UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA ï FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Esercitazioni di MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE
Corso di Laurea in Ing. Meccanica

Esercitazione n° 8 Anno Accademico 2008/09

DIMENSIONAMENTO DI UN CUSCINETTO A LUBRIFICAZIONE IDRODINAMICA (DA RIPORTARE SUL QUADERNO)

Un cuscinetto del tipo specificato nei dati, funziona sotto un carico P ad una velocità di rotazione di N giri/min. Determinare i valori di: L, D, h_0, f, Q_s, T_f.

Elenco dei simboli

P : carico sul cuscinetto (N)
N : velocità di rotaz. del perno (giri/min)
N' : velocità di rotaz. del perno (giri/s)
L : lunghezza del cuscinetto (mm)
D : diametro del cuscinetto (mm)
C : gioco diametrale (mm)
h_0 : altezza minima del meato (mm)
μ : viscosità del lubrificante (Pa·s)
p_m : pressione media (Pa) [$p_m=P/LD$]
f : coefficiente di attrito

T_e : temperatura di entrata del lubrificante (K)
T_f : temperatura di funzionamento (K)
S : numero di Sommerfeld $S=(\mu N'/p_m)(D/C)^2$
c : calore specifico del lubrificante $c = 1700$ J/kgK
Q_s : portata di alimentazione (m^3/s)
ρ: massa volumica=830 kg/m^3

Schema di calcolo

1) Vengono assegnati (vedi Tabella DATI) i valori della pressione media (o specifica) e della viscosità del lubrificante; fissato il valore del rapporto L/D, noto il carico P, si calcolano L e D (si prenda $L/D=1$).
2) Fissato il rapporto D/C (di solito per questo tipo di cuscinetto: $D/C=1000$), si calcola, essendo noto N, il numero di Sommerfeld.
3) Si determina il valore di h_0 e si verifica che sia $h0 \geq 4 \div 5\ Ra$. In caso contrario si diminuisce il valore di p_m e si ripete il calcolo (vedi Diagr.1).
4) Si determina il valore del coefficiente di attrito f (vedi Diagr.2).
5) Si determina il valore della portata Q_s (vedi Diagr.3 e 4).
6) Si determina l'aumento di temperatura ΔT del lubrificante (vedi Diagr.5).
7) Si verifica che il calore generato $H_g=fP\pi DN/60000$ (W) non sia maggiore della quantità di calore dissipata dal solo lubrificante $H_d=\rho c Q_s \Delta T$.

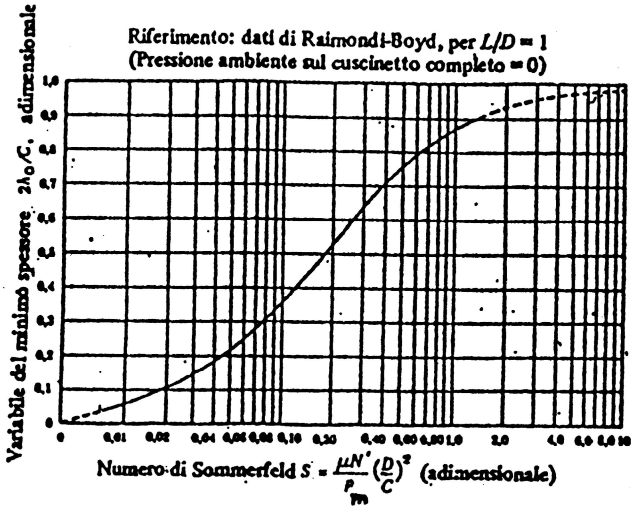
8) Nota la temperatura di entrata T_e, si calcola la temperatura di funzionamento del lubrificante $T_f = T_e + (\Delta T/2)$.

9) Si adotta il tipo di olio che alla temperatura T_f ha una viscosità uguale a μ (oppure, fissato il tipo di olio, si determina il nuovo valore di μ e si ripete il calcolo) (vedi Diagr.6).

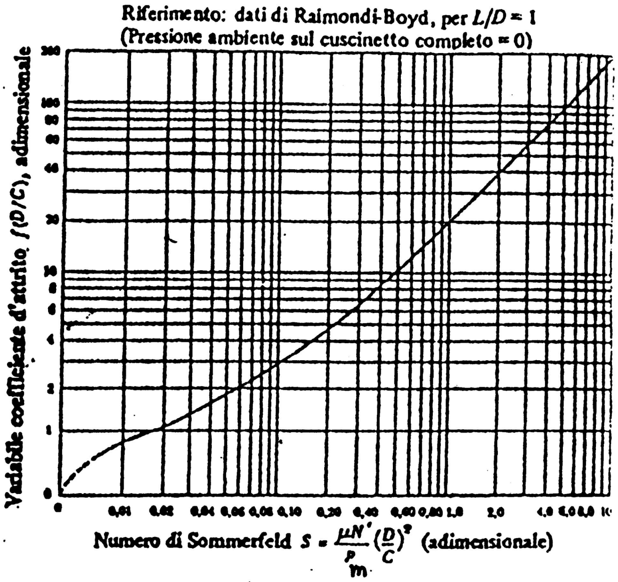
Dati

Somma ultime due cifre del N. matricola	0-4	5-8	9-12	13-15	16-18
P (kN)	3,5	5,3	3	2,5	1,6
N (rpm)	400	1000	600	900	500
μ (mPa·s)	15	12	10	18	20
p_m (MPa)	0,6	2	1,2	1,8	1
T_e (K)	330	320	340	335	325

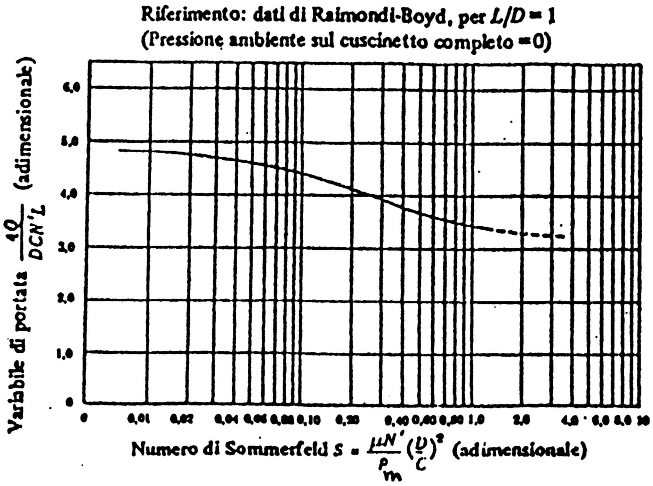
Diagrammi



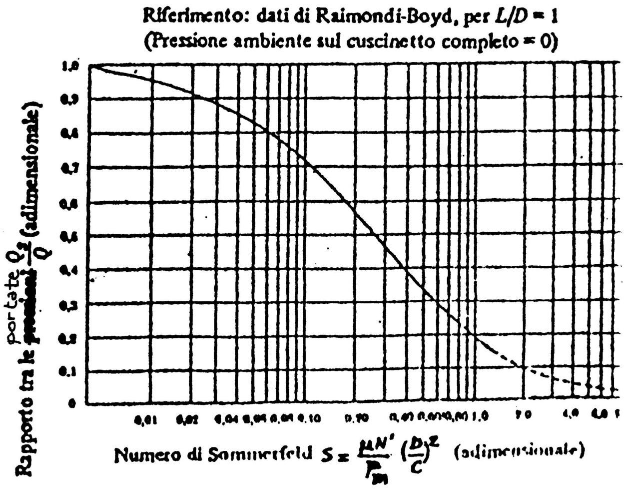
Diagr. 1



Diagr. 2

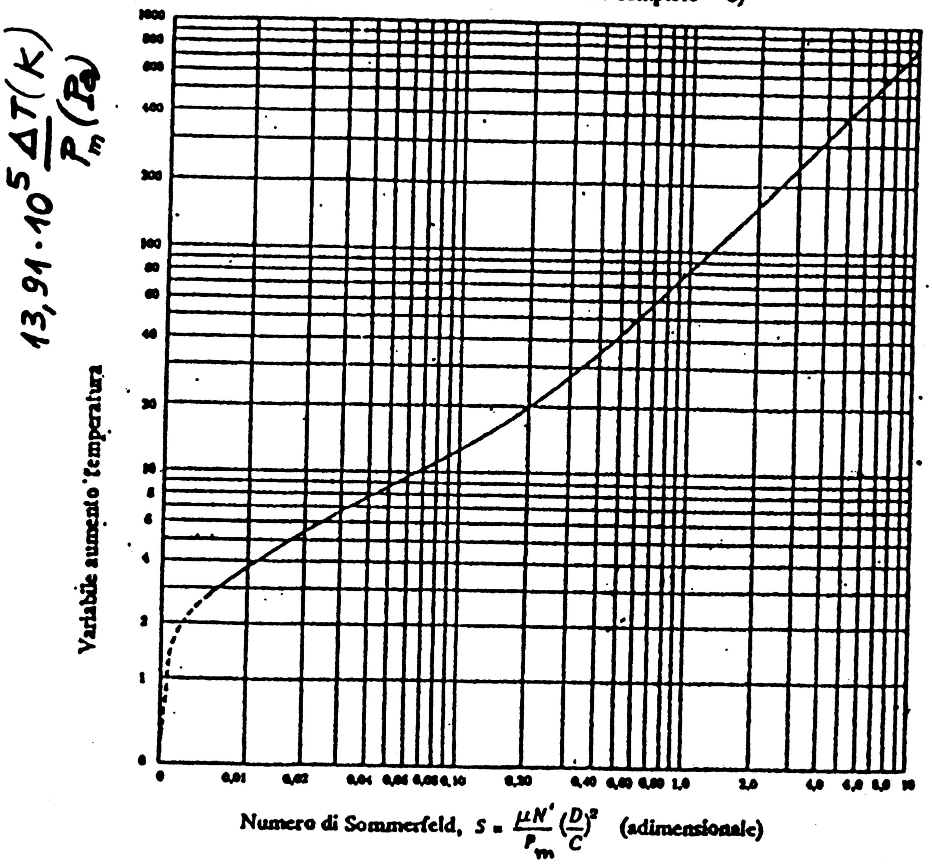


Diagr. 3



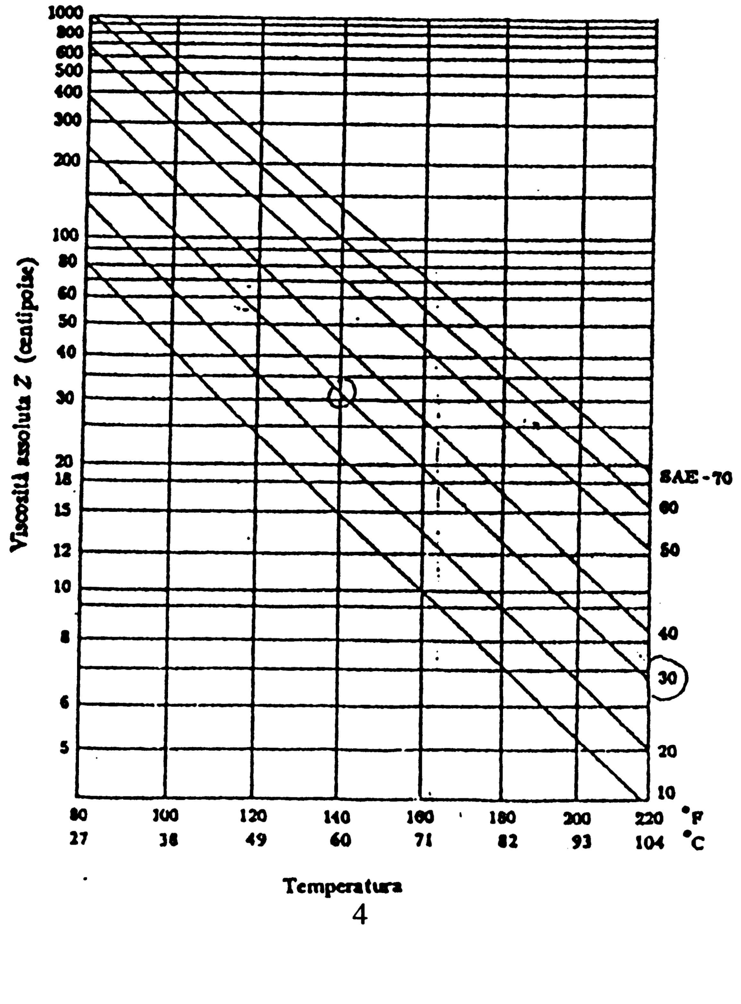
Diagr. 4

Riferimento: dati di Raimondi-Boyd, per $L/D = 1$
(Pressione ambiente sul cuscinetto completo = 0)



Diagr. 5

Olii SAE caratteristici
Viscosità assolute standard in funzione della temperatura



Diagr. 6

Esempio

Dati.

$P = 3$ kN

$N = 600$ rpm

$\mu = 10$ mPa·s

$p_m = 1{,}2$ MPa

$T_e = 340$ K (= 67 °C)

1. Fissato: $\frac{L}{D} = 1.$

$$\begin{cases} P = p_m LD \\ \frac{L}{D} = 1 \ldots\ldots \end{cases} \Rightarrow \quad D = L = \sqrt{\frac{P}{p_m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^3}{1{,}2 \cdot 10^6} \frac{\text{Nm}^2}{\text{N}}} = 0{,}05\text{m} = 50\text{mm}$$

2. Numero di Sommerfeld.

$$S = \frac{\mu N'}{p_m}\left(\frac{D}{C}\right)^2 \qquad \text{con: } N' = \frac{600}{60} = 10\frac{\text{giri}}{\text{s}}$$

$$S = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{1{,}2 \cdot 10^6}\left(10^3\right)^2 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{Pa} \cdot \text{s}} = 0{,}0833$$

3. Determinazione di h_0.
Dal Diagr.1 per S = 0,0833 si ha $\frac{2h_0}{C} = 0{,}32$

$$\frac{D}{C} = 1000 \Rightarrow C = \frac{50}{1000} = 0{,}05\text{mm}$$

$$h_0 = 0{,}32\frac{C}{2} = \frac{0{,}32 \cdot 0{,}05}{2} = 0{,}008\text{mm}$$

$h_0 = 8\mu$m

Assumendo Ra = 0,8μm (corrispondente a ∇∇∇) si ha:

$5Ra = 5 \cdot 0{,}8 = 4\mu$m ed é quindi soddisfatta la condizione $h_0 \geq (4 \div 5)Ra$

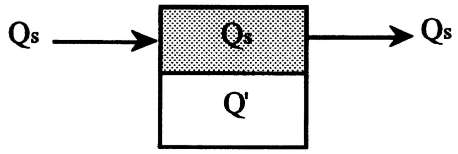
4. Coefficiente d'attrito f.
Dal Diagr.2 per S = 0,0833 si rileva $f\left(\frac{D}{C}\right) = 2{,}6$

da cui: $f = \dfrac{2,6}{1000} = 0,0026$

$f = 0,0026$

5. Determinazione della portata Q_s.

Dal Diagr. 3 si rileva la portata $Q = Q' + Q_s$. Per $S = 0,0833$ si ha $\dfrac{4Q}{DCN'L} = 4,4$.



$$Q = \frac{4,4 \cdot 50 \cdot 0,05 \cdot 10 \cdot 50}{4} \frac{\mathrm{mm}^3}{\mathrm{s}}$$

$$Q = 1375 \frac{\mathrm{mm}^3}{\mathrm{s}}$$

Dal Diagr. 4 per $S = 0,0833$ si ha: $\dfrac{Q_s}{Q} = 0,75$.

$$Q_s = 0,75Q = 0,75 \cdot 1375 = 1031,25 \frac{\mathrm{mm}^3}{\mathrm{s}}$$

$$Q_s = 1031,25 \frac{\mathrm{mm}^3}{\mathrm{s}}$$

6. Aumento di temperatura del lubrificante.

Dal Diagr. 5 per $S = 0,0833$ si ricava: $\quad 13,91 \cdot 10^5 \dfrac{\Delta T}{p_m} = 11$

$$\Delta T = 11 \cdot \frac{1,2 \cdot 10^6}{13,91 \cdot 10^5} = 9,5\mathrm{K}$$

7. Verifica che il calore generato sia minore del calore dissipato dal lubrificante.

Calore generato per attrito:

$$H_g = \frac{fP\pi DN}{60000} = \frac{0,0026 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 600}{60000}$$

$$H_g = 12,25\mathrm{W}$$

Calore dissipato dal lubrificante:

$$H_d = \rho c Q_s \Delta T = 830 \cdot 1700 \cdot 1031,25 \cdot 9,5$$

$$H_d = 13,82\mathrm{W}$$

è pertanto verificata la condizione $H_d \geq H_g$.

8. Temperatura di funzionamento del lubrificante.

$$T_f = T_e + \frac{\Delta T}{2} = 340 + \frac{9,5}{2} = 344,75\text{K}$$

$$T_f = 344,75 - 273,16 = 72°\text{C}$$

Temperatura in gradi Fahrenheit.

$$t(°F) = \frac{9}{5}t(°C) + 32$$

$$t(°C) = \frac{5}{9}[t(°F) - 32]$$

$$T_f(°F) = \frac{9}{5} \cdot 72 + 32 = 162°\text{F}$$

9. Tipo di olio.

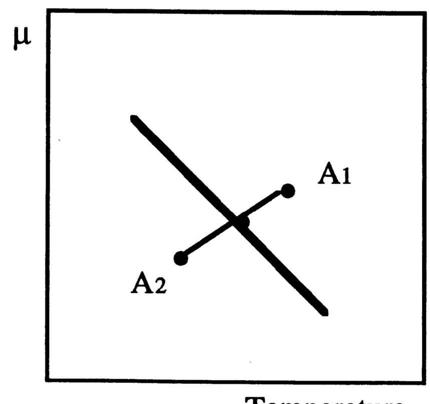
$\mu = 10\text{mPa} \cdot \text{s}$ ricordando che $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P}$ (P = Poise)

$\mu = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10\text{P} = 0,1\text{P} = 10\text{cP}$

Dal Diagr. 6 si rileva che l'olio SAE 10 soddisfa le condizioni richieste dal problema in esame.

Osservazione.

Se è assegnato il tipo di olio lubrificante, è nota la curva viscosità-temperatura del Diagr. 6. Non conoscendo inizialmente T_f si procede fissando un valore medio (nel meato) μ_{m_1} di primo tentativo. Dal calcolo si ricava il valore T_{f_1}.



Nel Diagr. 6 il punto $A_1 \equiv (T_{f_1}, \mu_{m_1})$ probabilmente non cadrà sulla curva caratteristica dell'olio in esame. Si assume come valore di secondo tentativo una viscosità μ_{m_2} alla quale corrisponderà un valore della temperatura di funzionamento T_{f_2}. Alla coppia di valori (T_{f_2}, μ_{m_2}) corrisponderà il punto A_2 nel Diagr. 6. Si congiungono i due punti A_1 e A_2; l'intersezione con la curva caratteristica dell'olio fornisce praticamente la soluzione cercata.

6.2 MISURA DELLA VISCOSITA'

6.2.1 Dimensioni e unità di misura della viscosità:

$$[\mu] = \left[ML^{-1}T^{-1}\right]$$

Tabella di conversione delle unità di misura della viscosità

μ	Pa·s	kp·s·m^{-2}	Poise	cP	Reyn
1 Pa·s	1	0,102	10	10^3	$1,45 \cdot 10^{-4}$
1 kp·s·m^{-2}	9,81	1	98,1	$9,81 \cdot 10^3$	$1,422 \cdot 10^{-3}$
1 Poise = 1 dyn·s·cm^{-2}	0,1	$1,02 \cdot 10^{-2}$	1	10^2	$14,5 \cdot 10^{-6}$
1 Centipoise (cP)	10^{-3}	$1,02 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}	1	$14,5 \cdot 10^{-8}$
1 Reyn = 1 lb·s·in^{-2}	$6,897 \cdot 10^3$	703,07	$6,9 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^6$	1

6.2.2 Dimensioni e unità di misura della viscosità cinematica:

$$[\nu] = \left[L^2T^{-1}\right]$$

1 Stokes (St) = 1 cm^2·s^{-1} = 10^{-4} m^2·s^{-1}

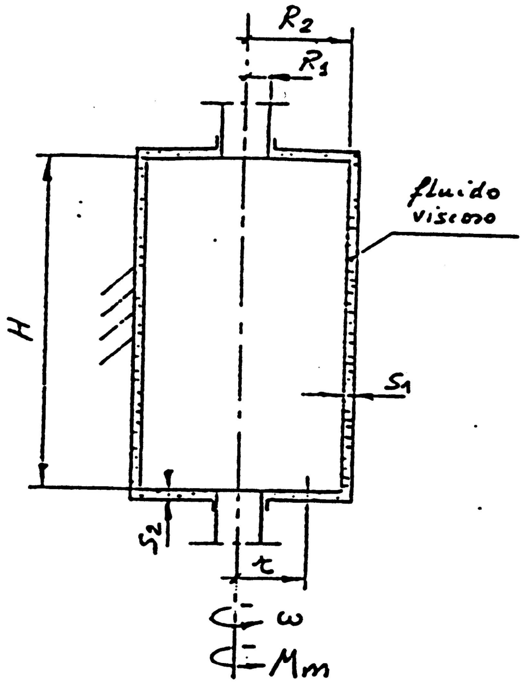
1 centistokes (cSt) = 10^{-2} St = 10^{-6} m^2·s^{-1}

SAE viscosity number	Viscosity units	Viscosity range at 0°F		Viscosity range at 210°F	
		min.	max.	min.	max.
5W	Centipoises	–	1200	3.9	–
10W	"	1200	2400	3.9	–
20W	"	2400	9600	3.9	–
20	Centistokes	–	–	5.7	9.6
30	"	–	–	9.6	12.9
40	"	–	–	12.9	16.8
50	"	–	–	16.8	22.7

Centistokes	Saybolt universal seconds	Redwood no. 1 seconds	Engler degrees
2	33	31	1.1
4	39	36	1.3
6	46	41	1.5
8	52	46	1.7
10	59	52	1.8
15	77	68	2.3
20	98	86	2.9
30	141	125	4.1

6.3 ESERCIZIO

Determinare la potenza necessaria a mantenere in rotazione con velocità angolare ω costante, un rotore immerso in un fluido viscoso. Si consideri nota la geometria del sistema e la viscosità μ del fluido.

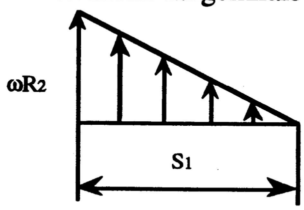


La coppia motrice M_m deve equilibrare la coppia resistente data dalla somma delle coppie M_{r_1} ed M_{r_2} dovute rispettivamente all'azione frenante del fluido sulla superficie laterale e sulle due estremità del rotore.

$$M_m = M_{r_1} + M_{r_2}$$

$$M_{r_1} = \tau 2\pi R_2^2 H \quad \text{con} \quad \tau = \mu \frac{\omega R_2}{s_1}$$

τ = tensione tangenziale



$$M_{r_1} = \frac{2\pi\mu\omega R_2^3 H}{s_1}$$

$$M_{r_2} = 2\int_{R_1}^{R_2} \tau 2\pi r^2 dr \qquad \text{con} \quad \tau = \mu \frac{\omega r}{s_2}$$

$$M_{r_2} = 4\pi \int_{R_1}^{R_2} \mu \frac{\omega r}{s_2} r^2 dr = \frac{4\pi\mu\omega}{s_2} \int_{R_1}^{R_2} r^3 dr \qquad \Rightarrow \qquad M_{r_2} = \frac{\pi\mu\omega}{s_2}\left(R_2^4 - R_1^4\right)$$

$$M_m = \frac{2\pi\mu\omega H R_2^3}{s_1} + \frac{\mu\pi\omega}{s_2}\left(R_2^4 - R_1^4\right)$$

Ponendo: $\quad K_1 = \dfrac{2\pi\mu H R_2^3}{s_1} \qquad K_2 = \dfrac{\pi\mu}{s_2}\left(R_2^4 - R_1^4\right)$

$M_m = K_1\omega + K_2\omega$ indicando con $K = K_1 + K_2$

$M_m = K\omega$ cioè a parità di μ $\Rightarrow \quad M_m \propto \omega$

La potenza N vale: $\quad N = M_m\omega = K\omega^2$