Fachhochschule Koblenz
Fachbereich Ingenieurwesen
Fachrichtung Maschinenbau

Name ______________________

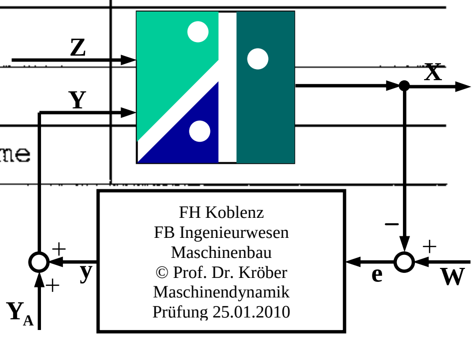
Matr.-Nr. ______________________

Maschinendynamik WS 09/10
Prof. Dr. W. Kröber

Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

- Bearbeitungszeit : 90 min

Aufgabe	erreichte Punkte
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	



Note : ______________________

Erlaubte Hilfsmittel:

- Schreib- und Zeichengerät
- Taschenrechner
- Formelsammlung "Technische Mechanik III" (5 Blätter)
- Formelsammlungsblatt "Massenträgheitsmomente: ..." (1 Blatt)
- Formelsammlung "Maschinendynamik" (7 Blätter)
- Umdruck/Formelsammlung Maschinenakustik (9 Blätter)

Hilfestellung zu Aufgabe 6:
Tabellarische Darstellung der A-Bewertungskurve für einzelne Terzen:

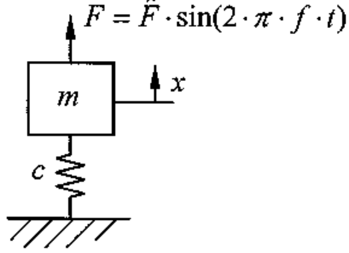
f[Hz]	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
ΔL [dB]	-63,4	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,2	-19,1	-16,1	-13,4

f[Hz]	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
ΔL [dB]	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0	+0,6	+1,0	+1,2	+1,3

f[Hz]	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000
ΔL [dB]	+1,2	+1,0	+0,5	-0,1	-1,1	-2,5	-4,3	-6,6	-9,3

Aufgabe 1 (14P)

Auf eine Masse wirkt eine sinusförmige Kraft. Erfolgt die Kraftanregung mit kleiner Frequenz (quasi statisch), so stellt sich eine Amplitude von $\hat{x}$ = 0,5 mm ein. Die Eigenfrequenz des Systems beträgt f_0 = 12 Hz.



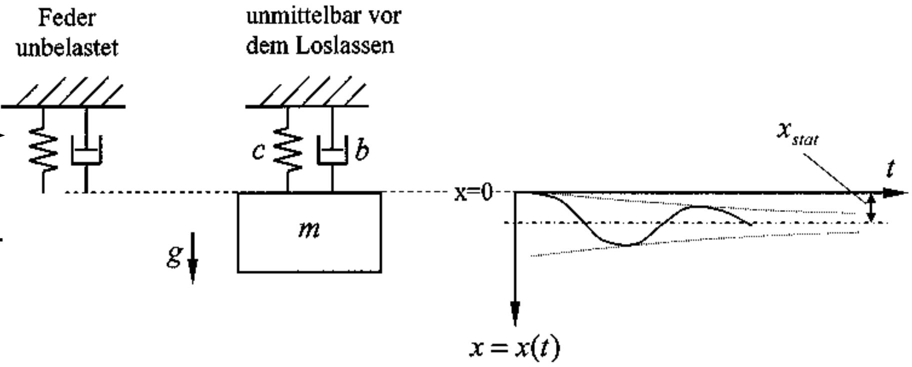
a. Bei welchen Frequenzen ergibt sich eine Amplitude von $\hat{x}$ = 1,0 mm ein?

b. Bestimmen Sie für die oben bestimmten Frequenzen die Phasenverschiebungen zwischen Kraft und Schwingweg?

Aufgabe 2 (26P)

Eine Masse m im Schwerefeld der Erde wird so ausgelenkt, dass die Kraft in der Feder vor bzw. bei dem Loslassen gerade gleich Null ist (Feder unbelastet).
Zahlenwerte: m = 2 kg, c = 9810 N/m, b = 70 Ns/m, g = 9,81 m/s²

FH Koblenz
FB Ingenieurwesen
Maschinenbau
© Prof. Dr. Kröber
Maschinendynamik
Prüfung 25.01.2010



Der zeitliche Verlauf der Wegfunktion x=x(t) lautet allgemein (Schwingungsfall):

$$x = x(t) = x_{homogen}(t) + x_{partikulär} = e^{-\delta \cdot t} \cdot [C_1 \cdot \sin(\omega_d \cdot t) + C_2 \cdot \cos(\omega_d \cdot t)] + x_{stat} \qquad \text{(Gleichung 1)}$$

Bei den hier vorliegenden Anfangsbedingungen lässt sich nachweisen:

$$x = x(t) = x_{stat} \cdot \{1 - e^{-\delta \cdot t} \cdot [\frac{\delta}{\omega_d} \cdot \sin(\omega_d \cdot t) + \cos(\omega_d \cdot t)]\} \qquad \text{(Gleichung 2)}$$

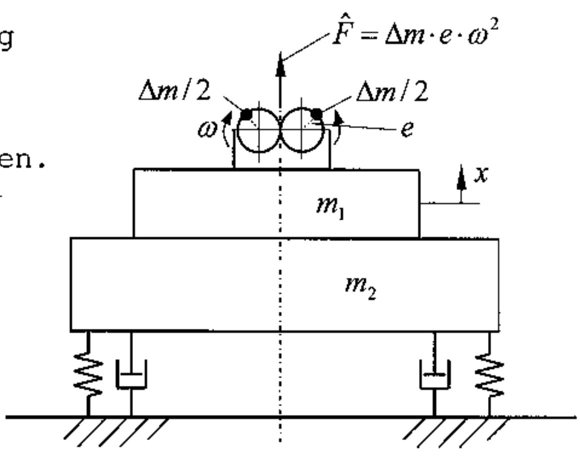
a. Führen Sie die Berechnung von "Gleichung 1" nach "Gleichung 2" aus!

b. Bestimmen Sie zahlenmäßig:
   - statische Durchsenkung x_{stat}
   - Dämpfungsgrad ϑ
   - Periodendauer der sich einstellenden gedämpften Schwingung T_d

c. Infolge der Dämpfung führt die Masse nach einer gewissen Zeit keine Schwingungen mehr durch. Welche Energie wurde dann seit dem Loslassen durch die Dämpferwirkung in Wärme umgewandelt?

Aufgabe 3 (15P)

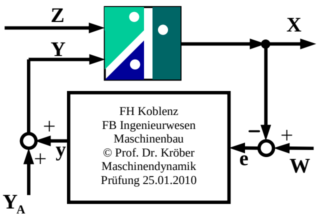
Auf einer Maschine der Masse m_1 = 200 kg sitzt ein gerichteter Unwuchterreger. Um die Schwingungsübertragung in den Untergrund zu reduzieren wird eine Fundamentmasse von m_2 = 400 kg vorgesehen. Bei der Drehzahl von 1450 1/min beträgt die Erregerkraft 10 kN. Die Gesamtsteifigkeit der vertikalen Lagerung beträgt c = 1,5 kN/mm. Der Dämpfungsgrad wird mit 0,05 angenommen.

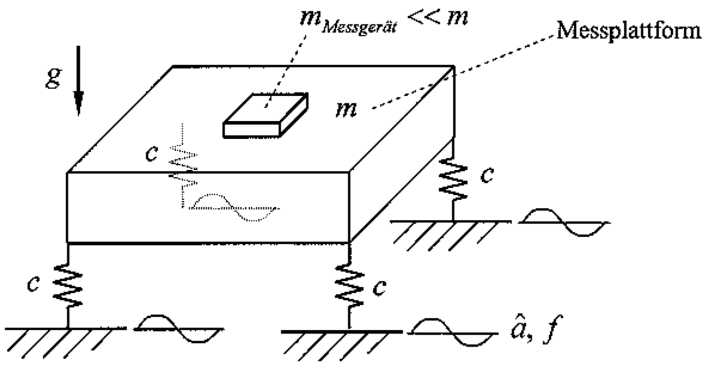


Wie groß ist der Schwingweg $\hat{x}$?

Aufgabe 4 (18P)

Ein Messgerät soll schwingungsarm aufgestellt werden. Dazu steht das Messgerät auf einer Messplattform, die schwingungstechnisch vom Untergrund abgekoppelt ist. Die Messplattform der Masse m ist mit 4 Federn (jede Feder c = 40000 N/m) auf dem Untergrund gelagert. Zur Auslegung soll eine Vertikalschwingung des Untergrundes von $\hat{a}$=0,4m/s² bei f = 20 Hz zugrunde gelegt werden. Die Vertikalamplitude der Messplattform darf höchstens $\hat{x}$ = 0,01 mm betragen. Die Dämpfung wird vernachlässigt.





a. Wie groß muss die Masse m der Messplattform (mindestens) sein?

b. Das Messgerät wird einfach auf die Messplattform gestellt. Es wird nicht verschraubt oder auf eine andere Weise befestigt. Im statischen Fall beträgt die Normalkraft zwischen dem Messgerät und der Messplattform $F_N = m_{Messgerät} \cdot g$. Durch die Schwingung wird dieser statischen Kraft ein dynamischer Anteil überlagert. Es wäre denkbar, dass das Messgerät durch die Schwingung zeitweise abhebt. Ist dies möglich/nicht möglich (zahlenmäßige Begründung!)?
Gegeben für Fragestellung b: g = 9,81 m/s²

Aufgabe 5 (9P)

An einem Messpunkt sollen verschiedene Schalleinträge energetisch addiert werden. Betrachtet wird ein Zeitraum von einer Stunde. Folgende einzelne Schallquellen/Schalleinträge sind vorhanden:

- Ruhepegel von 50 dB(A)
- 2 LKWs, je LKW L_{eq} = 83 dB(A) bei Messzeit 2 min
- 12 PKWs, je PKW L_{eq} = 76 dB(A) bei Messzeit 1 min
- Pumpenstation mit L_p = 72 dB(A)

Wie lange darf die Pumpenstation pro Stunde laufen, damit der energetisch gemittelte Gesamtpegel gerade 74 dB(A) beträgt?

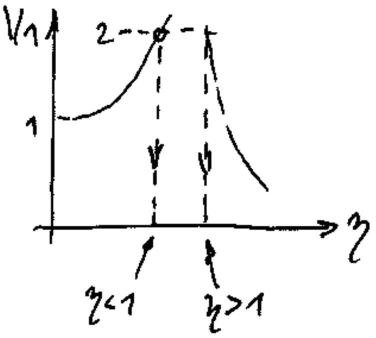
Aufgabe 6 (18P)

An einem Messpunkt wird mit einem Pfeifton von 1600 Hz ein Schalldruck von $\hat{p}$ = 0,02 Pa gemessen. Zusätzlich steht im Abstand von r_1 = 50 m eine Maschine mit einem Schalleistungspegel von L_{W1} = 100 dB(A). Eine weitere Maschine befindet sich an einem Ort mit Abstand r_2 = 80 m und einem Schallleistungspegel von L_{W2}. Der Summenpegel am Messpunkt beträgt L_p=63 dB(A). Welchen Schallleistungspegel L_{W2} hat die Maschine 2?

Annahme: Freifeldbedingungen auf schallharter Unterlage

Lösungen Prüfung Maschinendynamik 25.01.10. Blatt 1

zu 1, a) $V_1 = \dfrac{\hat{x}}{\hat{x}_{stat}} = \dfrac{1{,}0\,mm}{0{,}5\,mm} = 2$



$\eta<1$: $V_1 = \dfrac{1}{1-\eta^2} \Rightarrow 1-\eta^2 = \dfrac{1}{V_1}$

$\eta^2 = 1 - \dfrac{1}{V_1}$

$\eta = \sqrt{1 - \dfrac{1}{V_1}}$

$\eta = \sqrt{1-\dfrac{1}{2}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$

$\eta = \dfrac{f}{f_0} \Rightarrow f = \eta \cdot f_0 = \dfrac{1}{\sqrt{2}} \cdot 12\,Hz$

$= \underline{\underline{8{,}485\,Hz}}$

$\eta>1$: $V_1 = \dfrac{1}{\eta^2-1} \Rightarrow \eta^2 - 1 = \dfrac{1}{V_1} \Rightarrow \eta = \sqrt{1+\dfrac{1}{V_1}} = \sqrt{1+\dfrac{1}{2}} = \sqrt{\dfrac{3}{2}} = \dfrac{f}{f_0}$

$\underline{\underline{f}} = \sqrt{\dfrac{3}{2}} \cdot 12\,Hz = \underline{\underline{14{,}697\,Hz}}$

Z
Y
X
FH Koblenz
FB Ingenieurwesen
Maschinenbau
© Prof. Dr. Kröber
Maschinendynamik
Prüfung 25.01.2010
y e W Y_A

zu 1, b) $\eta<1$: $\underline{\underline{\varphi = 0°}}$

$\eta>1$: $\underline{\underline{\varphi = -180°}}$

zu 2, a) $x(t) = e^{-\delta t}\left[C_1 \cdot \sin(\omega_d t) + C_2 \cdot \cos(\omega_d t)\right] + x_{stat}$

$t=0 \rightarrow x(0)=0$:

$0 = \underbrace{e^{-0}}_{1}\left[C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot 1\right] + x_{stat} = C_2 + x_{stat} \Rightarrow \underline{\underline{C_2 = -x_{stat}}}$

$\dot{x}(t) = e^{-\delta t}(-\delta)\left[C_1 \cdot \sin(\omega_d t) + C_2 \cos(\omega_d t)\right] + e^{-\delta t}\left[C_1 \omega_d \cos\omega_d t - C_2 \omega_d \sin\omega_d t\right] + 0$

$t=0 \rightarrow \dot{x}(0)=0$:

$0 = \underbrace{e^{-0}}_{1}(-\delta)\left[C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot 1\right] + \underbrace{e^{-0}}_{1}\left[C_1 \omega_d \cdot 1 - C_2 \cdot 0\right]$

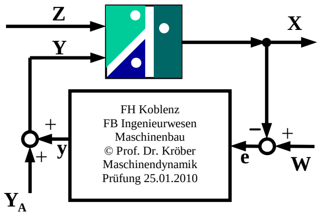
$0 = -\delta \cdot C_2 + C_1 \omega_d \Rightarrow \underline{\underline{C_1}} = \dfrac{\delta \cdot C_2}{\omega_d} = \dfrac{\delta(-x_{stat})}{\omega_d} = \underline{\underline{-\dfrac{\delta x_{stat}}{\omega_d}}}$

also:

$x(t) = e^{-\delta t}\left[-\dfrac{\delta \cdot x_{stat}}{\omega_d}\sin(\omega_d t) - x_{stat} \cdot \cos(\omega_d t)\right] + x_{stat}$

$\underline{\underline{= x_{stat}\left\{1 - e^{-\delta t}\left[\dfrac{\delta}{\omega_d}\sin(\omega_d t) + \cos(\omega_d t)\right]\right\}}}$

Lösungen Prüfung Maschinendynamik 25.01.10 Blatt 2



zu 2,b)

$$m\cdot g = c\cdot x_{stat} \Rightarrow \underline{\underline{x_{stat}}} = \frac{m\cdot g}{c} = \frac{2\cdot 9{,}81\ m}{9810} = \underline{\underline{2\,mm}}$$

$$2\delta = \frac{b}{m} \Rightarrow \delta = \frac{b}{2m} = \frac{70}{2\cdot 2}\,s^{-1} = 17{,}5\,s^{-1}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{9810}{2}}\,s^{-1} = 70{,}036\,s^{-1}$$

$$\underline{\underline{D}} = \frac{\delta}{\omega_0} = \frac{17{,}5}{70{,}036} = 0{,}2499 \approx \underline{\underline{0{,}250}}$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \frac{2\pi}{T_d} \Rightarrow T_d = \frac{2\cdot\pi}{\sqrt{\omega_0^2-\delta^2}} = \frac{2\cdot\pi}{\sqrt{70{,}036^2 - 17{,}5^2}}\,s$$

$$\underline{\underline{= 0{,}0927\,s}}$$

zu 2,c) $\uparrow h$, $\downarrow x$

$$E_{Verlust} = E_{vorher} - E_{nachher}$$

$$= m\cdot g\cdot \underbrace{h_1}_{0} + \frac{c}{2}\underbrace{x_1^2}_{0} + \frac{m}{2}\underbrace{v_1^2}_{0} - m\cdot g\cdot \underbrace{h_2}_{-x_{stat}} - \frac{c}{2}\underbrace{x_2^2}_{x_{stat}^2} - \frac{m}{2}\underbrace{v_2^2}_{0}$$

$$= m\cdot g\cdot x_{stat} - \frac{c}{2}x_{stat}^2$$

$$= 2\cdot 9{,}81\cdot 0{,}002\,J - \frac{9810}{2}\cdot 0{,}002^2\,J$$

$$= 39{,}24\cdot 10^{-3}\,J - 19{,}62\cdot 10^{-3}\,J = \underline{\underline{19{,}62\cdot 10^{-3}\,J}}$$

zu 3)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{1{,}5\cdot 10^6}{200+400}}\,s^{-1} = 50{,}0\,s^{-1}$$

$$\eta = \frac{f}{f_0} = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\frac{\pi\cdot n}{30}}{\omega_0} = \frac{\frac{\pi\cdot 1450}{30}}{50} = 3{,}037$$

$$\hat{x} = \frac{\Delta m\cdot e}{m}\cdot\frac{\eta^2}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + (2D\eta)^2}}\ ;\ \Delta m\,e = \frac{\hat{F}}{\omega^2}$$

$$= \frac{\frac{10000}{\left(\frac{\pi\cdot 1450}{30}\right)^2} = 0{,}43372}{200+400}\cdot\underbrace{\frac{3{,}037^2}{\sqrt{(1-3{,}037^2)^2 + (2\cdot 0{,}05\cdot 3{,}037)^2}}}_{1{,}121}\cdot m$$

$$\underline{\underline{\hat{x} = 0{,}810\,mm}}$$

Lösungen Prüfung Maschinendynamik 25.01.10 Blatt 3

zu 4,a) $\hat{y} = \frac{\hat{a}}{(2\pi f)^2} = \frac{0,4}{(2\cdot\pi\cdot 20)^2}\,m = 2,533\cdot 10^{-5}\,m \qquad (a = r\cdot\omega^2)$

$$V_2 = \frac{\hat{x}}{\hat{y}} = \frac{0,01\ mm}{0,02533\ mm} = 0,395$$

$$\eta > 1: \quad V_2 = \frac{1}{\eta^2-1} \Rightarrow \eta^2 - 1 = \frac{1}{V_2} \Rightarrow \eta = \sqrt{1+\frac{1}{V_2}} = \sqrt{1+\frac{1}{0,395}}$$
$$= 1,880 = \frac{f}{f_0}$$

$$\Rightarrow f_0 = \frac{f}{1,880} = \frac{20\,Hz}{1,880} = 10,64\,Hz$$

$$\omega_0 = 2\cdot\pi\cdot f_0 = 2\cdot\pi\cdot 10,64\,Hz = 66,86\,s^{-1} = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

$$\underline{\underline{m}} = \frac{c}{\omega_0^2} = \frac{4\cdot 40000}{60,86^2}\,kg = \underline{\underline{35,797\,kg}}$$

Zusatz: formelmäßig

$$m = \frac{4c}{\omega_0^2}\ ; \quad \omega_0 = 2\cdot\pi\cdot f_0 = 2\pi\frac{f}{\eta}\ ; \quad \eta = \sqrt{1+\frac{1}{V_2}}\ ; \quad V_2 = \frac{\hat{x}}{\frac{\hat{a}}{(2\cdot\pi\cdot f)^2}}$$

ergibt nach Einsetzen:

$$m = \frac{c}{\pi^2\cdot f^2}\left(1+\frac{\hat{a}}{\hat{x}(2\cdot\pi\cdot f)^2}\right) = \frac{40000}{\pi^2\cdot 20^2}\left(1+\frac{0,4}{10^{-5}(2\cdot\pi\cdot 20)^2}\right) kg$$
$$= 35,797\,kg$$

zu 4,b) $\hat{\ddot{x}} = \hat{x}\cdot\omega^2$
$$= 10^{-5}(2\cdot\pi\cdot 20)^2\,\frac{m}{s^2} = \underline{\underline{0,1579\,m/s^2 \ll 9,81\,m/s^2}} = g$$

$\Rightarrow$ hebt nicht ab!

Lösungen Prüfung Maschinendynamik 25.01.10 Blatt 4

zu 5) $10^{0,1 L_m} \cdot T_m = \sum 10^{0,1 L_i} \cdot T_i$

$$10^{7,4} \cdot 60\,\text{min} = 10^{5,0} \cdot 60\,\text{min} + 10^{8,3} \cdot 2 \cdot 2\,\text{min} + 10^{7,6} \cdot 12 \cdot 1\,\text{min} + 10^{7,2} \cdot t_x$$

$$t_x = \frac{60 \cdot 10^{7,4} - 60 \cdot 10^{5,0} - 4 \cdot 10^{8,3} - 12 \cdot 10^{7,6}}{10^{7,2}}\,\text{min}$$

$$= 14{,}215\,\text{min} \approx \underline{\underline{14{,}2\,\text{min}}}$$

zu 6) „Pfeifton" : $L_p = 20 \cdot \lg \dfrac{p_{eff}}{p_{0eff}}$; $p_{eff} = \dfrac{\hat{p}}{\sqrt{2}}$

$$= 20 \cdot \lg \frac{0{,}02/\sqrt{2}}{20 \cdot 10^{-6}}\,\text{dB} = 56{,}9897\,\text{dB}$$

A-Bewertung: $L_p = 56{,}9897\,\text{dB} + 1\,\text{dB} = 57{,}9897\,\text{dB(A)}$

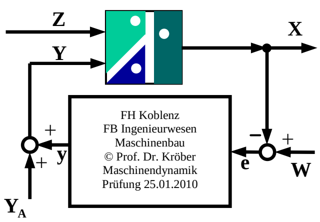
Maschine 1: $L_p = L_W - 8\,\text{dB} - 20 \cdot \lg r$

$$= (100 - 8 - 20 \cdot \lg 50)\,\text{dB(A)} = 58{,}021\,\text{dB(A)}$$

Summation: $10^{6,3} = 10^{5,79897} + 10^{5,8021} + 10^{0,1 \cdot L_x}$

$$L_x = 10 \cdot \lg \left(10^{6,3} - 10^{5,79897} - 10^{5,8021}\right)\,\text{dB(A)}$$

$$= 58{,}644\,\text{dB(A)} = L_{p2}$$



Schallleistungspegel 2:

$$L_{W2} = L_{p2} + 8\,\text{dB} + 20 \cdot \lg r$$

$$= (58{,}644 + 8 + 20 \cdot \lg 80)\,\text{dB(A)} = 104{,}706\,\text{dB(A)}$$

$$\approx \underline{\underline{104{,}7\,\text{dB(A)}}}$$