

- **Sürücü Sistemler**
- Sürücü düzenek sistemi dinamiği
- Elektrik makinalarında hız, moment ve çalışma bölgesi kavramları
- Mekanik sistemlerde güç iletim elemanları
- İş makinalarının hız-moment karakteristikleri
- Elektrik motorlarının hız-moment karakteristikleri
- İş makinalarında güç bağıntıları
- Motor-yük sisteminin sürekli hal çalışma kararlılığı
- Yük ve eylemsizlik momentlerinin motor miline indirgenmesi
- Motorlarda yol alma süresinin belirlenmesi
- Etkin güç ve etkin moment tanımları
- Elektrik motorları ile ilgili TSE tanımlar
- Elektrik makinalarında kayıplar

- Elektrik makinalarında ısınma ve soğuma
- Motor-yük sisteminde çalışma şekilleri
- İş makinaları için uygun motor seçimi
- Sürücü düzeneklerde ölçmeler
- Bir iş makinasının iki motor tarafından sürülmesi
- **Elektrik Motorları**
- Büyük güçlü motorlar (Endüstriyel amaçlı),
küçük güçlü motorlar (Özel tip elektrik motorları)
- **Elektrik Motorlarının Geçici ve Sürekli Hal Davranışları**
- Elektrik motorlarında klasik ve modern yol verme yöntemleri
- Elektrik motorlarında güç elektroniği ile yol verme yöntemleri

Sürücü Düzenek Sistemi Dinamiği

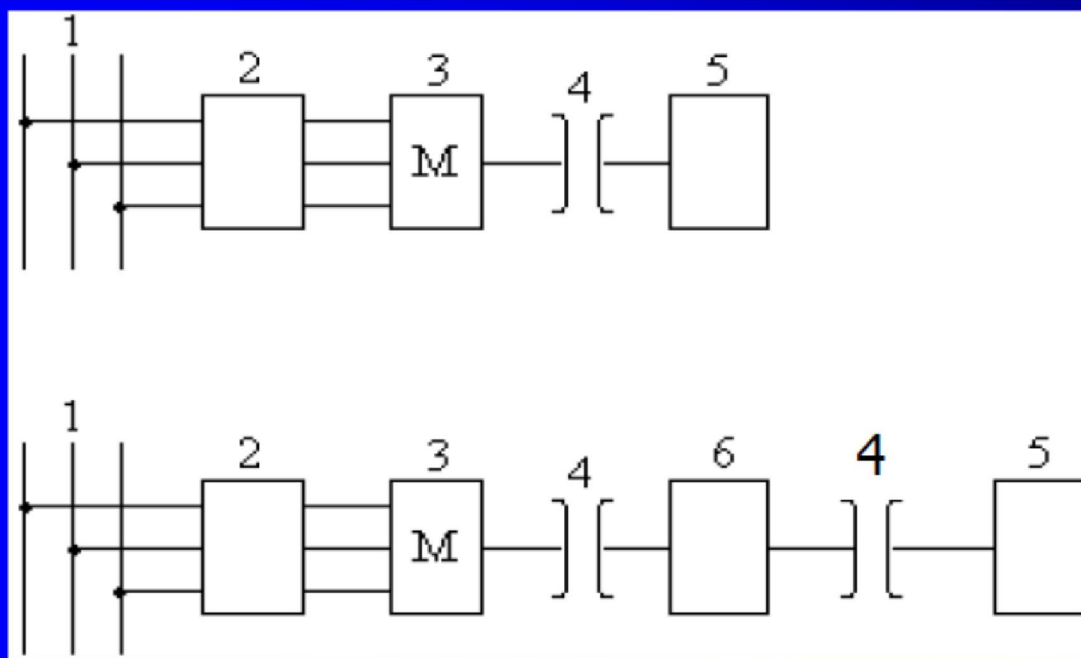
Makinalar; kuvvet makinaları ve iş makinaları olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

İş makinaları olarak; taşıtlar, pompalar, tekstil makinaları, kağıt makinaları, kaldırma makinaları, takım tezgahları, ziraat makinaları, yol makinaları vb. örnek olarak gösterilebilir.

Kuvvet makinaları; elektrik, su ve ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürüp iş makinalarına verirler. Örnek olarak; elektrik motorları, su türbinleri, buhar türbinleri, içten yanmalı motorlar gösterilebilir. Bir sürücü sistemi en az bir kuvvet ve bir iş makinasından oluşur. En fazla kullanılan elektrikli sürücülerdir ve bunların kuvvet makinesi elektrik motorudur.

Bir sürücü düzenek sistemi bir iş makinesinden, onu çalıştıran elektrik motorundan, gücü motordan iş makinesine ileten aktarma öğelerinden ve motorun besleme, koruma, kumanda veya denetim düzenlerinden oluşan bir sistemdir.

Sürücü Düzenek Sistemleri



- 1 : Şebeke
- 2 : Besleme Düzenneği
- 3 : Elektrik Motoru
- 4 : Kavrama
- 5 : İş Makinası
- 6 : Dişli Kutusu

Şekil 1.

Elektrik Sürücü Sisteminin Genel Elemanları

- ✓ Mekanik yük
- ✓ Motor
- ✓ Güç Elektroniği Cihazları
- ✓ Dönüştürücüler
- ✓ Algılayıcılar
- ✓ Denetleyiciler

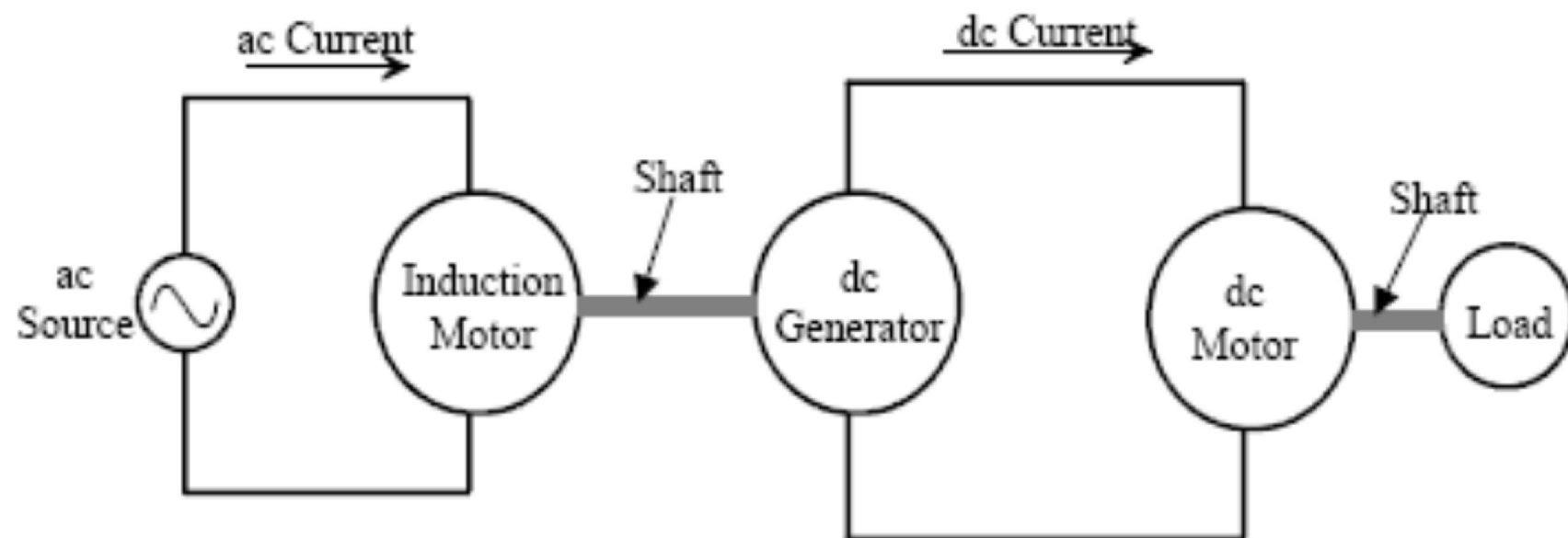


- Kumanda ve denetim gerektiğinde elektrik motorları tristörlü veya tranzistörlü doğrultuculardan beslenir.
- Elektrik motoru şebekeden aldığı elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek iş makinasına verir.
- Böylece enerji şebekeden gelir, besleme düzeneğinden, motorlardan ve aktarma öğelerinden geçerek iş makinasına akar. İş makinasını motora bağlayan aktarma ögesi en basit durumda bir kavrama olabilir veya dişli kutusu, kayış kasnak gibi hız değiştirme düzenlerinden oluşabilir.
- Bir sürücü için bir motor öngörülmüş ise ‘tek motorlu sürücü’, bir çok motor öngörülmüş ise ‘çok motorlu sürücü sistemi’ elde edilir.

Historical Background (Single-motor single-load drives)



Old Drive System



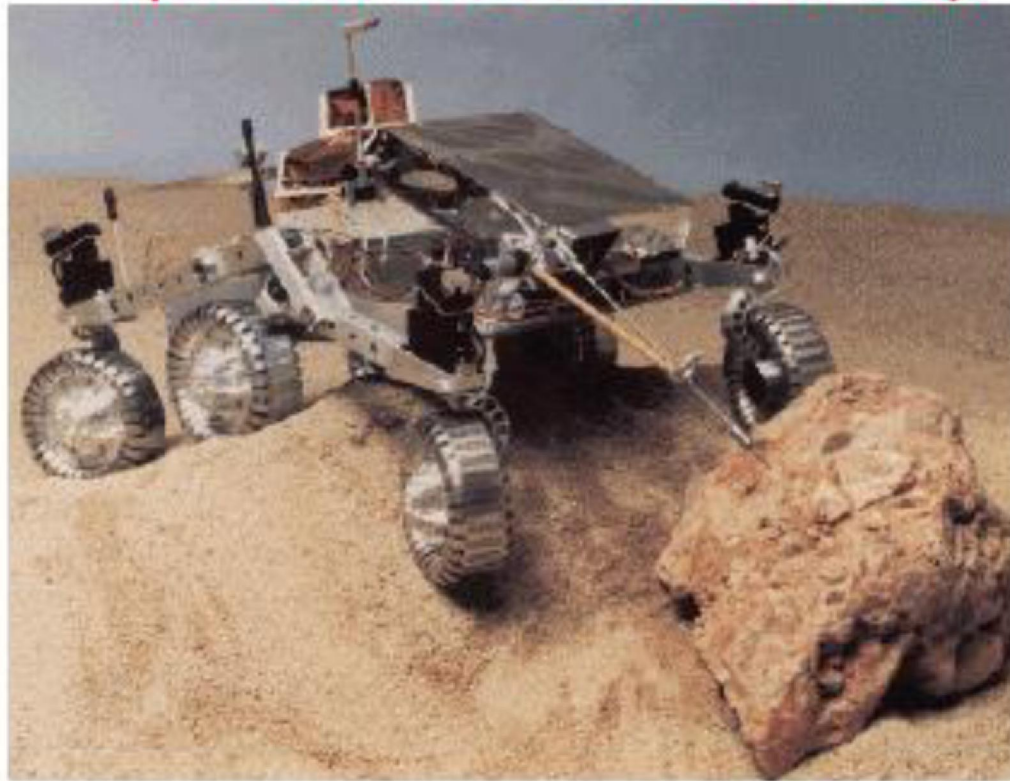
Historical Background (Single-motor single-load drives)



Historical Background (Multi-motor drives)



Historical Background (Multi-motor drives)



Havalandırıcılar, pompalar, sıkıştırıcılar vb. tek motorlu tahriklerdir.



Haddeler, takım tezgahları, kaldırma makinaları, elektrikli taşıtlar vb. çok motorlu tahriklerdir.

Bir tahrikin davranışını, onu oluşturan öğeler belirler. Motor iş makinasının isteklerine uymak zorundadır. Bu nedenle bir tahriki projelendirmek için her şeyden önce iş makinalarının işletme özelliklerini, yani yükleme davranışlarını, güç gereksinimlerini bilmek gerekir.

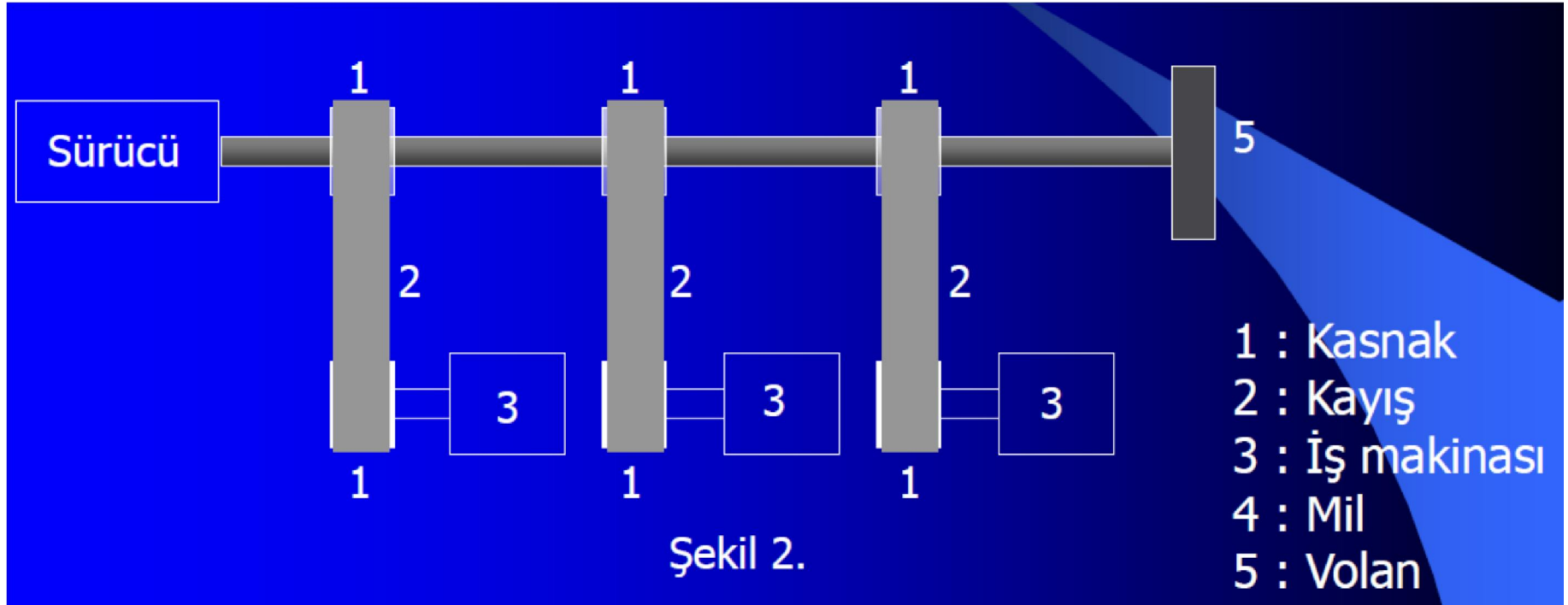
Ayrıca iş makinasının koşullarına uygun ve onunla güç, döndürme momenti, gerilim, devir hızı, yapı biçimi, koruma türü, gürültü düzeyi vb. bakımından en iyi uyumu sağlayan elektrik motorunun ve yardımcı donanımın seçilebilmesi için elektrik motorunun işletme özellikleri de çok iyi bilinmelidir.

Ancak iş makinelerinin ve tahrik motorlarının özelliklerini ayrı ayrı incelemek yetmez, motor ve iş makinesinin beraber çalışmasını da incelemek gerekir.

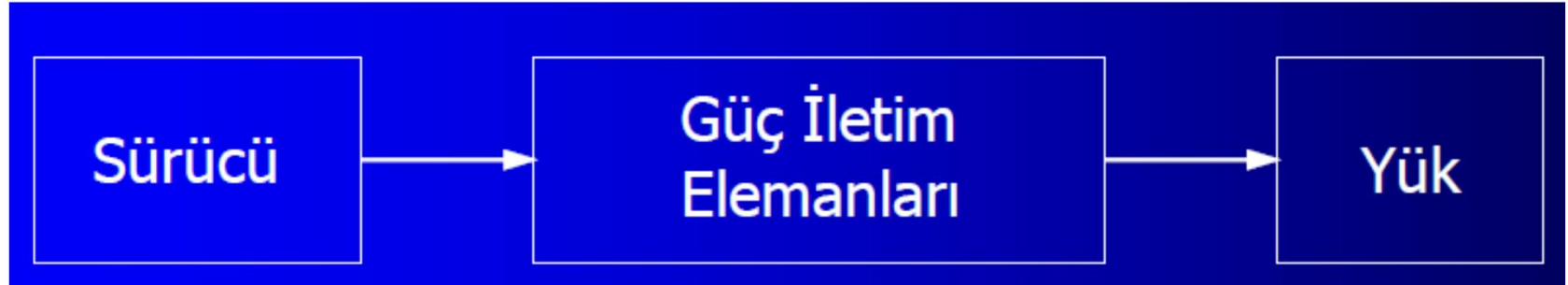
➤Şekil 2’de bir sürücü birden fazla iş makinasını çalıştırıyor. Böyle bir sistemin çok sayıda sakıncası vardır. Bunlar;

- Sürücü arızalandığında bütün sistem durur,
- Tek bir iş makinası çalışırken verimsiz çalışır,
- Mil (Transmisyon mili) arızalanırsa bütün sistem durur,
- Yerleşim bakımından çok yer tutar,
- Gürültülü çalışma olur,
- Can güvenliği iyi değildir,
- Hareketin düzgünlüğü için Volana ihtiyaç duyar.

Merkezi Sürücülü Düzenek

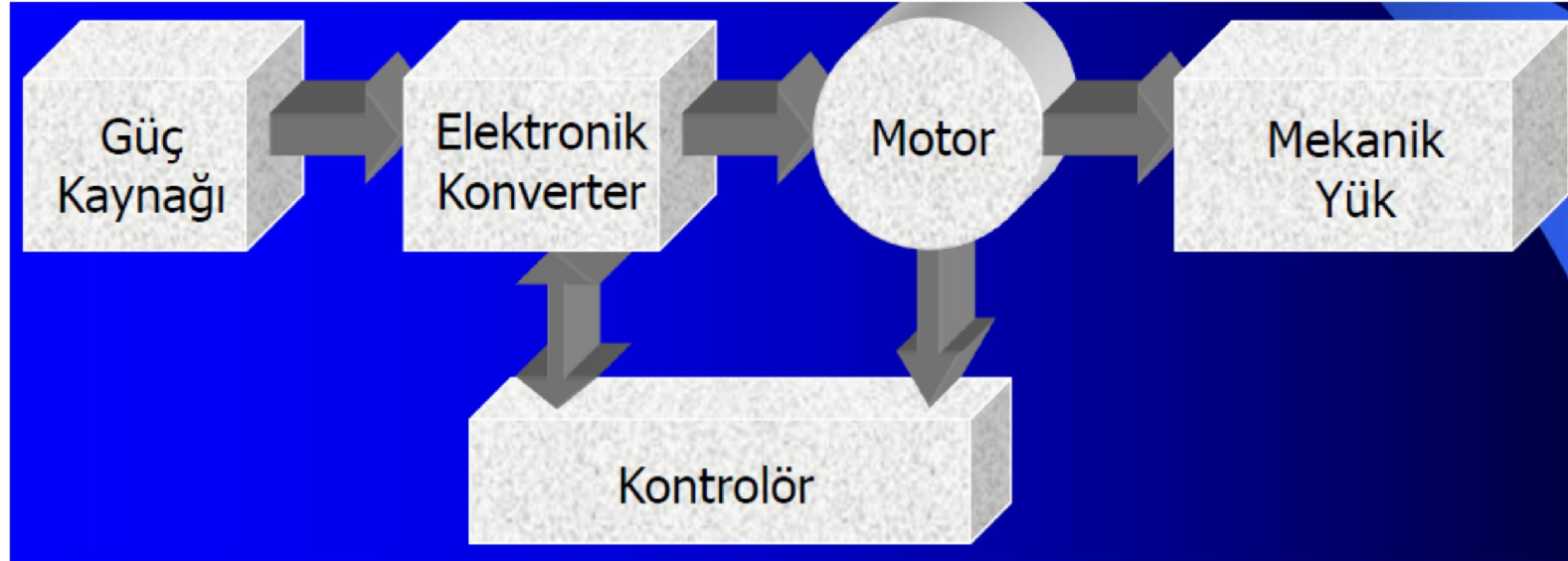


Bu tür sakıncaları dolayısıyla merkezi sürücü sistemleri yerlerini 'Bireysel Sürücülü' sistemlere terk etmişlerdir. Yani her iş makinası bağımsız bir sürücü tarafından sürülmektedir. Böyle bir sistemin blok diyagramı şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3 Sürücü düzenek

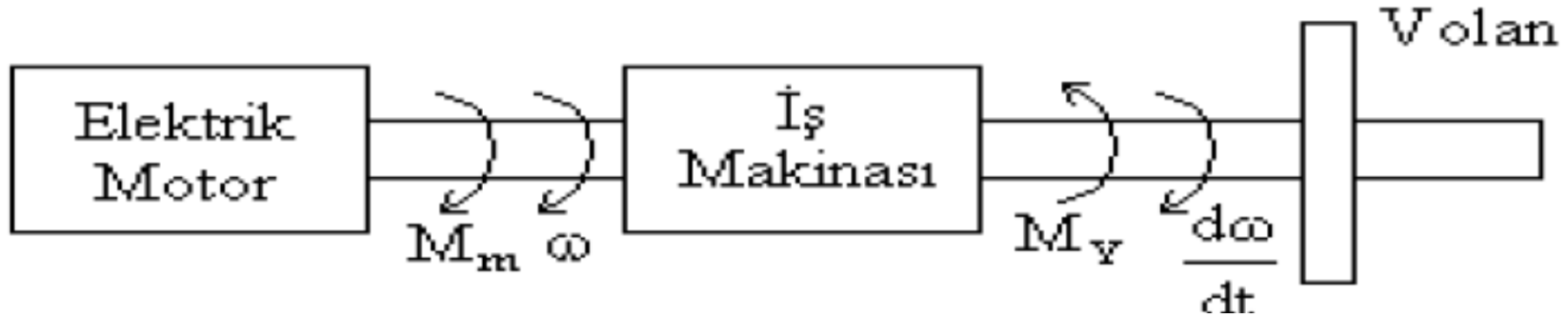
Bireysel sürücülü sistemlerde denetim Şekil 4'deki gibi blok olarak gösterilebilir. Burada denetleyici (kontrolör) olarak OPAM'lardan oluşan PI, PD, PID gibi elemanlar kullanıldığı gibi akıllı denetleyiciler (Bulanık mantık, Yapay sınır ağları) de kullanılabilir



Şekil 4 Bireysel Sürücü Sistemin Kontrolü

Sürücü Hareketlerinin İncelenmesi

Kuvvet ve iş makinalarının çalışması hareketle olur. Hareketler sürekli ve süreli olabilir. Hareket doğrusal ve dönme şeklinde olabilir. Doğrusal hareket kuvvet, dönme hareketi ise döndürme momenti ile elde edilir. Havalandırıcılar, sıkıştırıcılar, merkez kaç pompalar, matkap tezgahları vb. dönme hareketi, asansör, taşıtlar, yürüyen bantlar, vinçler vb. doğrusal hareket yapar. Teknikte hem dönme hem de doğrusal hareket önemlidir. Dönüştürme düzenleri ile bir hareket türünden diğerine geçilebilir.



Şekil 5.

Şekil 5'deki gibi bir tahrik sisteminde elektrik motorunun milinden elde edilen M_M momenti iş makinasının yük momenti M_Y ve mile indirgenmiş Toplam $J \frac{d\omega}{dt}$ momentini karşılamak zorundadır. Böylece elde edilecek

$$M_M = M_Y + J \frac{d\omega}{dt}$$

denklemine sistemin hareket denklemi denir. Eğer sistemin hareketli kısımlarındaki sürtünme momentlerini ihmal etmeyipte hesaba almak istersek sistemin tam hareket denklemi:

$$M_M = M_Y + J \frac{d\omega}{dt} + f\omega$$

elde edilir.

J : Eylemsizlik momenti [Kgm^2]

$J \frac{d\omega}{dt}$: İvme momenti

f : Sürtünme katsayısı

t : Zaman

ω : Açısal hız [rad/s]

$\frac{d\omega}{dt}$: Açısal ivme

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_m - M_y$$

$M_m > M_y$ ise denkleminin sağ tarafı pozitif olur. Yani $J \frac{d\omega}{dt} > 0$ olur. Yani sistem hızlanıyor.

$M_m = M_y$ ise denklemden $J \frac{d\omega}{dt} = 0$ olur. Yani sistem sabit bir hızla çalışıyor.

$M_m < M_y$ ise denklemden $J \frac{d\omega}{dt} < 0$ olur. Yani sistem giderek yavaşlıyor.

Bu üç çalışma şartından anlaşılacağı gibi sürekli ve kararlı bir çalışma durumu elde etmek için elektrik motoru moment karakteristiği $M_m = f(\omega)$ nin bilinmesi gereklidir. Pratikte ω açısal hızı yerine

$n = \frac{60\omega}{2\pi}$ bağıntısından elde edilen n devir sayısı kullanılmakta olup moment karakteristikleri bu devir sayısının fonksiyonu olarak gruplandırılırlar.

Döndürme Momenti

Bir F kuvvetinin belli bir eksene göre döndürme momenti, verilen eksene dik bileşeni F_n ile bu bileşenin eksene olan d dikey uzaklığının çarpımıdır.

$$M = F_n d \text{ [Nm]}$$

Güç, doğrusal harekette, kuvvet ile doğrusal hızın, dönme hareketinde ise, döndürme momenti ile ω açısal hızının çarpımına eşittir.

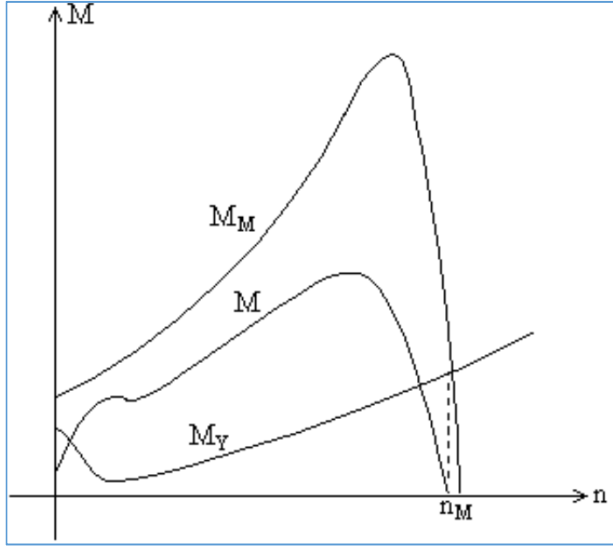
$$P = Fv = \frac{M}{d} \omega d = M\omega$$

$$P : [\text{W}]$$

$$M : [\text{Nm}]$$

$$\omega : [\text{rad/s}]$$

- Bir sürücünün dönmesini elektrik motorunun dönme yönünde uygulandığı M_m motor döndürme momenti sağlar. İş makinesinin uyguladığı M_L yük döndürme momenti ise dönme momentini ters yönde etkileyerek, yavaşlatıcı veya frenleyici etki yapar. Bu nedenle negatif bir döndürme momentidir.
- Motor ve yük momentlerinin bileşkesi ivmelendirme momentidir.
- Uygulamada yük momentini negatif alıp, bileşkeyi cebirsel toplama ile bulmak yerine, pozitif alıp bileşkeyi çıkarma ile bulmak yeğlenir.
- İş makinesinin döndürme momentine 'direnç moment'i veya 'karşı moment' de denir. Gerek motorun, gerekse iş makinesinin döndürme momentleri devir hızına bağlı olarak değişir. Bu değişime $M_m = f(n)$ ve $M_L = f(n)$ öz eğrileri ile gösterilir.



M_m : Motor Momenti
 M_y : Yük Momenti
 M_i : İvmelendirme Momenti

Şekil 6 Bir sürücüde Döndürme Momenti Özeğrileri

Bir sürücü sistemde motor mili ile iş makinesi mili arasında dişli kutusu, kayış kasnak gibi bir hız değiştirme düzeni varsa, her iki mil farklı devir hızlarına ve farklı döndürme momentlerine sahiptir. Tahrik hareketinin incelenmesi için döndürme momentlerinin aynı bir mile göre alınması gerekir. Pratikte motor miline indirgenme yeğlenir.

Devir hızı n_L olan bir milin döndürme momenti M_L ise, n değişik hızın da dönen bir mile göre eşdeğer döndürme momentini bulmak için enerjinin (gücün) korunumu ilkesi uygulanır. Çevirme oranı ü süren mil hızı n 'nin sürülen mil hızı n_L 'ye oranı olarak tanımlanır.

$$\ddot{u} = \frac{n}{n_L} \quad 2\pi n M'_L = 2\pi n_L M_L \quad M'_L = \frac{n_L}{n} M_L = \frac{M_L}{\ddot{u}}$$

n : süren mil hızı
nL : sürülen mil hızı

İndirgenen döndürme momenti artan devir hızında azalır, azalan devir hızında artar. Hız değiştirme düzeninin kayıpları, ya bir sürtünme momenti ile, yada mekanik iletim verimi ile ayrıca göz önüne alınabilir.

$$M'_L = \frac{1}{\eta} \frac{n_L}{n} M_L = \frac{1}{\eta} \frac{M_L}{\ddot{u}}$$

Taşıtlar, çıkarma makinaları, kaldırma makinaları gibi tahriklerde hem doğrusal hareket, hemde dönme hareketi bulunur. Sürücü hareketinin incelenme kolaylığı bakımından bütün hareketlerin aynı bir türden olması yararlıdır. Bu amaçla doğrusal hareket, dönme hareketine indirgenebilir veya tersi yapılabilir. Doğrusal bir hareketteki FY yükleme kuvvetinin M'y eşdeğer döndürme momentini bulmak için yine enerjinin korunumu ilkesi uygulanır, dönüşüm ögesinin verimi ayrıca dikkate alınır.

$$\eta = 1 \quad 2\pi n M'_Y = V_Y F_Y \quad M'_Y = \frac{V_Y F_Y}{2\pi n} \quad \eta < 1 \quad M'_Y = \frac{1}{\eta} \frac{V_Y F_Y}{2\pi n}$$

Eylemsizlik Momenti

Dinamiğin temel yasasının uygulanmasında, dönen cisimlerin hareket enerjisinin hesaplanmasında ve diğer birçok problemin çözümünde eylemsizlik momentinden yararlanılır. Bir tahrikin toplam eylemsizlik momenti kalkış ve frenleme süresini belirleyen büyüklüklerden biridir. Bu nedenle elektrik motorlarının ve tahrik miline bağlı kavrama gibi diğer döner düzenlerin kataloglarında dönen kısma eylemsizlik momentinin değerleri daima verilir. Elektrik makinelerinin eylemsizlik momenti gücün yaklaşık $5/4$ üssü ile artar. Eskiden J eylemsizlik momenti yerine $J = GD^2$ [kgm²] savurma momenti kullanılırdı. Şimdi ise $J = \frac{GD^2}{4}$ eylemsizlik momenti kullanılır. Bir cismin bir dönme eksenine göre eylemsizlik momenti, noktasal kütlelerinin aynı eksene göre eylemsizlik momentlerinin toplamıdır.

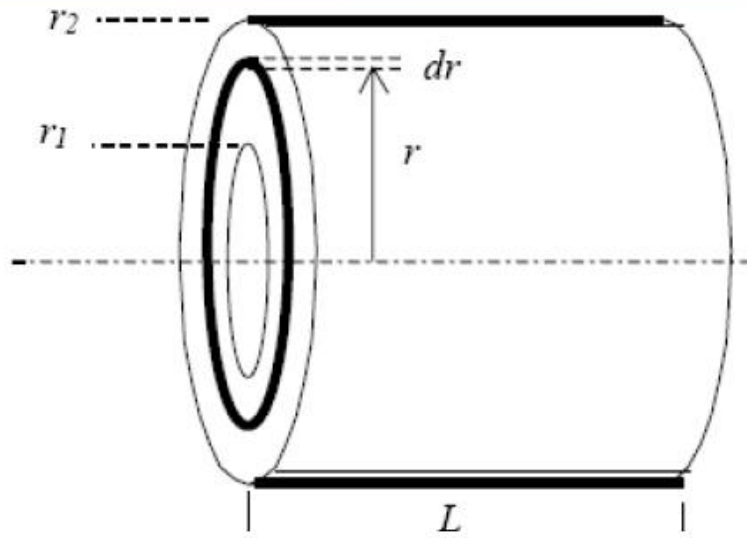
$$\Delta J = r^2 \Delta M$$

$$J = \sum r_i^2 \Delta M_i = \int r^2 dm \quad [J = \text{kgm}^2 = \text{Ws}^2]$$

➤ Bir noktasal kütle eksene yaklaştıkça eylemsizlik momenti küçülür, eksenden uzaklaştıkça büyür. Bu nedenle, eylemsizlik momenti büyük olması istenen cisimler kısa ve büyük çaplı, eylemsizlik momenti küçük olması istenen cisimler uzun ve küçük çaplı yapılır.

➤ Sürücülerde sistemin eylemsizlik momenti çoğunlukla sabittir. Ancak haddeler, sarma makineleri, savurucular, yürüyen kayışlar gibi tahriklerde eylemsizlik momenti hareket esnasında zamana ve hıza göre değişebilir $J = J(t, \omega)$. Örneğin bir saç sarma makinesinde eylemsizlik momenti makaranın artan dış çapı D_x ile değişir.

İçi Boş Silindir Biçimli Bir Cismin Eylemsizlik Momentinin Hesaplanması



r_1 ve r_2 iç ve dış yarıçaplar, L silindirin boyu, $\delta \text{ kg/m}^3$ malzemenin yoğunluğu, dr her bir sarımın birim yarıçapı, r toplam yarı çap, $dm = \delta 2\pi r L dr$

$$\begin{aligned} \therefore J &= \int_0^M r^2 dm = \int_{r_1}^{r_2} \delta 2\pi r^2 r dr \\ &= \frac{\pi}{2} \delta L \{r_2^4 - r_1^4\} \end{aligned}$$

1.12

$$J = \frac{\pi}{32} h d (D_x^4 - D_1^4)$$

D : Makaranın iç çapı

h : Yüksekliği

d : Malzeme yoğunluğudur.

Bazı basit cisimlerin eylemsizlik momentleri :

- Yarıçapı r , çapı D , uzunluğu l , yoğunluğu d ve kütlesi m olan dolu bir silindirin simetri eksenine göre :

$$J = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{8} m D^2$$

$$m = \frac{\pi l}{4} D^2 d$$

- İç yarıçapı r_1 , dış yarıçapı r_2 , iç çapı D_1 , dış çapı D_2 , uzunluğu l , yoğunluğu d ve kütlesi m olan içi boş bir silindirin simetri eksenine göre:

$$J = \frac{1}{2} m (r_2^2 + r_1^2)$$

$$m = \frac{\pi l}{4} (D_2^2 - D_1^2) d$$

- Yarıçapı r , yoğunluğu d ve kütlesi m olan içi dolu bir kürenin merkezinden geçen bir eksene göre:

$$J = \frac{2}{5} m r^2$$

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 d$$

Ortalama yarıçapı r , dış yarıçapı r_2 , iç yarıçapı r_1 , yoğunluğu d ve kütlesi m olan içi boş bir kürenin merkezinden geçen bir eksene göre:

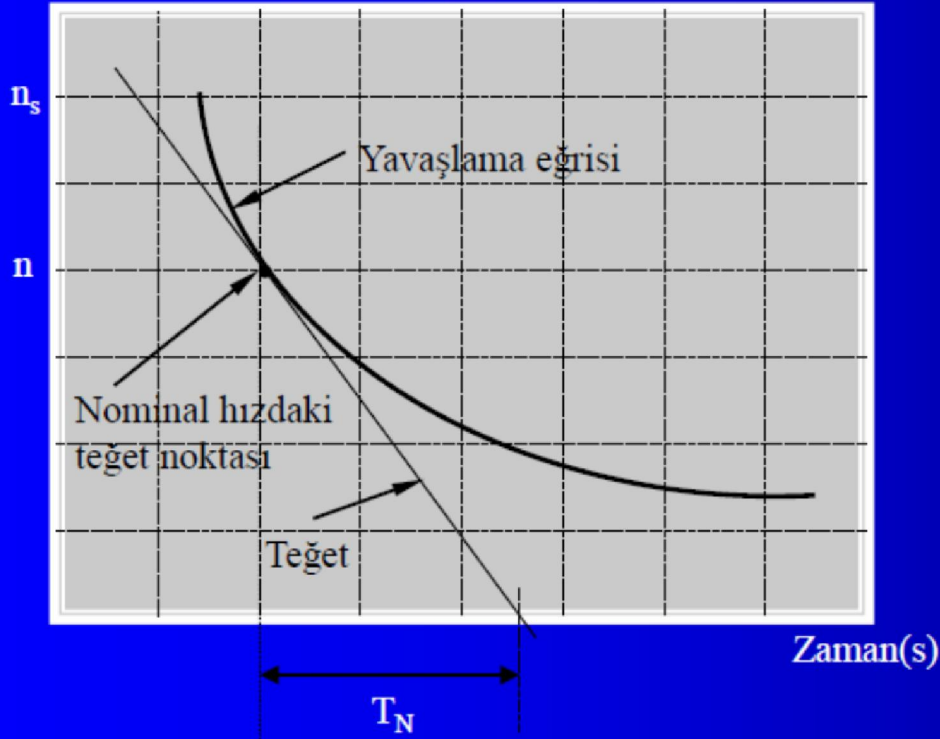
$$J = \frac{2}{3}mr^2$$

$$m = \frac{4}{3}\pi(r_2^3 - r_1^3)d$$

Pratikte karşılaşılan cisimler, örneğin elektrik makinelerinin rotorları karmaşık biçimde olduğu gibi, yapıldıkları malzemelerde çok çeşitlidir. Özellikle rotor çevresindeki sargı ve yalıtkan nedeniyle yoğunluk çok değişir. Bu tür cisimlerin eylemsizlik momentini bulmak için önce bu cisimler, çoğunlukla silindir olmak üzere eylemsizlik momenti tanım ifadesinin uygulanabileceği çapı ve yoğunluğu sabit basit kısımlara ayrılır ve bu kısımların eylemsizlik momentleri ayrı ayrı hesaplanarak toplanır.

Bir ASM'nin Rotorunun Eylemsizlik Momentinin Belirlenmesi

Hız (rpm)



Eylemsizlik momentini belirlemek için motorun yavaşlama eğrisi kullanılabilir. Yandaki şekilde bir motorun yavaşlama eğrisi görülmektedir.

Bu eğri, motor senkron hızda çalışırken enerjisi aniden kesilerek hızın bir takometre yardımıyla alınarak yavaşlamasının izlenmesi ile elde edilir.

Hızın yavaşlaması süresince kinetik enerjideki değişim, sürtünme ve çekirdek kayıplarına eşittir.

Matematik olarak ifade edilecek olursa;

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} J(\omega(t))^2 = P_F + P_{Fe}$$

$$\left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 J n \frac{dn}{dt} = P_F + P_{Fe}$$

Şekildeki gibi nominal hız noktasında yavaşlama eğrisine bir teğet çizilirse dn/dt elde edilir. Böylece eylemsizlik momenti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$J = T_N \left(\frac{60}{2\pi} \right)^2 (P_F + P_{Fe})$$

Eşdeğer Eylemsizlik Momenti

Bir sürücü sistemi genellikle değişik kütleleri eylemsizlik momentleri ve hızları olabilen birçok dönen veya doğrusal hareket yapan kısımlardan oluşur.

Hesaplama kolaylığı bakımından sistemi bir hareket türüne, örneğin dönme hareketine dönüştürmek ve eylemsizlik momentlerini de aynı bir devir hızına, örneğin motor devir hızına indirgeyerek tek bir eylemsizlik momenti almak uygun olur. Her iki işlem için hareket enerjisinin korunmasından gidilir ve elde edilen eylemsizlik momentine 'eşdeğer eylemsizlik momenti' denir. Açısal hızı ω_L veya devir hızı n_L olan bir sistemin J_L eylemsizlik momentinin ω açısal hızına veya n devir hızına indirgenmiş değeri şu formül ile bulunur.

$$W_K = \frac{1}{2} J'_L \omega^2 = \frac{1}{2} J_L \omega_L^2$$

$$J'_L = J_L \left(\frac{\omega_L}{\omega} \right)^2 = J_L \left(\frac{n_L}{n} \right)^2 = \frac{J_L}{ü^2}$$

O halde eylemsizlik momentleri dönüştürme oranının karesine ters orantılı indirgenir.

Genel olarak bir tahrikte açısal hızları $\omega_1, \omega_2, \dots$ veya devir hızları n_1, n_2, \dots olan eylemsizlik momentlerinin ω açısal hızındaki veya n devir hızındaki toplam eşdeğer eylemsizlik momenti, yine hareket enerjilerinin eşitliği yazılarak bulunur. Böylece gerçek eylemsizlik momentleri $J_1, J_2 \dots$ yerine n hızında dönen tek bir J eylemsizlik momenti alınabilir.

$$\begin{aligned} J &= \sum J'_1 = J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega} \right)^2 + \dots \\ &= J_1 \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 + J_2 \left(\frac{n_2}{n} \right)^2 + \dots \end{aligned}$$

İş Makineleri

Bir iş makinesinin davranışını, esasen dönen kısımlarının eylemsizlik momenti, yük gücü veya yük momenti belirler. Çünkü sürekli işletmede etkili olan yük gücü ve yük momentidir. Enerjinin korunumu ilkesinin gereği olarak iş makinesinin gücü ve döndürme momenti sürekli işletmede elektrik motoru tarafından karşılanacağından, her iki büyüklüğün bilinmesi motor gücünün belirlenmesi bakımından büyük önem taşır. Ancak iş makineleri sabit bir güçte çalışmadıklarından, değişen yük momentinde, yük davranışları da çok önemlidir. Örneğin bir trenin hızı artınca güç gereksinimi ne olacaktır? Uygulamada yük momenti, devir hızı, dönme açısı, yol ve zaman ile değişebilir. En önemlisi hıza göre değişmedir. İş makinesinin yük veya direnç momenti çok kez tamamen veya kısmen sürtünmeden kaynaklanır. Örneğin merkezkaç pompalarda sıvı sürtünmesi, havalandırıcılarda gaz sürtünmesi talaşlı takım tezgahlarında, vanalarda katı sürtünmesi vardır. Her motor iş makinesini önce işin yapıldığı hıza kadar ivmelendirmek ve sonra çalışma hızında güç gereksinimini karşılamak, ayrıca kısa süreli aşırı yüklemelere dayanmak zorundadır.

Elektrik Motoru Hız – Moment Karakteristikleri

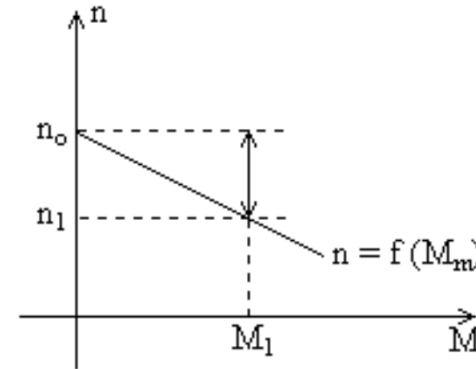
Şönt Karakteristik :

Özelliği:

- Motorun mili üzerinde bir yük momenti yoktur ($M_Y = 0$) n , n_0 gibi bir devir sayısına sahip olur
- Mil üzerinde $M_Y = M_1$ gibi bir yük olunca devir sayısı n_0 dan n_1 gibi bir değere düşer.

Bu karakteristiği veren motorlar:

- Doğru akım şönt motor
- Doğru akım serbest uyarmalı motor
- Kısa devre asenkron motor
- Bilezikli asenkron motor
- Kollektörlü şönt motor Şekil 7 Şönt Karakteristik



Kullanıldığı yerler:

Bu motorlar takım tezgahlarının, kağıt ve tekstil makinalarının, asansörlerin, vantilatör, aspiratör, buzdolabı ve çamaşır makinasının tahrikinde kullanılır.

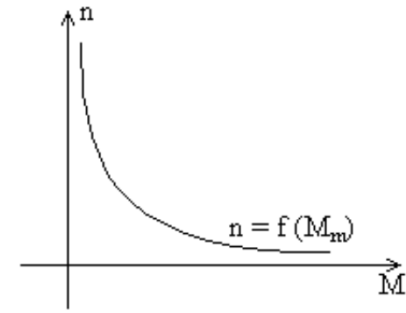
Seri Karakteristik :

Özelliği:

- Hiçbir zaman boşta çalıştırılmamalıdır. Yani her zaman mili üzerinde bir M_v olmalıdır.
- Eğer $M_v = 0$ yapılırsa motorun devir sayısı çok yükselir ve sonuçta parçalanır ki bu olaya 'Motor Kaçtı' denir.
- Büyüdükçe yük momentlerinde devir sayısı hızla düşer.

Bu karakteristiği veren motorlar:

- Doğru akım seri motor
- Üç fazlı kollektörlü seri motor



Şekil 8 Seri Karakteristik

Kullanıldığı yerler:

Vinçlerle kaldırma makinalarında, treleybüslerde, elektrikli trenlerde, yer altı ocaklarına inen asansörlerde. Dikkat edilirse kullanılan bu yerlerde devamlı olarak mil üzerinde bir yük momenti vardır. Örneğin: Kepçe boşken kepçenin kendi ağırlığı gibi. Diğer özellik de boşta iken hızlı, yükte iken yavaş çalışması. Örneğin: Maden ocağına insan yüklü olarak inerken yavaş, boş olarak dönerken hızlı döner.

Kompund Karakteristik :

Özelliği :

Bunun özelliği daha önce verilen iki karakteristiğin özelliklerinin toplamıdır. Yani boşta çalışmada ($M_Y = 0$), n_0 gibi bir devir sayısı vardır.

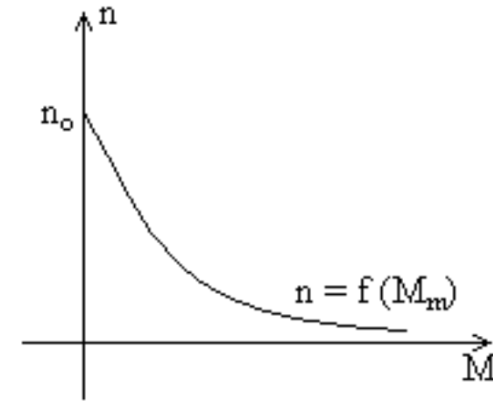
Fakat yük momentinin artmasıyla devir sayısı hızla düşer.

Bu karakteristiği veren motorlar:

- Doğru akım kompund motorları

Kullanıldığı yerler:

Hammadde taşıma işlerinde kullanılır.



Şekil 9 Kompund Karakteristik

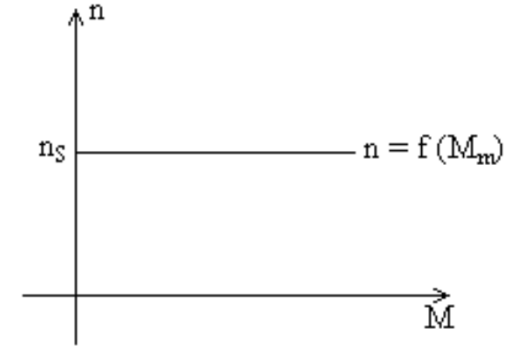
Senkron Karakteristik :

Özelliği :

Yük momentiyle etkilenmez, n_s gibi sabit bir devir sayısında çalışır.

Bu karakteristiği veren motorlar:

Senkron motorlardır.



Şekil 10 Senkron Karakteristik

Kullanıldığı yerler:

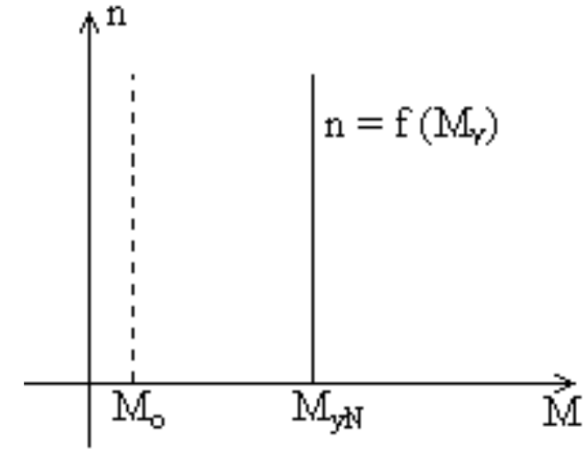
Hastane gibi yerlerde kullanılan büyük saatlerde, motor şalterlerinde zaman geciktirici olarak, bazı kompresörlerde kullanılır.

İş Makinası Hız – Moment Karakteristikleri

Sabit Momentli İş Makinaları :

Özelliği :

- M_0 gibi minimum bir değere sahiptirler.
- M_0 sürtünme momentine tekabül eder.
- Devir sayısıyla etkilenmez.



Şekil 11

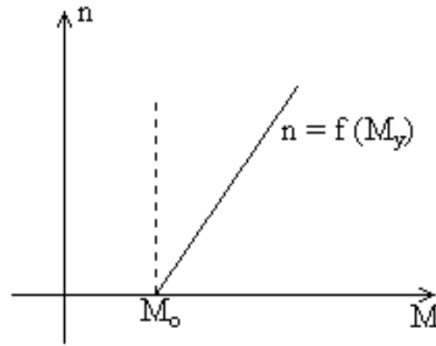
Bu karakteristiğe sahip iş makinaları :

- Sürtünme işi yapan makinalar : Kağıt, tekstil, transport bantları, yürüyen merdivenler.
- Kaldırma işi yapan makinalar: Kaldırma makinaları, asansörler.
- Şekil verici makinalar : Torna, planya, gibi tüm takım tezgahları

Orantılı Moment Karakteristiği

Özelliği :

- M_0 gibi sürtünme momentlerine tekabül eden bir moment var.
- Mildeki yük momenti arttıkça devir sayısı büyür.



Şekil 12

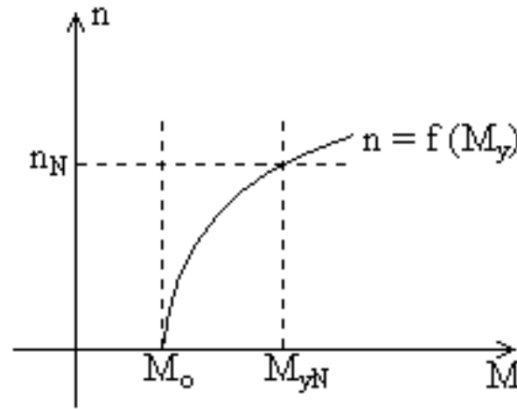
Bu karakteristiğe sahip iş makinası :

Sabit bir dirençle yüklenen serbest uyarmalı ve şönt uyarmalı D.A. generatörleri.

Parabolik Karakteristik :

Özelliği :

- M_0 gibi sürtünme momentine tekabül eden bir moment var.
- Yük momenti devir sayısı ile parabolik olarak değişiyor.



şekil 13

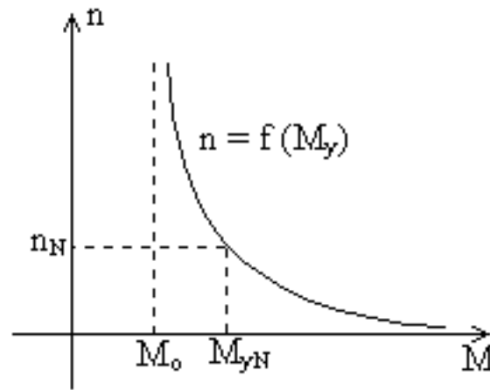
Bu karakteristiğe sahip iş makinaları :

Vantilatörler, pompalar, aspiratörler, gemi pervaneleri.

Hiperbolik Karakteristik :

Özelliği :

- M_0 gibi sürtünme momentine tekabül eden bir moment var.
- Yük momenti devir sayısıyla hiperbolik olarak değişir.



şekil – 14

Bu karakteristiğe sahip iş makinaları :
Kağıt sarma ve sağ sarma makinaları.

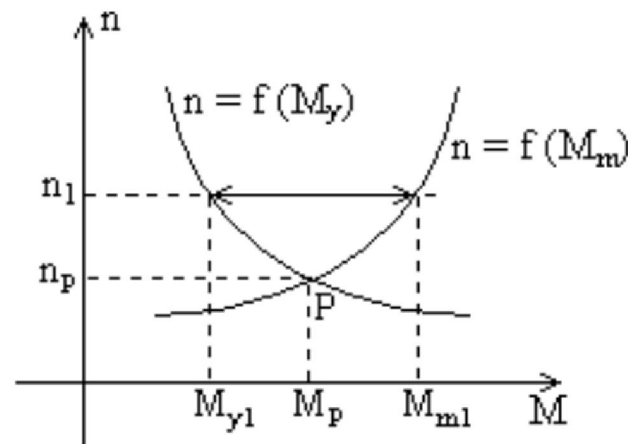
Elektrik Motoru – İş Makinasından Oluşan Sistemin Kararlı Çalışma Şartları

Elektrik motorlarının ve iş makinalarının moment karakteristiklerini böylece gruplandırdıktan sonra moment karakteristiği bilinen bir iş makinası ile hangi tür motor karakteristiğinin stabil çalışabileceğini burada belirlemeye çalışacağız.

İş makinasının ve elektrik motorunun aşağıdaki şekildeki gibi karakteristiklere sahip olduklarını ve şu anda P noktasında çalıştıklarını kabul edersek.

$$M_Y = M_m$$

Olduğu şekilden görülebilir. O halde bu sürekli çalışma noktasında $J \frac{d\omega}{dt} = 0$ olacağı açıktır. Şimdi P noktasından $\Delta n = n_1 - n_p$ kadar ayrılırsak (motoru hızlandırırsak)



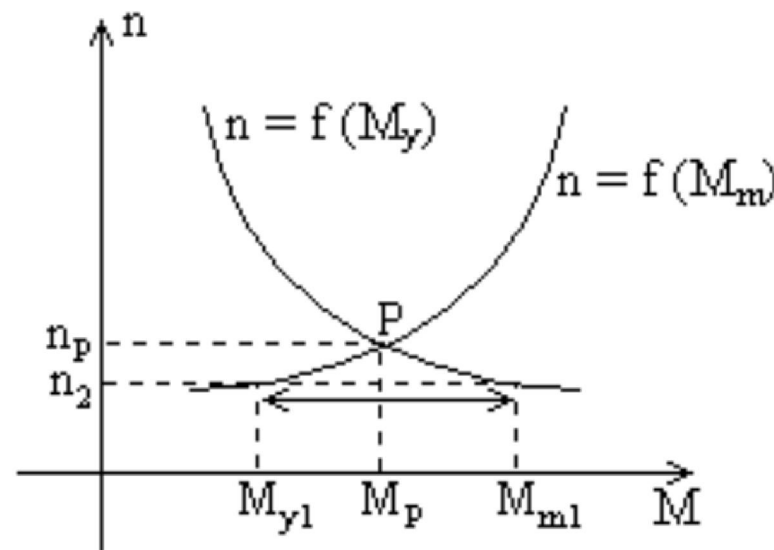
$M_{m1} > M_{y1}$ Olacağından

$$J \frac{d\omega}{dt} > 0$$

olacağı açıktır. Sistem hızlanır, hızlandıkça ($M_{m1} - M_{y1}$) farkı giderek dahada büyüyecek büyüdükçe hızlanacak ve böylece kararlı (stabil) bir çalışma olmayacaktır.

Şimdi P noktasında çalışırken devir sayısını kadar azaltıp bir önceki analizi yapılim.

$$\Delta n = n_p - n_2$$



P noktasından devir sayısını çok az düşürerek ayrılırsak $M_{m2} < M_{Y2}$ olacağından $M_{m2} - M_{Y2} < 0$ olur. Yani $J \frac{d\omega}{dt} < 0$ olur. Bunun fiziksel manası sistem giderek yavaşlıyor, yavaşladıkça devir sayısı iyice düşer ve sistem daha da yavaşlar. İşte bu iki analiz de gösteriyor ki P çalışma noktasında eğer,

$$\frac{dM_m}{dn} > \frac{dM_Y}{dn}$$

ise kararlı (stabil) bir çalışma şekli elde edilemez. Bunu grafik olarak gösterdiğimiz gibi matematiksel olarak da şöyle ispatlayabiliriz.

P noktasında hız ω olsun ω daki $\Delta\omega$ kadarlık artışta, bu artışa

$$M_Y + \Delta M_Y, M_m + \Delta M_m$$

Artışları tekabül eder. Sürtünme momentinin sıfır olması durumunda P noktası için

$$M_m - M_Y - J \frac{d\omega}{dt} = 0 \quad \text{birinci denklem ikinciden çıkarılırsa}$$

$$\Delta M_m - \Delta M_Y - J \frac{d\omega}{dt} = 0$$

Ayrıca $n = f(M_Y)$ ve $n = f(M_m)$ den ($\omega = \frac{2\pi n}{60}$ olduğu hatırlanmalı)

$$\Delta M_m = \frac{dM_m}{d\omega} \Delta\omega$$

$$\Delta M_Y = \frac{dM_Y}{d\omega} \Delta\omega \quad \text{elde edilir.}$$

$$y' = \frac{dy}{dx} \cong \frac{\Delta y}{\Delta x} \text{ olduğu hatırlanarak}$$

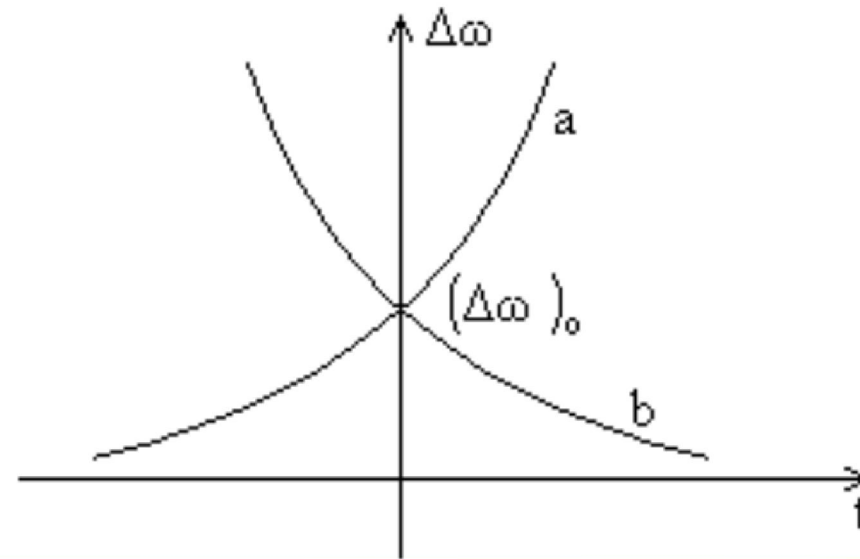
$$\Delta y = \frac{dy}{dx} \Delta x$$

$$\Delta \omega \left(\frac{dM_m}{d\omega} - \frac{dM_Y}{d\omega} \right) - J \frac{d(\Delta \omega)}{dt} = 0$$

sağ tarafsız diferansiyel denklem elde edilir. Bunun da çözümü

$$\Delta \omega = (\Delta \omega)_o e^{\frac{1}{J} \left(\frac{dM_m}{d\omega} - \frac{dM_Y}{d\omega} \right) t}$$

$$A_o = \frac{1}{J} \left(\frac{dM_m}{d\omega} - \frac{dM_Y}{d\omega} \right) \text{ dersek}$$



eğer $A_o > 0$ ise şekil – 16.a

$A_o < 0$ ise şekil – 16.b

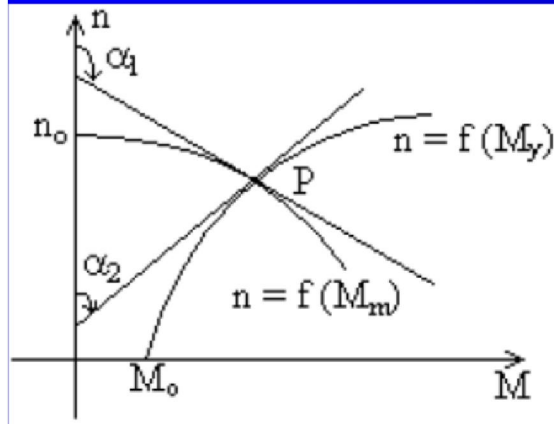
Elde edilir. Stabilité kriterlerinden bilineceği gibi eğer $A_o < 0$ ise yani $\Delta\omega$ giderek sönüyorsa sistem stabil çalışır. O halde $A_o < 0$ şartından

$$\frac{dM_m}{d\omega} - \frac{dM_Y}{d\omega} < 0 \quad \text{veya} \quad \frac{dM_m}{dn} < \frac{dM_Y}{dn}$$

stabilite kriteri ortaya çıkar. Böylece P noktasında $M_m - M_Y = 0$ olma şartına ilave olarak son kriterde sağlanıyorsa o sistem stabil çalışır.

Problem:

Bir vantilatör, kısa devre bir asenkron motorla çalıştırılmak isteniyor, sistemin stabil çalışıp çalışmayacağını inceleyiniz. Verilen motor ve iş makinası karakteristiklerinden şekildeki moment–devir sayısı karakteristiği çizilerek



Şekil 17

$$\frac{dM_m}{dn} = \tan\alpha_1$$

$$\frac{dM_y}{dn} = \tan\alpha_2$$

den α_1 ve α_2 açıları bulunur. (P noktasından çizilen teğetler ile n eksenindeki açılar) α_1 geniş açı olduğundan $\tan\alpha_1 < 0$ ve α_2 dar açı olduğundan $\tan\alpha_2 > 0$ dır.

$$\frac{dM_m}{dn} < \frac{dM_Y}{dn}$$

kriteri sağlanıyor ve ayrıca P noktasında

$M_m - M_Y = 0$ Olduğu için bu sistem stabil çalışır.

Elektrik Motorlarıyla İlgili Tanımlar

Motorların işaret plakalarında yazılı olan büyüklüklerin tanıtılması amacıyla TSE'nin 3205 nolu Nisan – 1978 tarihli yayınında konu olan bazı tanımları burada kısaca inceleyeceğiz

Anma Değeri :

Motorun verilen koşullara uyması durumunda, yapımçı tarafından belirlenen ve motorun işaret plakasında gösterilen elektriksel ve mekaniksel büyüklüklerin sayısal değerleridir.

Anma Gücü:

Motorun işaret plakasında verilen, motor milinden alınabilen ve Watt (W) ile gösterilen mekanik güçtür. Bu güç P_N ile temsil edilir.

Anma Gerilimi:

Anma gücünde çalışan motorun elektrik şebekesine bağlantı uçları arasındaki (fazlar arasındaki) gerilim olup U_N ile gösterilir. Birimi Volt (V) dur. Motor plakasında sayısal olarak verilir.

Anma Akımı :

Anma gücünde çalışan motorun bağlı olduğu elektrik şebekesinden her fazının çektiği akım I_N ile gösterilir. Birimi Amper (A) dir. Sayısal değeri motorun işaret plakasında verilir.

Güç Faktörünün Anma Değeri:

Eğer motor bir alternatif akım motoru ise motorun şebekeden çektiği güç: $P_N = U_N I_N \cos \varphi$ olup buradaki $\cos \varphi$ ye güç faktörü denir, sayısal değeri motorun işaret plakasında verilir.

Yük :

Elektrik motoru için yük, motorun mili üzerindeki iş makinasının göstermiş olduğu direnç momenttir.

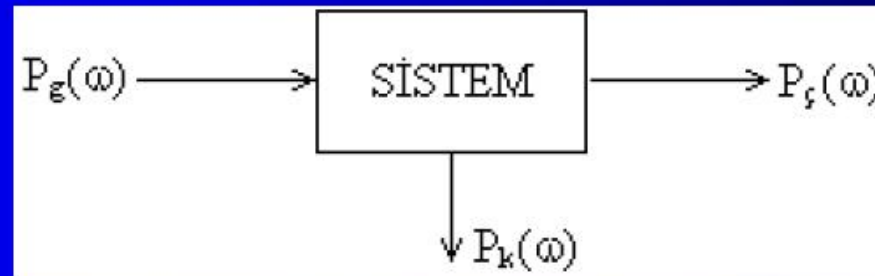
Boşta Çalışma:

Elektrik motorunun boşta çalışması diye motorun miline bir yük bağlı olmadan çalışması haline denir.

Anma Hızı :

Elektrik motorunun P_N anma gücünde çalışırken milin hızı olup n_N ile gösterilir. n_N nin sayısal değeri motor işaret plakasında verilmiş olup birimi (devir/dakika) dır.

Motor Verimi :



Şekil – 15

Genel olarak verim şöyle tanımlanır :

$$\eta = \frac{\text{Sistemin Çıkış Gücü}}{\text{Sistemin Giriş Gücü}}$$

Yandaki blok diyagramından da görüleceği gibi, eğer sistemde kaybolan gücü P_K ile gösterirsek sistemin çıkış gücü $P_{\zeta} = P_G - P_K$ olacağından sistemin verimide

$$\eta = \frac{P_{\zeta}}{P_G} = \frac{P_G - P_K}{P_G} = 1 - \frac{P_K}{P_G}$$

Anma değerlerinde verim ve giriş gücü kullanılan motora göre aşağıdaki gibi değişik ifadelerle sahiptirler:

Anma değerinde verim:

$$P_{\zeta} = P_N$$

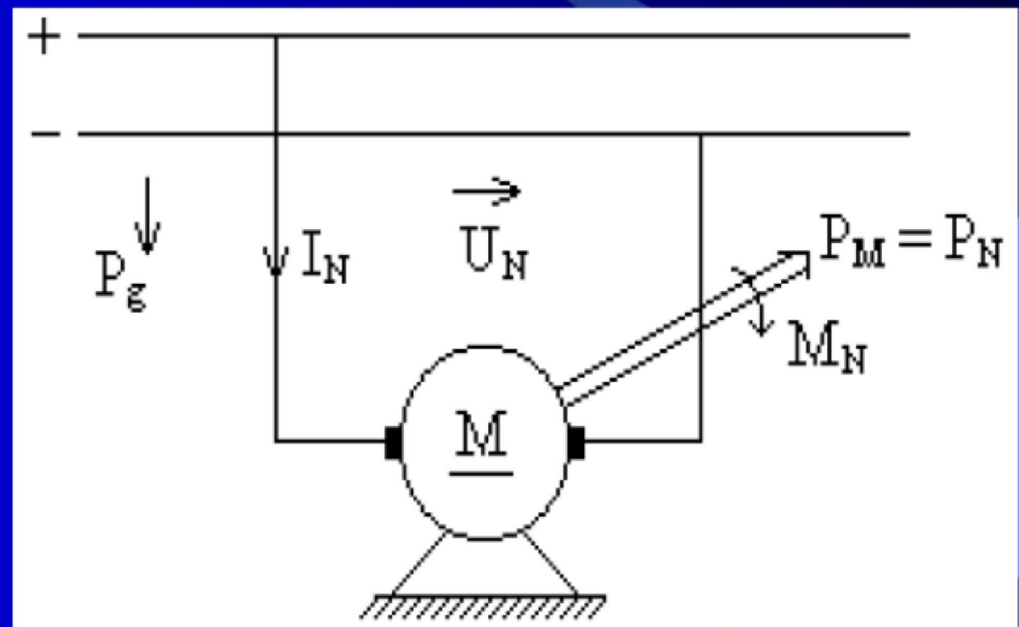
olup eğer kullanılan motor :

Doğru Akım Motoru

$P_G = I_N U_N$ den

$$\eta_N = \frac{P_N}{I_N U_N} = \frac{P_{\zeta}}{P_G}$$

$$P_K = I_N U_N - P_N = P_G - P_{\zeta}$$



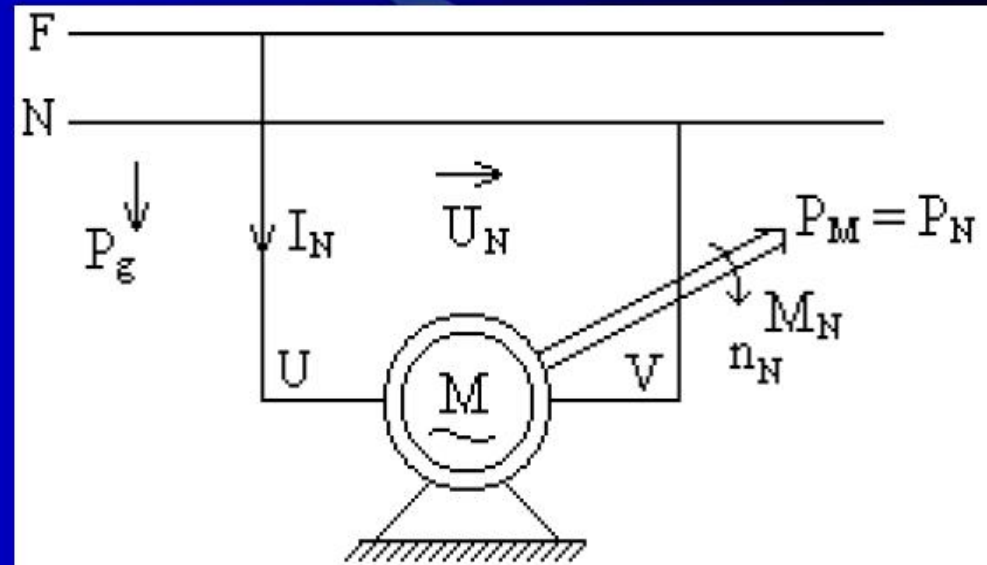
Tek Fazlı Alternatif Akım Motoru

$$P_N = U_N I_N \cos \varphi_N$$

den

$$\eta_N = \frac{P_N}{U_N I_N \cos \varphi_N} = \frac{P_{\zeta}}{P_G}$$

$$P_K = U_N I_N \cos \varphi_N - P_N = P_G - P_{\zeta}$$



Üç Fazlı Alternatif Akım Motoru

$$P_G = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N} = \frac{P_{\zeta}}{P_G}$$

$$P_K = \sqrt{3} I_N U_N \cos \varphi_N - P_N = P_G - P_{\zeta}$$

