

FRENLER

FRENLER

Frenler çalışmaları itibariyle kavramalara benzerler. Kavramalar bir hareketin veya momentin diğer tarafa iletilmesini sağlarlar ve kısa bir süre içinde iki taraftaki hızlar birbirine eşit olur. Frenler ise bir taraftaki hareketi durdurma ya da yavaşlatma görevini yaparlar.

Her iki amaç içinde sürtünme sıvı-gaz enerjisini ve elektromanyetik alan gibi fiziksel prensipler uygulanır.

FRENLER

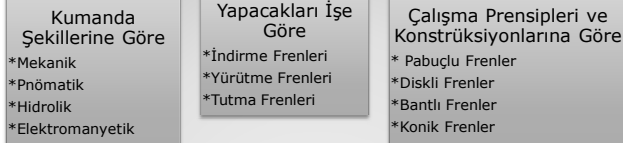
FRENLER

Frenler durdurma sırasında dönmekte olan bütün elemanların kinetik enerjisini yuttuğundan sıcaklık problemi kavramalarinkinden daha büyük önem taşımaktadır.

Fiziksel prensipleri aynı olduğundan bir kavrama fren, frende kavrama olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, pabuçlu, bantlı veya diskli gibi bazı özel konstrüksiyonlar fren için daha çok tercih edilen sistemlerdir.

FRENLER

FRENLER

FRENLERİN
SINIFLANDIRILMASI

FRENLER

FRENLER

İndirme Frenleri: Yükün hızlı inişini engelleyen frenlerdir. Yükün kinetik ve potansiyel enerjisini harcayarak çalışırlar.

Yürütme Frenleri: Hareket halindeki bir sistemin, örneğin; bir taşıtın hızını yavaşlatan frenlerdir. Kinetik enerji harcayarak görev yaparlar.

Tutma Frenleri: Herhangi bir yükün yerçekimi etkisiyle inişini engelleyen frenlerdir. Potansiyel enerji harcayarak görev yaparlar.

FRENLER

FRENLER

Enerji denklemi:

$$W_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Dönme hareketi yapan bir sistemin kinetik enerjisi:

$$W_{kw} = \frac{1}{2} \times I_m \times \omega^2 \quad I_m = \text{kütlesel atalet momenti}$$

FRENLER

FRENLER

Durdurma sırasında meydana gelen potansiyel enerji:

$$W_p = m \times g \times V_0 \times t \quad V_0 = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad \begin{array}{l} V_1 = \text{Başlangıç hızı} \\ V_2 = \text{Son hız} = 0 \end{array}$$

$$W_p = \frac{1}{2} \times m \times g \times V \times t \quad h = V \times t \quad \begin{array}{l} t = \text{frenleme süresi} \end{array}$$

$$W_p = \frac{1}{2} \times m \times g \times h$$

Böylece durma fonksiyonu yapan bir frenin yutması gereken enerji;

$$W_{top} = W_k + W_{kw} + W_p$$

Frenleme sırasında bu enerji ısıya dönüşür.

FRENLER

FRENLER

Pabuçlu Frenler

Pabuçlu Frenler, dıştan pabuçlu ve içten pabuçlu olmak üzere iki türdür. Esas olarak üç elemandan oluşmuşlardır.

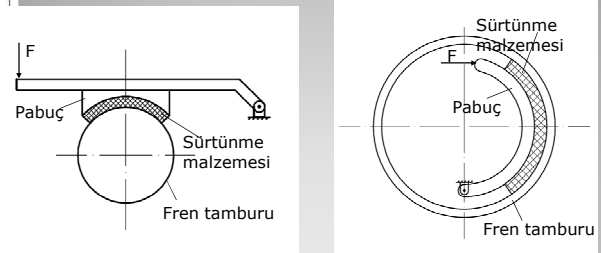
- ✓Sürtünme elemanı
- ✓Fren pabucu ve takozu
- ✓Fren tamburu

Pabuç adedine göre tek veya çift pabuçlu olarak adlandırılır.

7

FRENLER

FRENLER



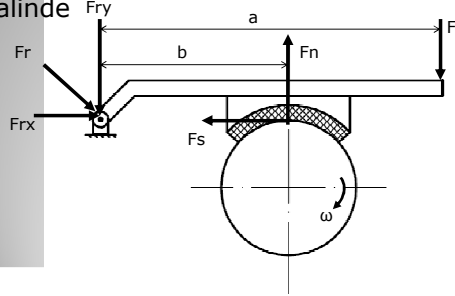
8

FRENLER

FRENLER

Dıştan Pabuçlu Frenler

Sürtünme yüzeyi boyunca basıncın eşit yayılışı halinde



9

FRENLER

FRENLER

Temas yüzeylerinde meydana gelen normal kuvvet;

$$F_n = P \times b_1 \times l$$

b₁= pabuç genişliği

l= pabuç uzunluğu

O1 mafsal noktasına göre moment alınırsa;

$$\Sigma M_{O1} = 0$$

$$F \times a - F_n \times b + F_s \times 0 = 0$$

$$F_n = F \times \frac{a}{b}$$

$$F_s = \mu \times F_n$$

10

FRENLER

FRENLER

Frenleme Momenti;

$$M_F = F_s \times \frac{D}{2}$$

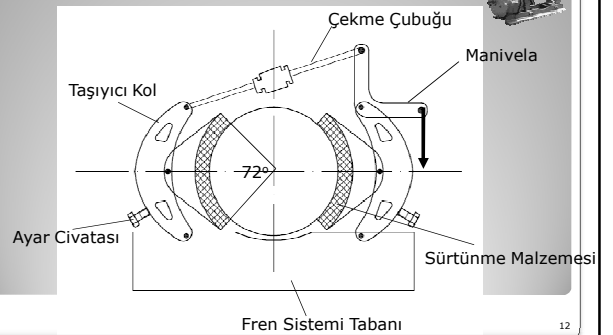
$$M_F = F_n \times \mu \times \frac{D}{2}$$

$$M_F = F \times \frac{a}{b} \times \mu \times \frac{D}{2}$$

11

FRENLER

FRENLER

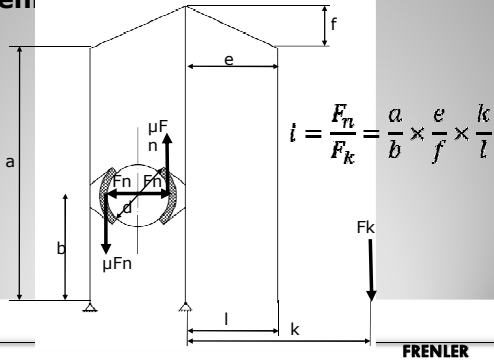
Çift Pabuçlu Frenler

12

FRENLER

FRENLER

Çift Pabuclu Fren



FRENLER

13

FRENLER

Frenlemenin olması için $M_s \geq M_d$ olmalıdır.

$$M_s = F_n \times \mu \times d$$

$$F_n = F_k \times i \times \eta$$

$$i = \frac{F_n}{F_k} = \frac{a}{b} \times \frac{e}{f} \times \frac{k}{l}$$

$$i = (6 + 15)$$

$$M_s = s \times M_d$$

$$s = (1,5 + 3)$$

FRENLER

14

FRENLER

Pabuclu Frenler İçin Bazı Karakteristik Malzemeler ve Özellikleri

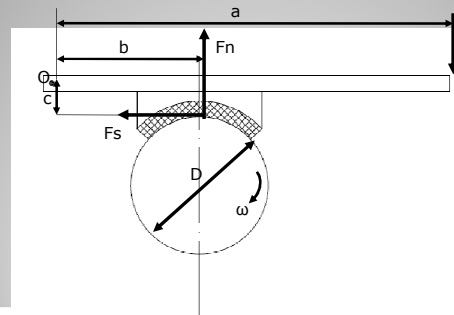
Balata Malzemesi	Tambur	Max. Sıcaklık C	Pmax (N/cm ²)	μ
Dökme Demir	Dökme Demir	260-300	80-150	0,15-0,25
Odun	Dökme Demir	100	5-50	0,2-0,35
Odun	Çelik	100	5-50	0,25-0,35
Asbest Dokuma	Çelik-D.D	200	5-100	0,3-0,5
Preslenmiş Asbest	Çelik-D.D	250	5-800?	0,2-0,4
Cu ve Fe Bazlı Sinter Metal	Çelik-D.D	300-600	5-150	0,15-0,35

FRENLER

15

FRENLER

Kendi Kendine Kilitlenme Durumu



FRENLER

16

FRENLER

$$\sum M_o = 0$$

$$F \times a - F_n \times b + F_s \times c = 0$$

$$F \times a - F_n \times b + \mu \times F_n \times c = 0$$

$$F_n = F \times \frac{a}{b - \mu \times c}$$

$$M_F = \mu \times F \times \frac{a}{b - \mu \times c} \times \frac{D}{2}$$

FRENLER

17

FRENLER

F_t = çevresel kuvvet

$$M_F = F_t \times \frac{D}{2}$$

$$F_t = \mu \times F \times \frac{a}{b - \mu \times c}$$

$$\mu = \frac{b}{c} \text{ için kendi kendine kilitlenme olur}$$

FRENLER

18

FRENLER

Tamburun dönüş yönü ters olursa sürtünme kuvveti yön değiştirerek

$$F_n = F \times \frac{a}{b + \mu \times c}$$

$$M_F = \mu \times F \times \frac{a}{b + \mu \times c} \times \frac{D}{2} \text{ olur.}$$

1. halde F_s kuvveti kendiliğinden bir frenleme momenti oluşturur. (kendi kendine kilitlenme)

FRENLER

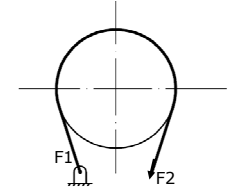
19

FRENLER

Bantlı Frenler

Basit bir konstrüksiyona sahip olan bantlı frenler küçük frenleme momentlerinde kullanılırlar. Bantlı frenler bir fren tamburu ile bir yüzünde sürtünme malzemesi bulunan çelik bir banttandır meydana gelir.

Bant ucunun kumanda koluna bağlanış şekline göre; basit, diferansiyel ve integral bantlı frenler mevcuttur.



FRENLER

20

FRENLER

Euler' e göre

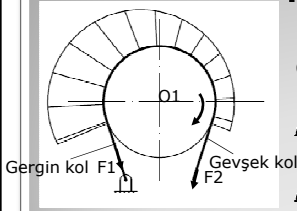
$$F_1 = F_2 \times e^{\mu\beta}$$

F_1 ve F_2 ' nin O_1 noktasına göre momenti, frenleme momenti

$$M_F = (F_1 - F_2) \times \frac{D}{2}$$

$$M_F = F_1 \times \frac{(e^{\mu\beta} - 1)}{e^{\mu\beta}} \times \frac{D}{2}$$

$$M_F = F_2 \times (e^{\mu\beta} - 1) \times \frac{D}{2}$$



FRENLER

21

FRENLER

Basit Bantlı Frenler

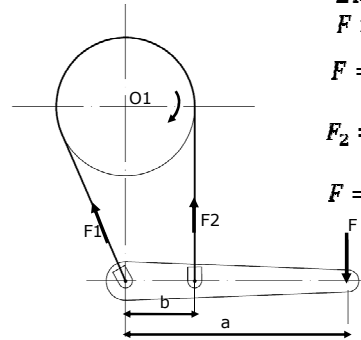
$$\Sigma M_{O1} = 0$$

$$F \times a - F_2 \times b = 0$$

$$F = F_2 \times \frac{b}{a}$$

$$F_2 = \frac{2 \times M_F}{(e^{\mu\beta} - 1) \times D}$$

$$F = \frac{2 \times M_F}{D} \times \frac{1}{(e^{\mu\beta} - 1)} \times \frac{b}{a}$$



Uçlardan biri mafsala diğeri fren koluna bağlanır.

FRENLER

22

FRENLER

Dönme ters yönde olur ise F_1 ve F_2 kuvvetleri yer değiştirir.

$$F = F_1 \times \frac{b}{a}$$

$$F = \frac{2 \times M_F}{D} \times \frac{e^{\mu\beta}}{(e^{\mu\beta} - 1)} \times \frac{b}{a}$$

FRENLER

23

FRENLER

Diferansiyel Bantlı Frenler

Saat ibresi dönüş yönü için

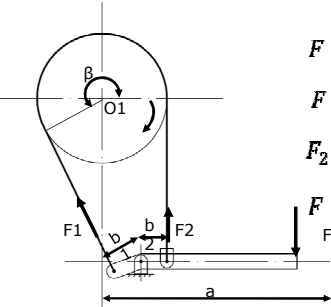
$$\Sigma M_{O1} = 0$$

$$F \times a - F_2 \times b_2 + F_1 \times b_1 = 0$$

$$F = \frac{F_2 \times b_2 - F_1 \times b_1}{a}$$

$$F_2 = \frac{(b_2 - b_1 \times e^{\mu\beta})}{a} \text{ veya}$$

$$F = \frac{2 \times M_F}{D} \times \frac{a}{a \times (e^{\mu\beta} - 1)}$$



Uçların her ikisinde fren koluna bağlanır.

FRENLER

24

FRENLER

$$b_2 \leq b_1 \times e^{\mu\beta} \text{ olur}$$

$$F \leq 0 \text{ olur ise}$$

Bu ise bir kuvvet olmadığı halde frenin kendiliğinden tutması yani kilitlenmesi demektir.

Fren tertibatının dönmesi halinde gergin kol ve gevşek kol yer değiştirir.

$$F \times a - F_1 \times b_2 + F_2 \times b_1 = 0$$

$$F = \frac{2 \times M_F}{D} \times \frac{(b_2 \times e^{\mu\beta} - b_1)}{a \times (e^{\mu\beta} - 1)}$$

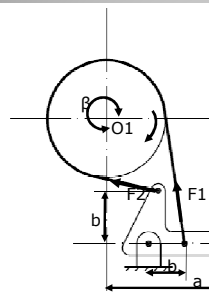
Bu durumda aynı frenleme momenti için daha büyük bir F kuvveti gerekir.

FRENLER

25

FRENLER

İntegral Bantlı Frenler



Her iki dönme yönünde frenleme kuvvetinin aynı olması istenildiğinde bu frenler kullanılır.

$$F = \frac{(F_1 + F_2) \times b_1}{a}$$

$$F = \frac{2 \times M_F}{D} \times \frac{e^{\mu\beta} + b_1}{e^{\mu\beta} - 1} \times \frac{b}{a}$$

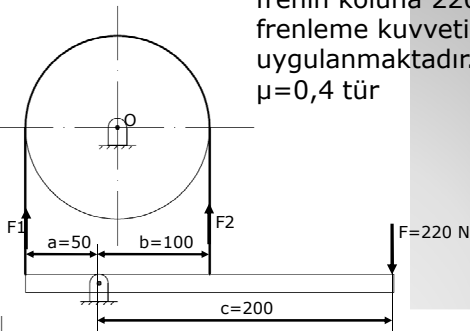
FRENLER

26

FRENLER

Problem

Şekildeki diferansiyel bantlı frenin koluna 220 N luk frenleme kuvveti uygulanmaktadır. $\mu=0,4$ tür



FRENLER

27

FRENLER

- Tambura saat ibresi yönünde 450 N.m lik döndürme momenti uygulandığında banttaki maksimum ve minimum kuvvetleri hesaplayınız.
- Saat ibresinin tersine dönüş için gerekli fren momenti ne olur?

FRENLER

28

FRENLER

- Saat ibresi yönünde fren kilitlenmiş durumda ise;

$$F_1 \times a = F_2 \times b$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{b}{a} \leq e^{\mu\beta} \text{ olması gerekir}$$

$$\mu = 0.4 \text{ ve } \beta = 180^\circ \text{ is}$$

$$e^{\mu\beta} = 3,5$$

$$\frac{b}{a} = \frac{100}{50} \text{ Bu durumda fren kritik kilitlenmiş durumdur.}$$

FRENLER

29

FRENLER

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\beta} \text{ den yararlanarak kuvvetleri bulamayız.}$$

$$\Sigma M_O = 0$$

$$F_1 \times 0.075 - F_2 \times 0.075 - 450 = 0$$

$$F_1 - F_2 = \frac{450}{0.075} = 6000$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$50 \times F_1 - 100 \times F_2 + 220 - 200 = 0$$

$$F_1 - 2 \times F_2 = -880 \text{ N}$$

$$F_2 = 6880 \text{ N } F_1 = 12880 \text{ N}$$

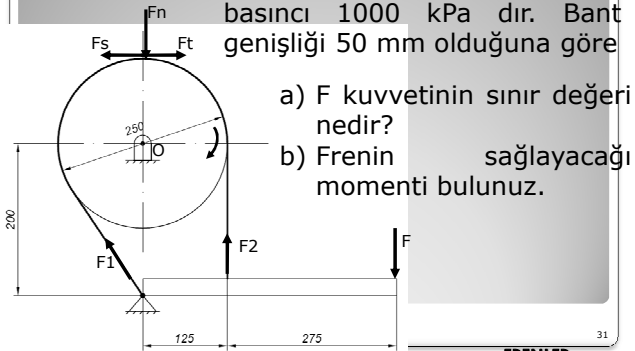
FRENLER

30

FRENLER

Problem

Şekildeki bantlı frende sürtünme katsayısı $\mu=0,3$ tür ve bantın maksimum çalışma basıncı 1000 kPa'dır. Bant genişliği 50 mm olduğuna göre



- F kuvvetinin sınır değeri nedir?
- Frenin sağlayacağı momenti bulunuz.

FRENLER

31

FRENLER

$$a) P = 1000 \text{ kPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$F_n = P \times b \times D = 1 \times 50 \times 250$$

$$F_n = 12500 \text{ N}$$

$$F_s \geq F_t \text{ olmalı } \mu \times F_n > F_1 - F_2$$

$$F_1 - F_2 = \mu \times F_n = 0,3 \times 12500 = 3750 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2 \times e^{\mu\beta}$$

$$\beta = 225^\circ e^{\mu\beta} = 3,2481$$

$$F_2 \times (e^{\mu\beta} - 1) = 3750 \text{ N}$$

$$F_2 = 1668 \text{ N}$$

$$F_1 = 5418 \text{ N}$$

FRENLER

32

FRENLER

$$F \times 400 - F_2 \times 125 = 0$$

$$F = 1668 \times \frac{125}{400} = 521,2 \text{ daN}$$

$$b) M_F = F \times (e^{\mu\beta} - 1) \times \frac{a}{b} \times \frac{D}{2}$$

$$M_F = 521,2 \times (e^{0,3 \times 3,92} - 1) \times \frac{400}{125} \times 125$$

$$M_F = F_2 \times (e^{\mu\beta} - 1) \times \frac{D}{2} = 468747,2 \text{ N} \times \text{mm}$$

Not: $\beta = 225^\circ$ değildir. β' nın gerçek değerini bulunuz.

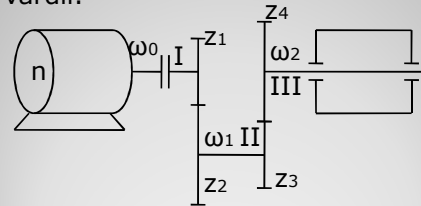
FRENLER

33

FRENLER

Fren Momentinin Hesaplanması

Frenlerin görevi hareketi durdurmak olduğuna göre sistemde motor miline bağlanmasında yarar vardır.



FRENLER

34

FRENLER

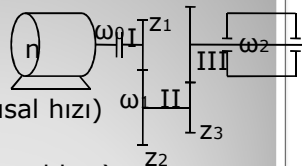
Dişliler arasındaki çevrim oranı

$$i_1 = \frac{Z_2}{Z_1} \quad i_2 = \frac{Z_4}{Z_3}$$

$$i = i_1 \times i_2$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_0}{i_1} \quad (\text{II. milin açısal hızı})$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_0}{i_1 \times i_2} \quad (\text{III. milin açısal hızı})$$



FRENLER

35

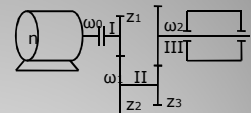
FRENLER

$$P = M \times \omega \text{ den}$$

$$M_0 = \frac{P}{\omega_0} \text{ Motor milindeki döndürme momenti}$$

$$M_1 = \frac{P}{\omega_1} \text{ II. mildeki döndürme momenti}$$

$$M_2 = \frac{P}{\omega_2} \text{ III. mildeki döndürme momenti}$$



FRENLER

36

FRENLER

Bu sonuçlardan motor milindeki döndürme momentinin en düşük olduğu görülmektedir. Frenin mili durdurması için döndürme momentini yenmesi gereklidir. Bu nedenle frenin döndürme momentinin en küçük olduğu mile takılmasında yarar vardır.

Fren momenti : $M_{FR} = M^* \times \eta \times S$

M^* : frenin takıldığı mile indirgenmiş tahrik momenti

Fren motor miline takılı ise $M^* = M_{mot}$ alınır.

FRENLER

37

FRENLER

η : sistem verimi ($\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \dots$) fren mili ile kaldırma mekanizması arasında ne kadar dişli v.b. mekanizma varsa bunların sürtünme kayıplarının fren momentini azaltıcı yönde faydaları vardır.

S: fren emniyet katsayısı

S: 1,3...1,5 (elle çalışan makinelerde)

S: 2...3 (motorlu kaldırma makinelerinde)

S: 3...4 (kepçeli ve büyük kaldırma makinelerinde)

FRENLER

38

FRENLER

Kaldırma (Tutma) Frenlerinin Hesabı

$$M_{FR} = M_Y + M_{\dot{O}} + M_D$$

M_Y : Yük momenti

$M_{\dot{O}}$: Öteleme hareketini durdurma momenti

M_D : Dönen kütleleri durdurma momenti

$$M_Y = F_{HT} \times \frac{D}{2 \times i}$$

F_{HT} : Tambura etki eden toplam halat kuvveti

D : Tambur çapı

i : frenin takıldığı mil ile tambur mili arasındaki çevrim oranı

FRENLER

39

FRENLER

$$M_{\dot{O}} = m \times a_f \times \frac{D}{2 \times i}$$

$$M_{\dot{O}} = \frac{F_{HT}}{g} \times \frac{v}{t_f} \times \frac{D}{2 \times i}$$

m: halat yükü

v : Frenleme başlangıcı ve bitimi arasındaki halat hızı

a_f : Frenleme ivmesi

t_f : Frenleme ivmesi (2...5 sn)

$$a_f = \frac{V}{t_f} \quad V = V_{\dot{O}} - V_f$$

$V_{\dot{O}}$: Öteleme Hızı

FRENLER

40

FRENLER

$$M_D = \Sigma I^* \times \varphi$$

I^* : Dönen kütlelerin fren miline indirgenmemiş kütsel atalet momentleri

φ : Frenleme başlangıcı ve bitimi arasındaki halat hızı

$$\varphi = \frac{2 \times \pi \times n_f}{t_f}$$

$$I^* = \frac{I}{i_{top}}$$

FRENLER

41

FRENLER

Dönen kütlelerin kütsel atalet momentleri savurma momenti cinsinden alınabilir.

$$I = \frac{GD^2}{4 \times g} \quad GD^2 : \text{savurma momenti}$$

$$GD^2 = \frac{\pi}{8} \times \gamma \times b \times D^4 \times N \times m^2$$

$$M_D = \frac{GD^2}{4 \times g \times i} \times \frac{2 \times \pi \times n_f}{t_f}$$

n_f : fren milinin frenleme başlangıcı ve bitimi arasındaki devir farkı

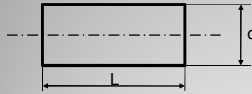
FRENLER

42

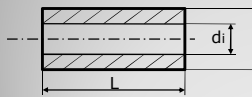
FRENLER

Kütlesel Atalet Momentleri

Dönme merkezine göre:



$$I = \frac{1}{8} \times m \times d^2$$



$$I = \frac{1}{8} \times m \times (d_d^2 + d_i^2)$$



$$I = \frac{m}{3} \times \frac{R^3 - r^3}{h}$$

FRENLER

43

FRENLER

Kütlesel atalet momenti $\int r^2 dm$ $dm = \pi \times 2 \times r \times dr \times \rho$

Kütle $m = 2 \times \pi \times l \times \rho \int_{r_1}^{r_2} r^3 dr$

$= 2 \times \pi \times l \times \rho \times \frac{r^4}{4} \Big|_{r_1}^{r_2}$

$= \frac{2 \times \pi}{4} \times l \times \rho \times (r_2^4 - r_1^4)$

$= \frac{2}{4} \times l \times \rho \times \pi \times (r_2^2 - r_1^2) \times (r_2^2 + r_1^2)$

$I = \frac{1}{8} \times m \times (d_d^2 + d_i^2)$

FRENLER

44

FRENLER

Öteleme Hareketi İçin Fren Momenti

$$M_{FT} = M_{\dot{\theta}} + M_D + M_R - M_W$$

 $M_{\dot{\theta}}$: Öteleme hareketini durdurma momenti M_D : Dönen kütleleri durdurma momenti M_R : Statik rüzgar momenti M_W : Direnç momenti

FRENLER

45

FRENLER

$$M_{\dot{\theta}} = \frac{G_{top}}{g} \times \frac{\Delta v}{t_f} \times \frac{D}{2 \times i}$$

$$a_f = \frac{\Delta v}{t_f} : \text{frenleme ivmesi}$$

$$a_f = 1,3 \text{ m/s}^2 \text{ (tüm tekerleri tahrikli)}$$

$$a_f = 0,7 \text{ m/s}^2 \text{ (iki teker tahrikli)}$$

 G_{top} : Araba + (veya) köprü tarafından taşınan toplam yük

D: Teker çapı

i: Teker ile fren mili arasındaki dişli mekanizmanın çeyrim oranı

$$\Delta v = V_0 - V_f \quad V_0 : \text{Öteleme hızı}$$

$$V_f : \text{Frenleme sonundaki hız}$$

FRENLER

46

FRENLER

$$M_D = \frac{GD^2}{4 \times g \times i} \times \frac{2 \times \pi \times n_f}{t_f}$$

 M_R : Kapalı yerde sıfır

$$M_R = F_R \times \frac{D_T}{2 \times i} \quad F_R = A \times P_R$$

A: Rüzgara dik kesit

 P_R : Rüzgar basıncı

$$M_W = F_N \times \frac{D}{2 \times i} \quad F_N : \text{Toplam direnç kuvveti}$$

FRENLER

47