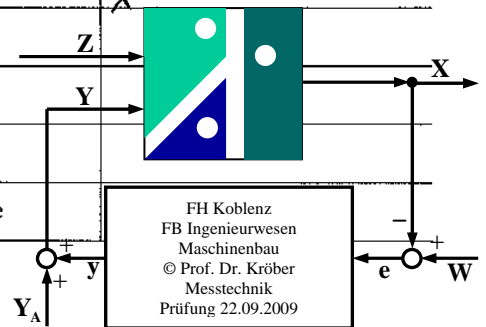


Diese Prüfung besteht aus einem Fragenteil und einem Rechenteil. Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
 - Schreib- und Zeichengerät
 - Taschenrechner

Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

+ Lösungsweg



Note : _____

K U R Z F R A G E N :

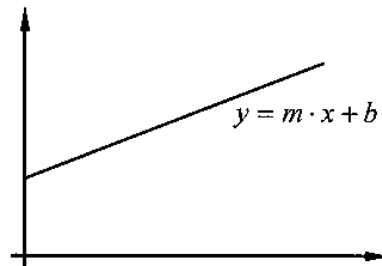
1. Der Durchmesser einer Kugel wird mit einem Messfehler von 0,5% bestimmt. Welcher Fehler ergibt sich daraus für Masse der Kugel? (2P)

$m \sim d^3 \Rightarrow 3 \cdot 0,5\% = 1,5\%$

2. Das statische Übertragungsverhalten eines Messsystems wird häufig durch eine Geradengleichung beschrieben. Wie wirken sich "Justieren" und "Kalibrieren" auf die Koeffizienten "m" und "b" dieser Geradengleichung aus? (4P)

Variation m Variation b

Ausgang y



Eingang x

3. Bei der Fehlerfortpflanzung für systematische Fehler wird folgende Fehlerformel verwendet:

$$\Delta y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot \Delta x_n \right|$$

Wie ergibt sich daraus die Fehlerfortpflanzungsformel für maximale Fehler (bitte oben entsprechend abändern!)? (2P)

4. Ergänzen Sie die dazugehörige Formel für die Fortpflanzungen des mittleren Fehlers (Standardabweichungen)! (3P)

$S_x = \sqrt{\dots + \dots + \dots + \dots} = ? \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} S_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} S_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} S_{x_n}\right)^2}$

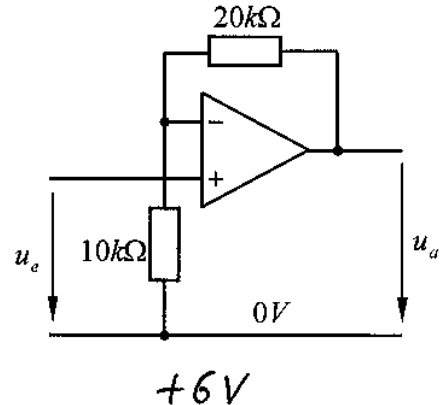
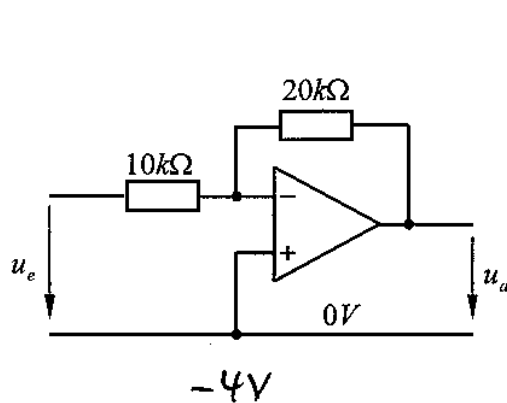
5. Wie groß ist die Auflösung [in mV] eines speziellen USB-Gerätes (USB 6008) zur Spannungsausgabe bei einem Analogausgang von 0-5V (12 bit)? (3P)

$5V / 2^{12} \approx 1,22mV$

6. Ein spezielles USB-Gerät zur analogen Messwerterfassung (USB 6008) besitzt eine maximale Abtastfrequenz von 10000 Hz. Bis zu welcher maximalen Frequenz lassen sich damit im Hinblick auf akustische Anwendungen Aussagen über das Frequenzspektrum angeben? (2P)

5000 Hz

7. An beiden Schaltungen liegt eine Eingangsspannung von +2V an. Wie groß sind die jeweiligen Ausgangsspannungen? (6P)

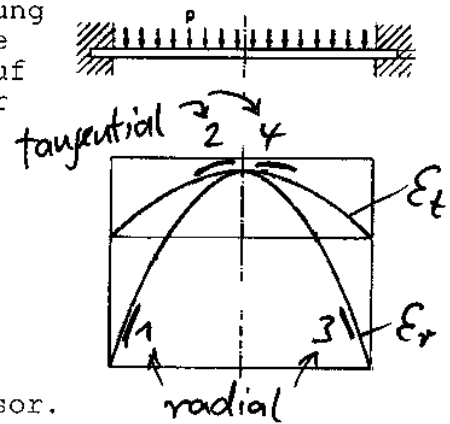


8. Wie lauten die Bezeichnungen der beiden obigen Schaltungen? (4P)

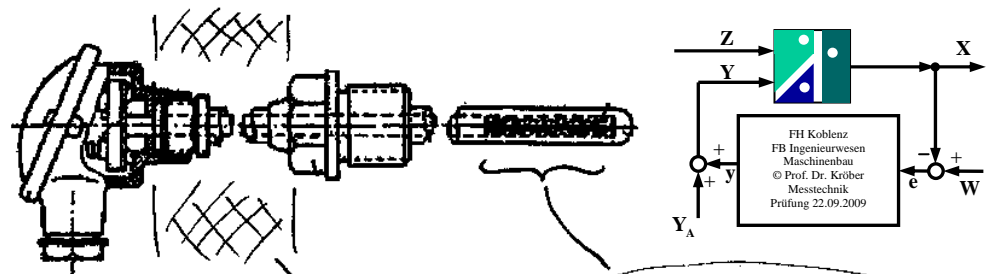
invertierender Verstärker

nichtinvertierender Verstärker

9. Die Abbildung zeigt die Dehnungsverteilung bei einer Druckmembran. Kennzeichnen Sie im unteren Teil der Abbildung den Verlauf der radialen Dehnung und den Verlauf der tangentialen Dehnung. Wie würden Sie 4 DMS platzieren, um möglichst viel Brückenverstimmung zu erzielen? (5P)



10. Die Abbildung zeigt einen Temperatursensor. (6P)



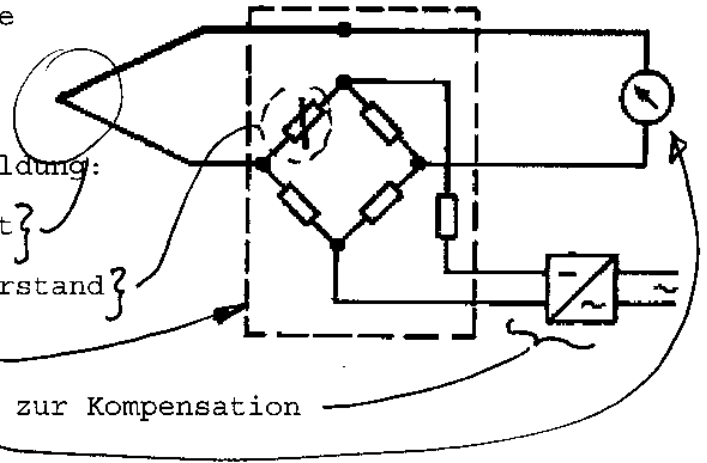
- Wo befindet sich bei dem Aufnehmer das eigentliche Messelement?
- In welchem Bereich wird die Wärmeisolation angebracht?
- Wie könnten Sie aufgrund der Abbildung begründen, ob es sich um einen Pt100 oder ein Thermoelement handelt?

nicht feststellbar

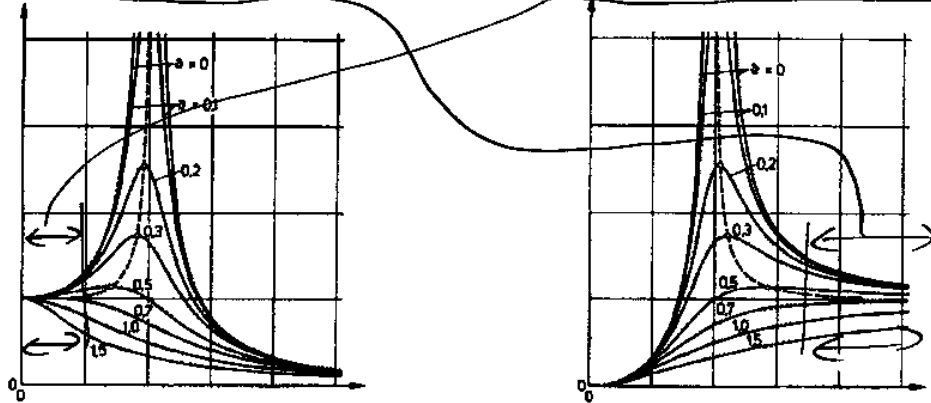
11. Die Abbildung zeigt den Aufbau einer Thermoelementmessstelle mit elektronischer Eispunktkompensation. (6P)

Kennzeichnen Sie in der Abbildung:

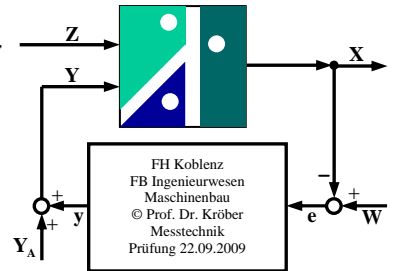
- a. Eigentliches Thermoelement zur Messaufgabe
- b. Temperaturabhängiger Widerstand zur Eispunktkompensation
- c. Isothermer Bereich zur Eispunktkompensation
- d. Versorgung der Messbrücke zur Kompensation
- e. Anzeige Messergebnis



12. Kennzeichnen Sie in den Diagrammen die Einsatzfrequenzbereiche eines seismischen Wegaufnehmers und eines Beschleunigungsaufnehmers. (4P)



13. Die Abbildung zeigt einen Gray-Code mit 5 Spuren. (4P)



a. Wozu/wobei wird der Gray-Code eingesetzt?

digitale Wegmessung (absolut)

b. Wodurch zeichnet sich der Gray-Code besonders aus (z.B. im Vergleich zum Dual-Code)?

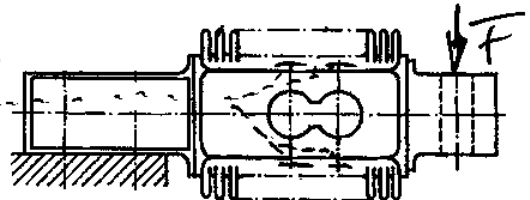
Von einem Feld zum nächsten Feld ändert sich nur eine Spur

14. Die Abbildung zeigt den Aufbau einer Wägezelle, die in der Praxis häufig eingesetzt wird. (6P)

a. Wo greift die zu messende Kraft an?

b. Wo befinden sich die 4 DMS?

c. Wie wird die Form des Aufnehmers bei der Herstellung verändert, wenn der Aufnehmer für kleinere Kräfte ausgelegt werden soll?



Bohrungen größer (Wandstärke kleiner)

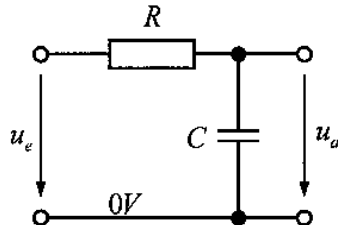
R E C H E N T E I L

Aufgabe 1 (9P)

Einem Messsignal mit der Frequenz f_1 ist ein hochfrequentes Störsignal mit der Frequenz f_2 überlagert. Zusammen lautet die formelmäßige Beschreibung des Messsignals:

$$u_e(t) = \hat{u}_{e1} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) + \hat{u}_{e2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t)$$

Dieses Signal wirkt als Eingangsgröße auf den abgebildeten Tiefpassfilter.



$$|G| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot T)^2}}$$

$$\tan \varphi = -\omega \cdot T$$

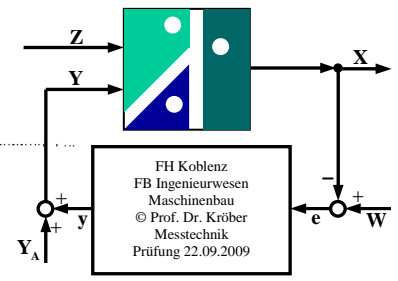
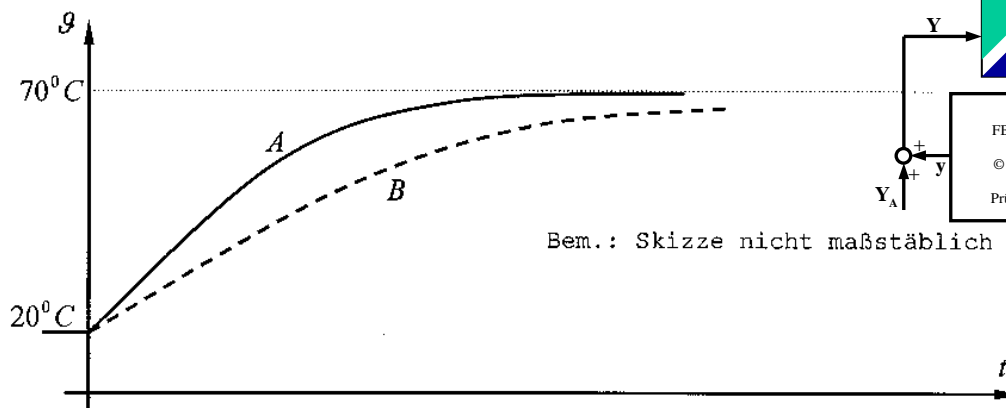
Das Ausgangssignal lautet: $u_a(t) = \hat{u}_{a1} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t + \varphi_1) + \hat{u}_{a2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t + \varphi_2)$

Zahlenwerte: $\hat{u}_{e1} = 5V$; $f_1 = 25 \text{ Hz}$; $\hat{u}_{e2} = 0,5V$; $f_2 = 500 \text{ Hz}$; $R = 100 \text{ k}\Omega$; $C = 0,1 \mu F$

Bestimmen Sie \hat{u}_{a1} und φ_2 !

Aufgabe 2 (9P)

Ein Temperatursensor verhalte sich wie ein System 1. Ordnung. Untersucht wird ein Temperatursprung von $20^\circ C$ auf $70^\circ C$.

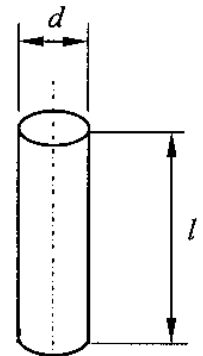


- a. Die Halbwertszeit des Sensors A liegt bei 10s. Wie groß ist die Zeitkonstante des Sensors A?

Hilfestellung: $\frac{\text{momentane Differenz}}{\text{Anfangsdifferenz}} = e^{-\frac{t}{T}}$

- b. Der Sensor A wird nun ausgetauscht in einen baugleichen Sensor B. Bei dem Sensor B ist lediglich der Durchmesser d doppelt so groß. Als wärmeübertragende Oberfläche wird nur die Mantelfläche des Sensors angesetzt. Ansonsten wird der gleiche Versuch durchgeführt. Nach welcher Zeit zeigt der Sensor B eine Temperatur von $45^\circ C$ an?

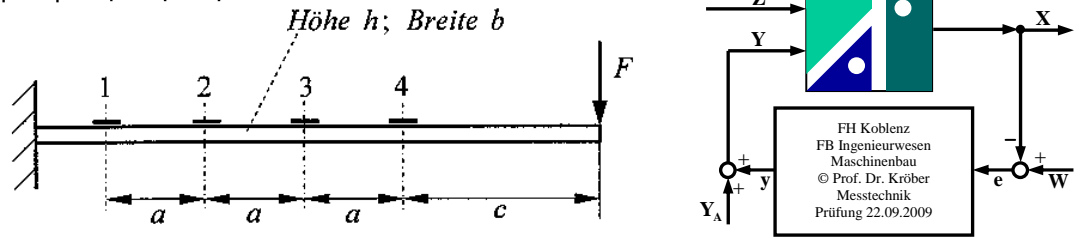
Hilfestellungen: $T = \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot A}$ $m = d^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot \rho$ $A = d \cdot \pi \cdot l$



Aufgabe 3 (10P)

Auf einem Biegebalken wurden die 4 abgebildeten DMS irrtümlicherweise alle quer appliziert. Die Verschaltung der DMS ist ebenfalls nicht sinnvoll/geschickt gewählt.

Geg.: a, b, c, h, F, k, E, ν

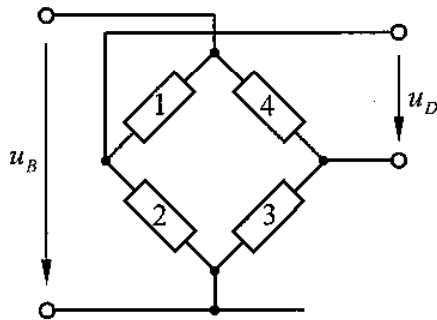


- a. Ermitteln Sie einen Zusammenhang zwischen der Brückenverstärkung und den gegebenen Größen (so wie oben in Skizze ausgeführt)!

Ziel: $\frac{u_D}{u_B} = f(a, b, c, h, F, k, E, \nu) = \dots = ?$

- b. Nachdem die 4 DMS bereits appliziert waren, hätte man im Nachhinein die Verschaltung anders ausführen können. Wie müsste die Verschaltung gewählt werden, damit sich bei der gegebenen DMS-Applikation ein maximales positives Ausgangssignal ergibt?

Hilfestellungen:



$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} \right)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

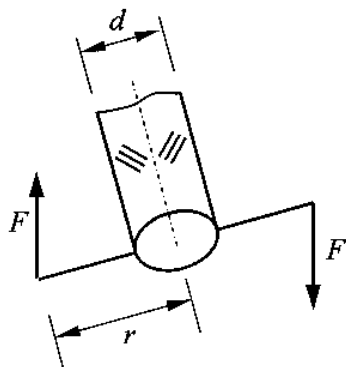
$$\varepsilon_{quer} = -\nu \cdot \varepsilon_{l\ddot{o}ngs}$$

Aufgabe 4 (7P)

Durch das an Welle angreifende Kräftepaar wird die Welle auf Torsion beansprucht. Zur Messung der Torsionsbeanspruchung wird eine Halbbrücke verwendet.

Die gemessene Brückenverstärkung beträgt $u_D/u_B = 0,5 \text{ mV/V}$. Wie groß ist die Kraft F?

Geg.: $r = 40 \text{ mm}; d = 10 \text{ mm}; k = 2; G = 80000 \text{ N/mm}^2$



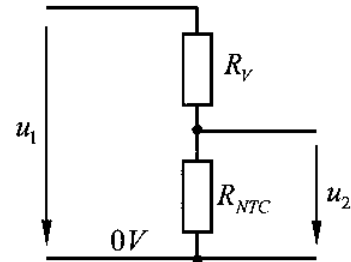
Hilfestellungen:

$$\varepsilon_{DMS} = \frac{\tau}{2 \cdot G}$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$

Aufgabe 5 (12P)

Für den Masterstudiengang ist im Fach "Modellbildung und Simulation" eine Temperaturmessung mit einem NTC unter Verwendung des USB 6008 von National Instruments geplant. Wird der Eingangswiderstand des USB 6008 vernachlässigt, kann das System mit der nebenstehenden Schaltung beschrieben werden.



Geg.: $u_1=5V(=konst)$; $R_v=10k\Omega$

$$R_{NTC} = R_0 \cdot e^{\frac{B}{T - T_0}}$$

Daten des NTC's:

$R_0=10k\Omega$; $T_0=(273,15+20)K=293,15K$; $B=3500K$

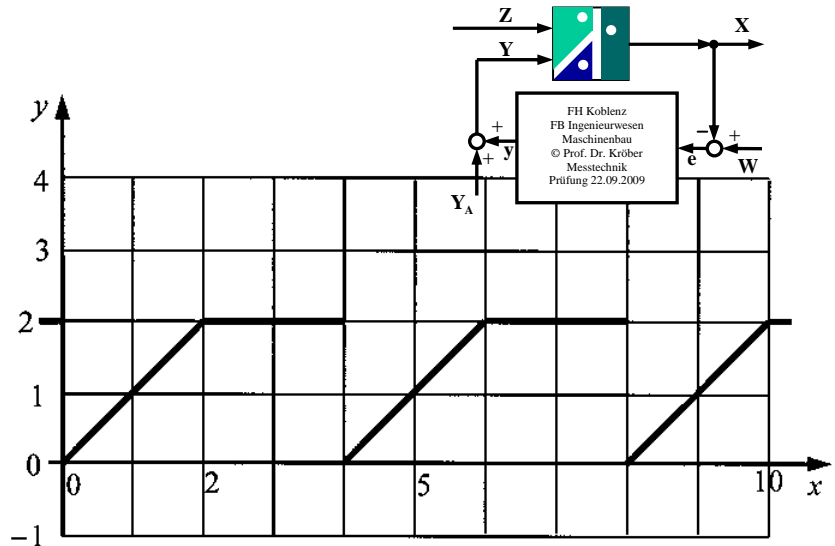
a. Wie groß ist die Spannung u_2 bei einer Temperatur von $\vartheta=20^\circ C$?

b. Bei welcher Temperatur [in $^\circ C$] erreicht die Spannung u_2 einen Wert $u_2=2,0V$?

Aufgabe 6 (10P)

Bestimmen Sie von dem abgebildeten Signal den Koeffizient b_1 (Exakte Lösung!!)

Bem.: Der gesamte Lösungsweg muss ersichtlich sein.



Hilfestellungen:

$$\int \sin(ax) dx = -\frac{1}{a} \cos(ax) + C$$

$$\int x \sin(ax) dx = -\frac{x}{a} \cos(ax) + \frac{1}{a^2} \sin(ax) + C$$

Hinweis:

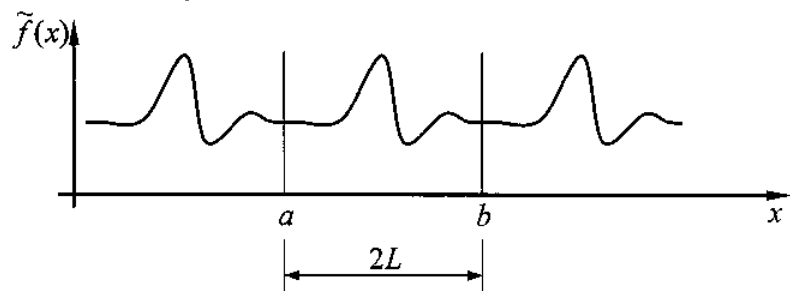
Sei $\tilde{f}(x)$ eine periodische Funktion der Periode $2L$, dann lässt sich $\tilde{f}(x)$ durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos\left(i \frac{\pi}{L} x\right) + \sum_{i=1}^n b_i \sin\left(i \frac{\pi}{L} x\right)$$

wobei:

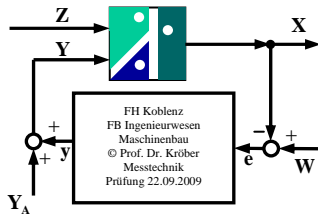
$$a_i = \frac{1}{L} \int_a^b \tilde{f}(x) \cos\left(i \frac{\pi}{L} x\right) dx$$

$$b_i = \frac{1}{L} \int_a^b \tilde{f}(x) \sin\left(i \frac{\pi}{L} x\right) dx$$



Prüfung Messtechnik vom 22.09.03 Blatt 1

$$zu 1) \frac{\hat{u}_{a1}}{\hat{u}_e} = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi f RC)^2}} \Rightarrow \hat{u}_{a1} = \frac{\hat{u}_e}{\sqrt{1+(2\pi f_1 RC)^2}}$$



$$= \frac{5V}{\sqrt{1+(2\pi \cdot 25 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6})^2}}$$

$$= \underline{\underline{2,685V}}$$

$$\tan \varphi_2 = -2\pi f_2 RC = -2\pi \cdot 500 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} = -31,42$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\varphi_2 = -88,18^\circ}} \text{ (eilt nach)}$$

$$zu 2, a) \frac{mom}{Auf} = \frac{1}{2} = e^{-t/T} \Rightarrow 2 = e^{t/T} \Rightarrow \underline{\underline{T}} = \frac{t}{\ln 2} = \frac{10s}{\ln 2} = \underline{\underline{14,427s}}$$

$$b) T = \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot A} = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot l \cdot \rho \cdot c}{\alpha \cdot d \cdot \pi \cdot l} = \frac{d \cdot \rho \cdot c}{4\alpha} ; Tnd$$

$$\text{also } T_B = 2 \cdot T = 2 \cdot 14,427s = 28,854s$$

$$\frac{mom}{Auf} = \frac{70-45}{70-20} = \frac{25}{50} = \frac{1}{2} = e^{-t/T}$$

↳ ebenfalls Halbwertszeit

$$\underline{\underline{t}} = T_B \cdot \ln 2 = 28,854s \cdot \ln 2 = \underline{\underline{20,0s}} \text{ (Bem.: verdoppelt)}$$

$$zu 3, a) \epsilon_1 = -v \cdot \frac{F(3a+tc)}{EW_b} ; \epsilon_2 = -v \cdot \frac{F(2a+tc)}{EW_b} ; \epsilon_3 = -v \cdot \frac{F(a+tc)}{EW_b}$$

$$\epsilon_4 = -v \cdot \frac{Fc}{EW_b}$$

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \cdot K (\epsilon_2 + \epsilon_4 - \epsilon_1 - \epsilon_3)$$

$$= \frac{K}{4} \left[-v \cdot \frac{F(2a+tc)}{EW_b} - v \cdot \frac{Fc}{EW_b} + v \cdot \frac{F(3a+tc)}{EW_b} + v \cdot \frac{F(a+tc)}{EW_b} \right]$$

$$= \frac{K}{4} \cdot v \cdot \frac{F}{EW_b} \left[\underbrace{-2a - c - c + 3a + c + a + c}_{2a} \right] = \frac{KvaF}{2EW_b} ; EW_b = \frac{5b^2}{6}$$

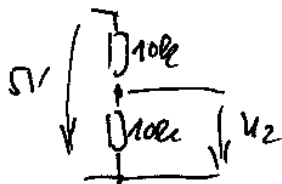
$$\underline{\underline{\frac{u_D}{u_B}}} = \dots = \underline{\underline{3 \frac{K \cdot v \cdot a}{E b l^2} \cdot F}}$$

b) DMS 2 und DMS 3 tauschen

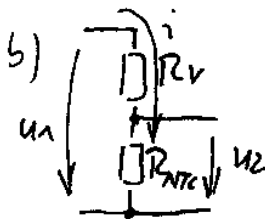
Prüfung Messtechnik vom 22.09.09 Blatt 2

$$\begin{aligned}
 \text{zu 4) } \frac{20}{18} &= \frac{1}{2} k \epsilon_{\text{DMS}} = \frac{1}{2} k \frac{\sigma}{2 \cdot G} = \frac{1}{2} k \frac{M_t}{W_p} = \frac{1}{2} k \frac{2 \cdot F \cdot r}{\pi \cdot d^3 / 16} \\
 &= \frac{8 \cdot k \cdot F \cdot r}{\pi \cdot G \cdot d^3} \Rightarrow F = \frac{20 / 18 \cdot \pi \cdot G \cdot d^3}{8 \cdot k \cdot r} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 80000 \cdot 10^3}{8 \cdot 2 \cdot 40} \text{ N} \\
 &= \underline{\underline{196,35 \text{ N}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{zu 5, a) } R_{\text{NTC}} &= R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \\
 &= 10 \text{ k}\Omega \cdot e^{3500 \left(\frac{1}{293,15} - \frac{1}{293,15} \right)} = 10 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$



Maximaler Spannungsteiler $\Rightarrow \underline{\underline{U_2 = 2,5 \text{ V}}}$



$$i = \frac{U_1}{R_v + R_{\text{NTC}}} = \frac{U_2}{R_{\text{NTC}}}$$

$$U_1 R_{\text{NTC}} = U_2 (R_v + R_{\text{NTC}}) = U_2 R_v + U_2 R_{\text{NTC}}$$

$$R_{\text{NTC}} (U_1 - U_2) = U_2 R_v$$

auch möglich:
Dreisatz...

$$R_{\text{NTC}} = \frac{U_2}{U_1 - U_2} R_v = \frac{2,0 \text{ V}}{(5,0 - 2,0) \text{ V}} \cdot 10 \text{ k}\Omega$$

$$= \underline{\underline{6,6 \dots \text{ k}\Omega}}$$

$$R_{\text{NTC}} = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \Rightarrow \ln \frac{R_{\text{NTC}}}{R_0} = B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{R_{\text{NTC}}}{R_0}$$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + B \ln \frac{R_{\text{NTC}}}{R_0} = \left(\frac{1}{293,15} + 3500 \ln \frac{6,6 \dots}{10} \right) \frac{1}{\text{K}} \Rightarrow T = 303,45 \text{ K}$$

$$\underline{\underline{\Delta t = (303,455 - 273,15) \text{ K} = 30,31 \text{ }^\circ\text{C}}}$$

$$\text{zu 6) } 2L = b - a = 4 - 0 = 4 \Rightarrow L = 2$$

$$f_1 = \frac{1}{2} \int_0^2 x \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right) dx + \frac{1}{2} \int_2^4 2 \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right) dx$$

$$= \frac{1}{2} \left[-\frac{x}{\pi/2} \cos\left(\frac{\pi}{2}x\right) + \left(\frac{\pi/2}\right)^2 \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right) \right]_0^2 + \left[-\frac{1}{\pi/2} \cos\left(\frac{\pi}{2}x\right) \right]_2^4$$

$$= \frac{1}{2} \left[-\frac{2}{\pi/2} \underbrace{\cos(\pi)}_{-1} + \left(\frac{\pi/2}\right)^2 \underbrace{\sin(\pi)}_0 + 0 - \sin(0) \right] + \left[-\frac{2}{\pi} \underbrace{\cos(2\pi)}_1 + \frac{2}{\pi} \underbrace{\cos(\pi)}_{-1} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[+\frac{4}{\pi} \right] - \frac{2}{\pi} - \frac{2}{\pi} = -\frac{2}{\pi} \approx \underline{\underline{-0,6366}}$$

