

KAM MEKANİZMALARI
VE BİLGİSAYARLA TASARIMI

Günay Emirdağ

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

U

Danışman:Yrd.Doç.Dr.Soner Alanyalı

Nisan-1988

..Günay.Emir.Şg..'nın YÜKSEK LİSANS/DOKTORA tezi olarak hazırladığı" ...Kon. Mekanizmaları..ve. Bilgi sayarlar..Tasarımı....."
başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.5/5/1988

Üye: Prof. Dr. Battal Kuşhan



Üye: Yrd. Doç. Dr. Sener Alanyalı

(Danışman) Alanyalı

Üye: Yrd. Doç. Dr. İlker Gürkan

İlker Gürkan

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..9. MAYIS. 1988..
gün ve ..177/3..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Rüstem KAYA

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tezde, yüksek hızlı kam mekanizmalarının kinematik karakteristikleri irdelenmiş ve dizayn kriterlerini sağlayan minimum kam boyutunun belirlenmesine çalışılmıştır.

Basıncı açısı, kam yüzey eğrilik yarıçapı ve basma gerilimi için analitik denklemlerden yararlanılmıştır.

Pratikte en çok kullanılan düzlemsel kam mekanizmaları incelenmiştir. İstenen hareket eğrisini üretecek kam profilinin sentezi ve koordinatları zarf teorisi ile belirlenmiştir.

Sonuçta, Fortran-IV programlama dilinde genel amaçlı ve etkileşimli bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programdan istenen, çıkış hareket eğrisini üretecek ve belirtilen kinematik koşulları sağlayacak minimum kam boyutunu ve buna bağlı olarak kam profil ve kesme merkezi koordinatlarını belirlemesi yanında, izleyici kol uzunluğu, kam-izleyici hareket merkezleri arasındaki uzaklık, izleyici makara yarıçapı, gibi parametrelerin minimum kam boyutu üzerindeki etkilerinin incelenmesinde de kullanılabilmektedir.

Anahtar kelimeler; Kam, kam-izleyici mekanizması, basıncı açısı, alttan kesme, düz yüzeyli izleyici, makaralı tip izleyici.

SUMMARY

Kinematic characteristics of high-speed cam-follower systems are investigated and determination of minimum cam dimensions is achieved.

Analytical expressions are utilized or derived for pressure angle, radius of curvature and contact stress formula. Major types of cam-follower mechanisms mostly used in practice have been examined.

The synthesis and coordinates of the cam profile which is to produce motion curve have been determined by the envelope theory. Consequently, a general purpose interactive type computer program package written in Fortran-IV programming language has been developed on the basis of the above ideas. The program can be used to determine the cam profile, cutter center path coordinates and dimensions of the cam-follower mechanism which produces the desired motion curve satisfying the given design constraints. It can also be used to study the effects of various parameters such as, follower arm length, pivot centers distance, follower roller radius, eccentricity, etc. on the cam size under consideration.

Key words: Cam, cam-follower mechanism, pressure angle, undercutting, flat-faced follower, roller follower.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr.Soner Alanyalı'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca değerli bilgi ve yapıcı eleştirileriyle tezime katkıda bulunan Sayın Yrd.Doç.Dr.İlker Gürkan'a ve bilgisayar programının işletilmesi esnasında değerli katkılarından dolayı bilgisayar uzmanı Sayın Hüryaşa Aslan'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Eserin ilgilenenlere faydalı olması dileğiyle.

Günay EMİRDAĞ

Nisan 1988

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | iv |
| SUMMARY | v |
| TEŞEKKÜR | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | viii |
| SİMGELER DİZİNİ | ix |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. YÜKSEK HIZLI KAM DİZAYN TEORİSİ | 3 |
| 2.1. Kam Mekanizmalarının Tanımı ve Sınıflandırılması | 3 |
| 2.1.1. Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyicili kamlar | 6 |
| 2.1.2. Makaralı doğrusal hareketli izleyicili kamlar.. | 7 |
| 2.1.3. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kamlar | 8 |
| 2.1.4. Makaralı salınım hareketli izleyicili kamlar... | 9 |
| 2.2. Kam Terimleri | 9 |
| 2.3. Yüksek Hızlı Kamların Dizaynı | 11 |
| 3. HAREKET EĞRİSİ SENTEZİ | 11 |
| 3.1. Genel Hareketin Açıklanması | 11 |
| 3.2. İvme Eğrisinin İntegrasyonu | 14 |
| 3.3. Standart Hareket Eğri Karakteristikleri | 18 |
| 4. KAM PROFİLİ VE KESME EĞRİSİ KOORDİNATLARININ BELİRLENMESİ.. | 25 |
| 4.1. Zarf Teorisi | 25 |
| 4.2. Koordinatların Belirlenmesi | 28 |
| 4.2.1. Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyicili kamlar | 28 |
| 4.2.2. Makaralı doğrusal hareketli izleyicili kamlar.. | 29 |
| 4.2.3. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kamlar | 31 |
| 4.2.4. Makaralı salınım hareketli izleyicili kamlar... | 33 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5. MİNİMUM KAM BOYUTUNUN BELİRLENMESİ | 35 |
| 5.1. Uygun Basınç Açısından Kam Boyutunun Belirlenmesi..... | 35 |
| 5.2. Alttan Kesilme Kriterinden Kam Boyutunun Belirlenmesi | 39 |
| 5.3. Emniyetli Yüzey Basıncından Kam Boyutunun Belirlenmesi | 41 |
| 6. KAM BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANITIMI | 43 |
| 6.1. Programın Yapısı | 43 |
| 6.2. Programı Kullanma Yöntemi | 45 |
| 7. DİZAYN ÖRNEKLERİ | 45 |
| 7.1. Düz Yüzeyli Doğrusal Hareketli İzleyicili Kam | 45 |
| 7.2. Makaralı Doğrusal Hareketli İzleyicili Kam | 48 |
| 7.3. Düz Yüzeyli Salınım Hareketli İzleyicili Kam | 50 |
| 7.4. Makaralı Salınım Hareketli İzleyicili Kam | 52 |
| 8. SONUÇLAR VE TARTIŞMASI | 54 |
| Ek Açıklamalar-A | 56 |
| MAKARALI SALINIM HAREKETLİ İZLEYİCİLİ KAM TİPİ İÇİN BASINÇ AÇISI FORMÜLÜNÜN TÜRETİLMESİ | |
| Ek Açıklamalar-B | 58 |
| DÜZ YÜZEYLİ SALINIM HAREKETLİ İZLEYİCİLİ KAM TİPİ İÇİN EĞRİLİK YARIÇAPI FORMÜLÜNÜN TÜRETİLMESİ | |
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 61 |

EKLER

1. Düz Yüzeyli Doğrusal Hareketli İzleyicili Kam Tipi İçin Bilgisayar Programı İşletim Örneği
2. Makaralı Doğrusal Hareketli İzleyicili Kam Tipi İçin Bilgisayar Programı İşletim Örneği
3. Düz Yüzeyli Salınım Hareketli İzleyicili Kam Tipi İçin Bilgisayar Programı İşletim Örneği
4. Makaralı Salınım Hareketli İzleyicili Kam Tipi İçin Bilgisayar Programı İşletim Örneği.

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1. Şekillerine göre kam tipleri | 4 |
| 2.2. Hareket iletimine göre kam tipleri | 4 |
| 2.3. Düz kamlar | 6 |
| 2.4. Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyicili kam | 7 |
| 2.5. Makaralı doğrusal hareketli izleyicili kam | 8 |
| 2.6. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kam | 8 |
| 2.7. Makaralı salınım hareketli izleyicili kam | 9 |
| 2.8. Makaralı doğrusal hareketli izleyici için kam terimleri.. | 10 |
| 3.1. Yer değiştirme diyagramı | 12 |
| 3.2. Bekleme-kalkış-bekleme hareket eğrisi | 13 |
| 3.3. Bekleme-kalkış-iniş hareket eğrisi | 13 |
| 3.4. Kalkış-iniş hareket eğrisi | 13 |
| 3.5. Sonlu integrasyon | 14 |
| 3.6. Sonlu integrasyon metodunun hassasiyeti | 18 |
| 4.1. Makaralı doğrusal hareketli kam mekanizması için kam profilinin elde edilmesi | 25 |
| 4.2. Zarf eğrisi | 26 |
| 4.3. Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyicili kam | 28 |
| 4.4. Makaralı doğrusal hareketli izleyicili kam | 29 |
| 4.5. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kam | 31 |
| 4.6. Makaralı salınım hareketli izleyicili kam | 33 |
| 5.1. Makaralı izleyicili doğrusal hareketli kamda basınç açısı ve transmisyon açısı | 36 |
| 5.2. Makaralı izleyicili salınım hareketli kamda basınç açısı ve transmisyon açısı | 36 |
| 5.3. Basınç açısı ile kam boyutu arasındaki ilişki | 39 |
| 5.4. Düz yüzeyli izleyicili kamda alttan kesilme | 40 |
| 5.5. Makaralı izleyicili kamda alttan kesilme | 40 |
| 6.1. Kam bilgisayar programı için akış şeması | 44 |
| 7.1. Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyicili kam | 47 |
| 7.2. Makaralı doğrusal hareketli izleyicili kam | 49 |
| 7.3. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kam | 51 |

ŒEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Œekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 7.4. Makaralı salınım hareketli izleyicili kam | 53 |
| A.1. Makaralı salınım hareketli izleyicili kam | 56 |
| B.1. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kam | 58 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 1.1. Kam mekanizmaları ile diğer mekanizmaların karşılaştırılması | 2 |
| 3.1. Normalize edilmiş hareket eğri karakteristikleri | 19 |

SİMGELELER DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|-----------------|--|
| a | : Kam ve izleyici merkezleri arasındaki ilk uzaklık. |
| C_a | : İvme faktörü. |
| C_v | : Hız faktörü. |
| d | : Kalınlık. |
| e | : Kam ve izleyici arasındaki eksantriklik. |
| E | : Young's modülü (elastikiyet modülü). |
| F_o | : İzleyici tutucu yayı üzerindeki başlangıç kuvveti. |
| F | : Kam ve izleyici arasındaki temas kuvveti. |
| K | : İzleyici tutucu yayının doğrusal kalınlığı. |
| K_t | : İzleyici tutucu yayının burulma katılığı. |
| L | : Maksimum izleyici kalkışı. |
| r_A | : Kam ve izleyici merkezleri arasındaki uzaklık. |
| r_B | : Kam temel yarıçapı. |
| r_C | : Kesme yarıçapı. |
| r_F | : İzleyici makara yarıçapı. |
| r_R | : İzleyici kol uzunluğu. |
| r_S | : Kam mili yarıçapı. |
| S_d | : Malzeme dizayn mukavemeti. |
| S | : İzleyicinin herhangi bir andaki doğrusal yer değişimi. |
| t | : Zaman. |
| T_o | : İzleyici tutucu yayı üzerindeki başlangıç momenti. |
| T | : İzleyici üzerindeki moment. |
| x,y | : Kartezyen koordinatları. |
| X_c, Y_c | : Kesme merkezi koordinatları. |
| ϵ | : Hata. |
| θ | : Kamın açısal konumu. |
| ρ_c | : Eğrilik yarıçapı. |
| ∇ | : Kam ve izleyici arasındaki yüzey basıncı. |
| ν | : Poisson oranı. |
| ϕ | : Kam ve izleyici arasındaki basınç açısı. |
| ψ_o | : İzleyicinin başlangıçtaki açısal konumu. |

SİMGELER DİZİNİ (devam)

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|-----------------|--|
| Ψ | : İzleyicinin herhangi bir andaki açısal konumu. |
| W | : Kamın açısal hızı. |

1. GİRİŞ

Teknoloji geliştikçe, üretim sistemleride gelişmektedir. Buna paralel olarak da mekanizmalardaki hareket iletimi de daha karmaşık bir durum almaktadır. Bu karmaşık hareketlerin üretim esnasında, gerekli verimi elde edebilmek için belli bir düzene koyulması problemi, makina tasarımcılarını ilgilendiren önemli konulardan birisidir.

Bu karmaşık hareket probleminin giderilmesi amacıyla yıllardan beri süre gelen çalışmalar sonucu, kam olarak isimlendirilen çeşitli kenar profillerine sahip makina elemanları geliştirilmiştir.

Kamlar, temel kinematik zincirler içinde kolayca dizayn edilebilme üstünlüğüne sahiptirler. Verilen bir hareketi, hızı, ivmeyi diğer mekanizmaların kullanımıyla elde etmek oldukça zordur. Aynı işi bir kam mekanizması aracılığıyla yapmak, diğeriyle kıyaslandığı zaman kolay, doğru ve verimlidir. Kamlar hemen her makinada bulunur. Örneğin; tekstil makinaları, baskı makinaları, gıda işleme makinaları, içten yanmalı motorlar, kontrol sistemleri, otomatik cihazların farklı tipleri sayılabilir. Yine bir dokuma tezgahı ele alındığında, ağızlık aşmada, mekikli veya mekikçikli tezgahlarda mekik vuruş kolunun hareketinde, tığlı tezgahlarda tığ hareketinde, atkı ipliği besleme düzeninde ve daha birçok hareket ihtiyacı için kam mekanizmalarının kullanıldığı görülmektedir.

Çizelge 1.1'de kam mekanizmalarının kayar ve döner çift kullanan diğer mekanizmalarla karşılaştırılması verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, kam mekanizmalarının imalatı diğer mekanizmalarla karşılaştırıldığında, pahalı olmaktadır. Hassas imalat gerekmektedir. Yüzeyler arasında nokta veya doğru teması olduğundan yüzey basınçları yüksek ve yüzey aşınması önemli olmaktadır. Kam mekanizması, titreşim ve gürültü açısından diğer mekanizmalarla karşılaştırıldığında kötüdür. Bundan dolayı uzun bir süredir otomatik makinaların dizaynında, özellikle yüksek hızlara çıkmak ve makina veriminin arttırılması istendiğinde kam mekanizmaların yerini alternatif mekanizmalarının kullanıldığı gözlenmektedir. Ancak, kam mekanizmalarının küçük boyutlarda yapılabilir olması, karmaşık hareketleri kolayca sağlayabilmesi, makinaların dizaynında vazgeçilemeyen

bir mekanizma tipi olmasını sağlamış hatta son yıllarda, nümerik kontrollü tezgahlar gibi hassas imalat yöntemlerinde gelişmeler ve yeni tip malzemelerin kullanılabilmesi ile kam mekanizmaları, diğer mekanizmaların yerine kullanılır olmuştur.

Çizelge 1.1. Kam mekanizmaları ile diğer mekanizmaların karşılaştırılması [1].

| <u>Kam Mekanizmaları</u> | <u>Diğer Mekanizmalar</u> |
|--|---|
| Verilen bir hareket fonksiyonunu sağlar. | İstenilen bir hareket fonksiyonunu sınırlı noktalarda sağlar. |
| Beklemeli hareket için uygundur. | Beklemeli hareket ancak yaklaşık bekleme ile elde edilebilir. |
| Dizaynı kolaydır. | Dizaynı zor ve uzundur. |
| Küçük boyutta yapılabilir. | Genellikle fazla alan kaplar. |
| Hareketli parça sayısı azdır. | Hareketli parça sayısı fazladır. |
| Sistem dinamiği imalat hatalarına karşı hassastır. | Ufak imalat hataları sistem dinamiğini etkilemez. |
| Dinamik dengelenmesi kolaydır. | Dinamik dengeleme tam olarak yapılamaz. |
| Gürültülü çalışır ve titreşim kaynağıdır. | Çalışması sessizdir. |
| Yüzey aşınması önemlidir. | Mafsallarda aşınma önemsizdir. |
| İmalatı pahalıdır. | Ucuza imal edilebilir. |

Kam mekanizmalarının istenilen her harekete göre dizaynı kolay görülmüyorsa mekanizmanın dinamik davranışı, verimliliği ve en önemlisi hassas imal edilebilmesi için dizaynın dikkatli yapılması gerekmektedir. Örneğin; birçok uygulama için klasik yöntemlerle hareket eğrilerinin elde edilmesi ve aynı yöntemle kam profilinin çıkarılması yüksek hız ve / veya yük altında çalışan kam mekanizmaları için istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Sayısal işlemlerin çağımızda kolay ve süratli bir şekilde yapılabilmesi, geometrik yöntemlerin kullanılabilmesi basit kam mekanizması uygulamalarında bile, analitik

yaklaşımlar kullanılarak bilgisayar yardımı ile dizaynı daha ekonomik yapmaktadır.

Kam mekanizmasının bilgisayar programında, genellikle izlenen yol şöyledir:

- a) İstenen parametrelerin girilmesi,
- b) Hareket eğrisinin türetilmesi ve integrasyonu,
- c) Kam mekanizmasının boyutunun tesbiti,
- d) Kam profili ve kesme merkezi koordinatlarının tesbiti,
- e) Çıkışın elde edilmesi.

2. YÜKSEK HIZLI KAM DİZAYN TEORİSİ

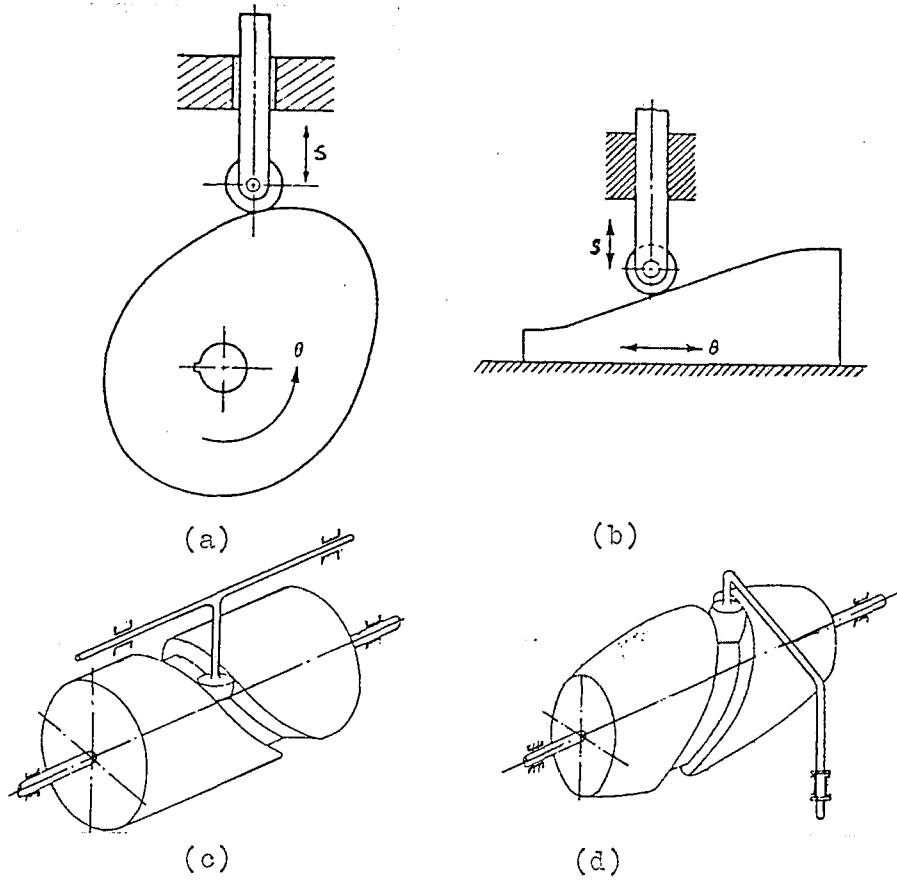
2.1. Kam Mekanizmalarının Tanımı ve Sınıflandırılması

Kam, doğrudan temas ile bir iticiye hareketi ileten makina elemanıdır. Bir kamın şekli veya kenarı iticinin ve kamın tipine bağlıdır. Genellikle kam, dönen bir mile bağlıdır. Döner hareketi, doğrusal veya salınım hareketine çevirirler.

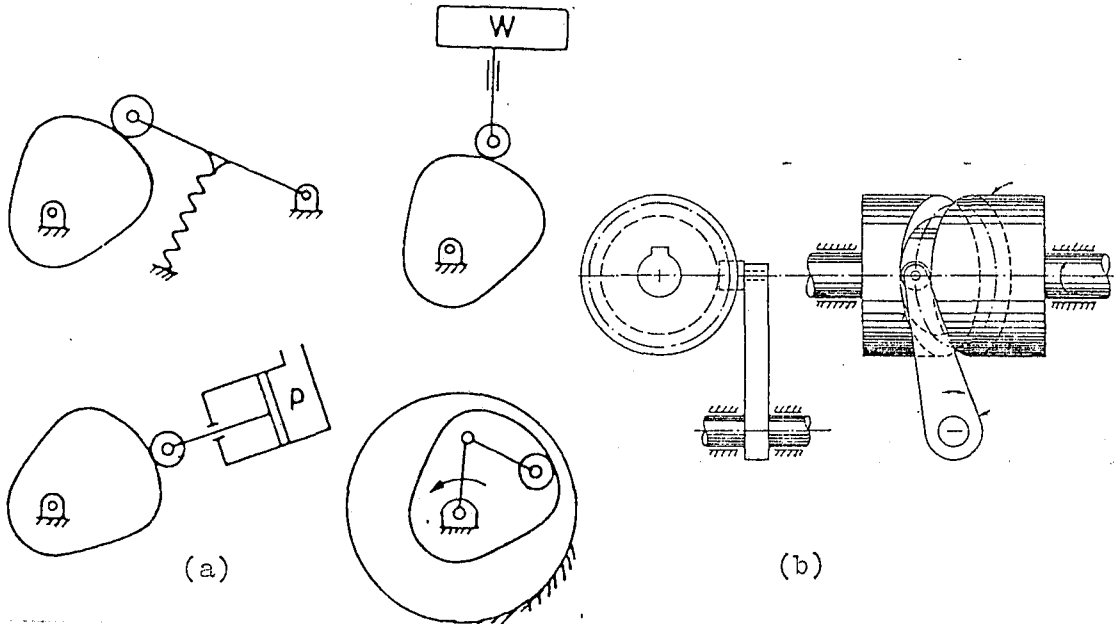
Basit kam mekanizmaları kam, izleyici ve sabit uzuv olmak üzere üç uzuvdan oluşur. İzleyici ve kam doğrudan temasta olabileceği gibi genellikle izleyici uzva bir makara ilavesi ile sürtünme azaltılır.

Kam mekanizmaları için tek bir sınıflandırma şekli yoktur. Kam şekline göre radyal, yüzeyel, kama, silindirik, konik ve küresel olarak sınıflandırılabilirler (Şekil 2.1). Örneğin; bobin sarma makinalarında sarım için silindirik kam mekanizmaları genellikle kullanılmaktadır.

Hareketin iletimi için, izleyici ve kam devamlı olarak birbirlerini temas etmeleri gerekir. Oluşan kinematik çift, kuvvet veya şekil kapalı olarak sınıflandırılabilir. Kuvvet kapalı kam mekanizmalarında temas kuvveti bir yay, ağırlık, hidrolik veya hava basıncı veya merkezkaç kuvveti ile oluşturulabilir. Şekil kapalı sistemlerde ise, kanallı bir kam veya birbirinin eşleniği olan iki kam profili ile iki izleyici kullanılır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.1. Şekillerine göre kam tipleri. a) Radyal, b) Yüzeysel, c) Silindirik, d) Konik ve küresel [2].



Şekil 2.2. Hareket iletimine göre kam tipleri. a) Kuvvet kapalı kam mekanizmaları, b) Şekil kapalı kam mekanizmaları [2].

Kam mekanizmaları ayrıca izleyiciye göre üç değişik şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar:

1. İzleyici temas yüzeyi şekline göre sınıflandırma: Nokta temas, makaralı, düz yüzey, küresel, v.b.
2. İzleyicinin hareket şekline göre sınıflandırma: Doğrusal yönlü veya sarkaç kollu.
3. İzleyicinin hareket yönüne göre sınıflandırma: Radyal veya eksantrik.

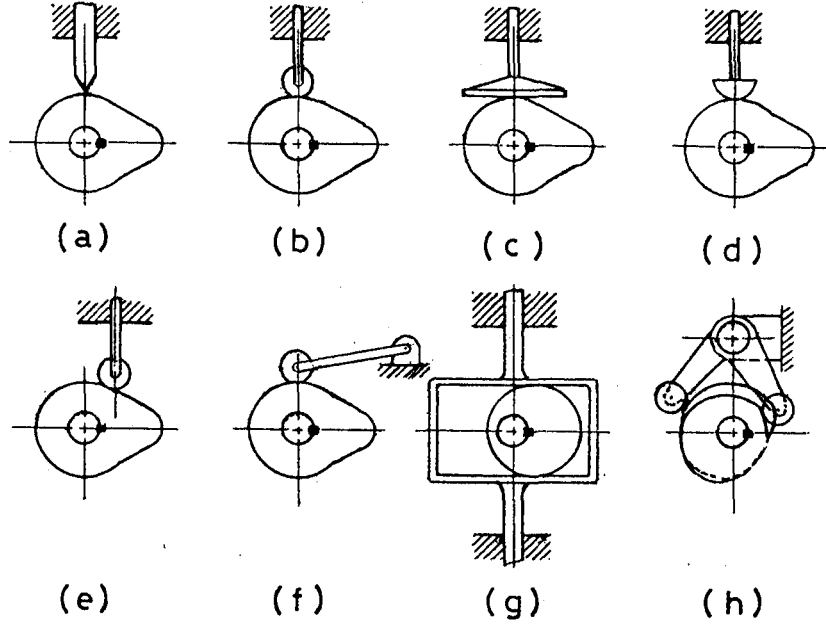
Disk kam olarakta isimlendirilen düz yüzeyli kam, en çok kullanılan tiptir. Bu kam, kamın çevresi boyunca çalışan kam kenarı ile mantar şeklinde bir iticiden ibarettir. Düzlem kamlar ile iticilerin geçitli tipleri Şekil 2.3'de gösterilmiştir [3].

Şekil 2.3.a da aynı ekseninde veya radyal olanlar gösterilmektedir. Bir radyal itici, kamın dönme ekseninden geçen iticinin hareket çizgisine göre hareket eder. Bu nokta itici, ekstrem aşınmadan dolayı düşük kuvvet ve düşük hıza ayarlanmıştır. İticinin bu tipi kam kenarına çok hassas olarak temas eder. Bu yüzden bu tip itici, iticinin hareketinde vuruntu değişiklikleri gerektiren uygulamalar için ideal bir tiptir. Kam ve itici arasındaki kayma hareketi makara şeklindeki bir itici ile azaltılmıştır (Şekil 2.3.b). Küresel ve yassı yüzeyli iticiler (Şekil 2.3.c ve Şekil 2.3.d), otomobil sübap kaldıracılarında olduğu gibi rölatif dik kamlar için kullanılırlar. Şekil 2.3.e de bir kağıklığa sahip itici gösteriliyor. İticinin kağıklığı, üst strokta itici ve kam arasındaki dik karşılığında azaltılabilir. Bu hareket ileten itici ile, mukayese edilen salınım hareketli itici daha büyük basınç açısı ile çalıştırılabilir. Çatal ve eş kamlar bu itici yayı gerektirmeyen pozitif hareketli kamlardır (Şekil 2.3.g ve Şekil 2.3.h).

Bu çalışmada, düzlemsel tip kam mekanizmaları analiz edilmiş ve pratikte en çok kullanılan;

- a. Düz yüzeyli - doğrusal hareketli izleyicili kam,
- b. Makaralı - doğrusal hareketli izleyicili kam,
- c. Düz yüzeyli - salınım hareketli izleyicili kam,
- d. Makaralı - salınım hareketli izleyicili kam

mekanizmaları incelenmiştir.

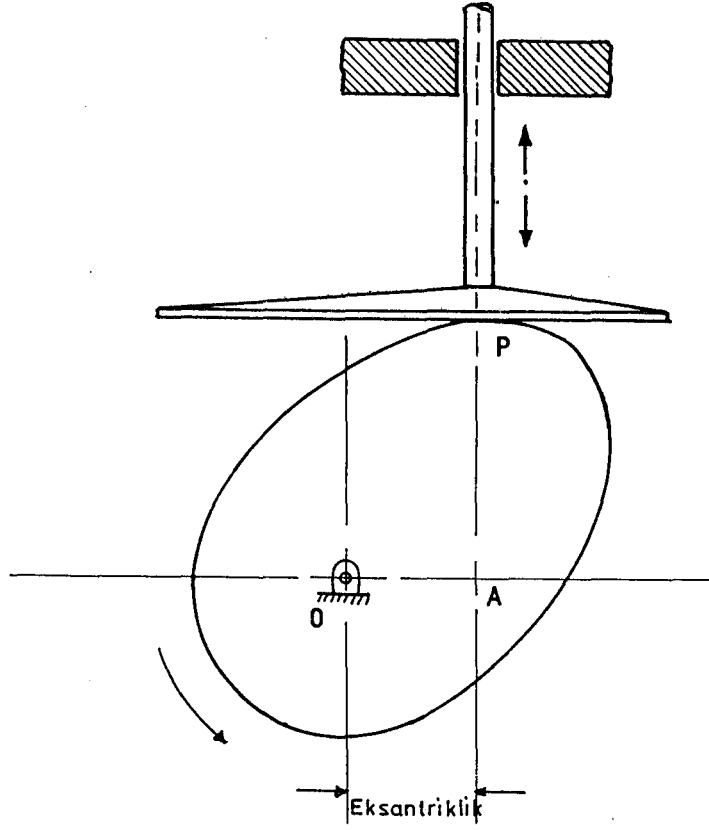


Şekil 2.3. Düz kamlar. a) Nokta veya sivri uçlu izleyicili, b) Makaralı izleyicili, c) Düz yüzeyli izleyicili, d) Dairesel veya küresel yüzeyli izleyicili, e) Kaçıklığı olan makaralı iticili, f) Salınlı veya pimli izleyicili, g) Düz yüzeyli çatal kam, h) Salınlı hareketli eş kam.

2.1.1. Düz yüzeyli-doğrusal hareketli izleyicili kamlar

Bu tip kam mekanizmaları, milden aldığı dönme hareketini, düz yüzeyli izleyicide doğrusal harekete çevirmekte kullanılır. İzleyici merkez hattı, kamın dönme merkezine gelince alt veya üst noktada olur.

Şekil 2.4'de düz yüzeyli-doğrusal hareketli izleyicili kam mekanizmasının genel düzeni görülmektedir.

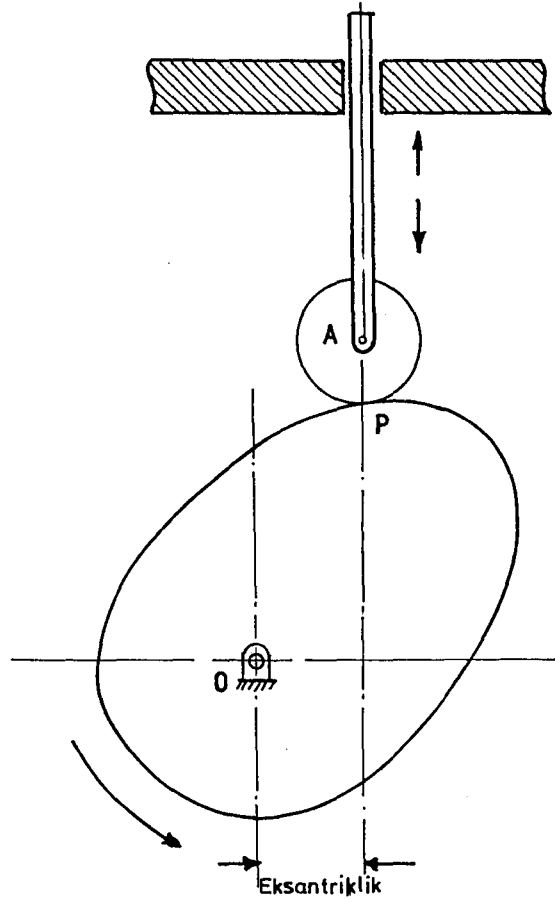


Şekil 2.4. Düz yüzeyli-doğrusal hareketli izleyicili kam.

2.1.2. Makaralı-doğrusal hareketli izleyicili kamlar

Bu tip kam mekanizmaları, milden aldığı dönme hareketini, makaralı izleyicide doğrusal harekete çevirmekte kullanılır. İzleyici merkez hattı, kaman dönme merkezine gelince alt veya üst noktada olur.

Şekil 2.5'de makaralı doğrusal hareketli izleyicili bir kam mekanizmasının genel düzeni görülmektedir.

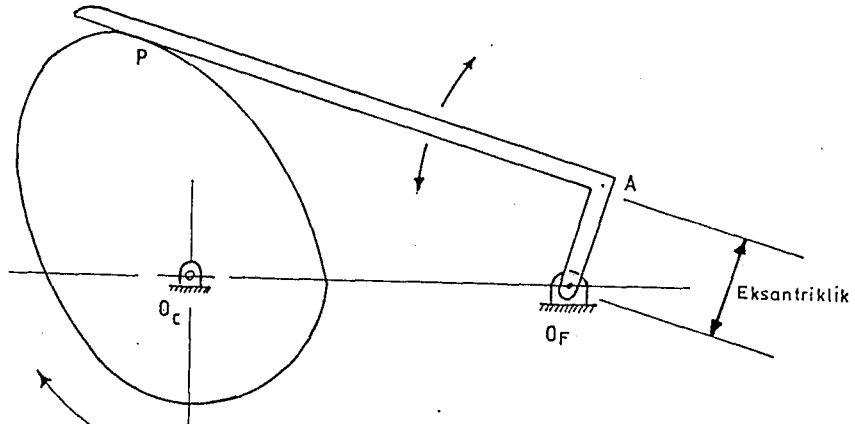


Şekil 2.5. Makaralı-doğrusal hareketli izleyicili kam.

2.1.3. Düz yüzeyli-salınım hareketli izleyicili kamlar

Bu tip kam mekanizmaları, milden aldığı dönme hareketini, düz yüzeyli izleyicide salınım hareketine çevirmekte kullanılır. İzleyici yüzeyinin dönme merkezine göre eksantrikliği vardır.

Şekil 2.6'da düz yüzeyli-salınım hareketli izleyicili kam mekanizmasının genel düzeni görülmektedir.

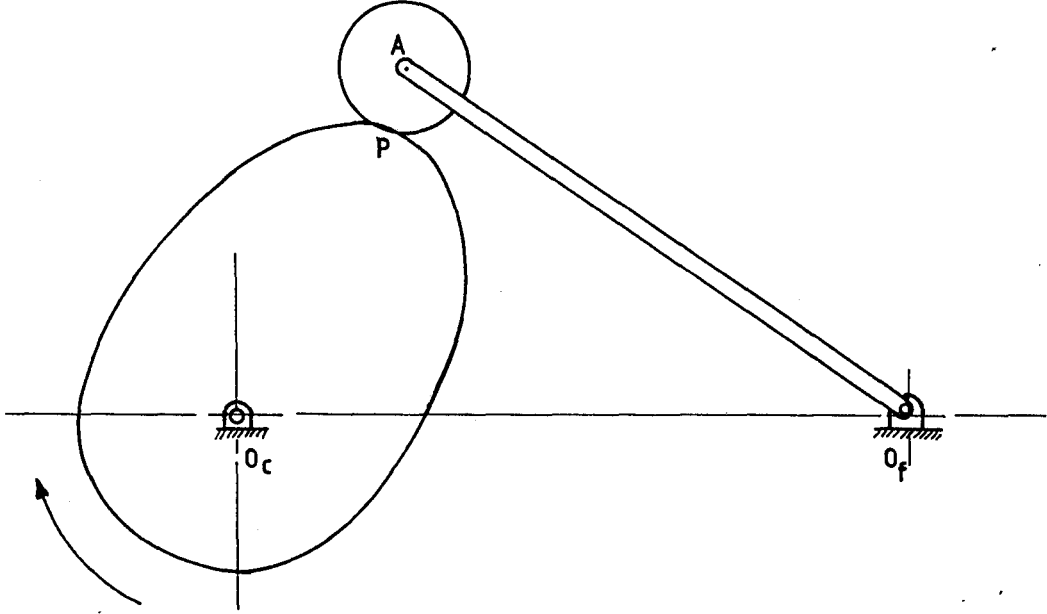


Şekil 2.6. Düz yüzeyli-salınım hareketli izleyicili kam.

2.1.4. Makaralı-salınım hareketli izleyicili kamlar

Bu tip kam mekanizmaları, milden aldığı dönme hareketini, makaralı izleyicide salınım hareketine çevirmekte kullanılır.

Şekil 2.7'de makaralı-salınım hareketli izleyicili bir kam mekanizmasının genel düzeni görülmektedir.



Şekil 2.7. Makaralı-salınım hareketli izleyicili kam.

2.2. Kam Terimleri

Bir kam profilini oluşturan çeşitli parametreleri tanımlayan, kam terimleri Şekil 2.8'de örnek bir kam profili üstünde gösterilmektedir. Bu terimlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir [4].

- İz noktası: Bir düz yüzeyli izleyicide referans noktası veya makaralı izleyicinin merkezi.
- Kam profili: İzleyici ile temasta bulunan kamın çalışma yüzeyi.
- Temel daire: Dönme merkezinden kam yüzeyine teğet çizilebilen en küçük daire temel diredir. Temel daire çapı, kam büyüklüğünü tesbit eden yarıçap r_p ile gösterilir.
- İzleme eğrisi: Bu eğri, izleme noktasının yörüngesidir. Radyal nokta iticisi için, bu eğri kam yüzeyi ile çakışır.
- Birinci daire: Dönme merkezinden izleme eğrisine teğet olarak

2.3. Yüksek Hızlı Kamların Dizaynı

Verilen bir kam mekanizmasında, kam-izleyici sistem hareketi belirli bir izleyici yer değiştirmesi meydana getirir. Bu nedenle, her kam mekanizması dizaynında, mekanizmanın yer değişimini gösteren bir zaman diyagramı geliştirmek gerekli olmaktadır. [5]. Temelde, bu hareket şartlarındaki yer değiştirme eğrisi en iyi seçeneği içermiş olmalıdır. Kam hızı yüksekse, izleyici hızlanması büyük gerilmelerle birlikte büyük atalet kuvvetlerine, sarsıntılara, yüzey aşınmalarına ve daha sonra kopmalara neden olacaktır. Bundan dolayı yüksek hızlı kam dizaynında, diğer temel amaç, hareket eğrisini düzelterek uygun düşük seviyelerde hızlanma sağlamaktır. Yer değiştirme diyagramı hariç, hız ve ivme eğrilerinin sürekli bir hareket çevrimi oluşturması da çok önemli bir noktadır.

İzleyici yüzeyi ile kam arasındaki basınç açısı, dizaynda önemli bir zorluk oluşturur. Çok büyük bir basınç açısı, izleyici ile kam arasında sıkışmaya neden olacak ve kam-mil momentini arttıracaktır. Bu yüzden, işlemlerde güvenilirlik için basınç açısı belirli limitler içinde sınırlandırılmalıdır.

Kam boyutu çok küçük ise, teoride kam profili kendi eğrisi ile kesişir. Sonuçta, istenen hareketlerin üretilemediği keskin uçlu bir kam ortaya çıkar. Bu sorun alttan kesilme olarak isimlendirilir ve kam boyutunun büyütülmesi ile önlenebilir.

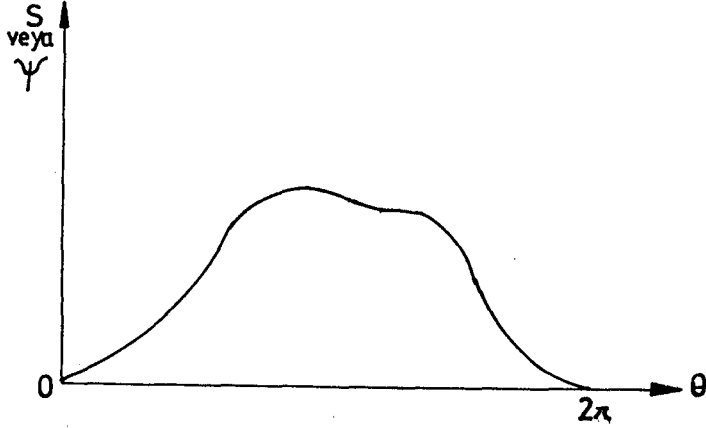
Bir kam ve bir izleyici gibi iki elastik eleman diğer bir uzva yük aktardığında, temas bölgesi yüzey basınçlarına oluşturur. Yüzey basınçları tatbik kuvvetlerinin, elemanın şeklinin ve malzeme özelliklerinin fonksiyonudur. Büyük bir yüzey basıncı malzemenin kopmasına neden olabilir. Bir kam dizaynında malzeme yorulması ve aşınma en küçük olmalı, yüzey basıncı temas kuvvetinin azaltılmasıyla, kam boyutunun büyütülmesiyle düşürülmeli ve böylece minimum eğrilik yarıçapı ve/veya izleyici makara yarıçapı artışı sağlanmalıdır.

3. HAREKET EĞRİSİ SENTEZİ

3.1. Genel Hareketin Açıklanması

Sabit hızla dönen kam mili ile hareket alan kamın, bir çevrim

boyunca dönmesi sırasında izleyici, Şekil 3.1'de gösterilen hareketi yapmaktadır [6]. İzleyicileri her zaman kam profili ile temasta olan rijit kam mekanizmaları için bu diyagram gerçek girdi/çıkış ilişkisidir.



Şekil 3.1. Yer değiştirme diyagramı.

Bu şekilde absis, giren hareketin bir çevrimini, ordinat izleyicinin yolunu göstermektedir. Her ne kadar, kaman kullanımını izleyici hareketinin şekline bağlıysada esas gereksinim duyulan, çevrimin verilen bir parçasında hareketini yapmasıdır. Örneğin; $S=S_1$ için $\theta=\theta_1$ ve $S=S_2$ için $\theta=\theta_2$ ile tanımlanmaktadır. Ve $S=f(\theta)$ için $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ olarak verilir.

İzleyici hareketleri ise aşağıdaki şekillerde tanımlanır;

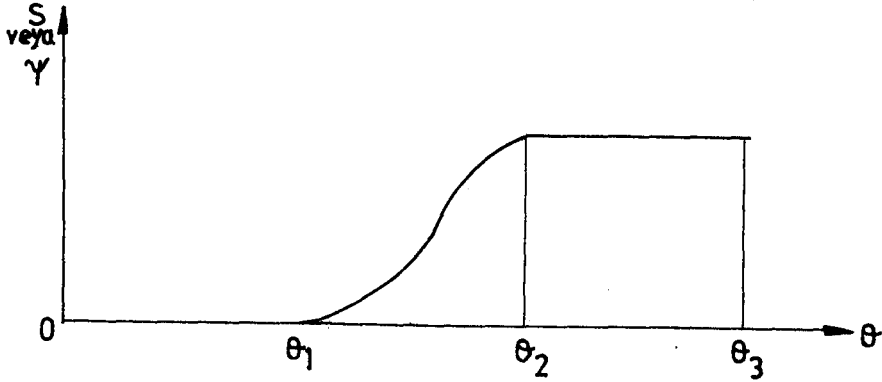
- Bekleme: İzleyicinin hareketsiz kalması,
- Kalkış: İzleyicinin kam merkezinden uzaklaşması,
- İniş: İzleyicinin kam merkezine yaklaşması.

Pratikte en çok kullanılan hareket türleri şunlardır:

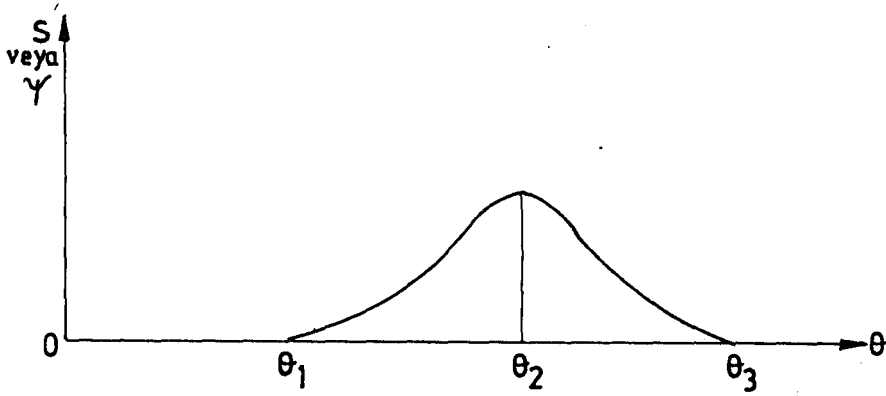
1. Bekleme-Kalkış-Bekleme (B-K-B): En sık rastlanılan hareket türüdür. Başlangıçta bir bekleme periyodundan sonra, izleyici diğer bir bekleme periyoduna yükselir. Kam çevriminin Bekleme-Kalkış-Bekleme bölümünü bir Bekleme-İniş-Bekleme hareketi izler (Şekil 3.2).
2. Bekleme-Kalkış-İniş (B-K-İ): Bu hareket türünde belli bir bekleme hareketinden sonra izleyici, orijinal pozisyonuna kadar kalkar ve iner. Bekleme durumu, iniş ve kalkış arasında değildir (Şekil 3.3).

3. Kalkış-İniş (K-İ): Bu halde bekleme yoktur. Kam mekanizmalarında en az kullanılan hareket türüdür. Krank mekanizması süngüsünde çok kullanılır (Şekil 3.4).

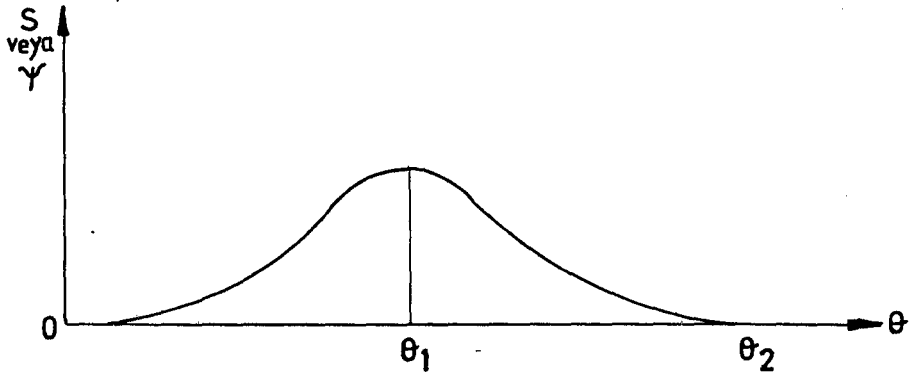
İniş veya kalkış hareketi hallerinde hareket sınırlı değildir. Serbestçe seçilebilir.



Şekil 3.2. Bekleme-Kalkış-Bekleme hareket eğrisi.



Şekil 3.3. Bekleme-Kalkış-İniş hareket eğrisi.

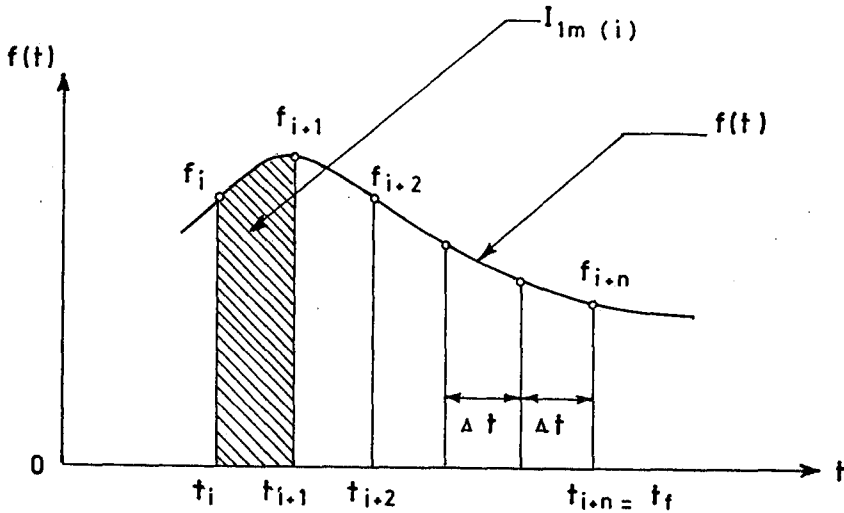


Şekil 3.4. Kalkış-İniş hareket eğrisi.

3.2. İvme Eğrisinin İntegrasyonu

Yüksek hızlarda çalışan kam mekanizmalarının dizaynında, konum eğrisinden çok, ivme eğrisi önem kazanmakta ve konum eğrisinin düzgünlüğünün sağlanmasına karşın, ivme eğrisinde sapmalar oluşabilmektedir. Bu nedenle; konum eğrisinin genel şeklini bozmadan ivme eğrisinin düzeltilmesi ve nümerik integrasyon metodları ile ivme eğrisinden hız ve konum eğrilerinin nokta nokta elde edilmesi, mekanizmanın düzenli çalışması açısından daha uygun olmaktadır.

Bu metod şu şekilde açıklanabilir: Fonksiyon $f(t)$ düzgündür ve temel noktalar $t_i, t_{i+1}, t_{i+2}, \dots, t_{i+n}$ veya $(\theta_i, \theta_{i+1}, \theta_{i+2}, \dots, \theta_{i+n})$, Δt ve $\Delta \theta$ eşit aralıklarıyla, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi bölümlere ayrılmıştır.



Şekil 3.5. Sonlu integrasyon. [7].

t_i başlangıç noktası ile t_{i+n} arasında bulunan n adet bölmede $f(t)$ 'nin integrali $I_{lm}(i)$ ile gösterilsin. Her dizi hatası ile beraber, $f(t)$ fonksiyonunun tek taraflı integral formülü, Taylor serisinin yayılma teriminin integrasyonu veya Newton'un ileri interpolasyon formülünün integrasyonu ile bulunmalıdır.

$n=1$

$$I_{lm}(i) = \Delta t \cdot \int_0^1 [1 + t \cdot \Delta t + \frac{t \cdot (t-1)}{2!} \Delta t^2 + \frac{t(t-1)(t-2)}{3!} \Delta t^3 + \dots + \frac{t(t-1)(t-2) + \dots + (t-n+1)}{n!} \Delta t^n + R(t)] \cdot f(t) \cdot dt$$

$$\cong \Delta t. \left[1 + \frac{\Delta}{2} + \frac{\Delta^2}{12} + \frac{\Delta^3}{24} + \dots \right] \dots f(t) \dots \dots \dots (1)$$

Burada, Δ ilk dizinin farkı, Δ^2 ikinci dizinin farkı.... vs. ve $R(t)$ formun kalan terimini gösterir.

$$R(t) = (\Delta t)^{n+1} \cdot t(t-1)(t-2) \dots (t-n) \frac{f^{(n+1)}(\epsilon)}{(n+1)} \dots \dots \dots (2)$$

$\epsilon, (t, t_0, \dots, t_n)$ 'nin içindedir.

Serinin üç terimi ile, denklem (1)'den

$$I_{13}(i) = \frac{\Delta t}{12} (5f_i + 8f_{i+1} - f_{i+2}) + \frac{(\Delta t)^4}{24} f^{(3)}(\epsilon) \dots \dots \dots (3)$$

$\epsilon, (t_i, t_{i+2})$ 'nin içindedir.

Serinin dört terimi ile, denklem (1)'den

$$I_{14}(i) = \frac{\Delta t}{24} (9f_i + 19f_{i+1} - 5f_{i+2} + f_{i+3}) - \frac{19(\Delta t)^5}{720} f^{(4)}(\epsilon). (4)$$

$\epsilon, (t_i, t_{i+3})$ 'ün içindedir.

Benzer olarak, integrasyonun üst sınırı temel noktalardan birine uygun seçilirse, integrasyon her biri Δt genişliğinde olan iki aralığı kaplar. (İntegrasyon t_i ve t_{i+2} arasındadır.)

Bu; Simpson kuralı olarak bilinir.

$$I_{23}(i) = \frac{\Delta t}{12} (4f_i + 16f_{i+1} + 4f_{i+2}) - \frac{(\Delta t)^5}{90} f^{(4)}(\epsilon) \dots \dots (5)$$

$\epsilon, (t_i, t_{i+2})$ 'nin içindedir.

Benzer şekilde, t_i ile t_{i+1} arasında kullanılan $f(t)$ 'nin integrali polinom olarak şöyle verilir.

$$I_{14}(i) = \frac{\Delta t}{24} (-f_{i-1} + 13f_i + 13f_{i+1} - f_{i+2}) + \frac{11(\Delta t)^5}{720} f^{(4)}(\epsilon). (6)$$

$\epsilon, (t_{i-1}, t_{i+2})$ 'nin içindedir.

Tüm temel noktalarda $t=t_i$ integral değeri sonlu bir değer olarak bulunur.

$$\Delta A_i = \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(\epsilon) d\epsilon \quad (i=0,1,\dots,n) \dots \dots \dots (7)$$

Bu, hesaplanan kesitte $f_i = f(t_i)$ integralinin değeridir. Diferansiyel denklemin türetilmiş en yüksek değerleri açık bir formda kolona yerleştirilir ve sonuçta problem matris denklemine indirilir.

$$\{\Delta A\} = [M] \cdot \{f\} \dots\dots\dots (8)$$

Burada; $\{\Delta A\} = (\Delta A_0, \Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_n)^T$, $\{f\} = (f_0, f_1, \dots, f_n)^T$
kolon matris, $[M]$ (n+1)'inci kare matristir.

$$[M] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 5 & 8 & -1 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 4 & 16 & 4 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 0 & 0 & 5 & 8 & \dots\dots\dots 0 \\ - & - & - & - & \dots\dots\dots - \\ - & - & - & - & \dots\dots\dots - \\ - & - & - & - & \dots\dots\dots - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \end{bmatrix} \dots\dots (9)$$

Bu metodun kam hareketine uygulanmasında, ivme S(t)'nin hız integrali $\dot{S}(t)$ tanımlanırsa,

$$\dot{S}_i(t) = \int_0^{i\Delta t} \ddot{S}(t) dt + C_1 \text{ olur.} \dots\dots\dots (10)$$

Burada C_1 , sınır şartlarından bulunan integral sabitidir. Bu hız fonksiyonu matris denklemiyle gösterilebilir.

$$\{\dot{S}\} = \frac{\Delta t}{12} [B] \{\ddot{S}\} + C_1 \dots\dots\dots (11)$$

Burada $\{\dot{S}\}$ ve $\{\ddot{S}\}$ hız kolon matrisini ve ivme kolon matrisini gösteriyor. T üst işareti ise transpozisini gösterir.

$$(\dot{S}_0, \dot{S}_1, \dot{S}_2, \dots, \dot{S}_n)^T$$

$$(\ddot{S}_0, \ddot{S}_1, \ddot{S}_2, \dots, \ddot{S}_n)^T$$

[B] n+1'inci kare matristir.

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 5 & 8 & -1 & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 4 & 16 & 4 & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 4 & 16 & 9 & 8 & -1 & \dots\dots\dots 0 \\ 4 & 16 & 8 & 16 & 4 & \dots\dots\dots 0 \\ - & - & - & - & - & \dots\dots\dots - \\ - & - & - & - & - & \dots\dots\dots - \\ - & - & - & - & - & \dots\dots\dots - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (12)$$

Bu matrisin elemanları, şöyle meydana getirilir;

Önemsiz olan ilk sıra sıfırdır. İkinci sıra elemanları 5,8,-1 ve üçüncü sıra elemanları 4,6,4 (3) ve (5) eşitliklerinde verilen $I_{13}(i)$ ve $I_{23}(i)$ formüllerinde, ağırlık faktörleri olarak tanımlanır. Bu temel sıra elemanları, [B] integrasyon matrisinin yapısındaki blokların yapımında kullanılır. [B] matrisinin sonraki elemanları, ilerleyen sistematik zaman ile ve temel sıra elemanlarında kullanılan süperpozisyon yöntemi ile üretilir.

Ayrıca, $S(t)$ yer değiştirme fonksiyonu, hız fonksiyonu $\dot{S}(t)$ 'nin integrasyonu ile bulunabilir.

$$S_i(t) = \int_0^{i\Delta t} \dot{S}_i(t) dt + C_2 \dots \dots \dots (13)$$

veya

$$S_i(t) = \int_0^{i\Delta t} dt \int_0^{j\Delta t} \ddot{S}(\epsilon) d\epsilon + C_2 \dots \dots \dots (14)$$

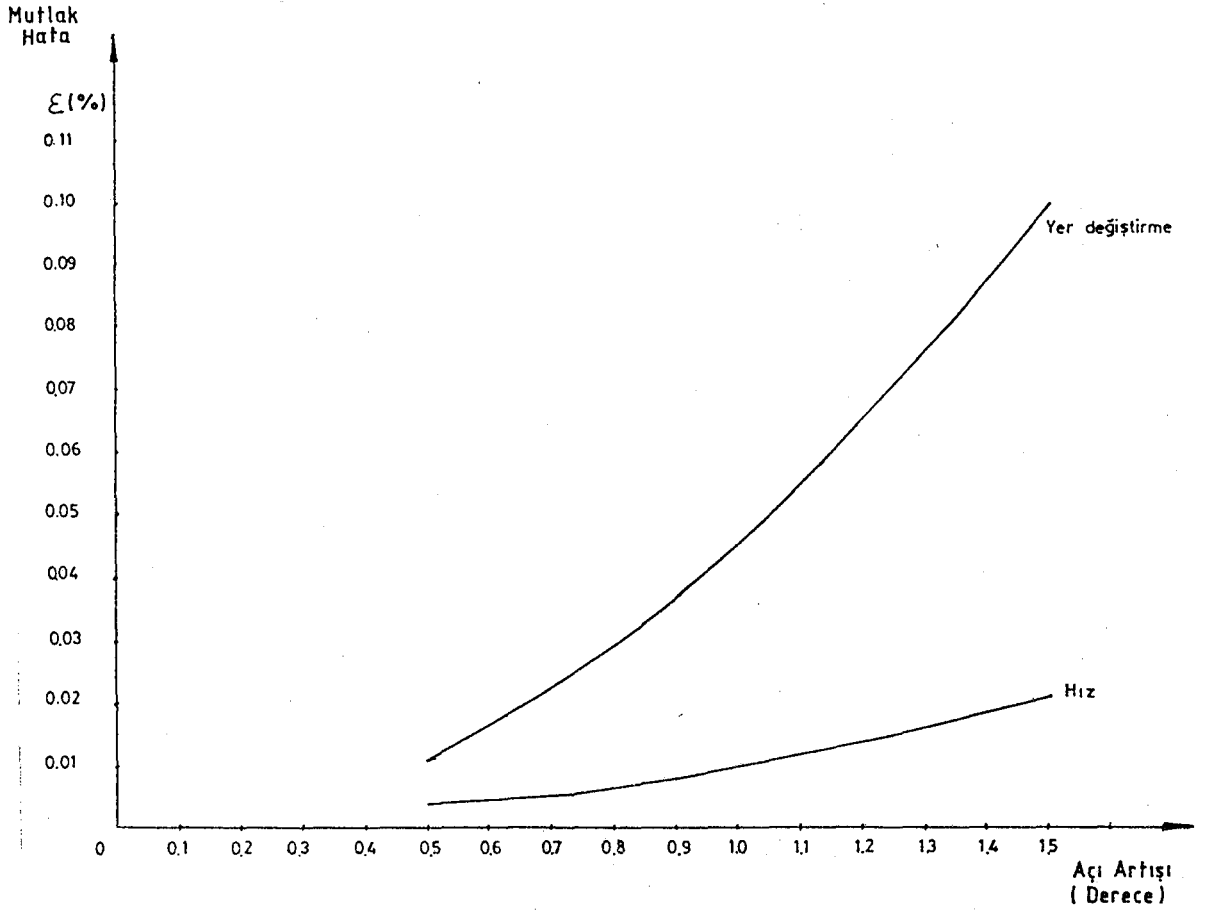
Burada, C_2 yer değiştirme fonksiyonunun, sınır şartlarında hesaplanmış integrasyon sabitidir. Bu, çift integrasyon ile bulunabilir.

$$\{S\} = \frac{(\Delta t)^2}{144} [B]^2 \{\ddot{S}\} + C_2 \dots \dots \dots (15)$$

Denklem (2) ve (15) zamanla ilişkili, eşit aralıkları keyfi olarak tanımlanmış bir ivme formunun integrasyon formülleridir.

Kam açısının artışıyla ilgili metodun hassasiyeti Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Bu şekilde, mutlak hata şöyle verilir.

$$\epsilon = \left[\frac{S_{\text{gerçek}} - S_{\text{hesap}}}{S_{\text{gerçek}}} \right] = \left[\frac{\dot{S}_{\text{gerçek}} - \dot{S}_{\text{hesap}}}{\dot{S}_{\text{gerçek}}} \right] \dots \dots \dots (16)$$



Şekil 3.6. Sonlu integrasyon metodunun hassasiyeti [8].

3.3. Standart Hareket Eğri Karakteristikleri

Yüksek hızla çalışan bir esnek kam-izleyici sisteminde, kama ilk verilen hareket; titreşim, çarpma ve ardından aşınma yaratıp, izleyiciye bağlı parçalar ve izleyici için hasara neden olur.

Kam eğrilerinin seçiminde bazı görüş ve yolları izlemek gereklidir. Bunlar;

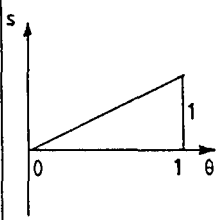
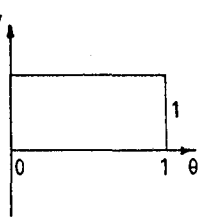
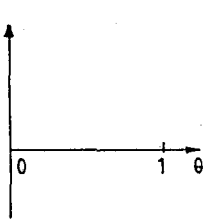
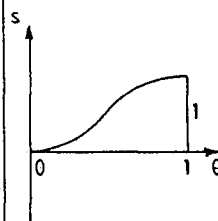
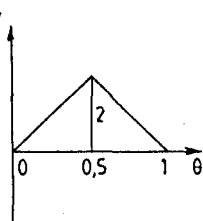
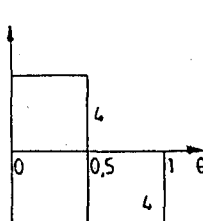
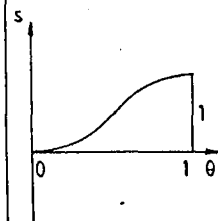
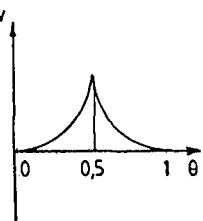
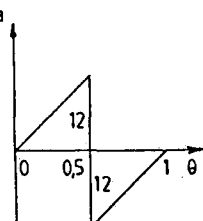
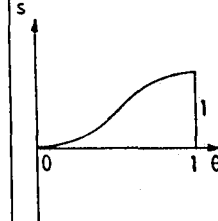
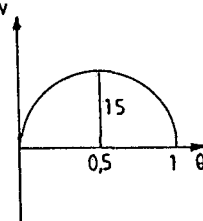
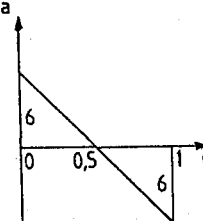
- Eğride düzgünlük sağlanmalı ve tepe değerler küçültülmelidir.
- Harmonik hareketlerin periyodik olarak oluşması sağlanmalıdır.
- İvme eğrisinin yapısının yerel özellikleri kontrol edilmelidir.

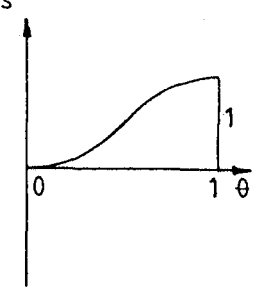
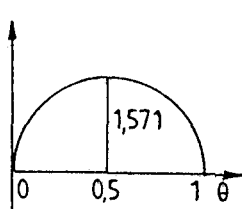
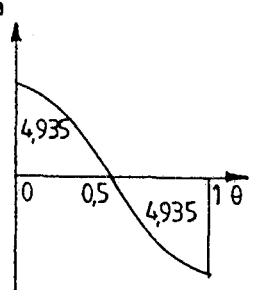
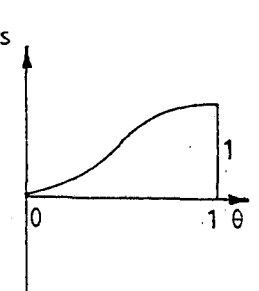
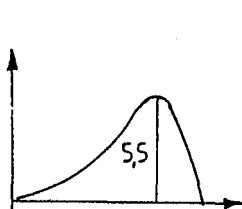
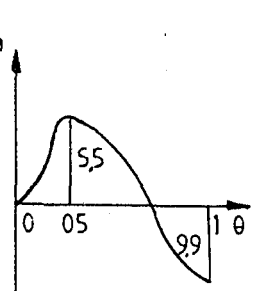
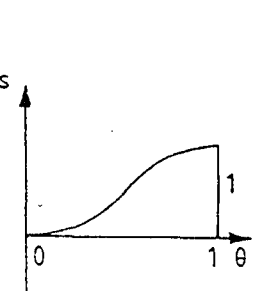
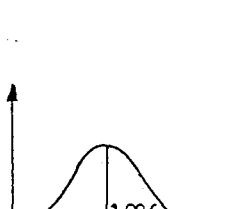
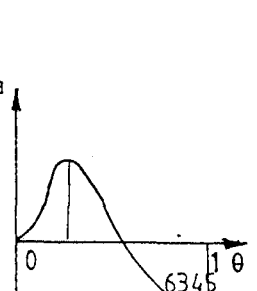
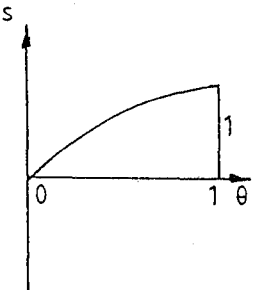
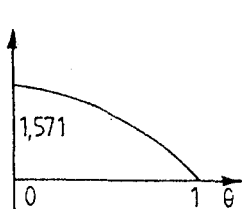
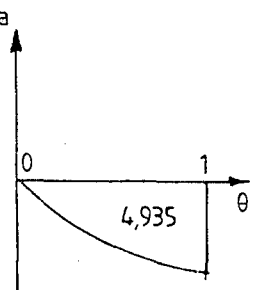
Araştırmacı, uygun bir eğriye, temel eğrilerin en iyi özelliklerini kazandırmak için, bu eğrilerin bir çok kombinezonlarını dener.

Anaç; mümkün olan en alçak maksimum ivmeye sahip bir kam ve eğrinin her noktasındaki atlamaları sınırlanmış düzgün bir ivme eğrisi üretmektir.

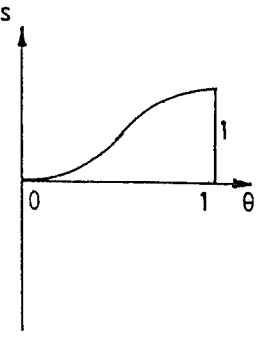
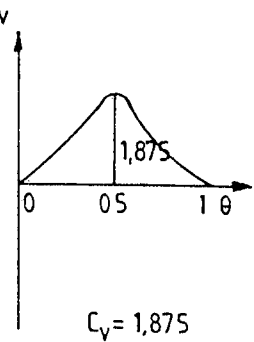
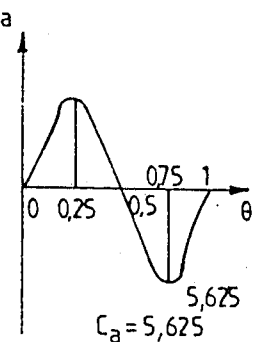
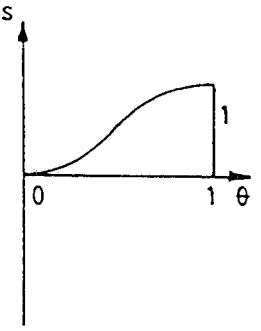
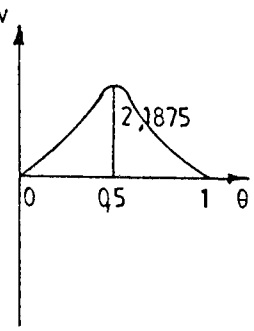
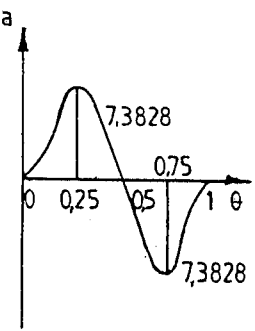
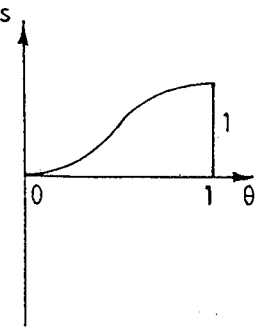
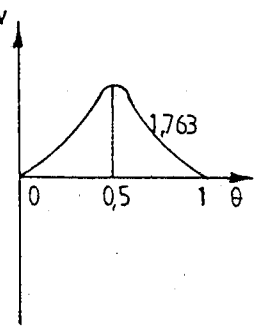
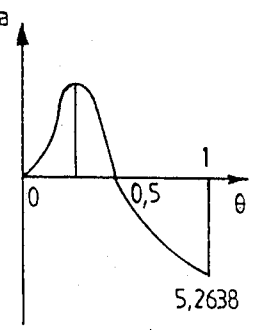
Standart hareket eğrileri ve bunların denklemleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Normalize edilmiş hareket eğri karakteristikleri [9].

| HAREKET DENKLEMİ | HAREKET | HIZ | İVME |
|--|---|---|--|
| <p>1. Sabit hız</p> $s = \theta$ $v = 1$ $a = 0$ |  |  $C_v = 1$ |  $C_a = 0$ |
| <p>2. Sabit ivme</p> $0 < \theta < \frac{1}{2} \quad s = 2\theta^2$ $v = 4\theta$ $a = 4$ $\frac{1}{2} < \theta < 1 \quad s = 1 - 2(1-\theta)^2$ $v = 4(1-\theta)$ $a = -4$ |  |  $C_v = 2$ |  $C_a = 4$ |
| <p>3. Doğrusal ivme</p> $0 < \theta < \frac{1}{2} \quad s = 4\theta^3$ $v = 12\theta^2$ $a = 24\theta$ $\frac{1}{2} < \theta < 1 \quad s = 1 - 4(1-\theta)^3$ $v = 12(1-\theta)^2$ $a = -24(1-\theta)$ |  |  |  |
| <p>4. 2-3 polinom</p> $s = 3\theta^2 - 2\theta^3$ $v = 6(\theta - \theta^2)$ $a = 6(1 - 2\theta)$ |  |  $C_v = 1.5$ |  $C_a = 6$ |

| | | | |
|--|---|--|---|
| <p>5. Basit Harmonik</p> $s = \frac{1}{2} [1 - \cos(\pi\theta)]$ $v = \frac{\pi}{2} \sin(\pi\theta)$ $a = \frac{\pi^2}{2} \cos(\pi\theta)$ |  |  <p>$C_v = 1,571$</p> |  <p>$C_a = 4,935$</p> |
| <p>6. Çift Harmonik</p> $s = \frac{1}{2} \left[\frac{3}{4} - \cos(\pi\theta) + \frac{1}{4} \cos(2\pi\theta) \right]$ $v = \frac{\pi}{2} \left[\sin(\pi\theta) - \frac{1}{2} \sin(2\pi\theta) \right]$ $a = \frac{\pi^2}{2} \left[\cos(\pi\theta) - \cos(2\pi\theta) \right]$ |  |  <p>$C_v = 5,5$</p> |  <p>$C_a = 9,9$</p> |
| <p>7. Üçlü Harmonik</p> $A_1 = \frac{117}{224} \quad A_2 = \frac{18}{224} \quad A_3 = \frac{5}{224}$ $s = A_1 [1 - \cos(\pi\theta)] + A_2 [1 - \cos(2\pi\theta)] + A_3 [1 - \cos(3\pi\theta)]$ $v = \pi [A_1 \sin(\pi\theta) - 2A_2 \sin(2\pi\theta) + 3A_3 \sin(3\pi\theta)]$ $a = \pi^2 [A_1 \cos(\pi\theta) + 4A_2 \cos(2\pi\theta) - 9A_3 \cos(3\pi\theta)]$ |  |  <p>$C_v = 1,986$</p> |  <p>$C_a = 6,345$</p> |
| <p>8. Yarım Harmonik #1</p> $s = \sin\left(\frac{\pi}{2}\theta\right)$ $v = \frac{\pi}{2} \cos\left(\frac{\pi}{2}\theta\right)$ $a = -\frac{\pi^2}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2}\theta\right)$ |  |  <p>$C_v = 1,571$</p> |  <p>$C_a = 4,935$</p> |

| | | | |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
| <p>9. Yarım Harmonik #2</p> $s = 1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \theta\right)$ $v = \frac{\pi}{4} \sin\left(\frac{\pi}{2} \theta\right)$ $a = \frac{\pi^2}{4} \cos\left(\frac{\pi}{2} \theta\right)$ | | <p>$C_v = 1,571$</p> | <p>$C_a = 4,935$</p> |
| <p>10. Sikloid</p> $s = \theta - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi\theta)$ $v = 1 - \cos(2\pi\theta)$ $a = 2\pi \sin(2\pi\theta)$ | | <p>$C_v = 0,5$</p> | <p>$C_a = 6,283$</p> |
| <p>11. Yarım sikloid #1</p> $s = \theta - \frac{1}{\pi} \sin(\pi\theta)$ $v = 1 - \cos(\pi\theta)$ $a = \pi \sin(\pi\theta)$ | | <p>$C_v = 2$</p> | <p>$C_a = 3,141$</p> |
| <p>12. Yarım sikloid #2</p> $s = \theta + \frac{1}{\pi} \sin(\pi\theta)$ $v = 1 + \cos(\pi\theta)$ $a = -\pi \sin(\pi\theta)$ | | <p>$C_v = 1$</p> | <p>$C_a = 3,141$</p> |

| | | | |
|--|---|---|--|
| <p>13. 3-4-5 polinom</p> $s = 10\theta^3 - 15\theta^4 + 6\theta^5$ $v = 30\theta^2 - 60\theta^3 + 30\theta^4$ $a = 60\theta + 180\theta^2 + 120\theta^3$ |  |  <p>$C_v = 1,875$</p> |  <p>$C_a = 5,625$</p> |
| <p>14. 4-5-6 polinom</p> $s = 35\theta^4 - 84\theta^5 + 70\theta^6 + 20\theta^7$ $v = 140\theta^3 + 420\theta^4 + 420\theta^5 + 140\theta^6$ $a = 420\theta^2 + 1680\theta^3 + 2100\theta^4 - 840\theta^5$ |  |  <p>$C_v = 2,1875$</p> |  <p>$C_a = 7,3828$</p> |
| <p>15. 4-5-6-7-8 polinom</p> $s = 6,09755\theta^3 - 20,7804\theta^5 + 26,73155\theta^6 - 13,60965\theta^7 + 2,56095\theta^8$ $v = 18,29265\theta^2 - 103,902\theta^4 + 160,3893\theta^5 - 95,26755\theta^6 + 20,4876\theta^7$ $a = 36,5853\theta - 415,608\theta^3 + 801,9465\theta^4 - 571,6053\theta^5 + 143,4132\theta^6$ |  |  <p>$C_v = 1,763$</p> |  <p>$C_a = 5,2638$</p> |

16. Trapez ivme

$$A = \frac{16}{3}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{8} \quad \theta_2 = \frac{3}{8} \quad \theta_3 = \frac{5}{8}$$

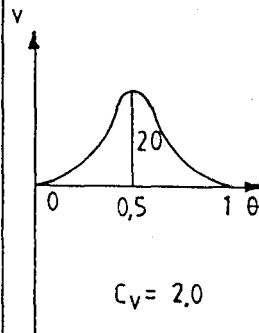
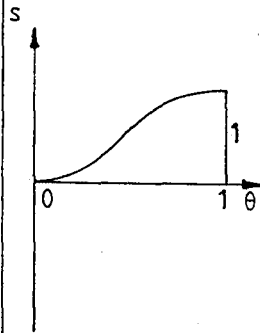
$$\theta_4 = \frac{7}{8}$$

$$0 < \theta < \theta_1$$

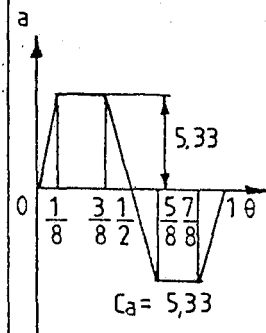
$$s = \frac{A}{6} \frac{\theta^3}{\theta_1}$$

$$v = \frac{A}{2} \frac{\theta^2}{\theta_1}$$

$$a = A \frac{\theta}{\theta_1}$$



$$C_v = 2.0$$



$$C_a = 5.33$$

$$\theta_1 < \theta < \theta_2$$

$$s = \frac{A}{6} \left[\frac{\theta^3 - (\theta - \theta_1)^3}{\theta_1} \right]$$

$$v = \frac{A}{2} \left[\frac{\theta^2 - (\theta - \theta_1)^2}{\theta_1} \right]$$

$$a = A$$

$$\theta_2 < \theta < \theta_3$$

$$s = \frac{A}{6} \left(\frac{\theta^3 - (\theta - \theta_1)^3}{\theta_1} \right) - 2 \frac{(\theta - \theta_2)^3}{(\theta_3 - \theta_2)}$$

$$v = \frac{A}{2} \left(\frac{\theta^2 - (\theta - \theta_1)^2}{\theta_1} \right) - 2 \frac{(\theta - \theta_2)^2}{(\theta_3 - \theta_2)}$$

$$a = A \frac{\theta^2 + \theta^3 - 2\theta}{\theta_3 - \theta_2}$$

$$\theta_3 < \theta < \theta_4$$

$$s = \frac{A}{6} \left(\frac{\theta^3 - (\theta - \theta_1)^3}{\theta_1} - 2 \frac{(\theta - \theta_2)^3 - (\theta - \theta_3)^3}{(\theta_3 - \theta_2)} \right)$$

$$v = \frac{A}{6} \left(\frac{\theta^2 - (\theta - \theta_1)^2}{\theta_1} - 2 \frac{(\theta - \theta_2)^2 - (\theta - \theta_3)^2}{(\theta_3 - \theta_2)} \right)$$

$$a = -A$$

$$\theta_4 < \theta < 1$$

$$s = \frac{A}{6} \left(\frac{\theta^3 - (\theta - \theta_1)^3}{\theta_1} - 2 \frac{(\theta - \theta_2)^3 - (\theta - \theta_3)^3}{(\theta_3 - \theta_2)} + \frac{(\theta - \theta_4)^3}{(1 - \theta_4)} \right)$$

$$v = \frac{A}{6} \left(\frac{\theta^2 - (\theta - \theta_1)^2}{\theta_1} - 2 \frac{(\theta - \theta_2)^2 - (\theta - \theta_3)^2}{(\theta_3 - \theta_2)} + \frac{(\theta - \theta_4)^2}{(1 - \theta_4)} \right)$$

$$a = A \left(\frac{\theta - \theta_4}{1 - \theta_4} \right)$$

17. Düzeltilmiş
trapez ivme

$$0 < \theta < \frac{1}{8}$$

$$s = 0.09724612 \cdot 4\theta - \frac{1}{\pi} \sin(4\pi\theta)$$

$$v = 0.3889845(1 - \cos(4\pi\theta))$$

$$a = 4.888124 \sin(4\pi\theta)$$

$$\frac{3}{8} < \theta < \frac{1}{2}$$

$$s = 1.61106154\theta - 0.0309544 \sin(4\pi\theta - \pi) - 0.3055077$$

$$v = 1.6110154 - 0.3889845 \cos(4\pi\theta - \pi)$$

$$a = 4.888124 \sin(4\pi\theta - \pi)$$

$$\frac{1}{2} < \theta < \frac{6}{8}$$

$$s = 1.6110154\theta + 0.0309544 \sin(4\pi\theta - 2\pi) - 0.3055077$$

$$v = 1.6110154 + 0.3889845 \cos(4\pi\theta - 2\pi)$$

$$a = -4.888124 \sin(4\pi\theta - 2\pi)$$

$$\frac{5}{8} < \theta < \frac{7}{8}$$

$$s = 4.6660917\theta - 2.4406184\theta^2 - 1.2292648$$

$$v = 4.6660917 - 4.888124\theta$$

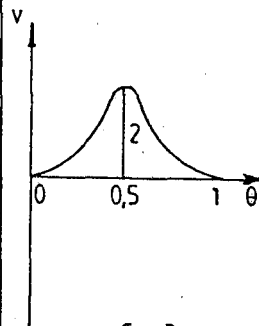
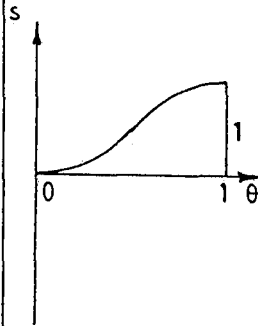
$$a = 4.888124$$

$$\frac{7}{8} < \theta < 1$$

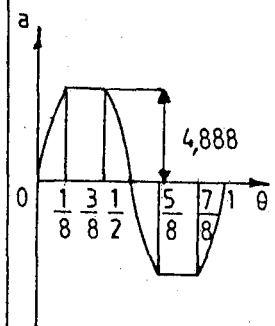
$$s = 0.6110154 + 0.3889845\theta - 0.0309544 \sin(4\pi\theta - 3\pi)$$

$$v = 0.3889845 + \cos(4\pi\theta - 3\pi)$$

$$a = -4.888124 \sin(4\pi\theta - 3\pi)$$



$$C_v = 2$$



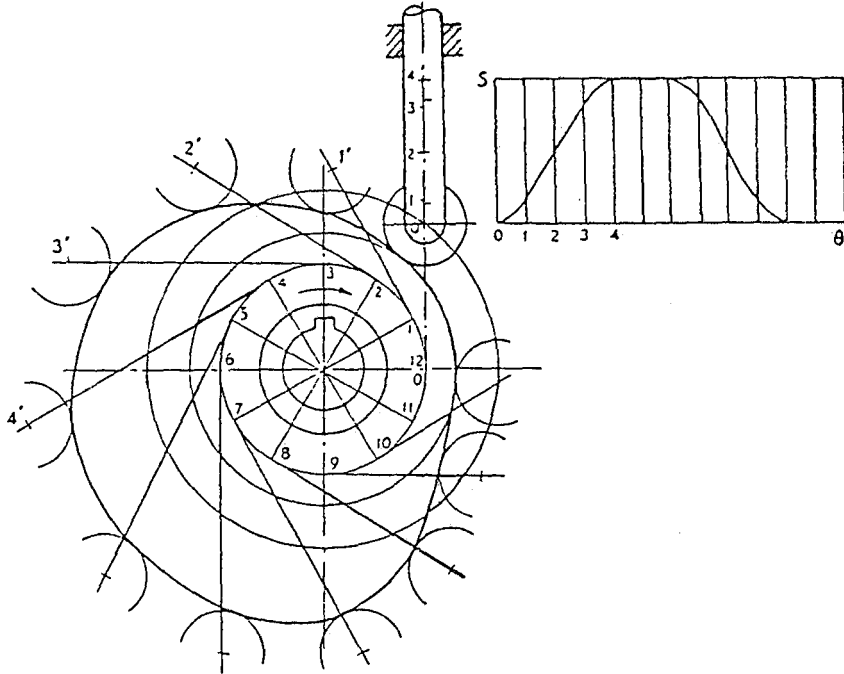
$$C_a = 4.888$$

4. KAM PROFİLİ VE KESME EĞRİSİ KOORDİNATLARININ BELİRLENMESİ

4.1. Zarf Teorisi

Kam profillerinin elde edilmesinde kullanılan temel yöntem, kam uzvunu sabit tutmak ve izleyici uzvu istenilen hareket eğrisine göre hareket ettirmektir [10].

Geometrik olarak bu yöntemde, örneğin; makaralı doğrusal hareketli bir kam mekanizması için (Şekil 4.1), izleyici uzvun çeşitli S öteleme değeri ve θ kam dönme açısına bağlı olarak kam uzvuna göre konumları elde edilir. Kam saat ibrelerinin dönüş yönüne göre ters yönde dönüyorsa, kam sabit alındığından bağlı hareketin korunması için sabit uzuv saat ibreleri dönüş yönünde döndürülür. Bu işlem istenilen hassasiyete bağlı olarak belirli bir sıklıkla yapıldığında, kam profili ile temas eden makaralı izleyicinin değişik konumları elde edilir. Kam profili tüm bu konumlara teğet olan bir eğridir.



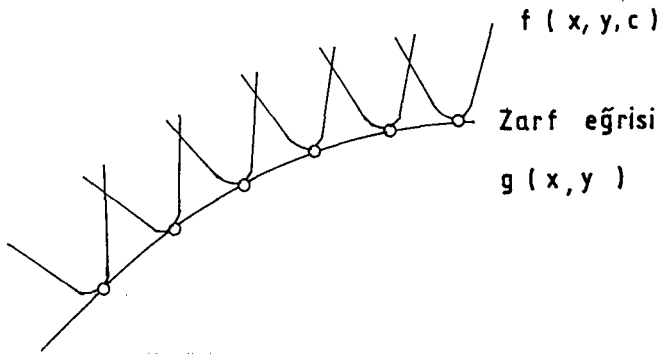
Şekil 4.1. Makaralı doğrusal hareketli kam mekanizması için kam profilinin elde edilmesi [10].

Burada belirtilmiş olan analitik yöntem, temel olarak geometrik yöntemin analitik ifadesidir.

Makaralı doğrusal hareketli kam mekanizmasında, kam profilinin geometrik elde edilmesine tekrar bakılırsa, kam profilinin bu itici

dairelerine teğet bir eğri oluşturduğu görülür. Makaralı iticinin konumu sadece kam dönme açısının fonksiyonudur. Bu tür eğri kümelerine matematikçiler eğri ailesi demektedir. Bu eğri ailesine teğet olan eğri ise zarf eğrisi olarak isimlendirilir.

Kam profil ve kesme eğrisi koordinatlarının analitik denklemlerini çıkarmak için zarf teorisi kullanılır. Tanım olarak: "Bir eğri ailesinin her bir üyesi bir eğriye teğet ise bu eğri, eğri ailesinin zarfıdır" (Şekil 4.2) [11].



Şekil 4.2. Zarf eğrisi.

Bir parametreye bağlı eğri ailesi:

$$f(x, y, c) = 0 \quad \dots \dots \dots (17)$$

olarak gösterilebilir. (17) denkleminin x, y ve c 'ye göre kısmi türevlerinin var olduğu, yani fonksiyonun sürekli olduğu varsayalım. Bu varsayım kam mekanizmaları için kesinlikle geçerlidir.

Ailenin bir eğrisinin (x, y) noktasında eğimi:

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{\partial f / \partial x}{\partial f / \partial y} \quad \dots \dots \dots (18)$$

dir. Veya;

$$\frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy = 0 \quad \dots \dots \dots (19)$$

denklemini eğimi belirler. (19) denklemini:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dc} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dc} = 0 \quad \dots \dots \dots (20)$$

olarak yazılabilir ve ailedeki tüm eğriler için geçerlidir. $f(x,y,c)$ fonksiyonunun toplam türevi ise:

$$\frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial c} dc = 0 \dots\dots\dots (21)$$

veya

$$\frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dc} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dc} + \frac{\partial f}{\partial c} = 0 \dots\dots\dots (22)$$

dır. (20) denklemini kullanıldığında:

$$\frac{\partial f}{\partial c} = f_c = 0 \dots\dots\dots (23)$$

olur.

$$f(x,y,c) = 0 \dots\dots\dots (24)$$

ve

$$\frac{\partial f}{\partial c} = f_c(x,y,c) = 0 \dots\dots\dots (25)$$

denklemlerini birlikte sağlayan bir eğridir. Bu iki denklem zarf eğrisini belirler. Gerktiğinde c parametresi bu denklemlerden yok edilerek $g(x,y)=0$ şeklinde zarf eğrisi denklemi elde edilebilir.

İzleyici başlangıç pozisyonunda iken;

$$a = \left[(r_B + r_F)^2 - e^2 \right]^{1/2}$$

zarftan elde edilen genel eğri denklemi;

$$(X - X_F)^2 + (Y - Y_F)^2 = r_F^2$$

$$X_F = (a + S) \cdot \cos \theta + e \cdot \sin \theta$$

$$Y_F = (a + S) \cdot \sin \theta - e \cdot \cos \theta$$

Burada izleyici koordinatları verilmiştir.

$$F(X, Y, \theta) = (X - X_F)^2 + (Y - Y_F)^2 + r_F^2 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \theta} = 2(X - X_F) \left(-\frac{dX_F}{d\theta} \right) + 2(Y - Y_F) \left(-\frac{dY_F}{d\theta} \right) = 0$$

yeniden düzenlenirse;

$$(X - X_F)^2 + (Y - Y_F)^2 = r_F^2$$

$$(X - X_F) \frac{dX_F}{d\theta} + (Y - Y_F) \frac{dY_F}{d\theta} = 0$$

$$\frac{dX_F}{d\theta} = S' \cdot \cos \theta - S \cdot \sin \theta + e \cdot \cos \theta$$

$$\frac{dY_F}{d\theta} = S' \cdot \sin \theta + S \cdot \cos \theta - e \cdot \sin \theta$$

Denklemlerin çözülmesiyle kam profil denklemleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$X = \left[(a + S) \cdot \cos \theta + e \cdot \sin \theta \right] - \frac{r_F \left[(a + S) \cdot \cos \theta + (e + S') \cdot \sin \theta \right]}{\left[(a + S)^2 + (e + S')^2 \right]^{1/2}}$$

$$Y = \frac{\left[(a + S) \cdot \sin \theta - (e + S') \cdot \cos \theta \right] X + (a + S) \cdot S'}{(a + S) \cdot \cos \theta + (e + S') \cdot \sin \theta}$$

Kesme merkezi koordinatlarını bulmak için;

$$\cos \alpha = \frac{(X_F - X)}{r_C}$$

$$X_C = X + r_C \cdot \cos \alpha$$

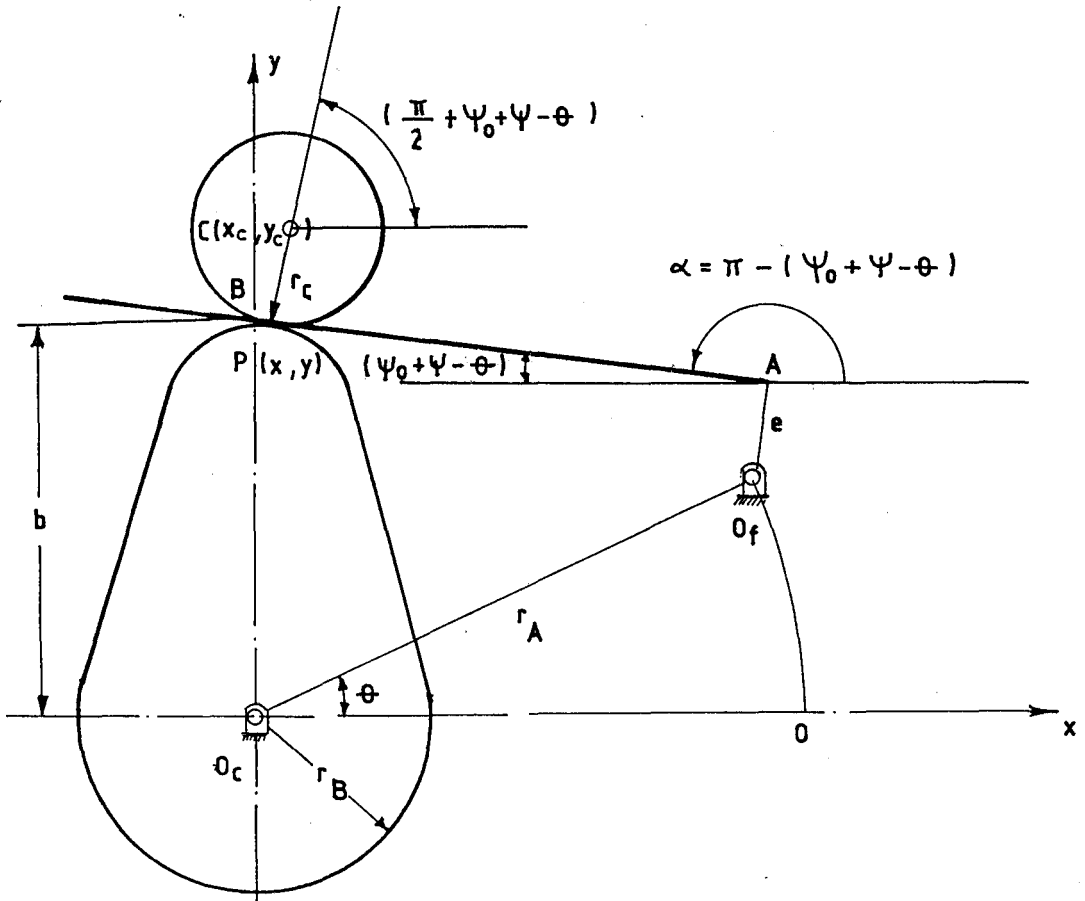
$$Y_C = Y + r_C \cdot \sin \alpha$$

Bundan sonra, kesme merkezi koordinatları;

$$X_c = X + \frac{r_C}{r_F} (X_F - X)$$

$$Y_c = Y + \frac{r_C}{r_F} (Y_F - Y)$$

4.2.3. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kamlar



Şekil 4.5. Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kam.

Kamın sabit, izleyicininde onun etrafında döndüğü kabul edilir ve zarf teorisinden elde edilen doğru ailesinin genel denklemi, aşağıdaki şekilde doğru ile gösterilir (Şekil 4.5).

$$y = mx + b$$

Burada m; eğim ve b; y ekseninin uzaklığıdır.

$$m = \tan \alpha = \tan(\pi - (\psi_0 + \psi - \theta)) = -\tan(\psi_0 + \psi - \theta)$$

$\psi_0 = \sin^{-1} \left[\frac{(r_B - \theta)}{r_A} \right]$ kam ile izleyici arasındaki ilk açığı belirtir.

$$b = r_A \cdot \sin \theta + r_A \cdot \cos \theta \tan(\psi_0 + \psi - \theta) + e \cdot \cos(\psi_0 + \psi - \theta)$$

Buradan;

$$F(x, y, \theta) = y - x \cdot \tan(\psi_0 + \psi - \theta) - b = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \theta} = -x \cdot \frac{1}{\cos^2(\psi_0 + \psi - \theta)} \cdot \left(\frac{d\psi}{d\theta} - 1 \right) - \frac{db}{d\theta} = 0$$

yeniden düzenlenirse;

$$x \cdot \tan(\psi_0 + \psi - \theta) - y + b = 0$$

$$x(1 - \psi') - b' \cdot \cos^2(\psi_0 + \psi - \theta) = 0$$

$$b' = r_A \cdot \cos \theta - r_A \cdot \sin \theta \tan(\psi_0 + \psi - \theta) + r_A \frac{\cos \theta}{\cos^2(\psi_0 + \psi - \theta)}$$

$$+ e \cdot \sin(\psi_0 + \psi - \theta)(1 - \psi')$$

Bu denklemlerin çözülmesiyle, kam profil denklemleri elde edilir.

$$X = r_A \left[\cos \theta - \frac{\cos(\psi_0 + \psi - \theta) \cos(\psi_0 + \psi)}{(1 - \psi')} \right] + e \cdot \sin(\psi_0 + \psi - \theta)$$

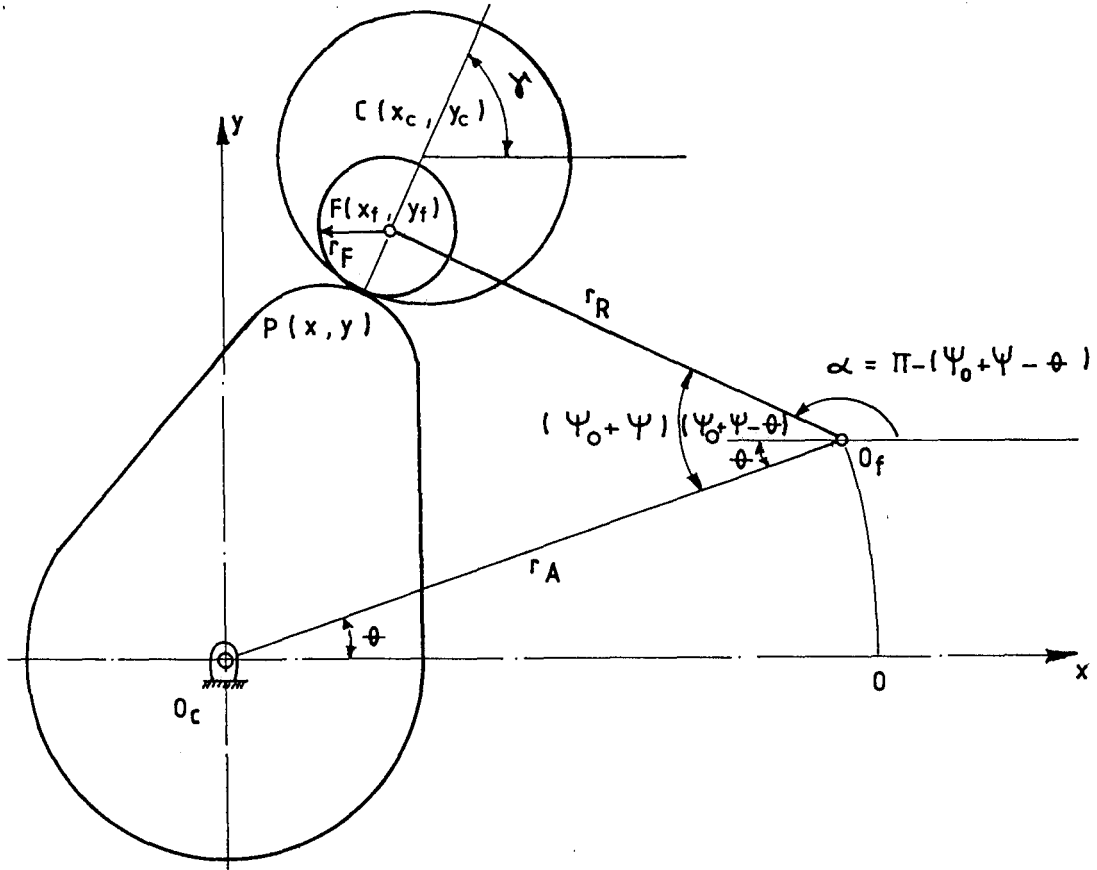
$$Y = r_A \left[\sin \theta + \frac{\sin(\psi_0 + \psi - \theta) \cos(\psi_0 + \psi)}{(1 - \psi')} \right] + e \cdot \cos(\psi_0 + \psi - \theta)$$

Kesme merkezi koordinatları;

$$X_c = X + r_C \cdot \sin(\psi_0 + \psi - \theta)$$

$$Y_c = Y + r_C \cdot \cos(\psi_0 + \psi - \theta)$$

4.2.4. Makaralı salınım hareketli izleyicili kamlar



Şekil 4.6. Makaralı salınım hareketli izleyicili kam.

İzleyici ilk hareketinde (Şekil 4.6)

$$\psi_0 = \cos^{-1} \left[\frac{r_A^2 + r_R^2 - (r_B + r_F)^2}{2 \cdot r_A \cdot r_R} \right]$$

İzleyicinin sabit olan kam etrafında döndüğü kabul edilir. Zarf teorisinden elde edilen eğrinin genel denklemi:

$$(X - X_F)^2 + (Y - Y_F)^2 = r_F^2$$

ve

$$X_F = r_A \cdot \cos \theta - r_R \cdot \cos(\psi_0 + \psi - \theta)$$

$$Y_F = r_A \cdot \sin \theta + r_R \cdot \sin(\psi_0 + \psi - \theta)$$

Buradan, izleyici makara merkez koordinatları bulunur.

$$F(X,Y,\theta) = (X-X_F)^2 + (Y-Y_F)^2 - r_F^2 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \theta} = 2(X-X_F)\left(-\frac{dX_F}{d\theta}\right) + 2(Y-Y_F)\left(-\frac{dY_F}{d\theta}\right) = 0$$

yeniden düzenlenirse;

$$F(X,Y,\theta) = (X-X_F)^2 + (Y-Y_F)^2 - r_F^2 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \theta} = (X-X_F) \cdot X_F' + (Y-Y_F) \cdot Y_F' = 0$$

$$X_F' = \frac{dX_F}{d\theta} = -r_A \cdot \sin\theta + r_R \cdot \sin(\psi_o + \psi - \theta) \cdot (\psi' - 1)$$

$$Y_F' = \frac{dY_F}{d\theta} = r_A \cdot \cos\theta + r_R \cdot \cos(\psi_o + \psi - \theta) \cdot (\psi' - 1)$$

Denklemlerin çözülmesiyle kam profil denklemleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$X = [r_A \cdot \cos\theta - r_R \cdot \cos(\psi_o + \psi - \theta)]$$

$$- \frac{r_F [r_A \cdot \cos\theta - r_R (1 - \psi') \cos(\psi_o + \psi - \theta)]}{[r_A^2 - 2r_A r_R (1 - \psi') \cos(\psi_o + \psi) + r_R^2 (1 - \psi')^2]^{1/2}}$$

$$Y = \frac{[r_A \sin\theta + r_R (1 - \psi') \cdot \sin(\psi_o + \psi - \theta)] X + r_A \cdot r_R \cdot \psi' \sin(\psi_o + \psi)}{[r_A \cos\theta - r_R (1 - \psi') \cdot \cos(\psi_o + \psi - \theta)]}$$

Kesme merkezi koordinatları ise;

$$X_C = X + r_C \cdot \cos\alpha = X + r_C / r_F \cdot (X_F - X)$$

$$Y_C = Y + r_C \cdot \sin\alpha = Y + r_C / r_F \cdot (Y_F - Y)$$

5. MİNİMUM KAM BOYUTUNUN BELİRLENMESİ

5.1. Uygun Basınç Açısından Kam Boyutunun Belirlenmesi

Kam sisteminin güvenli çalışmasında, en etkili faktörlerden biri basınç açısı ve transmisyon açısıdır. Basınç açısı genelde, kam ile izleyici arasındaki temas noktasında, kam yüzeyinin normali ile izleyici hareket doğrusu arasında kalan açı olarak tanımlanır. Ayrıca oran olarak da aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\tan \phi = \frac{\text{İzleyici yataklarına etki eden normal kuvvet bileşeni}}{\text{İzleyici uzvu hareket ettiren kuvvet bileşeni}}$$

Şekil 5.1'de makaralı izleyicili doğrusal hareketli kamlarda basınç açısı ve transmisyon açısı gösteriliyor.

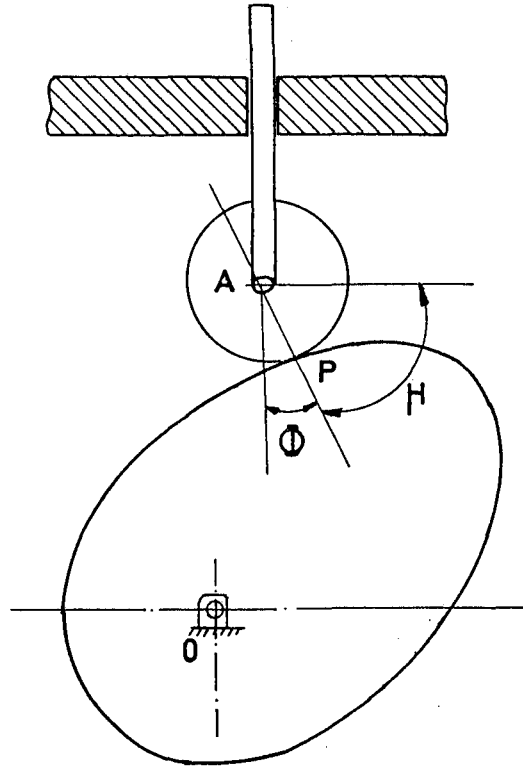
Şekil 5.2'de makaralı izleyicili salınım hareketli kamlarda basınç açısı ve transmisyon açısı gösteriliyor. Düz yüzeyli kamlar için, basınç açısı tanımlanamaz.

Basınç açısının tamlayanı olan transmisyon açısında oran olarak şöyle ifade edilir.

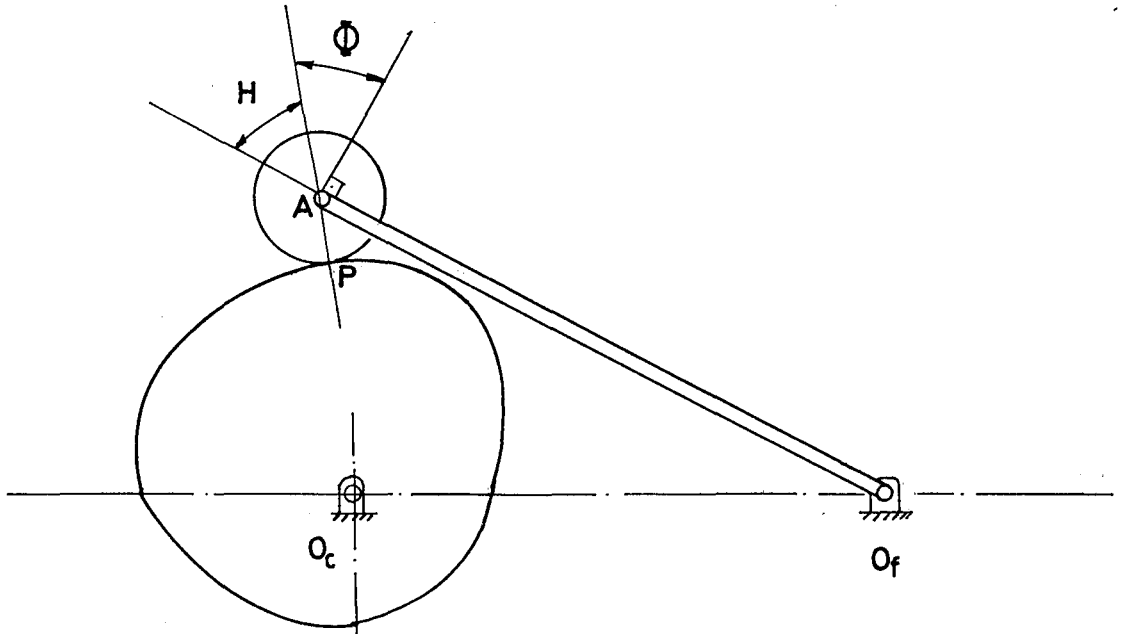
$$\tan \mu = \frac{\text{İzleyici uzvu hareket ettiren kuvvet bileşeni}}{\text{İzleyici yataklarına etki eden normal kuvvet bileşeni}}$$

Bir mekanizmanın verimi, giriş elemanından çıkış uzvuna olan gerçek hareketi iletmeye bağlı olduğundan, basınç açısı ve transmisyon açısı kam dizaynında önemli bir faktördür.

Basınç açısı, kam dönme açısının ve kam geometrik parametrelerinin bir fonksiyonudur.



Şekil 5.1. Makaralı izleyicili doğrusal hareketli kamda basınç açısı ve transmisyon açısı.



Şekil 5.2. Makaralı izleyicili salınım hareketli kamda basınç açısı ve transmisyon açısı.

Basınc açısal denklemleri şöyle gösterilir.

Makaralı izleyicili doğrusal hareketli kamlar için;

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{(S'-e)}{\sqrt{(r_B+r_F)^2 - e^2 + S}} \right] \dots\dots\dots (26)$$

Makaralı izleyicili salınım hareketli kamlar için;

$$\phi = \tan^{-1} \left[\tan(\psi_0 + \psi) - \left(\frac{r_R}{r_A} \right) \frac{(1-\psi)}{\sin(\psi_0 + \psi)} \right] \dots\dots\dots (27)$$

$$\psi_0 = \cos^{-1} \left[\frac{r_A^2 + r_R^2 - (r_B+r_F)^2}{2r_A r_R} \right] \dots\dots\dots (28)$$

Formüllerde:

- $S' = \frac{dS}{d\theta} = \frac{\dot{S}}{W}$: İzleyicinin normalize edilmiş hızı,
- $S = S(\theta)$: İzleyicinin konumu,
- $\dot{S} = \frac{dS}{dt}$: İzleyicinin doğrusal hızı,
- W : Kamın açısal dönme hızı,
- e : İzleyicinin kam merkezine göre kaçıklığı,
- r_B : Kam temel dairesi yarıçapı,
- r_F : İzleyici makara yarıçapı,
- ψ_0 : Kam ile izleyici arasındaki başlangıç açısı,
- r_A : Kam ile izleyici merkezleri arasındaki uzaklık,
- r_R : İzleyici kol uzunluğu,
- $\psi = \psi(\theta)$: İzleyicinin açısal konumu,
- $\psi' = \frac{d\psi}{d\theta} = \frac{\dot{\psi}}{W}$: İzleyicinin normalize edilmiş açısal hızı,
- $\dot{\psi} = \frac{d\psi}{dt}$: İzleyicinin açısal hızı,
- θ : Kam dönme açısını belirtmektedir.

Basınc açısı, düzenli çalışan kam sistemlerinde çok büyük olmamalıdır. Çünkü, büyük değerli makaralı izleyicili doğrusal hareketli kamalarda, yana itmeleré, makaralı izleyicili salınım hareketli kamalarda ise normal kuvvet artışına neden olabilir. Ayrıca yüksek değerlerde sürtünme, kam-mil moment artışı, kam ve izleyicide sert hareket sonucu hızlı aşınma meydana gelir. Bu yüzden basınc açısının belirli sınırlar içinde bulunması gerekir.

$$- \phi_{em} \leq \phi_{min}^{\max} \leq + \phi_{em}$$

ϕ_{em} : Emniyetli basınc açısı.

Emniyetli basınc açısı çalışma şartlarına ve kam-izleyici tipine bağlı olarak tasarımcı tarafından belirlenir.

Pratikte tavsiye edilen değerler şunlardır;

Makaralı izleyicili doğrusal hareketli kam mekanizmaları için;

$$\phi_{em} = 30^{\circ}$$

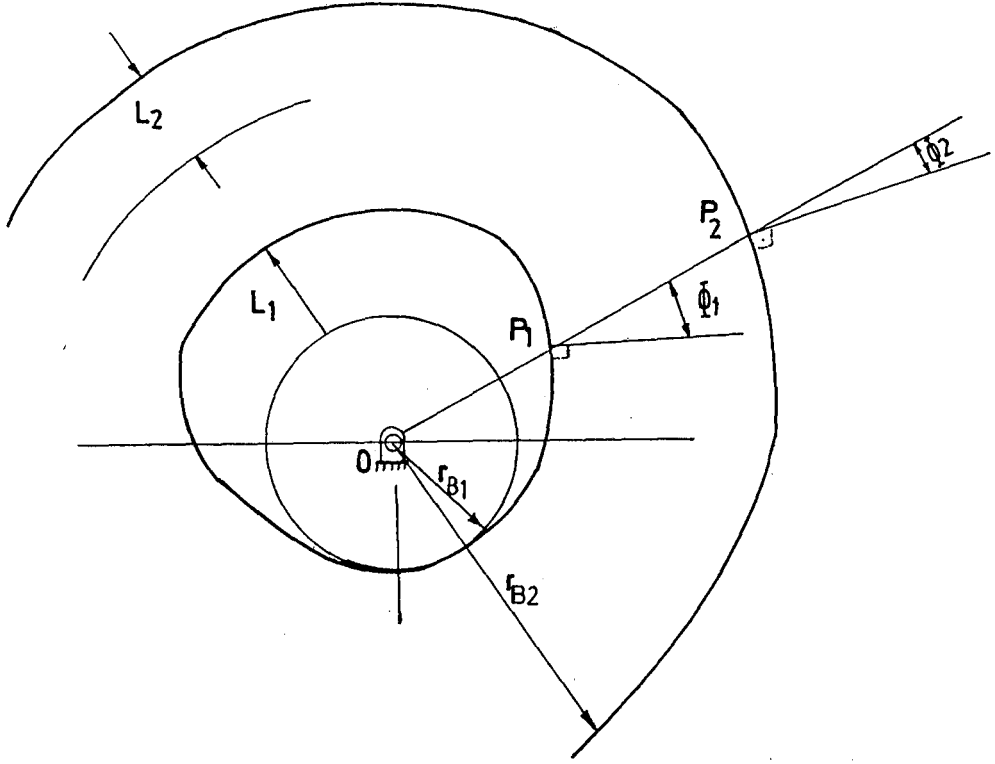
Makaralı izleyicili salınım hareketli kam mekanizmaları için;

$$\phi_{em} = 40^{\circ}$$

Temel daire yarıçapı, eksantriklik, makara yarıçapı, kam ve izleyici merkezleri arası uzaklık ... vb. dizayn parametrelerini uygun seçerek, basınc açısının belirli sınırlar arasında kalması sağlanabilir.

Basınc açısına etki eden değişkenlerden en önemlisi, temel daire yarıçapıdır. Genelde izleyicinin toplam yer değiştirmesi için, basınc açısının mutlak maksimum değeri, temel daire büyüklüğünün arttırılmasıyla küçülür.

Şekil 5.3'de aynı karakteristiklere sahip farklı temel daire yarıçapında olan iki kam gösterilmiştir. Burada, kam büyüklüğünün gerçek anlamda, basınc açısına etkisi görülebilir.



Şekil 5.3. Basınç açısı ile kam boyutu arasındaki ilişki.

5.2. Alttan Kesilme Kriterinden Kam Boyutunun Belirlenmesi

Temel yarıçap, basınç açısıyla ayarlanmış olsa bile küçük boyutlu kamlarda çok küçük dönme açılarında çok büyük bir yükselme istendiğinde, izleyicinin arzu edilen hareketi üretmesi sağlanamamıştır. Kam profili karışır, bir bölümü kaybolur, keskin uçlu kısımlar oluşur. Bu nedenle, izleyici istenen orijinal hareketi yapamaz. Bu durum kam profilinin alttan kesilme olayı olarak bilinir ve minimum kam boyutunu belirlemede kullanılan kriterlerden birisidir.

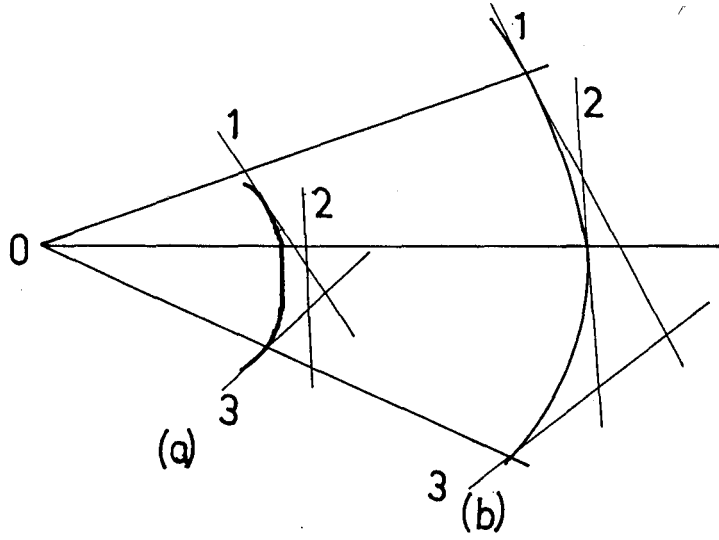
Yükselmeyi azaltmak veya kam dönüşünü arttırmakla çözüm mümkün olabilir. Bununla beraber, henüz amaçlanan dizayn standartına ulaşılmış değildir. Diğer bir çözüm; yer değiştirme karakteristikleri aynı, fakat kam profili eğrilik yarıçapının minimum olduğu yerdeki temel daire yarıçapını arttırmaktır.

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de düz yüzeyli ve makaralı izleyicili kamlarda alttan kesilme durumu gösterilmektedir. Şekil 5.4'de izleyici, (a)'da istenen yolu izleyemez. Şekil 5.5'de ise (a)'da kamin gerekli parçası I_1 CD kaybedilir.

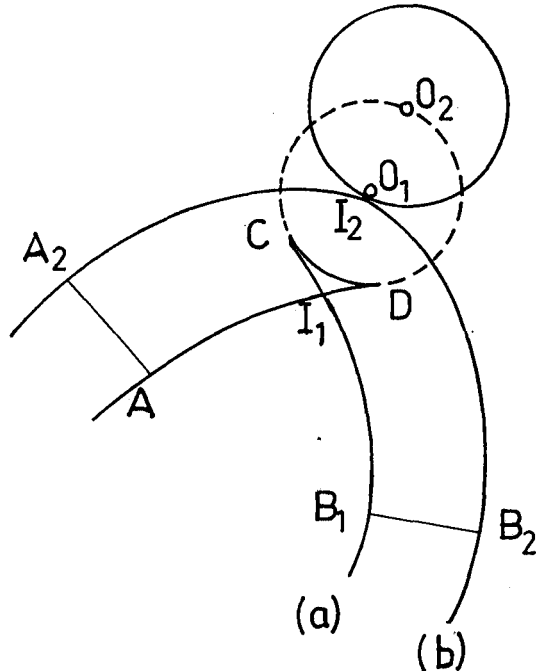
Alttan kesilme olayını araştırmak için, eğrilik yarıçapının minimum değeri, hareket eğrisinin ve kam geometrik parametrelerinin özel bir seçimi için kontrol edilmelidir.

Eğrilik yarıçapını tanımlayan analitik denklemler şunlardır;
Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyicili kamlar için;

$$\rho_c = r_p + S + S'' \quad \dots \dots \dots (29)$$



Şekil 5.4. Düz yüzeyli izleyicili kanda alttan kesilme.



Şekil 5.5. Makaralı izleyicili kanda alttan kesilme.

Makaralı doğrusal hareketli izleyicili kamlar için;

$$\rho_c = \frac{[(a+S)^2 + (S'-e)^2]^{3/2}}{[(a+S)^2 + (S'-e)(2S'-e) - S''(a+S)]} - r_F \dots\dots\dots (30)$$

$$a = \sqrt{(r_B+r_F)^2 - e^2} \dots\dots\dots (31)$$

Düz yüzeyli salınım hareketli izleyicili kamlar için;

$$\rho_c = \frac{r_A}{(1-\psi')^2} \left[(1-2\psi')\sin(\psi_0+\psi) - \frac{r_A\psi''}{(1-\psi')} \cos(\psi_0+\psi) \right] + e \quad (32)$$

$$\psi_0 = \sin^{-1} \left(\frac{r_B - e}{r_A} \right) \dots\dots\dots (33)$$

Makaralı salınım hareketli izleyicili kamlar için;

$$\rho_c = \frac{[r_A^2 + r_R^2(1-\psi')^2 - 2r_A r_R(1-\psi')\cos(\psi_0+\psi)]^{3/2}}{[r_A^2 + r_R^2(1-\psi')^3 - r_A r_R(1-\psi')(2-\psi')\cos(\psi_0+\psi) + \psi''\sin(\psi_0+\psi)]} - r_F \dots\dots\dots (34)$$

$$\psi_0 = \cos^{-1} \left[\frac{r_A^2 + r_R^2 - (r_B+r_F)^2}{2 r_A r_R} \right] \dots\dots\dots (35)$$

Burada;

- ρ_c : Kam eğrilik yarıçapı,
- $S'' = \frac{d^2 S}{de^2} = \frac{\ddot{S}}{v^2}$: İzleyicinin normalize edilmiş açısal ivmesi,
- $\ddot{S} = \frac{d^2 S}{dt^2}$: İzleyicinin açısal ivmesi,
- ψ_0 : Kam ile izleyici arasındaki başlangıç açısını göstermektedir.

5.3. Emniyetli Yüzey Basıncından Kam Boyutunun Belirlenmesi

Minimum eğrilik yarıçapı, kam veya izleyici malzemesinin dizayn mukavemetini geçmeyen, kam ve izleyici arasında bulunan, sınırlandırıcı yüzeydeki sıkıştırıcı yüzey basıncını sağlayan belirli bir değerden büyük olmalıdır.

İki elastik eleman gözönüne alınır, iki yüzey birbirine basınç uyguladığında, sınırlandırıcı yüzey basıncı temas yüzeyinde uyarıda bulunur. Yüzey basıncına ait Hertz eşitlikleri şunlardır;

- Temas eden yüzeyler silindirik ise (Makaralı izleyicili kam tipi için);

$$\sqrt{\sigma} = \left[\frac{F(r_F + \rho_c)}{\pi \cdot L \cdot r_F \cdot \rho_c} \cdot \frac{E_C \cdot E_F}{E_C(1 - \mu_F^2) + E_F(1 - \mu_C^2)} \right]^{1/2} \dots (36)$$

- Temas eden yüzeylerden biri düz ise (Düz yüzeyli izleyicili kam tipi için);

$$\sqrt{\sigma} = \left[\frac{F}{\pi \cdot L \cdot \rho_c} \cdot \frac{E_C \cdot E_F}{E_C(1 - \mu_F^2) + E_F(1 - \mu_C^2)} \right]^{1/2} \dots (37)$$

Burada,

- $\sqrt{\sigma}$: Yüzey basıncı,
- F : Kam ve izleyici arasındaki yük,
- L : Temas eden yüzeylerin genişliği,
- E_C, E_F : Kam ve izleyicinin elastikiyet modülü,
- μ_C, μ_F : Kam ve izleyicinin poisson oranı,
- r_F : İzleyici makara yarıçapı,
- ρ_c : Kam eğrilik yarıçapını gösterir.

Yüzey basıncının maksimum değeri, kam veya izleyici malzemesinin emniyetli dizayn mukavemetinden küçük olmalıdır. Şöyleki;

$$\sqrt{\sigma_{maks}} \leq \sqrt{\sigma_{em}} \quad \text{olmalıdır.}$$

Bu durum aşağıdaki şekillerde sağlanabilir:

- Kam boyutunu büyüterek (minimum eğrilik yarıçapını arttırarak),
- Daha büyük makaralı izleyici kullanarak,
- Kam genişliğini arttırarak,

- Kam ve izleyici için daha mukavemetli malzeme kullanarak.

6. KAM BİLGİSAYAR PROGRAMINI TANITIMI

6.1. Programın Yapısı

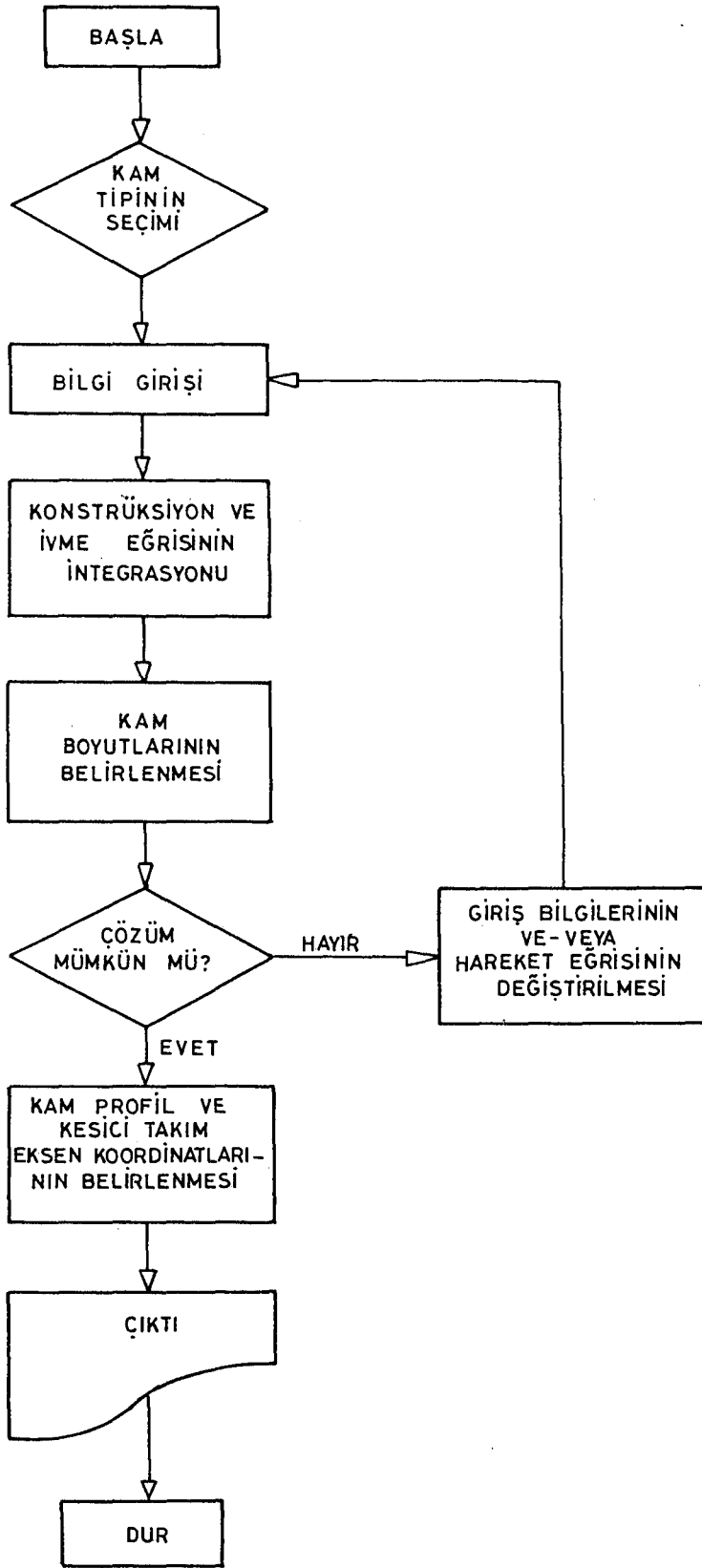
Kam bilgisayar programı, istenilen çıkış hareketini üreten minimum boyutlara sahip kam mekanizmasını dizayn etmek için oluşturulmuştur.

Program dört ana bölümden meydana gelmiştir.

1. Dizayn için gerekli bilgilerin girilmesi,
2. Hareket eğrisinin oluşturulması,
3. Minimum kam boyutunun ve koordinatlarının belirlenmesi,
4. Sonuçların çıkarılması.

Giriş bölümünde, kam dizaynı için gerekli olan (izleyici makara yarıçapı, eksenler arası uzaklık, maksimum izleyici kalkışı, izleyici tutucu yay karakteristikleri, maksimum emniyetli basınç açısı, malzeme karakteristikleri ... vb.) tüm bilgiler bilgisayara girilir.

İkinci bölümde, tasarlanan izleyici hareketini üretecek minimum kam boyutu hesaplanır. Kam profili ve kesme merkezi koordinatları hesabı bu bölümde gerçekleştirilir.



Şekil 6.1. Kam bilgisayar programı için akış şeması.

6.2. Programı Kullanma Yöntemi

Kam programı Fortran-IV programlama dilinde yazılmıştır. Programın giriş tekniğini kullanıcı yönlendirdiğinden, kullanıcının daha önceden bilgisayar kullanma deneyimi olmasına gerek yoktur.

Program, dört tip kam-izleyici mekanizmasını ele alır. Kam mekanizmasının tipi programın başında seçilir. Hareket eğrisi nokta-nokta kullanıcı tarafından girilebilir veya program içinde hazır bulunan 14 standart eğri arasından seçilebilir. Kullanıcı izleyicinin, bekleme-kalkış-iniş hareket açılarını serbestçe girebilir. Kamın dönüşü 360° 'ye ulaştığı zaman izleyici hareketi tamamlanır.

Bütün giriş verilerinin hassasiyet derecesi, programın işletilmesi esnasında kontrol edilir. Eğer herhangi bir giriş hatası varsa, bu kullanıcıya bir uyarı mesajıyla bildirilir. Örneğin; herhangi bir anda basınç açısı, emniyetli basınç açısı sınırını geçiyorsa, mesaj: "DİKKAT: BASINÇ AÇISI, SİMİRİ GEÇİYOR " olur. Bu hatayı gidermek için gerekli parametreler ve/veya hareket eğrisi değiştirilir.

Kam dizaynı tamamlandıktan sonra, program çıktısı doğrudan yazıcıya iletilir.

7. DİZAYN ÖRNEKLERİ

Programı kontrol etmek için, dört farklı kam tipine ait dizayn örnekleri yapılmıştır. Program çıktı sonuçlarına göre, elde edilen kam profil örnekleri Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de gösterilmektedir.

Ekte, dört farklı kam tipi için işletim örnekleri mevcuttur.

7.1. Düz Yüzeyle Doğrusal Hareketli İzleyicili Kam

Giriş Verileri:

. İzleyici hareketi karakteristikleri: Değiştirilmiş trapezoidal ivmeli hareket (Kalkış-Bekleme)

Bekleme: 0° - 90°

Kalkış : 90° - 180°

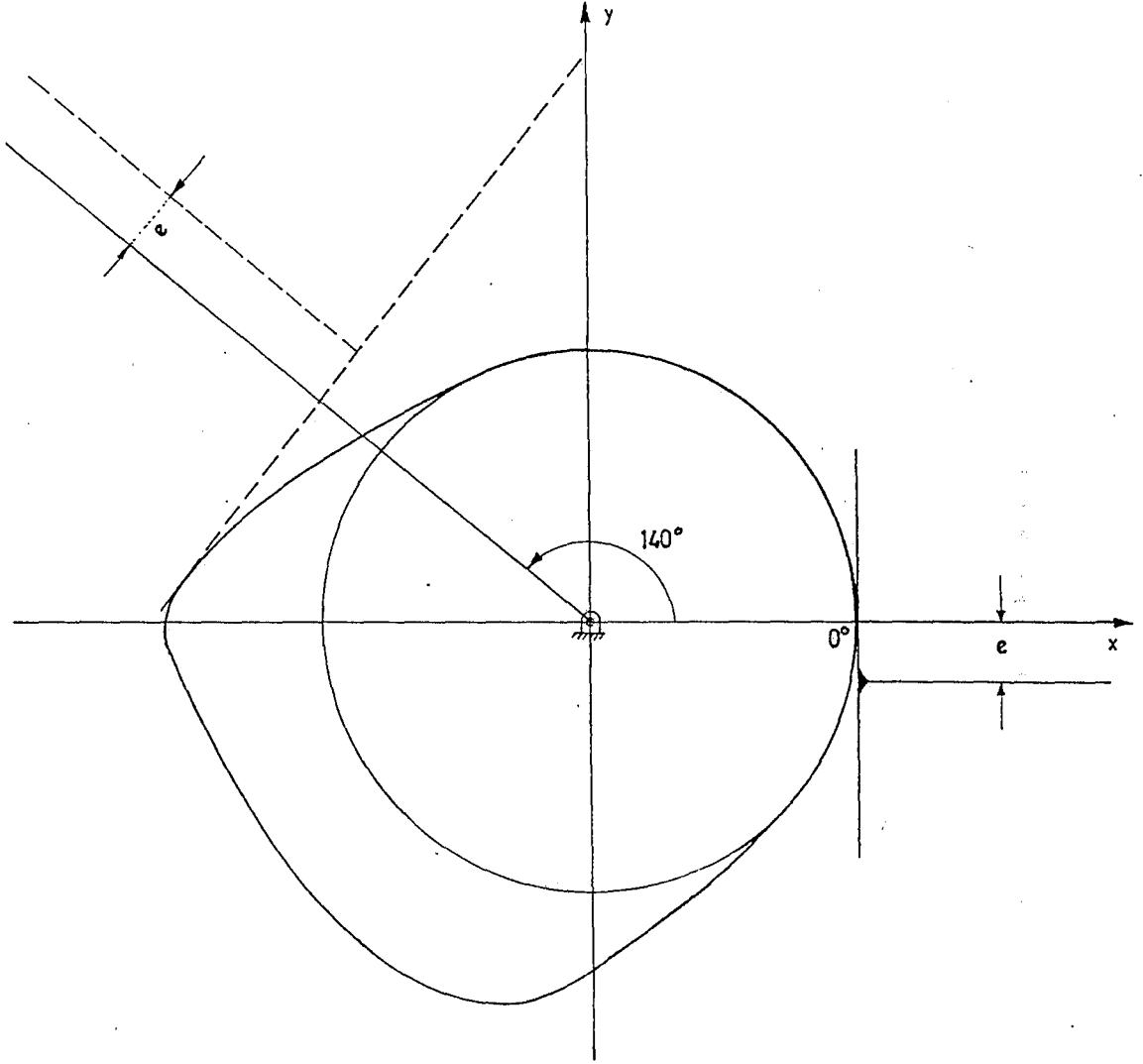
Bekleme: 180° - 270°

İniş : 270° - 360°

- . Maksimum izleyici kalkışı: 30 mm
- . Kam ve izleyici arasındaki eksantriklik: 10 mm (kamin dönme yönünde)
- . Kam kalınlığı: 8 mm
- . Kam malzemesinin emniyet gerilmesi: 96 N/mm^2
- . Kam malzemesinin elastikiyet modülü: 89500 N/mm^2
- . Kam malzemesinin poisson oranı: 0,211
- . İzleyici kalınlığı: 12 mm
- . İzleyici malzemesinin emniyet gerilmesi: 110 N/mm^2
- . İzleyici malzemesinin elastikiyet modülü: 99800 N/mm^2
- . İzleyici yayındaki ön kuvvet: 25 N
- . İzleyici yayının katılığı: 6 N/mm
- . Kesme yarıçapı: 12 mm
- . Kam açısı artışı: 2°
- . Kam mili yarıçapı: 20 mm
- . Kam mili hızı: 500 dev./dak.

Çıktılar:

- . Kam ve izleyici arasındaki maksimum temas kuvveti: 205 N
- . Minimum kam eğrilik yarıçapı: 43,707 mm
- . Kam ve izleyici arasındaki maksimum yüzey basıncı: $70,3 \text{ N/mm}^2$
- . Minimum kam temel yarıçapı: 43,707 mm
- . Minimum izleyici yüz genişliği: 18,84 mm



Şekil 7.1. Düz yüzeyli doğrusal hareketli izleyicili kam.

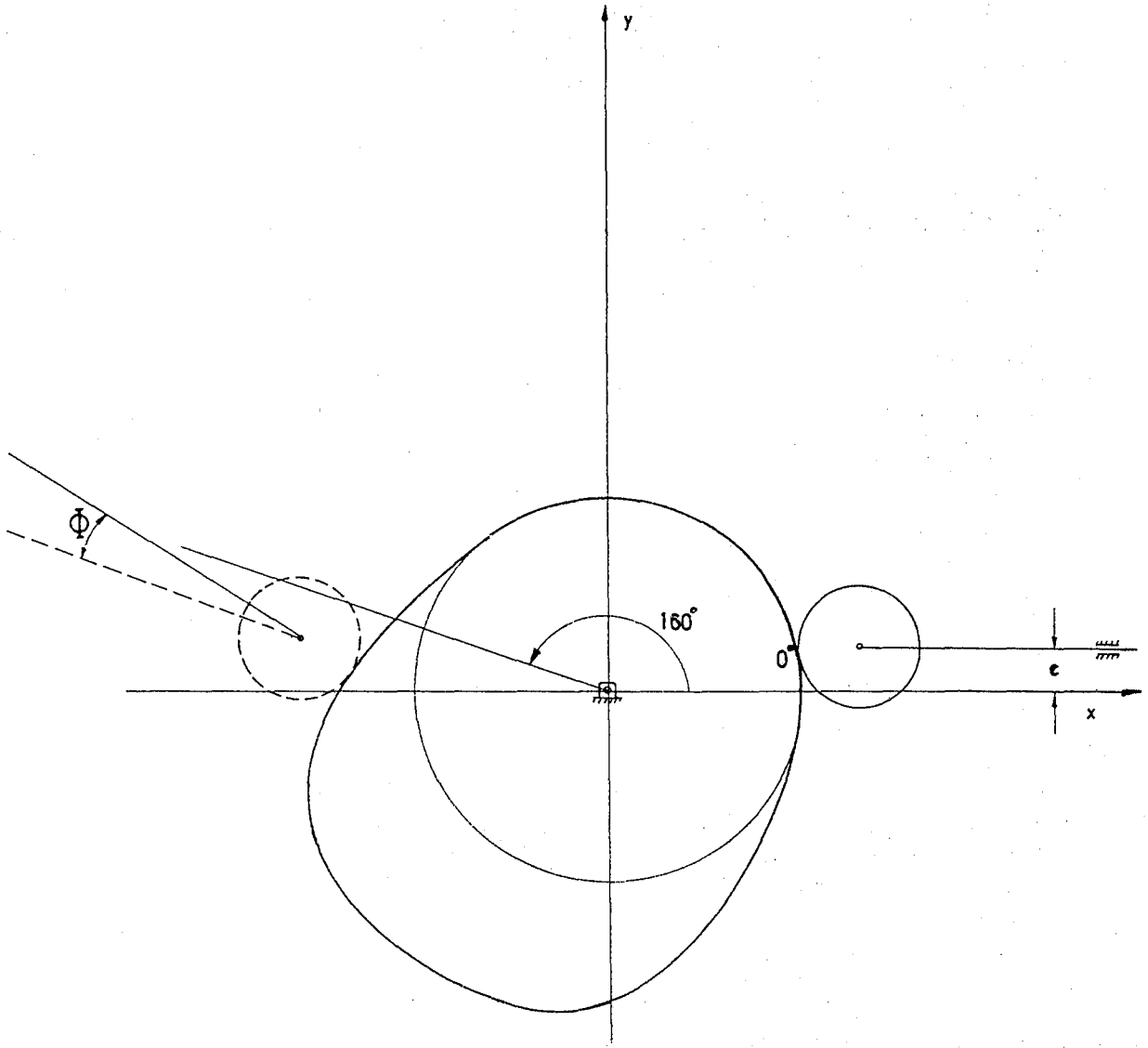
7.2. Makaralı Doğrusal Hareketli İzleyicili Kam

Giriş Verileri:

- . İzleyici hareketi karakteristikleri : Sikloidal hareket (Kalkış-İniş)
- Bekleme : 0° - 120°
- Kalkış : 120° - 240°
- İniş : 240° - 360°
- . Maksimum izleyici kalkışı: 25 mm
- . Kam ve izleyici merkezleri arasındaki eksantriklik: 8 mm (kam dönüşünün zıt yönünde)
- . Kam kalınlığı: 16 mm
- . Kam malzemesinin emniyet gerilmesi: 148 N/mm^2
- . Kam malzemesinin elastikiyet modülü: 129500 N/mm^2
- . Kam malzemesinin poisson oranı: 0,215
- . İzleyici yarıçapı: 11 mm
- . İzleyici kalınlığı: 12 mm
- . İzleyici yayındaki ön kuvvet: 5 N
- . İzleyici yayının katılığı: 1 N/mm
- . Emniyetli basınç açısı: 30°
- . Kesme yarıçapı: 15 mm
- . Kam açısı artışı: 2°
- . Kam mili yarıçapı: 30 mm
- . Kam mili hızı: 600 dev./dak.

Çıktılar:

- . Kam ve izleyici arasındaki maksimum temas kuvveti: 30 N
- . Minimum kam temel yarıçapı: 33.922 mm
- . Minimum kam eğrilik yarıçapı: 33.922 mm
- . Maksimum basınç açısı: 30°



Şekil 7.2. Makaralı doğrusal hareketli izleyicili kam.

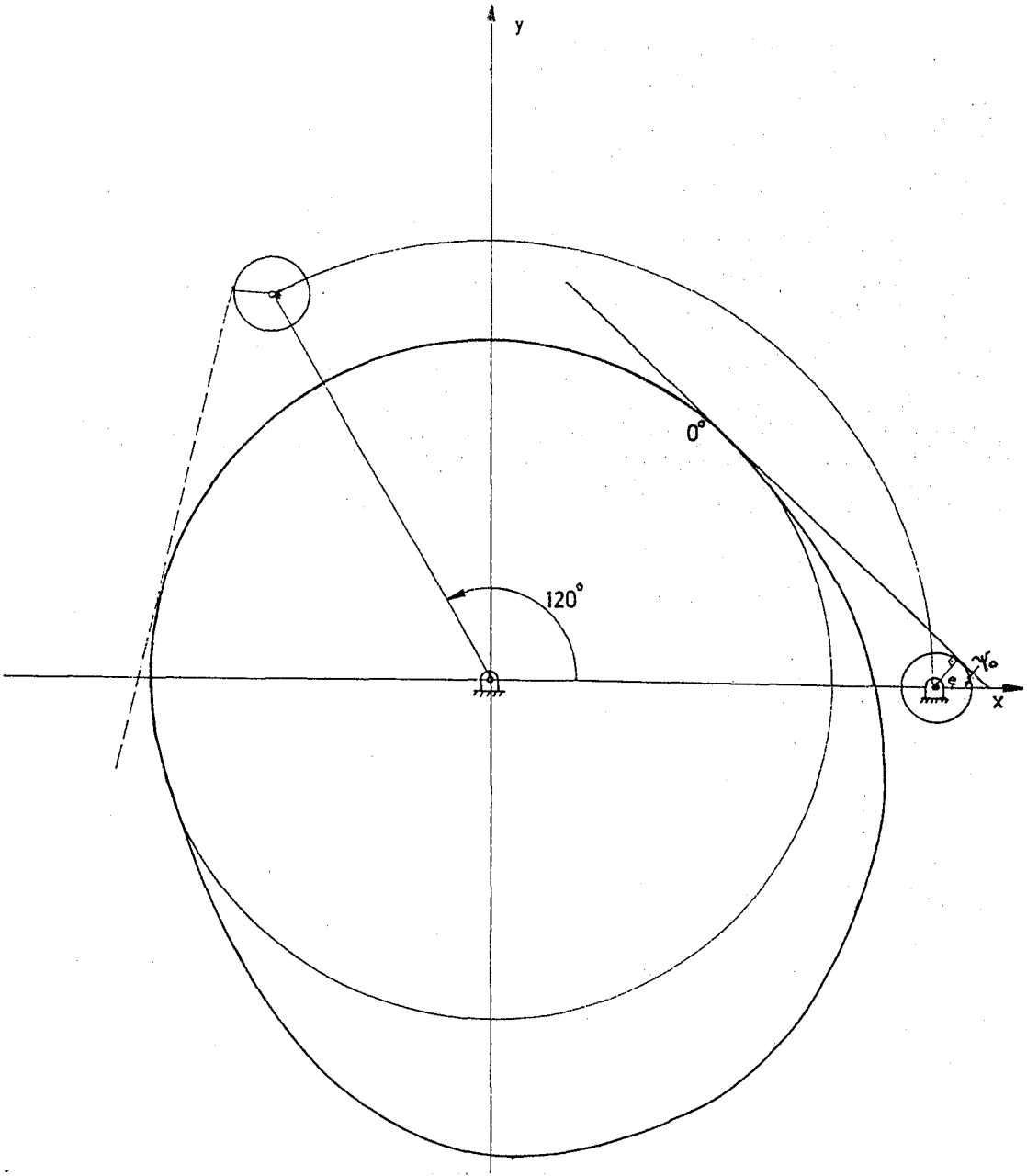
7.3. Düz Yüzeyle Salınım Hareketli İzleyicili Kam

Giriş Verileri:

- . İzleyici hareketi karakteristikleri: 8. Polinom hareketi (Kalkış-İniş)
- Bekleme : 0° - 120°
- Kalkış : 120° - 240°
- İniş : 240° - 360°
- . Maksimum izleyici kalkışı: 20°
- . Kam ve izleyici merkezleri arasındaki uzaklık: 100 mm
- . İzleyicinin eksantrikliği : 8 mm
- . Kam kalınlığı: 16 mm
- . Kam malzemesinin emniyet gerilmesi: 110 N/mm^2
- . Kam malzemesinin elastikiyet modülü: 99800 N/mm^2
- . Kam malzemesinin poisson oranı: 0,211
- . İzleyici malzemesinin emniyet gerilmesi: 96 N/mm^2
- . İzleyici malzemesinin elastikiyet modülü: 89500 N/mm^2
- . İzleyici malzemesinin poisson oranı: 0,211
- . İzleyici yayındaki ön moment: 50 N-mm
- . İzleyici yayının katılığı: 200 N-mm/der.
- . Kesme yarıçapı: 15 mm
- . Kam açısı artışı: 2°
- . Kam mili yarıçapı: 60 mm
- . Kam mili hızı: 700 dev./dak.

Çıktılar:

- . İzleyicideki maksimum moment: 4050 N-mm
- . Minimum kam temel yarıçapı: 61,13 mm
- . Maksimum izleyici kol uzunluğu: 103,62 mm
- . Minimum kam eğrilik yarıçapı: 6,16 mm
- . Kam ve izleyici arasındaki maksimum yüzey basıncı: $32,6 \text{ N/mm}^2$



Şekil 7.3. Düz yüzeyle salınım hareketli izleyicili kam.

7.4. Makaralı Salınım Hareketli İzleyicili Kam

Giriş Verileri:

- İzleyici hareketi karakteristikleri: Değiştirilmiş Trapezoidal ivmeli hareket (Kalkış-İniş).

Bekleme : 0° - 60°

Kalkış : 60° - 180°

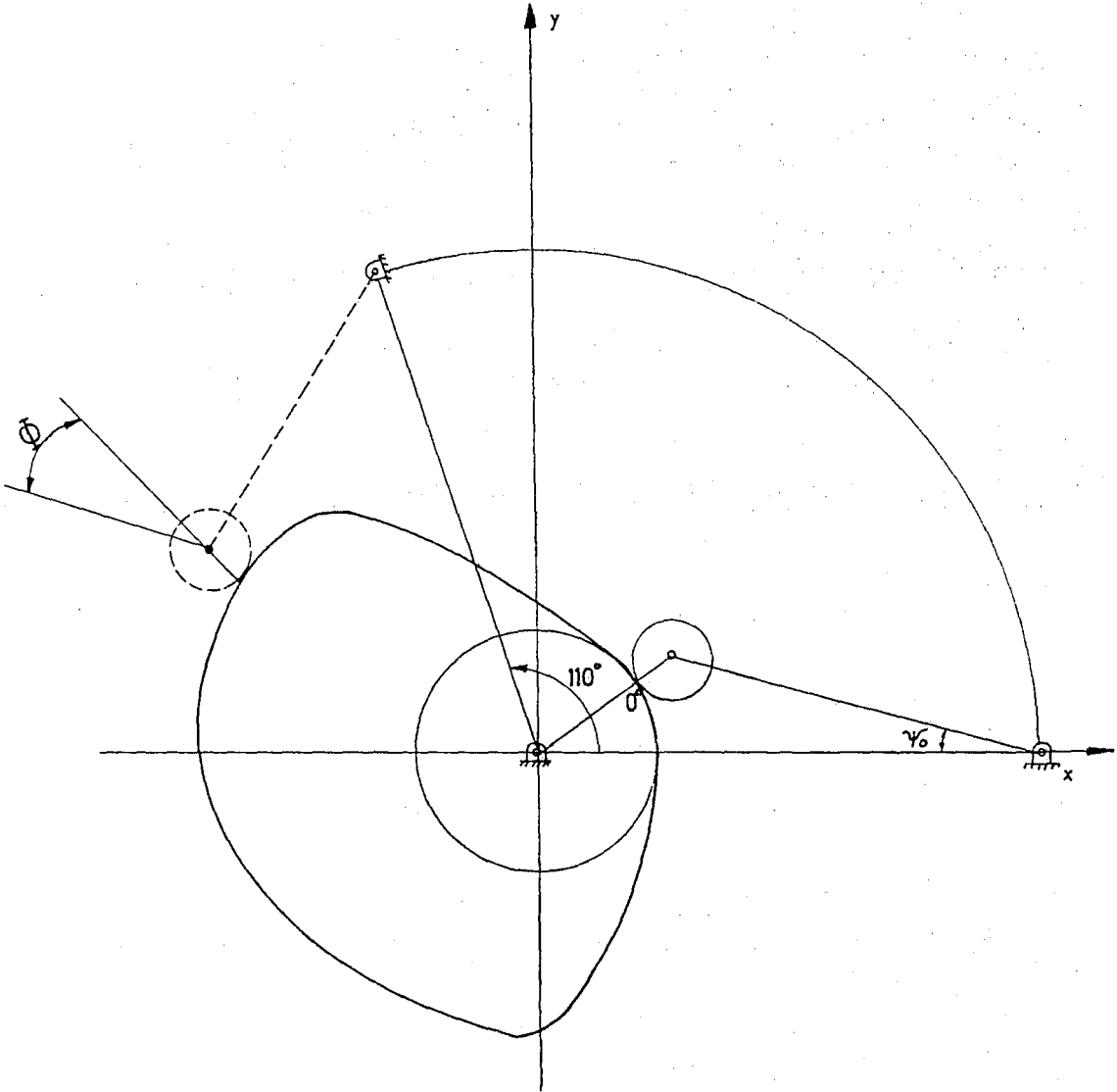
Bekleme : 180° - 240°

İniş : 240° - 360°

- Maksimum izleyici kalkışı: 25°
- Kam ve izleyici merkezleri arasındaki uzaklık: 100 mm
- İzleyici kol uzunluğu: 87 mm
- Kam kalınlığı: 15 mm
- Kam malzemesinin emniyet gerilmesi: 1480 N/mm^2
- Kam malzemesinin elastikiyet modülü: 129500 N/mm^2
- Kam malzemesinin poisson oranı: 0,211
- İzleyici yarıçapı: 13 mm
- İzleyici kalınlığı: 12 mm
- Emniyetli basınç açısı: 40°
- İzleyici yayındaki ön moment: 40 N-mm
- İzleyici yayının katılığı: 80 N-mm/der.
- Kesme yarıçapı: 8 mm
- Kam açısı artışı: 2°
- Kam mili hızı: 300 dev./dak.

Çıktılar:

- Kam ve izleyici arasındaki maksimum temas kuvveti: 38,04 N
- Minimum kam temel yarıçapı: 20 mm
- Maksimum basınç açısı: 40°
- Minimum kam eğrilik yarıçapı: 20 mm
- Kam ve izleyici arasındaki maksimum yüzey basıncı: $114,39 \text{ N/mm}^2$



şekil 7.4. Makaralı salınım hareketli izleyicili kam.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMASI

Bu tezde, yüksek hızlı kam-izleyici sisteminin kinematik karakteristikleri tartışılmış ve yüksek hızlı kam sistemlerinin, kinematik dizaynı için genel amaçlı interaktif tip¹ bilgisayar programının geliştirilmesi açıklanmıştır.

Bir kam mekanizmasının dizaynı kinematik bir problem olduğu kadar dinamik ve imalat sorunlarını da içerir ve bunlar ayrı ayrı düşünülemez. Burada sözü edilen konular dışında kam mekanizmalarının dizaynı sırasında yüzey gerilimleri ve aşınma, kuvvet analizi, sistem dinamiği, titreşim ve gürültü analizleri gerekmektedir. Kam mekanizmalarının dizaynı bu çerçevede içinde ele alındığında geometrik yöntemlerle yapılacak basitlikte olmadığı görülmektedir. Son yıllarda bilgisayar alanında yapılan gelişmeler karmaşık ve zor görülen analitik yöntemlerin bilgisayarlar ile sayısal cevaplar elde edebilmek için çok uygun olduğunu göstermiştir.

Kam dizaynını meydana getirmek için yapılan işlemlerin çok tekrarlanması ve bu işlemler için çok fazla zaman harcanması nedeniyle bilgisayardan yararlanma yoluna gidilmiştir. Kam bilgisayar programı, daha önceden mevcut olan metodların genel bir çerçevede içinde biraraya getirilmesiyle yazılmıştır. Programdan istenen, işletme zamanının kısa olması ve ana hafıza kapasitesinin minimum oranda kullanılmasıdır.

Bir kam bilgisayar programında kullanıcının istediği özellikleri sağlayan, minimum kam boyutunu elde etmek için gerekli olan tüm alternatif çözümler bulunmalıdır. Bu yüzden, kam bilgisayar programı interaktif olarak yazılmıştır. Bu türde kullanıcı, yalnızca dizayn parametrelerini değiştirerek, en uygun kam profilini elde edebilir.

Kam sistemleri yüksek hızlarda çalıştırıldığı zaman, kam-izleyici sistemlerinin dizayn metodunda, başarılı bir işletim için gerekli olmasına rağmen izleyici yer değişiminin geometrik dönüşümü elverişli değildir. Sistem bileşenlerinin elastikiyeti, titreşim frekanslarının kontrolü diğer olumsuz olaylar (boşluk, izleyici atlaması gibi) kadar çalışma hızının artışına neden olur. Bu durumda kam-izleyici mekanizmasının veriminin arttırılması için

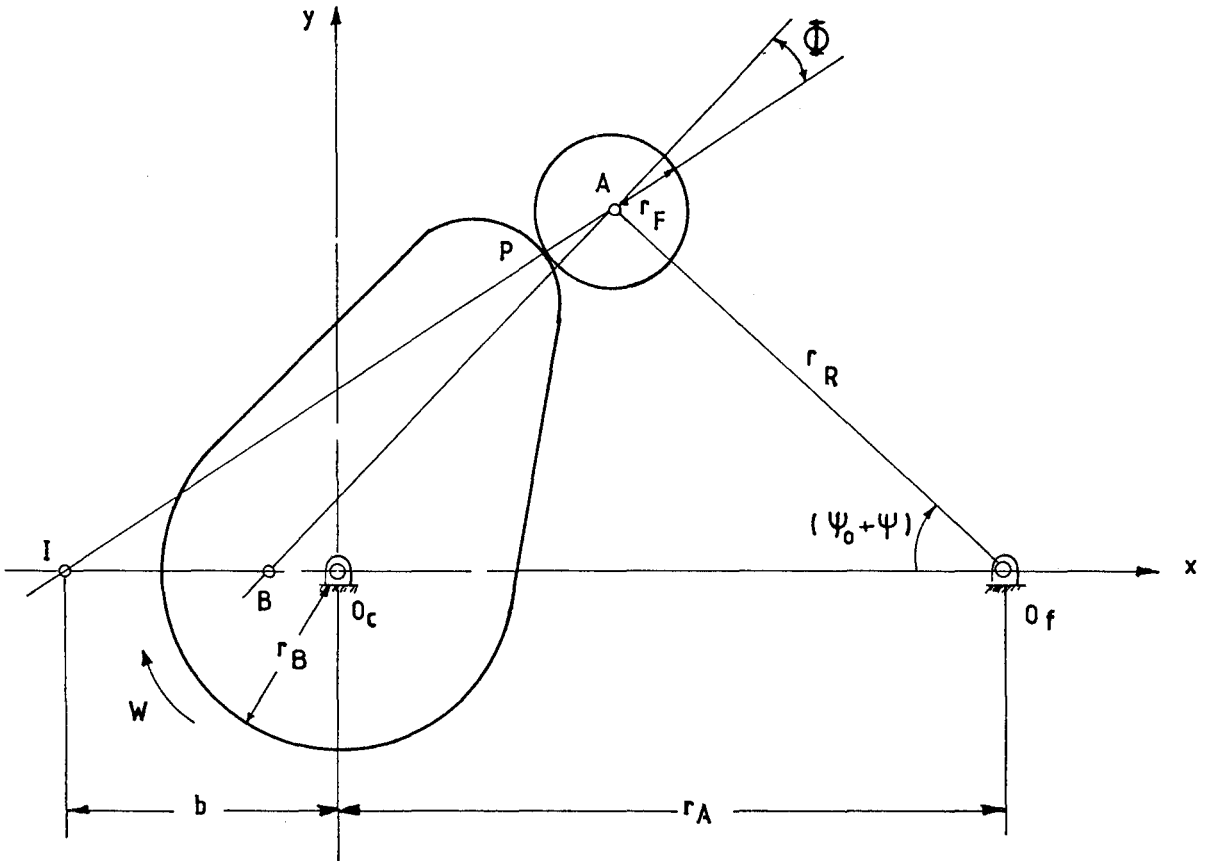
dinamik analiz gereklidir. Örneğin; özel bir uygulama için, uygun bir dinamik ivme eğrisi belirlenebilir. Daha sonra eğri karakteristikleri bilgisayara girilerek kam profil koordinatları elde edilebilir.

Çok sayıda ve çeşitli kam mekanizmalarının kullanıldığı tekstil makineleri için konunun bu makinelerin gerek dizaynı ve gerek işletmesi açısından önemi açıktır. Kam mekanizmalarının tekstil makinelerinin işletmesi sırasında aşınmadan dolayı ve değişik bir işletme durumundan dolayı yeniden dizaynı daima gerekecektir.

Kam mekanizması dizaynının değerlendirilmesi, kam karakteristiklerinin grafik gösterimi ile basit olarak yapılabilir. Grafik üzerinde kam profilini oluşturan tasarımcı, uygun profili elde edemediği takdirde, mekanizma karakteristiklerini tekrar gözden geçirerek dizayn parametrelerini değiştirebilir.

¹Bu etkileşimli tip bilgisayar programıdır. Programın işletilmesi esnasında, kullanıcı bilgisayar ile sürekli bir iletişim halindedir.

Ek Açıklamalar-A

MAKARALI SALINIM HAREKETLİ İZLEYİCİLİ KAM TİPİ İÇİN BASINÇ AÇISI
FORMÜLÜNÜN TÜRETİLMESİ

Şekil A.1. Makaralı salınım hareketli izleyicili kam.

Kam ve izleyici arasındaki başlangıç açısı:

$$\psi_0 = \cos^{-1} \left[\frac{r_A^2 + r_R^2 - (r_B + r_F)^2}{2 r_A r_R} \right]$$

Şekil A.1'de, ϕ basınç açısını gösteriyor. I noktasında kam ve izleyicinin eşit hıza sahip olduğu kabul edilir.

$$V_{IC} = \overline{O_C I} \cdot W = b \cdot W$$

$$V_{IF} = \overline{O_f I} \cdot \frac{d}{dt} (\psi_0 + \psi) = (b + r_A) \psi + (r_A + b) \psi' \cdot W$$

$$V_{IC} = V_{IF}$$

$$(r_A + b) \psi' = b \cdot \psi$$

$$b = r_A \frac{\psi}{(1-\psi')} \quad , \quad r_{A+b} = \frac{r_A}{(1-\psi')}$$

$\triangle AIO_f$ üçgeninden;

$$\angle AIB = \frac{\pi}{2} (\psi_o + \psi + \phi) \quad \angle IAO_f = \frac{\pi}{2} + \phi$$

Sinüs teoremi uygulanırsa; $\frac{\overline{AO}_f}{\sin \angle AIB} = \frac{\overline{IO}_f}{\sin \angle IAO_f}$

$$\sin \left(\frac{\pi}{2} + \phi \right) = \cos \phi \text{ için ve,}$$

$$\sin \left[\frac{\pi}{2} - (\phi + \psi_o + \psi) \right] = \cos(\psi_o + \psi + \phi) \text{ olduğundan}$$

$$\frac{r_R}{\cos(\phi + \psi_o + \psi)} = \frac{(r_A + b)}{\cos \phi}$$

$$r_R \cdot \cos \phi = (r_A + b) \cdot \cos(\phi + \psi_o + \psi)$$

$$r_{A+b} = \frac{r_A}{1-\psi'} \quad , \quad (r_A + b) \text{ yerine } \frac{r_A}{1-\psi'} \text{ konursa}$$

$$r_R (1-\psi') \cos \phi = r_A \cos(\phi + \psi_o + \psi) \text{ olur.}$$

$\cos(a+b) = \cos a \cdot \cos b - \sin a \cdot \sin b$ bağıntısından faydalanılırsa,

$$r_R \cdot (1-\psi') \cdot \cos \phi = r_A \cos \phi \cdot \cos(\psi_o + \psi) - \sin \phi \cdot \sin(\psi_o + \psi)$$

$$r_R \cdot \sin(\psi_o + \psi) \cdot \sin \phi = r_A \cdot \cos(\psi_o + \psi) - r_R \cdot (1-\psi') \cdot \cos \phi \text{ olur.}$$

O zaman, basınç açısı formülü;

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{r_A \cdot \cos(\psi_o + \psi) - r_R (1-\psi')}{r_A \cdot \sin(\psi_o + \psi)} \right], \text{ veya}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[\tan(\psi_o + \psi) - \left(\frac{r_R}{r_A} \right) \cdot \frac{(1-\psi')}{\sin(\psi_o + \psi)} \right]$$

$$r \cdot \cos(\theta + \alpha) = r_R \cdot \cos(\psi_0 + \psi) + (\rho_c - e) \cdot \sin(\psi_0 + \psi) - r_A$$

$$r \cdot \sin(\theta + \alpha) = r_R \cdot \sin(\psi_0 + \psi) - (\rho_c - e) \cdot \cos(\psi_0 + \psi) \text{ olur.}$$

θ' 'ya göre diferansiyeli alınabilir.

$$\frac{dr}{d\theta} \cos(\theta + \alpha) - r \cdot \sin(\theta + \alpha) \left(1 + \frac{d\alpha}{d\theta}\right) = \frac{dr_R}{d\theta} \cos(\psi_0 + \psi) -$$

$$r_R \cdot \sin(\psi_0 + \psi) \cdot \frac{d\psi}{d\theta} + \frac{d\rho_c}{d\theta} \sin(\psi_0 + \psi) + (\rho_c - e) \cdot \cos(\psi_0 + \psi) \cdot \frac{d\psi}{d\theta}$$

$$\frac{dr}{d\theta} \sin(\theta + \alpha) + r \cdot \cos(\theta + \alpha) \cdot \left(1 + \frac{d\alpha}{d\theta}\right) = \frac{dr_R}{d\theta} \cdot \sin(\psi_0 + \psi) +$$

$$r_R \cdot \cos(\psi_0 + \psi) \cdot \frac{d\psi}{d\theta} - \frac{d\rho_c}{d\theta} \cdot \cos(\psi_0 + \psi) + (\rho_c - e) \sin(\psi_0 + \psi) \frac{d\psi}{d\theta}$$

$$\frac{dr}{d\theta} = 0, \quad \frac{d\alpha}{d\theta} = 0, \quad \frac{d\rho_c}{d\theta} = 0 \text{ ve } \frac{d\psi}{d\theta} = \psi', \quad \frac{dr_R}{d\theta} = r'_R \text{ olduğu için;}$$

$$-r \cdot \sin(\theta + \alpha) = r'_R \cdot \cos(\psi_0 + \psi) - r_R \cdot \psi' \cdot \sin(\psi_0 + \psi) + (\rho_c - e) \cdot \psi' \cdot \cos(\psi_0 + \psi)$$

$$r \cdot \cos(\theta + \alpha) = r'_R \cdot \sin(\psi_0 + \psi) + r_R \cdot \psi' \cdot \cos(\psi_0 + \psi) + (\rho_c - e) \cdot \psi' \cdot \sin(\psi_0 + \psi)$$

Bu şekilde, dört adet eşitlik elde edilir.

$$r \cdot \cos(\theta + \alpha) = r_R \cdot \cos(\psi_0 + \psi) + (\rho_c - e) \cdot \sin(\psi_0 + \psi) - r_A$$

$$r \cdot \sin(\theta + \alpha) = r_R \cdot \sin(\psi_0 + \psi) - (\rho_c - e) \cdot \cos(\psi_0 + \psi)$$

$$r \cdot \sin(\theta + \alpha) = -r'_R \cdot \cos(\psi_0 + \psi) + r_R \cdot \psi' \cdot \sin(\psi_0 + \psi) - (\rho_c - e) \psi' \cdot \cos(\psi_0 + \psi)$$

$$r \cdot \cos(\theta + \alpha) = r'_R \cdot \sin(\psi_0 + \psi) + r_R \cdot \psi' \cdot \cos(\psi_0 + \psi) + (\rho_c - e) \psi' \cdot \sin(\psi_0 + \psi)$$

$(\theta + \alpha)$ ve r yok edilirse;

İzleyici kol uzunluğu formülü;

$$r_R = r_A \frac{\cos(\psi_0 + \psi)}{(1 - \psi')} \text{ olur.}$$

Bu formülün diferansiyeli alınır;

$$r'_R = - \frac{r_A}{(1 - \psi')} \left[\psi' \cdot \sin(\psi_0 + \psi) + \frac{\psi''}{1 - \psi'} \cos(\psi_0 + \psi) \right]$$

Bu eşitlik ve yukarıdaki formüller kullanılarak, eğrilik yarıçapı formülü:

$$\rho_c = \frac{r_\Lambda}{(1-\psi')^2} \cdot \left[(1-2\psi') \cdot \sin(\psi_0 + \psi) - \frac{\psi''}{(1-\psi')} \cdot \cos(\psi_0 + \psi) \right] + e$$

olarak elde edilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Baxter, M., 1948, Curvature-acceleration relations for plane cams, Transaction of the ASME, Journal of applied mechanics, 490 p.
- Chen, F., 1973, Kinematic synthesis of cam profiles for prescribed acceleration by a finite integration method, Transaction of the ASME, Journal of engineering for industry, 524 p.
- Chen, F., 1982, Mechanics and design of cam mechanisms, Pergomon Press Inc, New York, 700 p.
- Churchill, F. and Hanson, R.S., 1962, Theory of envelopes provides new cam design equations, product engineering, 300 p.
- El-Shakery, S.A. and Terauchi, Y., 1983, A computer-aided method for optimum design of plate cam size avoiding undercutting and separation phenomena-I, Mechanism and machine theory, 200 p.
- Green, W.G., 1964, Theory of machines, Blackie and Son Limited, London, 250 p.
- Kloomok, M. and Muffley, R.V., 1955, Plate cam design-pressure angle analysis, Product engineering, 250 p.
- Kloomok, M. and Muffley, R.V., 1956, Determining of pressure angles for swinging follower cam systems, Transactions of the ASME, 900 p.
- Rothbart, H.A., 1956, Cam-design, dynamics and accuracy, John Wiley and Sons Inc, New York, 500 p.
- Shigley, J.E. and Uicker, J.J., 1980, Theory of machines and mechanism, Mc Graw Hill Book Co., New York, 300 p.
- Söylemez, E., 1979, Mechanism, METU Publications, No:64, Ankara, 400 p.
- Wikes, J.O. and Carnahan, B. and Luther, H.A., 1960, Applied numerical Methods, Wiley, New York, Chapter-2, 350 p.

