanabilir:

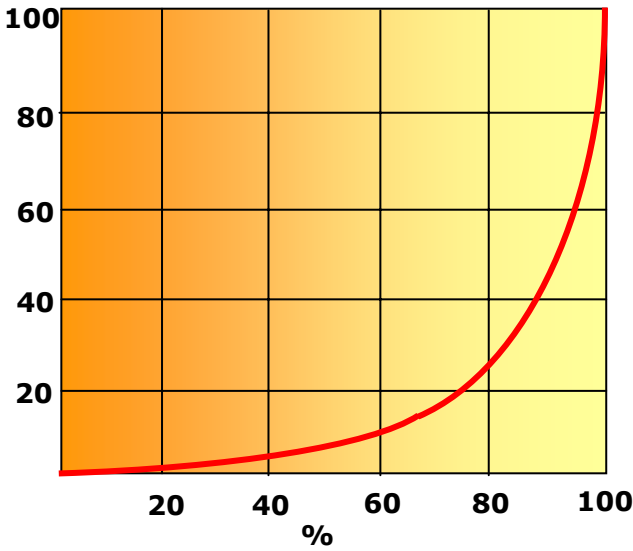
- Akışkan debisi motor hızı ile doğru orantılıdır. (Şekil-3).
- Dinamik basınç hızın karesi ile orantılıdır. (Şekil-4).
- Debi ile dinamik basıncın çarpımı olan giriş gücü hızın kübü ile orantılı değişir. (Şekil-5).



Şekil-3. Hıza bağlı olarak debinin değişimi



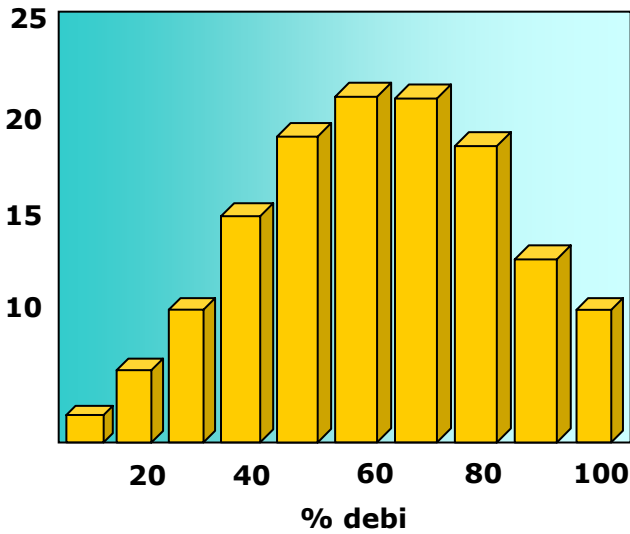
Şekil-4. Hıza bağlı olarak basıncın değişimi



Şekil-5. Hıza bağlı olarak giriş gücünün değişimi

TİPİK DEĞİŞKEN AKIŞ SİSTEMLERİNDE UYGULAMALAR

Birçok pompa ve fan uygulamalarında akış profili şekil 6 daki grafikte görüldüğü gibidir. Tipik bir fanda debi, çoğu zaman istenen maksimum değerinin %40 ila %70 i arasındadır. Çalışma periyodunun önemli bir kısmında daha az güç gerekmesine rağmen motor, maksimum debiyi sağlayacak güçte seçilir.



Şekil-6 . Akışkan kontrolünde çalışma profili

Sabit hızlı pompa ve fanlarda yaklaşık tam güç çeker ve sadece kısa süreler için gerekli maksimum enerjiyi, sürekli olarak tüketir. Giriş gücü, akış kesidinin daraltılarak debinin çok düşürüldüğü çalışma noktalarında bile çok küçük oranda azalır. Değişken hızlı tahrikte gerekli gücün, hızın kübü ile orantılı değiştiğini ve maksimum hızı ve gücün sadece kısa sürelerde söz konusu olacağını göz önüne alırsak, büyük boyutlarda enerji tasarrufu sağlayacağı açıkça görülür.

Kayış ve kasknak düzenleri, redüktörler, manyetik kavramlar ve hidrolik varyatörler gibi değişken hız donanımları istenen fonksiyonları bir ölçüde yerine getirmekte pahalı, hantal, düşük verimli ve bakım gerektiren çözümlerdir.

Öte yandan değişken hızlı tahrik sistemlerinde kullanılmaya başlanmış DA motorlarının fiyatları, aynı güçteki bir asenkron motor fiyatının iki ila üç katıdır. Gene asenkron motora oranla daha hacimli ve ağır olan bu motorun gazlı, nemli ve pis ortamlarda çalıştırılması daha zordur. İşletme masrafları daha yüksektir.

Bu noktalar bir araya toplandığında değişken frekanslı statik ünitelerinin başlıca şu üstünlükleri ortaya çıkmaktadır.

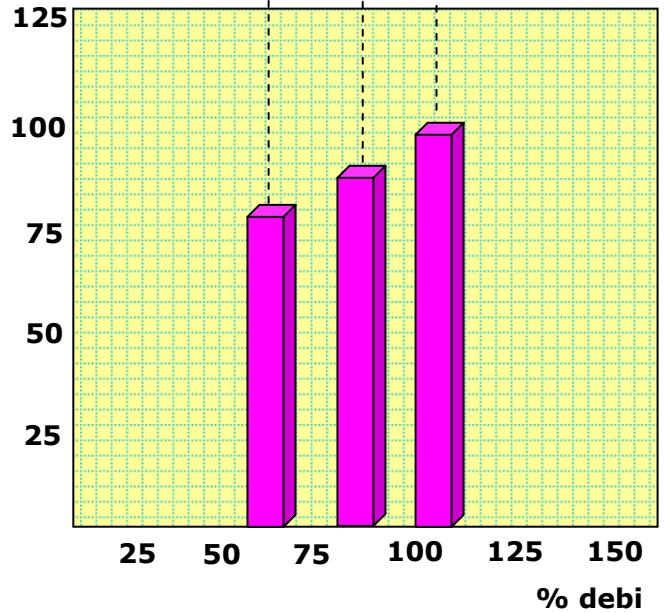
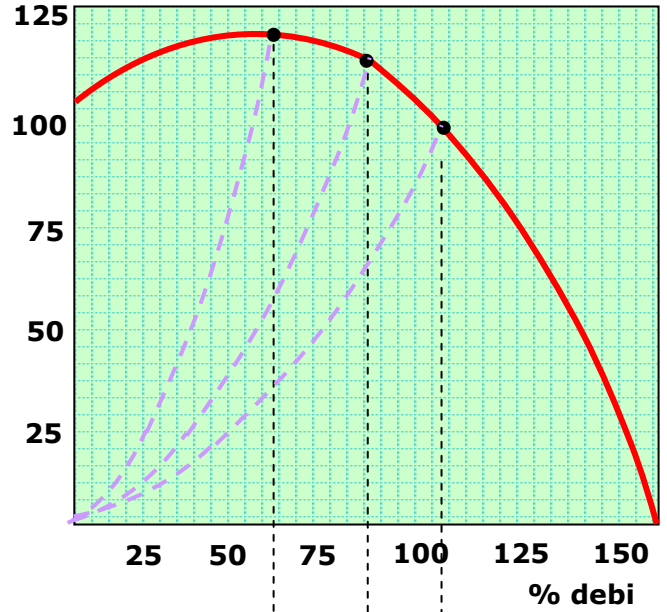
- Kolay mekanik montaj
- Yüksek verim
- Düşük gürültü
- Mekanik donanım ve bakımda azalma
- Enerji denetim sistemlerine kolay uyum.

GAZ AKIŞ KONTROLÜNDE ENERJİ TASARRUFU

Gaz akışı kontrolünde debi ayrı, statik frekans çevirici kullanılarak yapılabilir. Frekans değiştiğinde fan ya da üfleyicileri tahrik eden asenkron motorun hızı ve buna doğru orantılı olan debi de değişir. Değişik çalışma noktalarında sadece akışkan direncini yenmek için güç gerektiğinden, enerji tüketimi önemli ölçüde düşer.

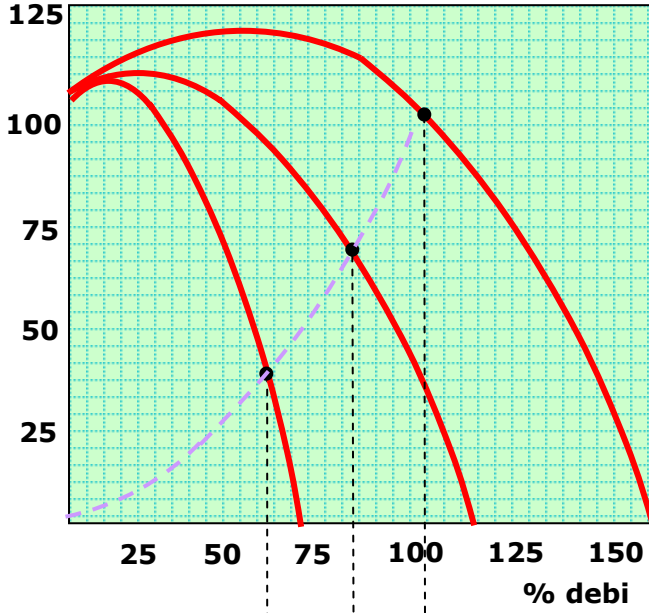
Hava hacminin değişken hızlı tahrikle kontrolünde verimliliği ne denli arttığı, çeşitli özeğrileri karşılaştırılarak görülebilir. Şekil-7 çıkış damperi, şekil-8 giriş klepesi, şekil-9 ise değişken frekanslı asenkron motorla yapılan kontrol sonuçlarını yansıtmaktadır. Bu şekildeki kesiksiz çizgiler fan özeğrilerini, kesikli çizgiler ise yük özeğrilerini göstermektedir. Fan ve yük özeğrilerinin kesişme noktaları, çalışma noktalarını belirler. Alttaki grafiklerde ise % 60 ve % 100 debi sağlamak için gerekli giriş gücü oranları verilmiştir.

Çıkış damperi, fanın çıkış tarafında akış yoluna yerleştirilir. Damperin kapanması fanın doğurduğu basıncın artmasına ve debinin azalmasına neden olur. Şekil-7 deki A, B ve C noktaları, damperin üç değişik ayarından debi ve basıncı olan güç değişimi ise alttaki grafikte verilmiştir.

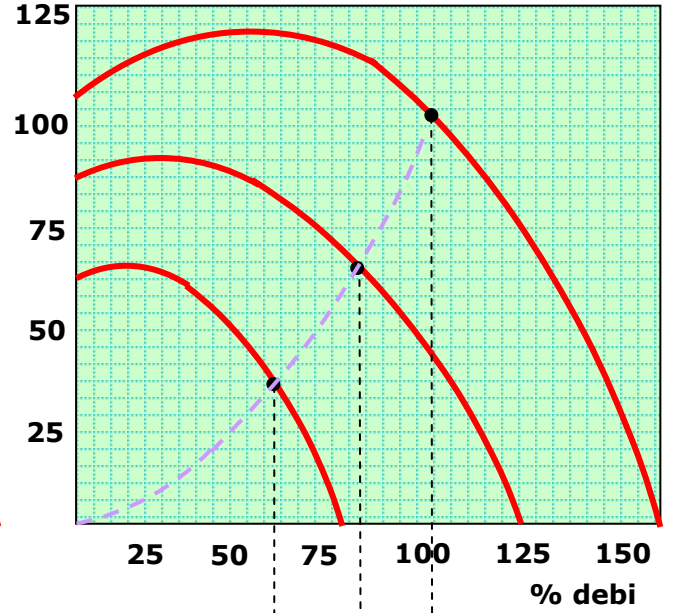


Şekil-7. Çıkış damperi ile kontrol

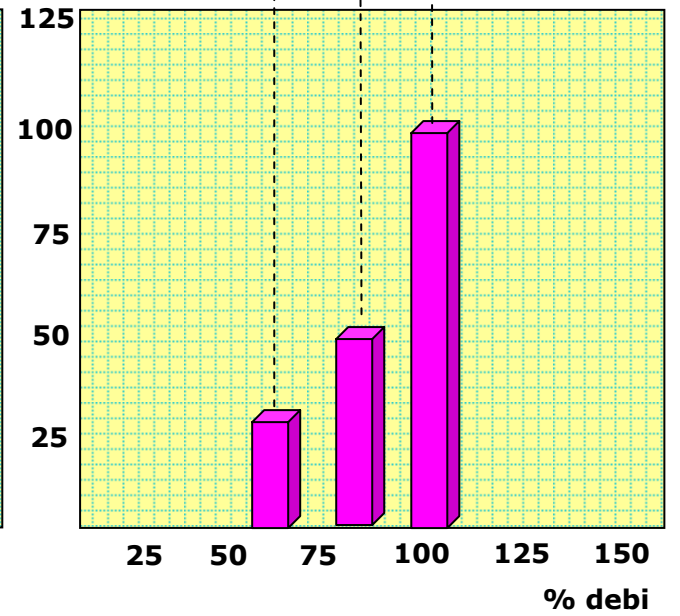
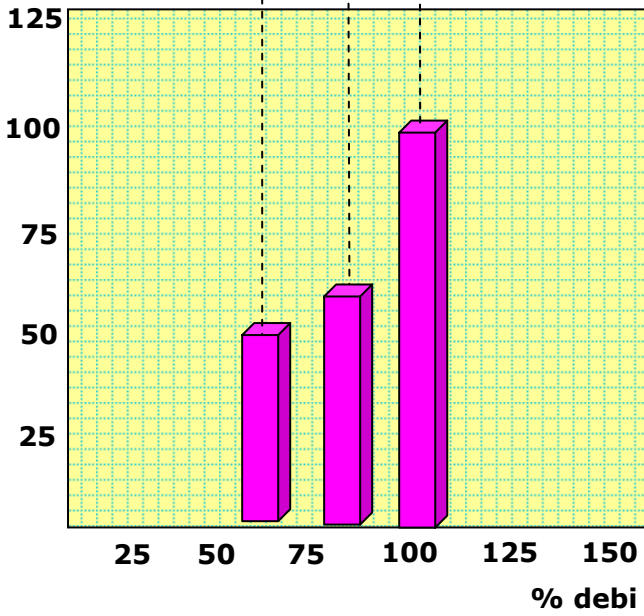
Giriş vanası ile kontrolde gaz girişi fandan önce kısılarak debi ayarı yapılır. Bu tip çalışmada statik basınç düşer. Vananın değişik açıları için şekil-8 de görülen özeğri ailesi elde edilir. Fan hızının sabit olduğu A, B C çalışma noktalarında basınç farkı debi ile azalmakla birlikte giriş gücünü belirleyen dinamik basınç sabit kalmaktadır. Daolyısıyla giriş gücünü debiyle bağlı olarak çıkış damperine oranla, daha fazla azalacaktır.



Şekil-8. Giriş vanası ile kontrol



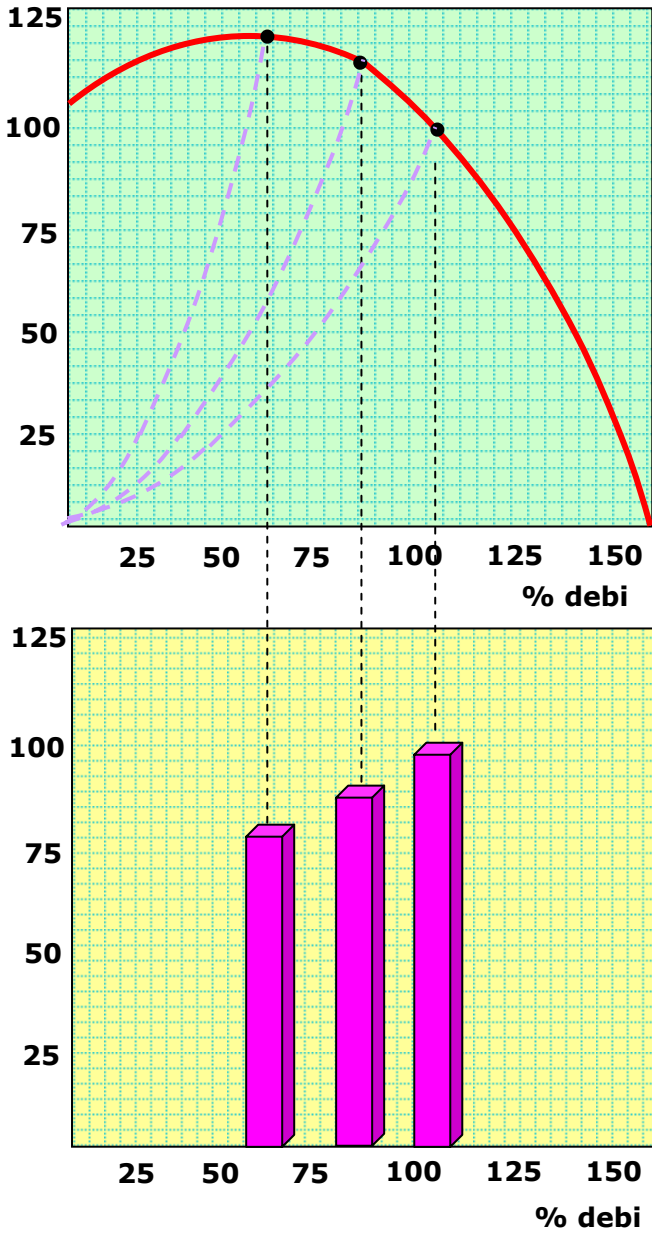
Şekil-9. Değişken hızlı tahrikle kontrol



Değişken hızlı tahrikte ise, şekil-9 da verilen fan özellikleri incelendiğinde, dinamik basıncın çalışma noktasına göre değiştiği görülür. Debiye bağlı olarak dinamik basınç önemli oranda azalacağından giriş gücündeki düşme, dolayısıyla sağlanan enerji tasarrufu büyük boyutlara çıkar.

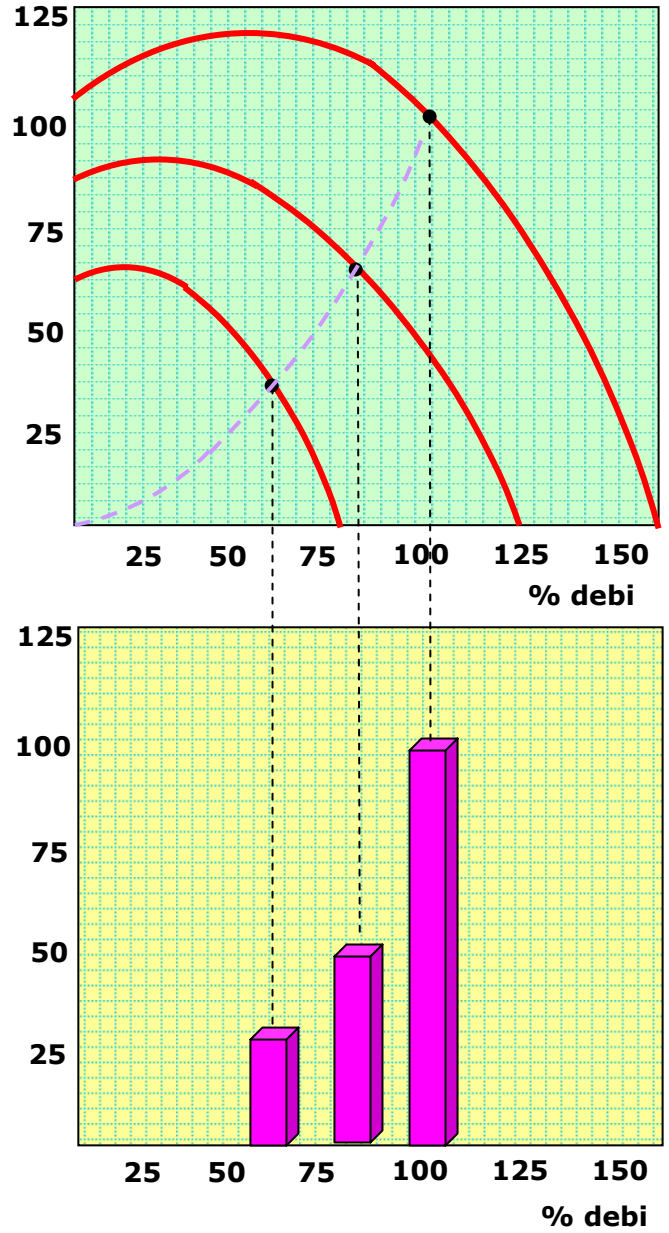
SIVI AKIŞ KONTROLÜNDE ENERJİ TASARRUFU

Sıvı pompalama sistemlerinde debi ya da basınç, çoğu kez akış yolu üzerindeki valflerle kontrol edilir. Valf elemanı, kayıp bir direnç elemanından başka bir şey değildir. Statik trekans çeviriciler doğrudan pompadan motorunun hızını değiştirerek daha verimli bir akış kontrolü sağlar.



Şekil-10. Kısma valfi ile kontrol

Şekil-10 da, tipik bir kısma valf ile değişik debiler için elde edilen çalışma noktaları ve giriş güçleri verilmiştir.



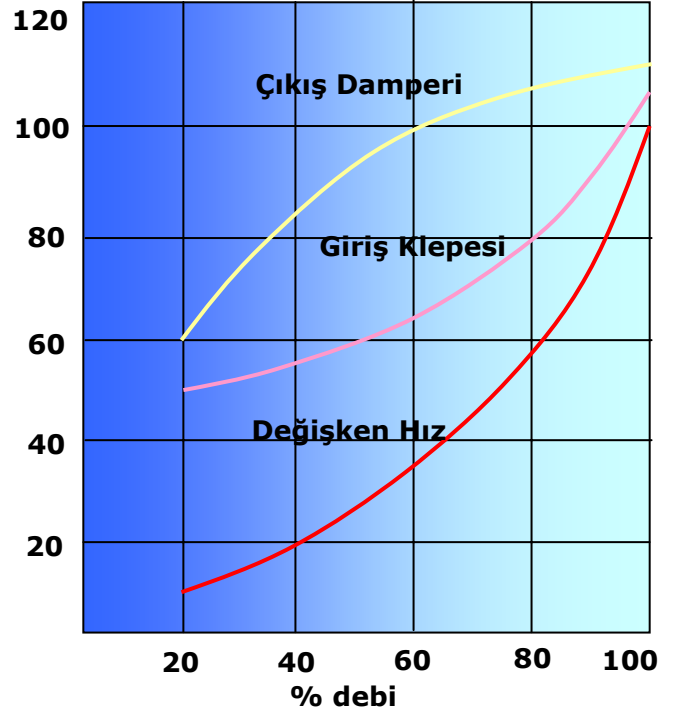
Şekil-11. Değişken hızlı tahrikle kontrol

Şekil-11 de ise, değişken hızlı tahrik uygulandığında elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Bu son uygulama, sanki her çalışma noktası için ayrı ayrı uygun bir pompa seçimi yapılması durumundaki sonuçlara karşı düşmektedir. Dolayısıyla giriş

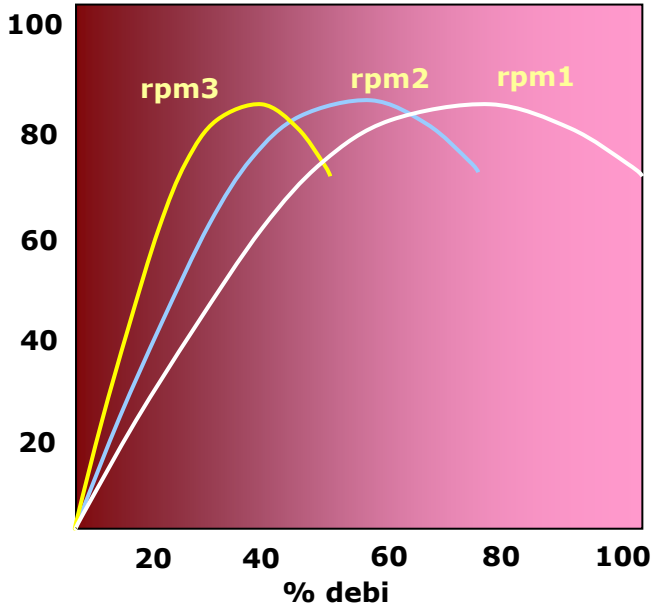
gücündeki düşüş belirgin olarak göze çarpmaktadır.

Bu grafiklerde, çoğu zaman atlanan önemli bir parametre, pompa veriminin debi ile değişmesi de göz önüne alınmıştır. Şekil-12 de, motor hızı parametre alınarak verimin debi ile değişmesi gösterilmiştir. Hız debiye göre ayarlandığında pompa da en yüksek verimiyle çalışacaktır.

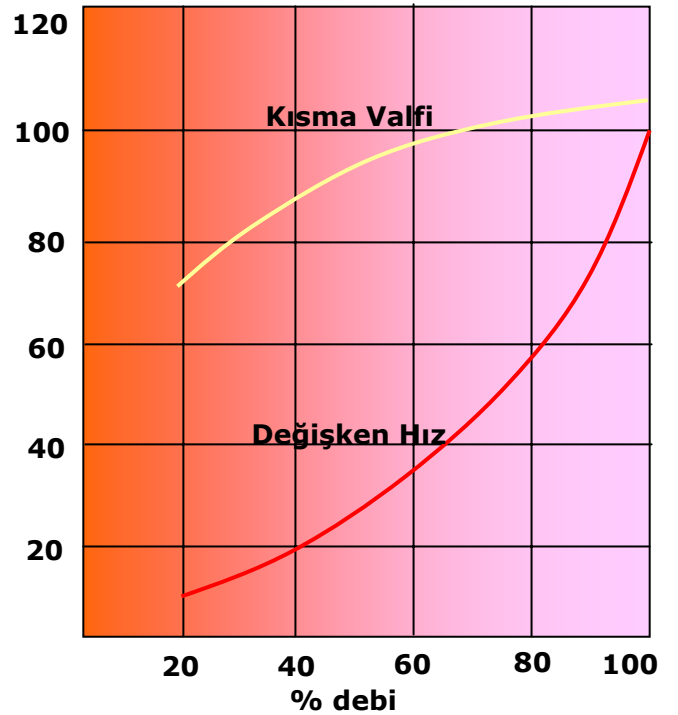
Gaz ve sıvı debisi kontrolünde yukarıda sıraladığımız yöntemleri özetlersek, debiye göre giriş gücünün değişmesine ilişkin şekil-13 ve 14 eğrileri elde ederiz. Bu değerler, değişken hızlı tahrikte ne kadar yükseleceği açıkça görülmektedir.



Şekil 13. Gaz debisi kontrolünde giriş gücünün değişimi



Şekil-12. Pompa veriminin debi ile değişimi



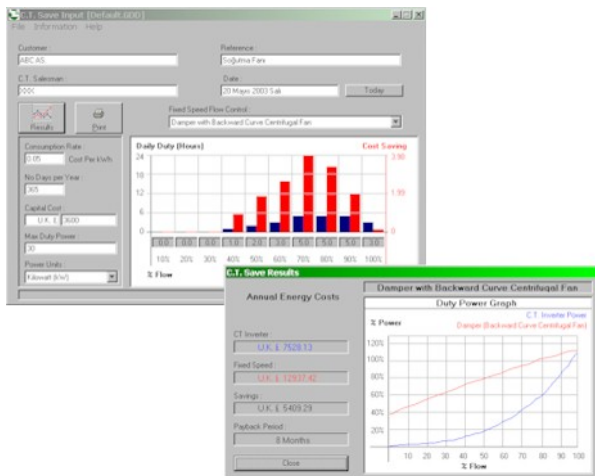
Şekil-14. Sıvı debisi kontrolünde giriş gücünün değişimi

Örnek olarak 100 HP lik bir fan sistemini ele alalım. Sistem, çalışma süresinin % 70 inde anma debisine oranla % 60 debide, % 30 sürede ise % 80 debide çalışıyor olsun. Şekil 13 ten, % 60 debi için, damperli ve frekans çeviricili çözümler arasındaki güç farkının % 65 olduğu % 80 debide de bu farkın % 50 ye indiği görülmektedir. Çalışma süreleri göz önüne alındığında güç tasarrufunun

$$0.7 \times \% 65 + 0.3 \times \% 50 = \% 60$$

olacağı ortaya çıkar. 100 HP lik bir motorda bu 44.8 kW demektir. Yıllık çalışma süresi ve birim elektrik enerjisine ödenen fiyatlar yardımı ile ortaya çıkacak kazanç tablosu, yapılacak yatırımın çok kısa bir sürede amorti edileceğini gösterir.

Akışkan kontrolu sistemlerindeki değişik uygulamalar için yapılabilecek enerji tasarrufu miktarlarını ve yatırımın amorti etme süresinin hesaplanması için değişik yazılımlar geliştirilmiş olup, bu programlar vasıtasıyla inceleme yapılacak sistem için gerekli değerlerin girilmesi suretiyle kolay ve doğru sonuçlar alma imkanları ortaya çıkmıştır.



Enerji tasarrufunun yanı sıra statik frekans çevirici kullanılarak sağlanacak

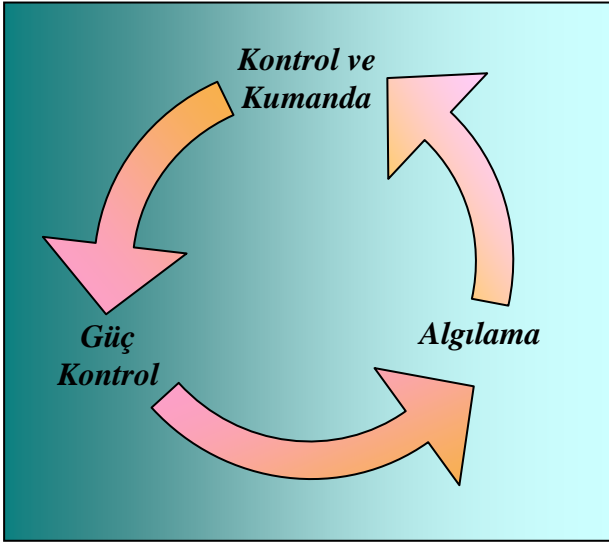
- uzun ömür
- bakım
- güvenlik
- doğruluk

gibi özellikler, kesin ve tartışılmaz üstünlükler getirecektir.

SİSTEM DEĞİŞKENLERİNİN KONTROLU

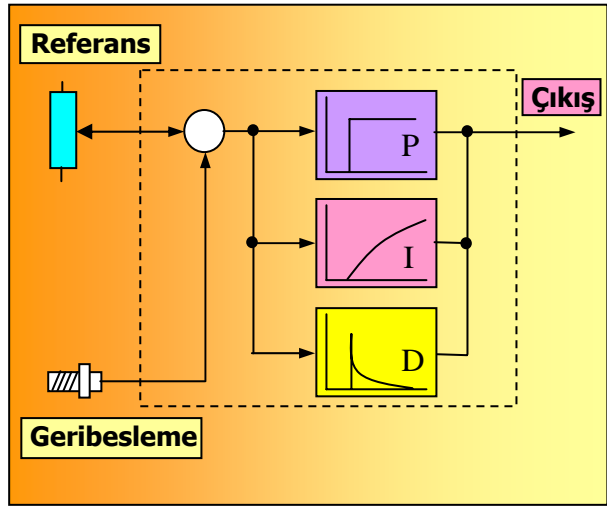
Akışkan kontrolu sistemlerinde kontrol edilmek istenen değişkenin sabit ve kararlı biçimde tutulması, çeşitli metodlar vasıtasıyla sağlanabilir. Bunlar PID kontrol, otomatik ayarlı PID kontrol, bulanık mantık kontrol vb. olarak seçilebilir. Bu bölümde bu kontrol tiplerinden oldukça yaygın olan PID kontrol yöntemiyle akışkan kontrolunun ne şekilde yapılabileceği anlatılacaktır. Şekil-15 de genel bir otomatik kontrol sisteminin çalışma mantığı belirtilmektedir. Burada kontrol edilmek istenen değişkenin değeri güç kontrol elemanları (vana, klepe, değişken hızlı motor vb.) tarafından istenen değere ayarlanmaktadır. Bu değişken daha sonra uygun bir algılayıcı vasıtasıyla ölçülmekte ve ölçüm değeri değişkeni sabit ve istenen değere ayarlamakla görevli kontrol elemanına bildirilmektedir. Kontrol elemanı talep edilen değişken değeri ile ölçüm sonucu elde edilen değeri karşılaştırıp hatayı elde etmekte ve bu hatayı tolere etmek için düzeltme miktarını hesaplayarak güç kontrol elemanına bildirmektedir. Bütün bu işlemler gerçek zaman hesaplamaları içerisinde değerlendirilerek, bozucu

etkileri de tolere edecek şekilde sistem değişkeni istenen sabit değerde tutulmaktadır.



Şekil-15. Otomatik Kontrol sistemi genel yapısı

Kumanda bloğunun yapılandırılmasında sistem değişkeninin kontrolü amacıyla PID kontrol tipinin seçilmesiyle hem değikende oluşacak hataların düzeltilmesi, hemde diğer bozucuların etkisinin kompanse edilmesi gerekli katsayıların uygun olarak ayarlanmasıyla mümkün olabilmektedir. Şekil-16 da tipik bir akışkan kontrolü sisteminde PID kontrolörün kullanılması genel çizgileriyle gösterilmektedir. Kontrol edilmek istenen akışkana ait büyüklük referansı ile aynı büyüklüğün gerçek değeri PID kontrolöre giriş olarak verilmektedir. Kontrolör bu iki değer arasındaki fark, ilgili değişkene ait hata değeri olarak hesaplanmakta ve birbirlerine paralel olarak bağlı Oransal, İntegral ve Türev bloklarında işleme sokulmaktadır. Bütün blokların çıkış değerleri toplanıp güç kontrol elemanlarına kontrol sinyali olarak uygulanmaktadır.



Şekil-16. PID Kontrol Bloğu

Akışkan kontrolünde sistem değişkenlerini kontrol etmek amacıyla kullanılan PID kontrolörlerinin çıkış işaretleri mekanik klepe ve vanaların kontrolünde kullanılabileceği gibi değişken hız kontrollu sistemlerde doğrudan fan veya pompanın hızını kontrol etmekte kullanılabilir. Bu sayede kademersiz bir kontrol elde edilmesi sağlanmış olur.

Akışkan kontrolü gibi uygulamalarda kullanılmak üzere ileri teknolojilerle üretilen modern sürücülerde giriş ve çıkışı tamamen kullanıcı tarafından bağımsız olarak seçilebilen bir PID kontrol bloğu bulunmaktadır. Bu blok için referans girişi kullanıcı seçimine bağlı olarak analog girişlerden, digital olarak operatör panelinden veya endüstriyel haberleşme yollarından verilebilmekte, geribesleme sinyali için ise 0-10V veya 4-20mA seçimli analog girişlerden uygulanmaktadır. PID bloğu çıkış kontrol sinyali ise aynı sürücüye hız referansı olarak tanımlanmaktadır. Akışkan kontrolünde bu tip PID uygulaması ile sürücü dışında bir PID kontrol elemanına ihtiyacı ortadan kaldırmakta ve maliyetleri düşürmektedir.