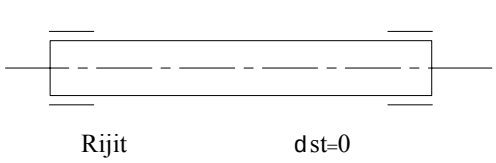
DENGELEME

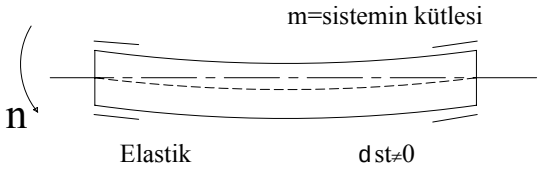
1.) Kütle dengelemesi
2.) Periyodik çevrimli makinaların dengelenmesi (Krank-Biyel)
3.) Güç dengelenmesi (Volan dengelenmesi)

1.) Kütle Dengelenmesi :

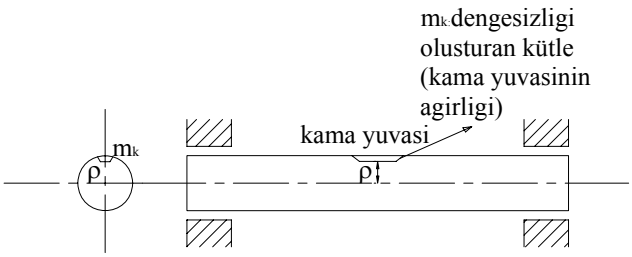
Makine mühendisliğinde bütün dönen makine parçalarının adına rotor denilmektedir. Örneğin; miller, dişli çarklar, kasnaklar vs. Bütün bu elemanların dönme ekseni ile ağırlık merkezinden geçen eksenin çakışması gerekir. Aksi takdirde dönme hızları arttıkça kütle atalet kuvvetleri (merkezkaç kuvvetleri , santrifüj kuvvetleri) ve bunların meydana getirecekleri eğilme momentleri ile dönme momentleri konstrüksiyon için büyük problemler oluştururlar. Bundan dolayı, rotorların dönme ekseni ile ağırlık merkezinden geçen eksenin çakışmasını sağlayabilmek için kütle atalet kuvvetlerinin dengelenmesi gerekmektedir.

Rotorlar iki sınıfa ayrılır :
1.) Rijit Rotor : Dönme hareketi esnasında hiçbir deformasyon yapmadığı kabul edilir.
2.) Elastik Rotor : Dönme hareketi esnasında azda olsa üzerinde deformasyonların oluştuğu kabul edilen rotor.

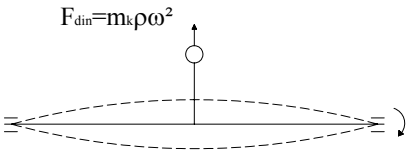




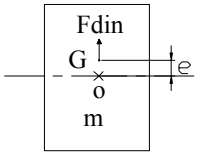
1)



≡ Kons. el.



2) Eksen Kaçikligi
$F_{din}=m_k\rho\omega^2$



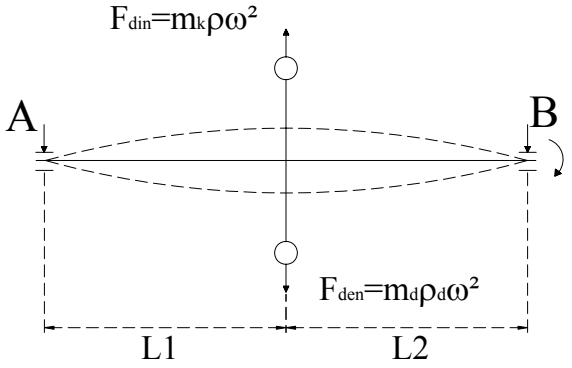
Fiziksel Model

$F_{din} = m.\rho.\upsilon^2 = m.e.\omega^2$ (santrifüj kuvvet) ρ=e= eksen kaçıklığı

$\upsilon = \omega = \frac{\pi.n}{30}\left(\text{rad}/\text{sn}\right)$ $m.\rho$ = dengelenmemiş büyüklük

Ağırlık merkezi kaydığından dolayı bu rotor üzerinde dengesizlik meydana gelecektir. Dolayısıyla bu dengelenmemiş büyüklüğün bir dengeleme büyüklüğü ile dengelenmesi gerekmektedir.

$m_d.\rho_d$ = dengeleme büyüklüğü

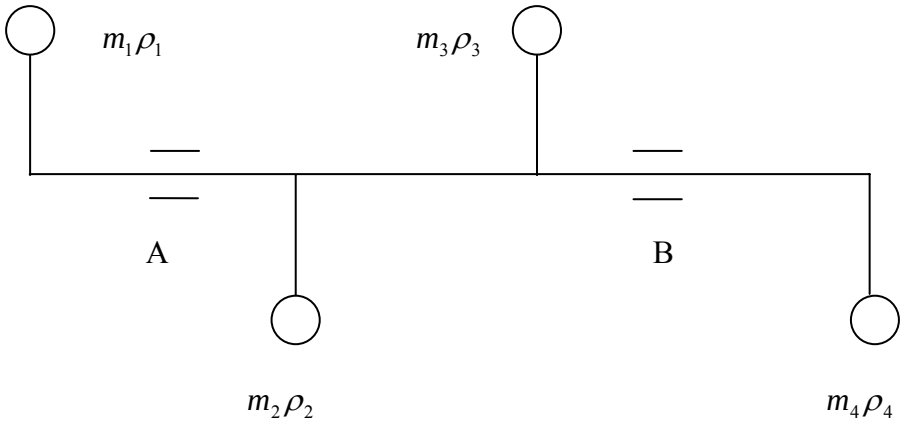


$A + B = F_{din}$

$F_{din} = F_{den} \quad \rightarrow \quad A_{din} = B_{din} = 0$

$(m_k.\rho).\omega^2 = (m_d.\rho_d).\omega^2 \quad \rightarrow \quad (m_k.\rho) = (m_d.\rho_d)$

Pratikte dönen elemanların meydana getirdikleri kütle atalet kuvvetleri, yataklarda dinamik kuvvet olarak ortaya çıkacaktır. Bu durumda, yatak kuvvetlerini sıfır ($A_{din} = B_{din} = 0$) yapabildiğimiz taktirde ideal (en mükemmel) dengeleme yapılmış olacaktır.



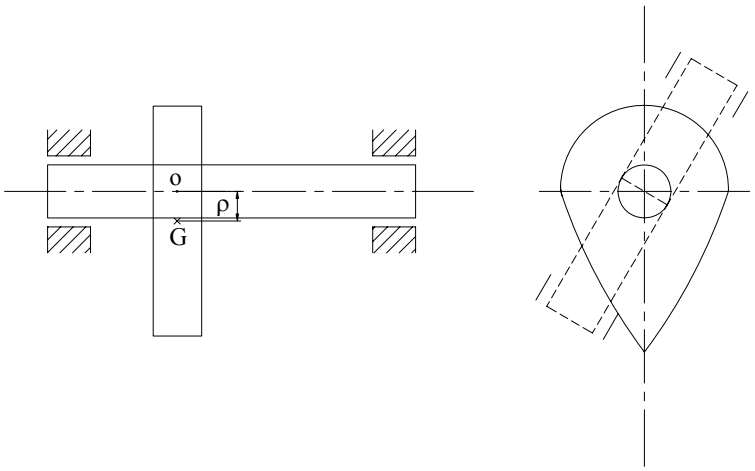
$A_{din} = 0$ $B_{din} = 0$

Rotorların dengelenmesi sonucunda dengeleyemediğimiz kalıcı artık kütle atalet kuvvetleri olacaktır. Bu durumda, standartlar atalet kuvvetlerinin doğurduğu titreşimlerin hızlarının sınırlarını belirlemiştir. Bu hız sınırı aşağıda verilmiştir.

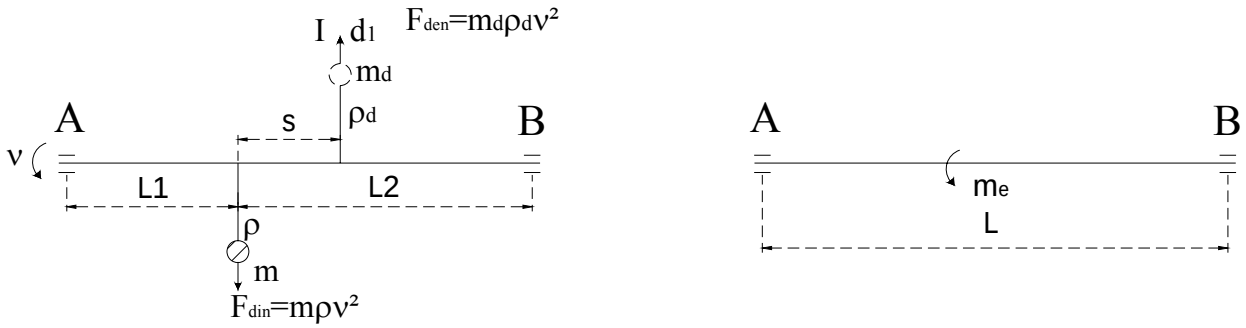
Titreşim hızı $e.\upsilon = \frac{dx}{dt}(\text{mm/s}) = \rho.\omega$

Rotor	Titreşim Hızı ($e.\upsilon$)
Otomobil tekerleği	40 mm/s
Santrifüj pompa	6,5 mm/s
Uçak tahrik sis. rotoru	2,5 mm /s
Taşlama tezgahı mili	0,4 mm/s

I.) Statik Dengeleme ($\sum F = 0$ ve $\sum M \neq 0$)



Dengelenmemiş $m.\rho$ büyüklüğünü dengelemek için karşısına aynı doğrultuda $m_d.\rho_d$ dengeleme büyüklüğünü yerleştirmek ve böylece dengelemeyi gerçekleştirmek her zaman mümkün olmayabilir. (Örnek: Kam Mili)



$$\sum F = 0 \quad \rightarrow \quad F_{din} = F_{den}$$

$$m.\rho.\upsilon^2 = m_d.\rho_d.\upsilon^2 \quad \rightarrow \quad m.\rho = m_d.\rho_d$$

$$\sum m \neq 0 \quad \rightarrow \quad m_e = F_{din}.s = F_{den}.s$$

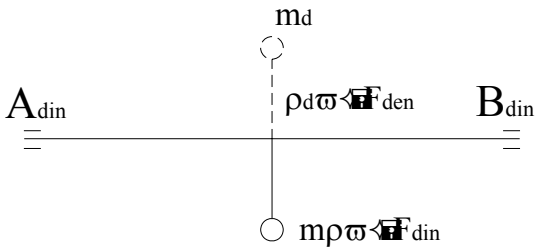
$$M_e = A_{din}.(l_1 + l_2) = B_{din}.(l_1 + l_2) = F_{din}.s = m\rho.\upsilon^2.s$$

$$A_{din} = B_{bin} = \frac{m\rho.\upsilon^2.s}{l_1 + l_2} = \frac{F_{din}.s}{l_1 + l_2}$$

Tek düzlemde dengeleme yapıldığından burada mükemmel dengeleme yapılamamıştır. Yalnız kuvvetler dengelenmiş olup momentler dengelenmemiştir. Dolayısıyla $A_{din} \neq 0$ $B_{bin} \neq 0$ dır. Bu şekilde, ideal dengelemenin olmadığı duruma statik dengeleme denilir.

II.) Dinamik Dengeleme : $\sum F = 0$ ve $\sum M = 0$

A) s=0 (Aynı düzlemde dengeleme)



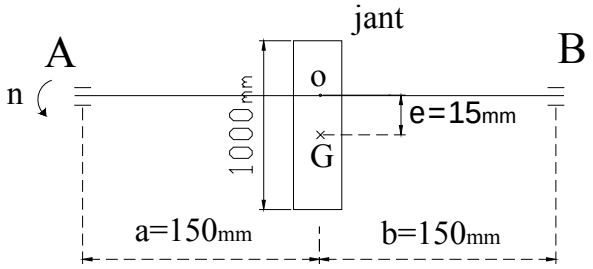
$A_{din} = 0$, $B_{bin} = 0$

$\sum F = 0$, $\sum M = 0$

$F_{din} = F_{den}$

$m\rho = m_d \rho_d$

Örnek:

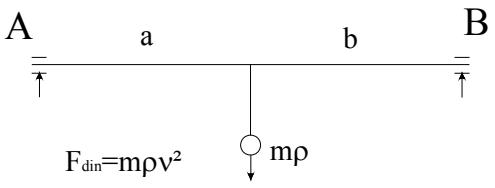


n=1200 d/dak

a) Tekerlek üzerinde yataklara gelen dinamik kuvvetleri hesaplayınız.
b) Bu sistemin dengelenmesini gerçekleştiriniz.

Çözüm:

a)



$$F_{din} = m.\rho.\upsilon^2$$

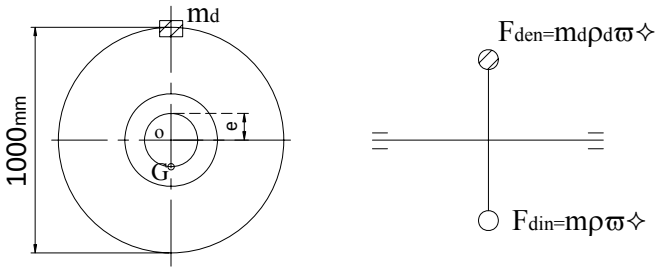
$$F_{din} = \frac{100}{9{,}81}.15.10^{-3}.\left(\frac{\pi.1200}{30}\right)^2$$

$$F_{din} = 2414{,}5\ \text{N}$$

$$A_{din} = B_{din} = \frac{F_{din}}{2} = 1207{,}25\ \text{N}$$

b)

I-) İlave kütle koyarak dengeleme :



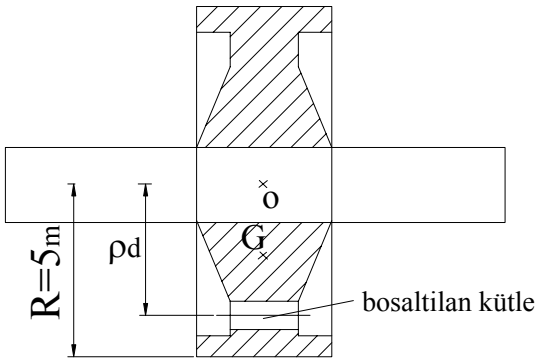
$$m.e.\upsilon^2 = m_d.\rho_d.\upsilon^2 \quad \Rightarrow \quad m.e = m_d.\rho_d \quad \Rightarrow \frac{100}{9{,}81}.15.10^{-3} = m_d.0{,}485$$

$$m_d = 0{,}315\ \text{kg}$$

Eksen kaçıklığının tam karşısına $m_d = 0{,}315\ \text{kg}$ değerinde bir dengeleyici kütle (kurşun) konularak system dengelenmiş olur.

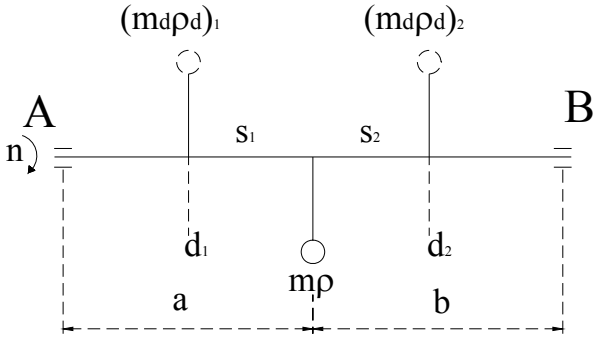
II-) Kütle çıkararak dengeleme :

Bu konstrüksiyonda kütle çıkarma sistemin mukavemetini azaltabilir. Ancak, aşağıda verilen bir konstrüksiyon tarzında kütle çıkarma mümkün olabilir.



B) s≠0 (Farklı düzlemde dengeleme - Kam mili mekanizması)

Sistem, üzerinde bulunan kütlelerin durumuna göre 1 veya 2 dengeleme düzlemi ile dengeleme yapılır.



$A_{din} = 0$, $B_{bin} = 0$

$\sum F = 0$, $\sum M = 0$

Dengeleme düzlemlerinin $(d_1$ ve $d_2)$ yeri, s_1 ve s_2 olarak seçilerek,

$(m_d.\rho_d)_1$ ve $(m_d.\rho_d)_{II}$ dengeleme büyüklükleri hesaplanır.

$\sum F = 0 \Rightarrow (m_d.\rho_d)_1.\omega^2 + (m_d.\rho_d)_{II}.\omega^2 = m.\rho.\omega^2$

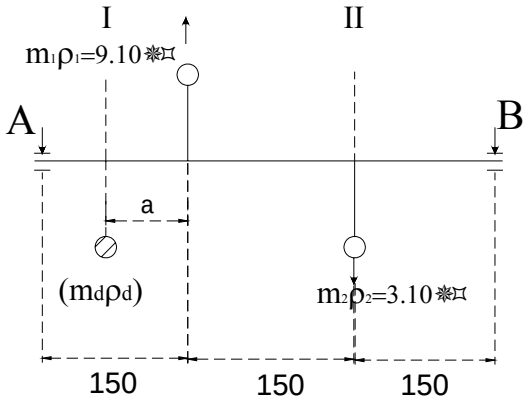
$\sum M_{d1} = 0 \Rightarrow m.\rho.s_1\omega^2 - (m_d.\rho_d)_{II}.\omega^2(s_1+s_2) = 0 \Rightarrow (m_d.\rho_d)_{II}$ bulunur.

$\sum F = 0 \Rightarrow (m_d.\rho_d)_1 = m\rho - (m_d.\rho_d)_{II}$ olarak hesaplanır.

Örnek:

Şekilde verilmiş dengelenmemiş kütlelerin iki düzlemde dengelenmesi istenmektedir.

a) Yatak kuvvetlerini bulunuz?
b) Verilenlere göre dengeleme büyüklüğünü bulunuz?
n= 900 d/dak



Çözüm:

a)

$F_{din1} = m_1.\rho_1.\upsilon^2$

$F_{din1} = 9.10^{-3}.\left(\frac{\pi.900}{30}\right)^2$

$F_{din1} = 79{,}94\ \text{N}$

$\sum F = 0$

$A + m_2.\rho_2.\upsilon^2 = B + m_1.\rho_1.\upsilon^2$

$A - B = 6.10^{-3}.(30\pi)^2$

$A - B = 52{,}7N$

$F_{din2} = m_2.\rho_2.\upsilon^2$

$F_{din2} = 3.10^{-3}.\left(\frac{\pi.900}{30}\right)^2$

$F_{din2} = 26{,}64\ \text{N}$

$\sum M_A = 0$

$79{,}94.150 - 26{,}64.300 + B.450 = 0$

$B = -8{,}68N$

$A - (-8{,}68) = 52{,}7 \ \Rightarrow \ A = 44N$

b)

I. çözüm : II. düzlem olarak $(m_2\rho_2)$'nin düzlemi ve dengeleme büyüklüğü seçilerek, I düzleminin yeri ve dengeleme büyüklüğü bulunabilir.

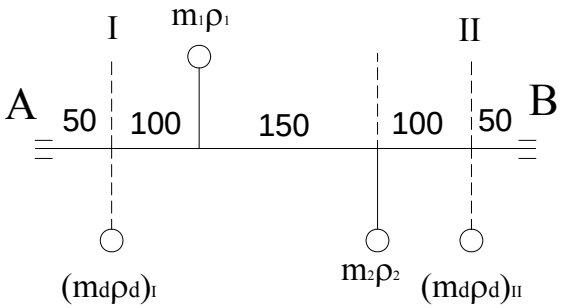
$\sum F = 0 \ \Rightarrow \ (m_d.\rho_d)_{\text{I}}.\upsilon^2 + m_2\rho_2.\upsilon^2 = m_1.\rho_1.\upsilon^2$

$(m_d.\rho_d)_{\text{I}} = 9.10^{-3} - 3.10^{-3} = 6.10^{-3}\,kgm$

$\sum M_{d1} = 0 \ \Rightarrow \ -m_1.\rho_1.\upsilon^2.a + m_2.\rho_2.\upsilon^2(a+150) = 0$

$-9.10^{-3} + 3.10^{-3}.(150 + a) = 0 \quad \Rightarrow \quad a = 75mm$

II. çözüm : I ve II düzlemlerinin yeri seçilerek dengeleme büyüklükleri bulunur.



$\sum F = 0 \ \Rightarrow \ (m_{d1}.\rho_{d1})_{\text{I}}.\upsilon^2 + m_2\rho_2.\upsilon^2 + (m_{d2}.\rho_{d2})_{\text{II}}.\upsilon^2 = m_1.\rho_1.\upsilon^2$

$(m_{d1}.\rho_{d1})_{\text{I}} + (m_{d2}.\rho_{d2})_{\text{II}} = 9.10^{-3} - 3.10^{-3} = 6.10^{-3}\,kgm$

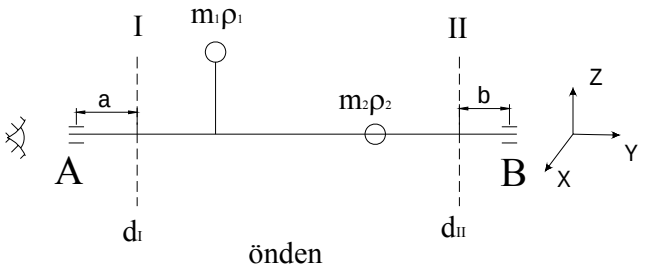
$\sum M_{d1} = 0 \ \Rightarrow \ -m_1.\rho_1.100 + m_2.\rho_2.250 + (m_{d2}.\rho_{d2}).300 = 0$

$-9.10^{-3}.100 + 3.10^{-3}.250 + (m_{d2}.\rho_{d2}).300 = 0$

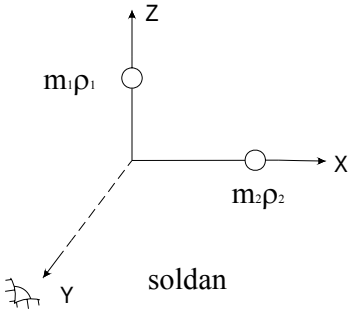
$(m_{d2}.\rho_{d2})_{\text{II}} = 0{,}5.10^{-3}\,km \qquad (m_{d1}.\rho_{d1})_{\text{I}} = 6.10^{-3} - 0{,}5.10^{-3} = 5{,}5.10^{-3}\,km$

Farklı Düzlemlerdeki Kütlelerin Dengelenmesi:

sekil 1)

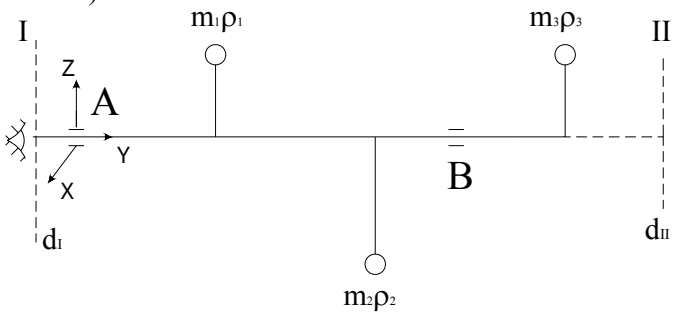


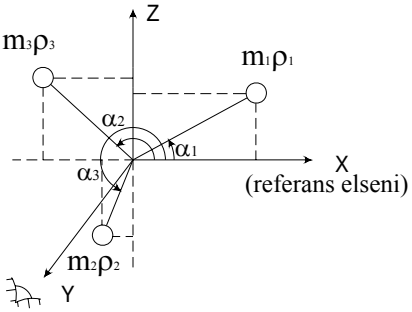
önden



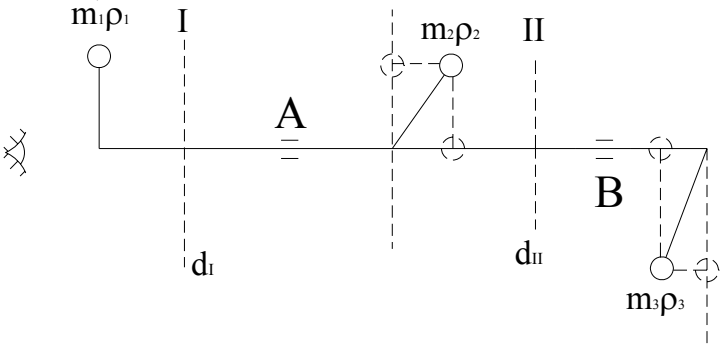
soldan

sekil 2)

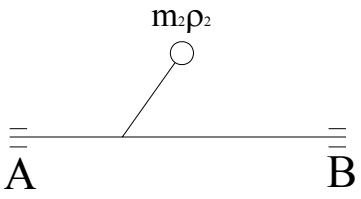


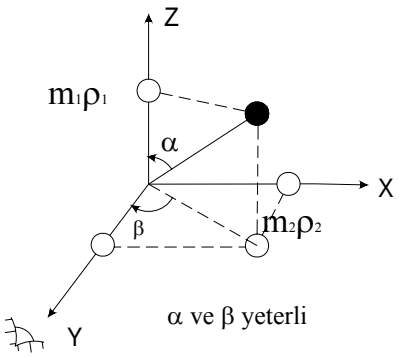


sekil 3)



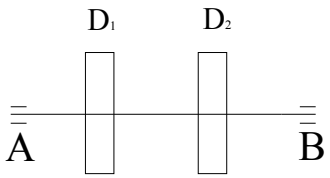
sekil 4)

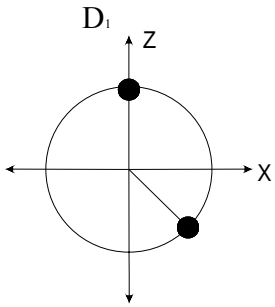


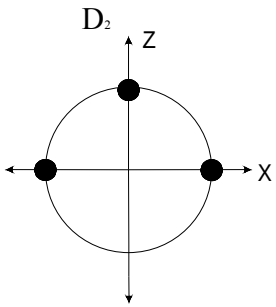


α ve β yeterli

sekil 5)







Dinamik Dengeleme İşlemi:

$$\left.\begin{array}{l} A_{din} = 0 \\ B_{din} = 0 \end{array}\right\} \begin{array}{l} \Sigma F_{din} = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{array}$$

1-) En genel durumda matematik olarak dengelemeyi yapabilmek için mil üzerinde dengelenmemiş kütlelerin bulunduğu bölge dışında iki dengeleme düzlemi seçilir.

2-) Seçilen dengeleme düzlemlerinin konstrüksiyon için uygun olup olmadığı araştırılır. Eğer, kütlelerin bölgesi dışında dengeleme düzlemleri seçilmemesi gerekiyorsa konstrüksiyona uygun olacak tarzda ara yerde dengeleme düzlemleri seçilerek dengeleme gerçekleştirilir.

3-) Dengelenmemiş her kütle, bulundukları düzlemde ayrı ayrı I ve II no'lu dengeleme düzlemleri kullanılarak dengelenir.

4-) Dengeleme düzlemlerinde ortaya çıkan dengeleme büyüklüklerinin bileşke vektörü ve açısı bulunur. Yani, önce I no'lu dengeleme düzlemine konulan dengeleme büyüklüklerinin x ve z yönündeki bileşenleri bulunur. Sonra bileşkesi alınarak bu düzleme konulması gereken bileşke dengeleme büyüklüğü

$$(m_d \rho_d)_I = \sqrt{(m_{dx}\rho_{dx})_I^{\,2} + (m_{dz}\rho_{dz})_I^{\,2}}$$

bulunur. Bu büyüklüğün yeri de $\alpha_I = Arctg(F_d z_I / F_d x_I)$

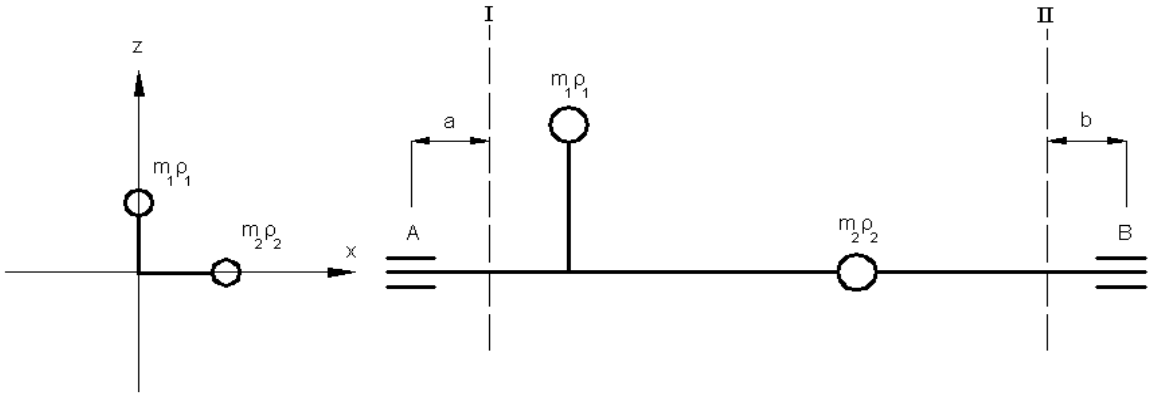
olarak hesaplanır. Aynı işlemler, II no'lu dengeleme düzleminde tekrar edilerek oradaki

$$(m_d \rho_d)_{II} = \sqrt{(m_{dx}\rho_{dx})_{II}^{\,2} + (m_{dz}\rho_{dz})_{II}^{\,2}}$$

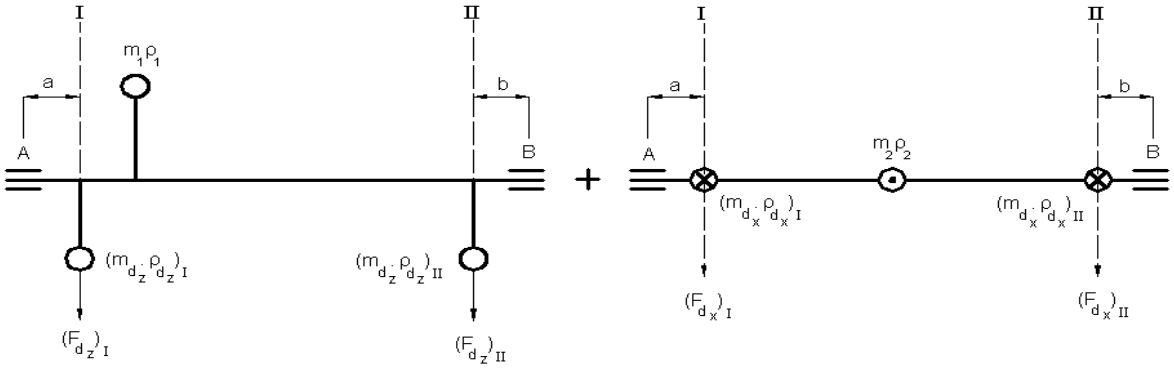
dengeleme büyüklüğü ve $\alpha_{II} = Arctg(F_d z_{II} / F_d x_{II})$

açısı hesaplanır.

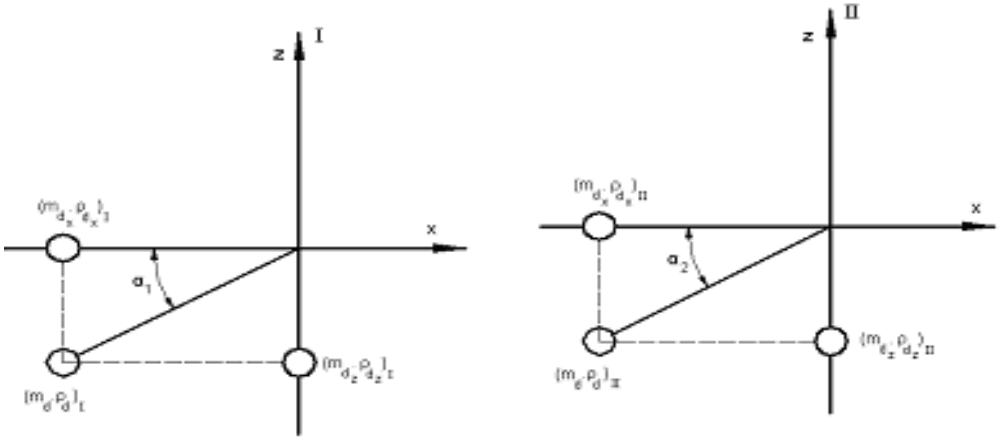
Örnek:



Z ekseni *X ekseni*



I nolu dengeleme *II nolu dengeleme*



I nolu dengeleme düzleminde oluşturulan dengeleme kuvveti. $(F_d)_I = \sqrt{(F_{dz})_I^{\,2} + (F_{dx})_I^{\,2}}$

II nolu dengeleme düzleminde oluşturulan dengeleme kuvveti. $(F_d)_{II} = \sqrt{(F_{dz})_{II}^{\,2} + (F_{dx})_{II}^{\,2}}$

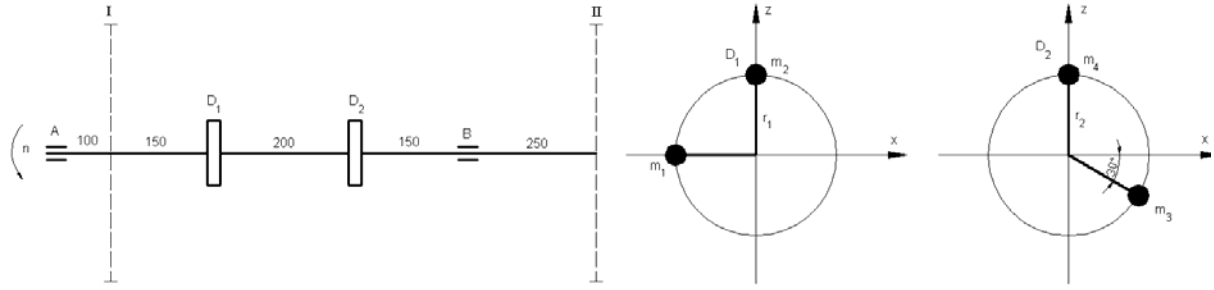
I nolu dengeleme düzlemindeki dengeleme büyüklüğü $(m_d \rho_d)_I = \sqrt{(m_d \rho_{dz})_I^{\,2} + (m_{dz} \rho_{dz})_I^{\,2}}$

II nolu dengeleme düzlemindeki dengeleme büyüklüğü $(m_d \rho_d)_{II} = \sqrt{(m_{dx} \rho_{dx})_{II}^{\,2} + (m_{dz} \rho_{dz})_{II}^{\,2}}$

$$\alpha_I = Arctg\frac{(F_d z)_I}{(F_d x)_I} = \frac{(m_{dz}\rho_{dz})_I}{(m_{dx}\rho_{dx})_I}$$

$$\alpha_{II} = Arctg\frac{(F_d z)_{II}}{(F_d x)_{II}} = \frac{(m_{dz}\rho_{dz})_{II}}{(m_{dx}\rho_{dx})_{II}}$$

Problem1



$m_1 = 1\,\text{kg},\ \ m_2 = 0.5\,\text{kg},\ \ m_3 = 3\,\text{kg},\ \ m_4 = 1.5\,\text{kg},\ \ r_1 = 0.2\,\text{m},\ \ r_2 = 0.3\,\text{m},\ \ n = 1500\,\text{d/d}$

a) Dengelenmemiş durumda, A ve B yatak kuvvetlerini bulunuz?

b) Bu sistemde ideal dengelemeyi gerçekleştirerek, I ve II nolu dengeleme düzlemlerine konacak dengeleme büyüklüklerini ve açılarını bulunuz?

Çözüm:

a)

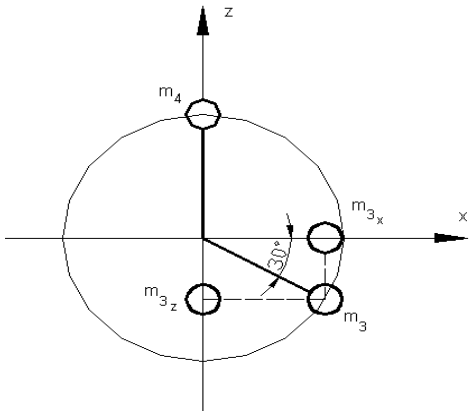
$m_{3X} = m_3 \cos 30 = 3 \times 0.866 = 2.6kg$

$m_{3Z} = m_3 \cos 60 = 3 \times 0.5 = 1.5kg$

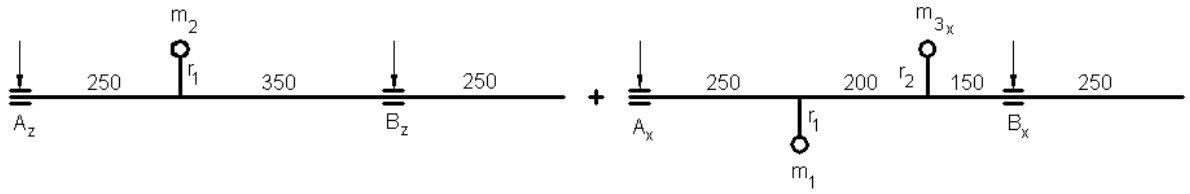
$\nu = \frac{\pi.1500}{30} = 50\pi\ \text{rd/s}$

$D_2 \rightarrow Z$ ekseninde

$m_4 - m_{3Z} = 1.5 - 1.5 = 0$



Z Ekseni ***X Ekseni***



$$A_Z + B_Z = m_2 r_1 \nu^2 = 2467.4N \qquad \sum MA_z = 0 \rightarrow -m_2 r_1 \nu^2 250 + B_z 600 = 0$$

$$B_z = \frac{616850.275}{600} = 1028N \qquad A_z = 1439.3N$$

$$A_x + m_3 x r_2 \nu^2 = B_x + m_1 r_1 \nu^2 \qquad A_x + 19245.7 = B_x + 4934.8$$

$$B_x - A_x = 14310.8N \qquad \sum MA_x = 0 \rightarrow m_1 r_1 \nu^2 250 - m_3 r_2 \nu^2 450 + B_x 600 = 0$$

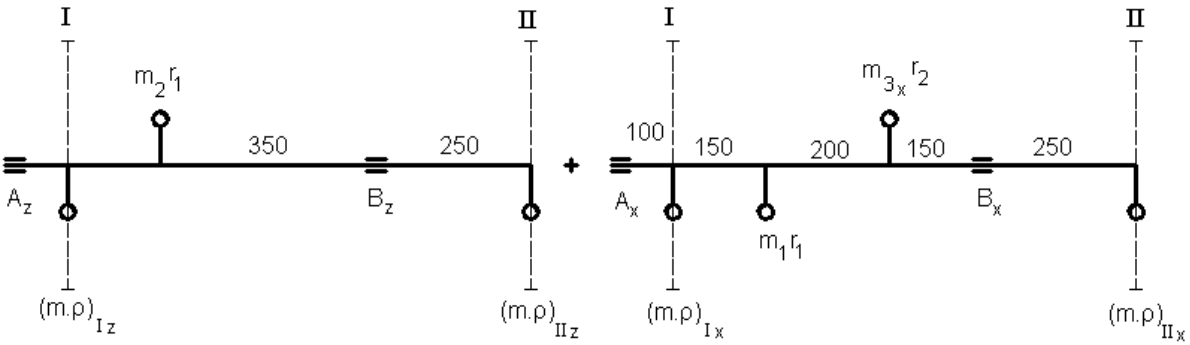
$$B_x = \frac{7426877.8}{600} = 12378.13N \qquad A_x = -1932.77N$$

$$A = \sqrt{A_X{}^2 + A_Z{}^2} = 2409.8N$$

$$B = \sqrt{B_X{}^2 + B_Z{}^2} = 12420.74N$$

b)

Z Ekseni ***X Ekseni***



Z Ekseni

$$\sum F_z = 0 \rightarrow m_2 r_1 = (m\rho)_{IZ} + (m\rho)_{IIZ}$$

$$0.1 = (m\rho)_{IZ} + (m\rho)_{IIZ}$$

$$\sum MI_z = 0 \rightarrow -m_2 r_1 150 + (m\rho)_{IIZ} 750 = 0$$

$$(m\rho)_{IIZ} = 0.02 \text{ kgm}$$

$$(\mathrm{m}\rho)_{\mathrm{IZ}} = 0.08 \text{ kgm}$$

X Ekseni

$$\sum F_X = 0 \rightarrow (m\rho)_{IX} + m_1 r_1 + (m\rho)_{IIX} = m_{3X} . r_2$$

$$\sum MI_X = 0 \rightarrow m_1 r_1 150 - m_{3X} r_2 350 + (m\rho)_{IIX} 750 = 0$$

$$(m\rho)_{IX} + 0{,}2 + (m\rho)_{IIX} = 0.78$$

$$(m\rho)_{IX} + (m\rho)_{IIX} = 0.58$$

$$(m\rho)_{IIX} = 0{,}323 \text{ kgm}$$

$$(\mathrm{m}\rho)_{\mathrm{IX}} = 0.256 \text{ kgm}$$

I nolu dengeleme düzlemi

$$(m\rho)_I = \sqrt{(m\rho)_{IX}{}^2 + (m\rho)_{IZ}{}^2} = 0.268 \text{ kgm}$$

$$(m\rho)_{II} = \sqrt{(m\rho)_{IIX}{}^2 + (m\rho)_{IIZ}{}^2} = 0.324 \text{ kgm}$$

$$\alpha_I = Arctg \frac{(m\rho)_{IZ}}{(m\rho)_{IX}} = 17.35^o \qquad \text{3. Bölgede}$$

$$\alpha_I = 180^o + 17.35^o = 197.35^o$$

$$F_{denI} = (m\rho)_I . \varpi^2$$

$$F_{denI} = 6605.93N$$

II nolu dengeleme düzlemi

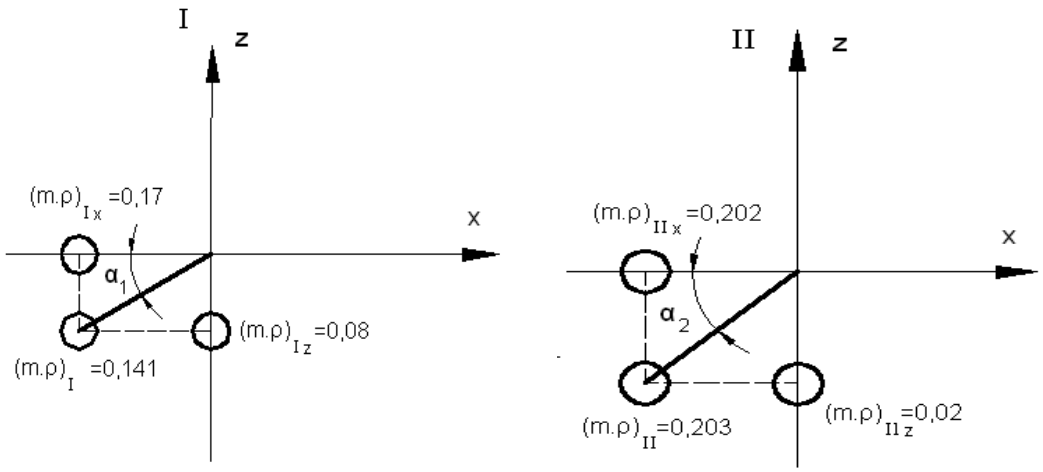
$$(m\rho)_{II} = \sqrt{(m\rho)_{IIX}{}^2 + (m\rho)_{IIZ}{}^2} = 0.324 \text{ kgm}$$

$$\alpha_{II} = Arctg \frac{(m\rho)_{IIZ}}{(m\rho)_{IIX}} = 3.53^o \qquad \text{3. Bölgede}$$

$$\alpha_{II} = 180^o + 3.53^o = 183.53^o$$

$$F_{denII} = (m\rho)_{II} . \varpi^2$$

$$F_{denII} = 8001 \text{ N}$$


I
z
x
$(m.\rho)_{Ix}$ =0,17
α_1
$(m.\rho)_{Iz}$ =0,08
$(m.\rho)_{I}$ =0,141
II
z
x
$(m.\rho)_{IIx}$ =0,202
α_2
$(m.\rho)_{II}$=0,203
$(m.\rho)_{IIz}$=0,02