

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

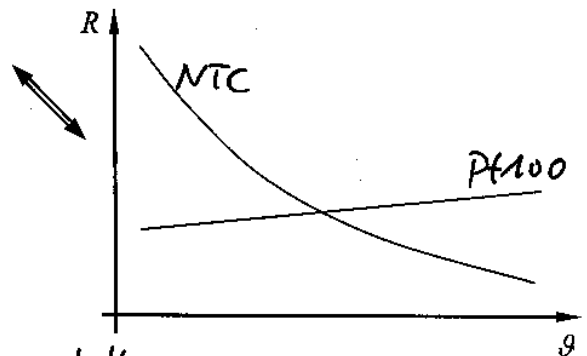
- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
  - Schreib- und Zeichengerät
  - Taschenrechner

Note : \_\_\_\_\_

KURZFRAGEN :

1. Wie lautet der Teil des Anzeigebereiches, für den die Fehlerspezifikationen gelten? ( 1P )  
Messbereich
2. Wie groß ist die Brückenverstimmung bei DMS-Aufnehmern, die sich bei 100% der Messgröße einstellen? ( 2P )  
2 mV/V
3. Eine gemessene Temperatur beträgt 20°C, der Sollwert beträgt 21°C. Wie groß ist der absolute Messfehler? ( 2P )  
-1°C
4. Mit welchem absoluten Fehler müssen Sie rechnen, falls bei einem Druckaufnehmer (Messbereich 200 bar) eine Fehlerklasse von 1 % vorliegt? ( 1P )  
(±) 2 bar

5. Die Abbildung zeigt den Verlauf des elektrischen Widerstandes in Abhängigkeit der Temperatur. Welche "Verfahren" sind dargestellt? ( 3P ) (Antwort direkt in Abbildung schreiben!)



6. Weshalb werden z.B. Druckaufnehmer auf DMS-Basis (Folien-DMS) nur ab einem Messbereichsendwert ab ca. 5 bar eingesetzt? ( 2P )

sonst Rückwirkung DMS auf Messstelle

7. Wodurch zeichnen sich piezoelektrische Aufnehmer bezüglich des statischen und dynamischen Übertragungsverhalten besonders aus? ( 4P )

stat.: nur quasistatisch, DRIFT bei Zeitraum  $t \geq 1...2 \text{ min}$   
dyn.: hohe Dynamik infolge hoher Steifigkeit

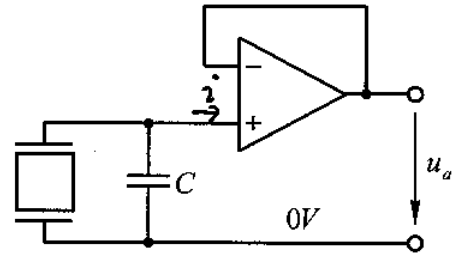
Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

*x Lösung pen*

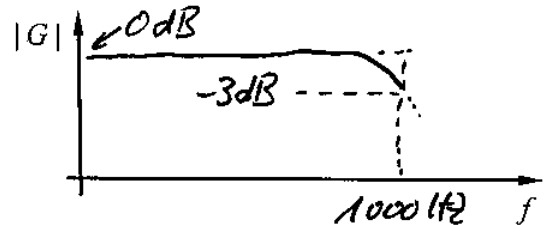
HS Koblenz  
 FB Ingenieurwesen  
 FR Maschinenbau  
 © Prof. Dr. Kröber  
 Messtechnik  
 Prüfung 19.07.2014

8. Wodurch kommt es bei dem abgebildeten Ladungsverstärker (Prinzip) zu einer Drift des Ausgangssignals? ( 3P )

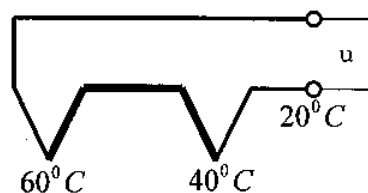
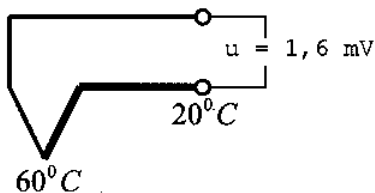
$i$  nicht exakt Null  
C wird stetig entleert



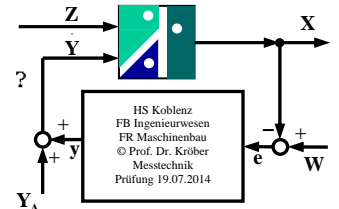
9. Ein DMS-Messverstärker besitzt einen Frequenzgang bis 1000 Hz (-3dB). Tragen Sie den Frequenzgang in das nebenstehende Diagramm ein. Insbesondere soll die Information "1000 Hz (-3dB)" zu erkennen sein. ( 3P )



10. Die linke Thermoelementanordnung ergibt eine Thermospannung von  $u = 1,6 \text{ mV}$ . Welche Thermospannung entsteht bei der rechten Anordnung (Thermomaterialien sind gleich)? ( 3P )



0,8 mV



11. Welche Brückerverstimmung erzielt man, wenn man einem DMS-Widerstand von  $120 \Omega$  einen Widerstand von  $30 \text{ k}\Omega$  parallel schaltet (Verhältnis ist 250)? ( 2P )

1 mV/V

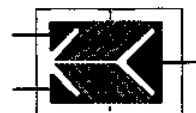
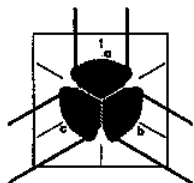
Wie groß ist die Brückenverstimmung, wenn  $60 \text{ k}\Omega$  parallel geschaltet werden? ( 2P )

0,5 mV/V

12. Wie kann die Steifigkeit von DMS-Aufnehmern im Vergleich zu piezoelektrischen Aufnehmern eingeordnet werden? ( 2P )

$C_{\text{DMS}} \ll C_{\text{Piezo}}$

13. Wozu werden die folgenden DMS verwendet? ( 5P )



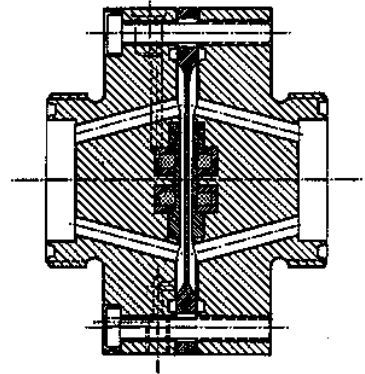
DMS-Rosette      Rosette für      Drehmoment-  
Hauptspannungsermittlung      Membran-Druckaufnehmer      messung

14. Welche Phasenverschiebung hat ein Tiefpassfilter 1. Ordnung bei der Eckkreisfrequenz? ( 2P )

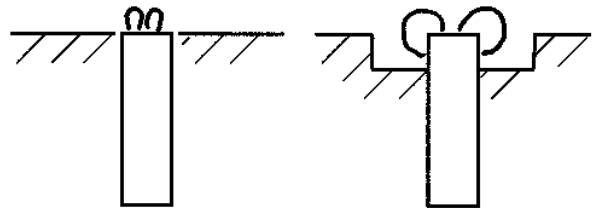
-45°

15. Welche physikalische Messgröße wird mit dem Aufnehmer gemessen? Wodurch ergibt sich eine Überlasteinrichtung? ( 4 P )

Differenzdruckaufnehmer  
Überlast: Membran legt sich an eine Wand an



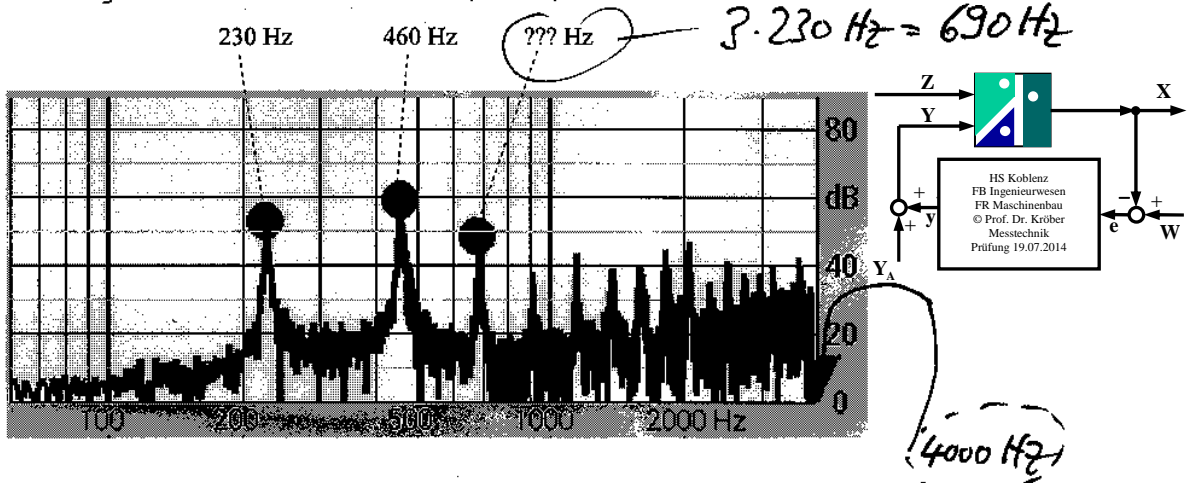
16. Skizzieren Sie den Verlauf der Feldlinien (maßgeblich für den Schaltabstand) bei einem "bündig" und "nicht bündig" einbaubaren induktiven Näherungsschalter! ( 4 P )



17. Mit dem USB-Messsystem USB6008 können Spannungen im Bereich 0-5 V bei 12 bit Auflösung ausgegeben werden. Wie groß ist dann die Auflösung [in mV]? ( 3 P )

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

18. Die Abbildung zeigt ein aufgenommenes Frequenzspektrum beim "Nase putzen". Wie groß muss die Frequenz sein, die in der Abbildung mit "???" Hz gekennzeichnet ist? ( 2 P )

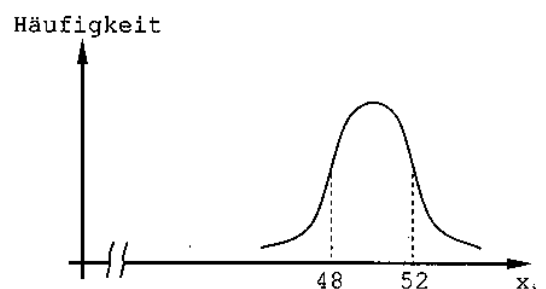


19. Diese Frage bezieht sich auf die Abbildung zuvor. Das Frequenzspektrum ist im oberen Frequenzbereich bis zur maximal möglichen auswertbaren Frequenz abgebildet. Wie groß muss dann die Abtastfrequenz sein? ( 3 P )

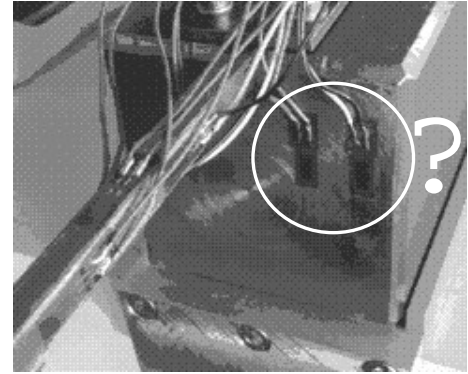
$2 \cdot 4000 \text{ Hz} = 8000 \text{ Hz}$

20. Die Abbildung zeigt die Verteilung von Messwerten. Wie groß sind der Erwartungswert und die Standardabweichung? ( 3 P )

$\mu = 50$   
 $\sigma_x = 2$



21. Ein dünner Stab ist an einem dicken Stahlblock befestigt (damit er nicht umkippt). Auf dem Stab sind einige DMS appliziert. Weshalb sind an dem dicken Stahlblock auch noch 2 DMS appliziert? Hier ist doch so gut wie keine Dehnung zu erwarten.



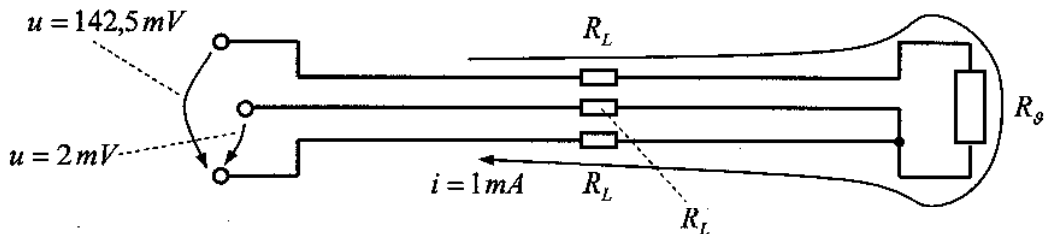
Welche physikalische Größe wird hier gemessen? ( 4P )

Zug-/Druckkraft Temperaturkompensation

RECHENTEIL

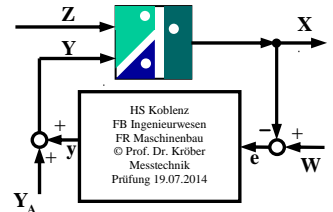
Aufgabe 1 ( 9P )

Bei der Temperaturmessung mit einem Pt100 wird ein dreiadriges Kabel verwendet. Die hier angewandte sogenannte Dreileiterschaltung ist unten abgebildet. Durch zwei Adern fließt der Speisestrom von  $i = 1 \text{ mA}$ , eine Ader dient als "Sense Leitung". Jede Kabelader hat den Widerstand  $R_L$ .



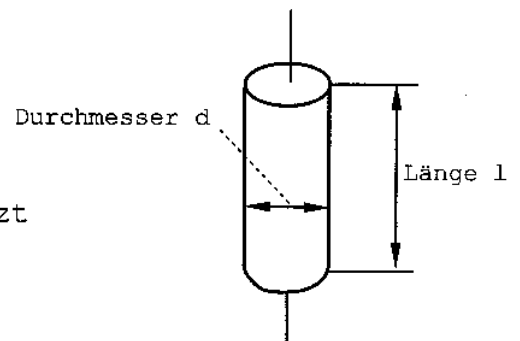
- Wie groß ist der Spannungsabfall über dem temperaturabhängigen Widerstand?
- Wie groß ist der Widerstand  $R_g$ ?
- Bestimmen Sie die Temperatur des Temperaturfühlers!

Hilfestellung:  $R_g = R_0 \cdot (1 + \alpha_{Pt} \cdot \vartheta)$  mit  $\alpha_{Pt} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$



Aufgabe 2 ( 9P )

Ein Temperatursensor (Zylinderform) besitzt einen Durchmesser  $d$  und eine Länge  $l$ . Die Wirkung der Anschlussdrähte kann vernachlässigt werden. Die Stirnflächen sollen bei der Ermittlung der Oberfläche mit berücksichtigt werden. Der Sensor besitzt eine Zeitkonstante von  $T = 10$  Sekunden.



- Wie groß ist die Halbwertszeit?
- Wie groß ist die Wärmeübergangszahl?

Gegebene Daten:  $d = 4 \text{ mm}$ ;  $l = 20 \text{ mm}$ ; Dichte  $8000 \text{ kg/m}^3$   
spezifische Wärmekapazität  $400 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$

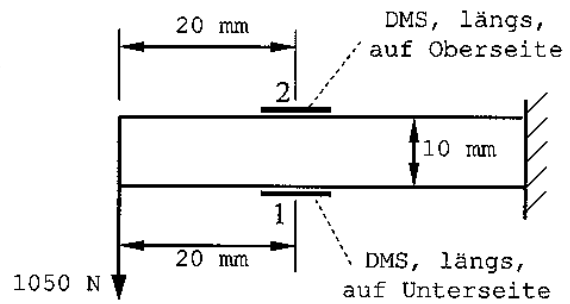
Hilfestellungen:  $\frac{\text{momentane Differenz}}{\text{Anfangsdifferenz}} = e^{-\frac{t}{T}}$   $T = \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot A}$

Aufgabe 3 ( 14P )

Der abgebildete Biegebalken soll mit einer Halbbrücke messtechnisch untersucht werden. Das Profil des Biegebalkens ist quadratisch.

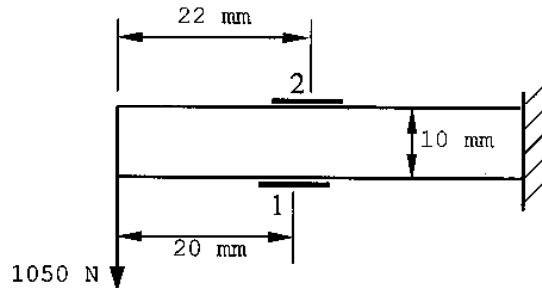
Ferner gegeben:

$$k = 2; E = 210000 \text{ N/mm}^2$$



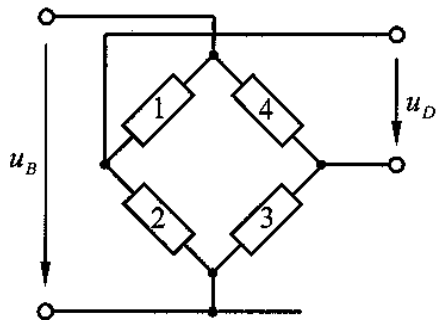
- Bestimmen Sie zunächst die Dehnungen  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  (zahlenmäßige Lösung in  $[\mu\text{m/m}]$ )!
- Welcher Wert ergibt sich für die Brückenverstimmung  $\frac{u_D}{u_B}$  (zahlenmäßige Lösung in  $[\text{mV/V}]$ )?

Nun stellte sich heraus, dass der obere DMS um 2 mm zu weit rechts geklebt wurde (sonst Zahlenwerte wie zuvor).



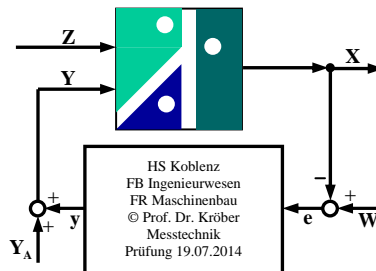
- Welche Werte ergeben sich für die Dehnungen? Wie groß ist die Brückenverstimmung?
- Bestimmen Sie die Abweichung für die Brückenverstimmung (Vergleich Fragestellung b und c)  $[\text{in } \%]$ !

Hilfestellungen:



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

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon \quad W_b = \frac{b \cdot h^2}{6}$$



Aufgabe 4 ( 8P )

Im Akustik-Labor wird ein Beschleunigungsaufnehmer verwendet, der aufgrund seiner internen Bauweise stets eine Konstantspannung von 2,5 V ausgibt. Dieser Konstantspannung überlagert ist das eigentliche Beschleunigungssignal, welches nach geeigneter Verstärkung von einem Rechner eingelesen wird. Zur Beseitigung der Konstantspannung wird ein Hochpassfilter verwendet. Die nachfolgende Verstärkung wird mit einem nichtinvertierenden Verstärker realisiert. Die hier zu messende Beschleunigung hat eine Signalfrequenz von 25 Hz.

In dieser Aufgabe soll der Hochpassfilter untersucht werden.

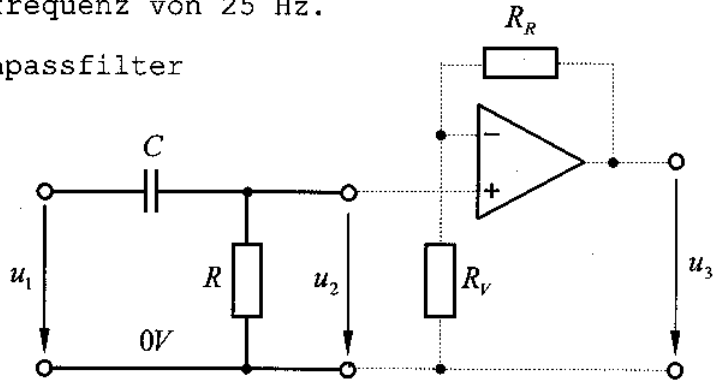
Für die Signale  $u_1$  und  $u_2$  gilt:

$$u_1(t) = 2,5V + \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t)$$

$$u_2(t) = \hat{u}_2 \cdot \sin(\omega t)$$

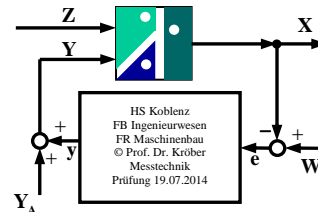
Weitere gegebene Zahlenwerte:

$$\hat{u}_2 = 0,2V; R \cdot C = 1 \text{ sec}$$



- Bestimmen Sie zunächst den Wert für  $\hat{u}_1$ !  
(wegen Fragestellung b. schon hier mit "genug" Nachkommastellen rechnen!)
- Um wie viel Prozent ist  $\hat{u}_1$  größer als  $\hat{u}_2$ ?  
(mit "genug" Nachkommastellen rechnen!)

Hilfestellung:  $|G| = \frac{\omega \cdot R \cdot C}{\sqrt{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}}$



Aufgabe 5 ( 8P )

In einer Messkette wird ein nichtinvertierender Verstärker verwendet, um das Signal vor einer A/D-Wandlung zu verstärken.

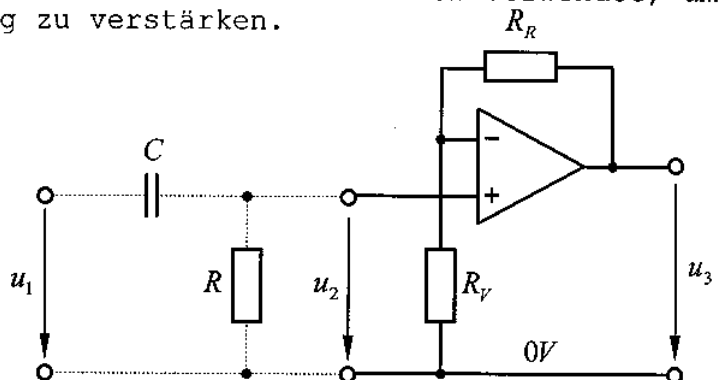
Für die Signale  $u_2$  und  $u_3$  gilt:

$$u_2(t) = \hat{u}_2 \cdot \sin(\omega t)$$

$$u_3(t) = \hat{u}_3 \cdot \sin(\omega t)$$

Weitere gegebene Zahlenwerte:

$$\hat{u}_2 = 0,2V; \hat{u}_3 = 4V; R_V = 5 \text{ k}\Omega$$



- Wie groß ist der Wert für  $R_R$ ?
- Wie groß ist der Strom durch den Widerstand  $R_V$ , wenn der Spitzenwert der Spannung gerade erreicht ist?

Hilfestellung:  $|G| = 1 + \frac{R_R}{R_V}$

Aufgabe 6 ( 12P )

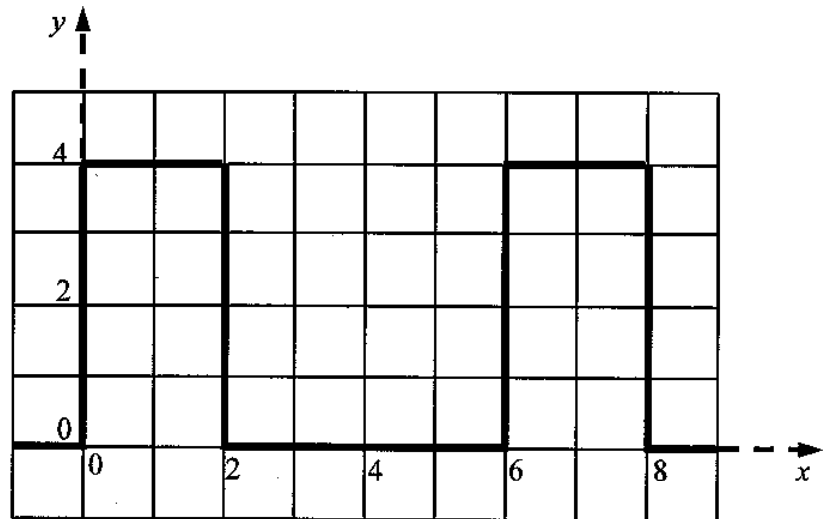
Von dem abgebildeten Signalverlauf ist der Koeffizient  $a_1$  bereits bestimmt. Zu bestimmen sind noch  $b_1$ ,  $A_1$  und  $\varphi_{01}$  (stets exakte Lösung ist gesucht)!

Bereits bestimmt:

$$a_1 = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi}$$

Bemerkung:

Der gesamte Lösungsweg muss ersichtlich sein. Keine Integration "nur im Taschenrechner"!



Hilfestellungen:

$$\int \sin(ax) dx = -\frac{1}{a} \cos(ax) + C \quad \int \cos(ax) dx = +\frac{1}{a} \sin(ax) + C \quad A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad \tan \varphi_{0i} = \frac{a_i}{b_i}$$

Hinweis:

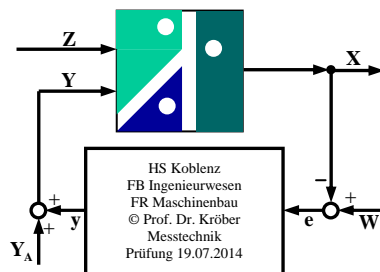
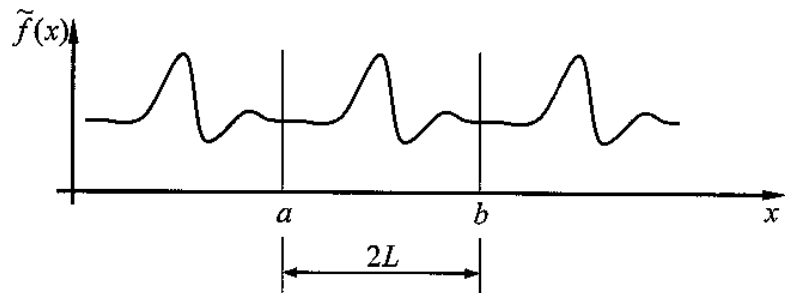
Sei  $\tilde{f}(x)$  eine periodische Funktion der Periode  $2L$ , dann lässt sich  $\tilde{f}(x)$  durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

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

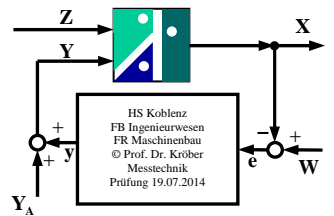
wobei:

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

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



Prüfung Messtechnik 19.07.14



zu 1.a)  $\underline{u} = (142,5 - 2 \cdot 2) \text{ mV} = \underline{138,5 \text{ mV}}$

b)  $\underline{R_{rel}} = \frac{u}{i} = \frac{138,5 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = \underline{138,5 \Omega}$

c)  $R_{rel} = R_0 (1 + \alpha_{Pt} \cdot \Delta t) \Rightarrow \frac{R_{rel}}{R_0} - 1 = \alpha_{Pt} \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{\alpha_{Pt}} \left( \frac{R_{rel}}{R_0} - 1 \right)$

$\underline{\Delta t} = \frac{1}{3,85 \cdot 10^{-3}} \left( \frac{138,5}{100} - 1 \right) \text{ } ^\circ\text{C} = \underline{100 \text{ } ^\circ\text{C}}$

zu 2.a)  $\frac{m_{om}}{m_{uf}} = e^{-t/T} = \frac{1}{2} \Rightarrow e^{t/T} = 2 \mid \ln \Rightarrow \frac{t}{T} = \ln 2$

$\underline{t} = T \cdot \ln 2 = 105 \cdot \ln 2 = \underline{6,935}$

b)  $T = \frac{m \cdot c}{\alpha A} \Rightarrow \alpha = \frac{m \cdot c}{T \cdot A} = \frac{0,004^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,028000 \cdot 400}{10 (0,004 \cdot \pi \cdot 902 + 2 \cdot \frac{0,004^2 \cdot \pi}{4})} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$   
 $= \underline{290,91 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}}$

zu 3.a)  $\underline{\epsilon_2} = \frac{\sigma_{b2}}{E} = \frac{M_{b2}}{E \cdot W_b} = \frac{1050 \cdot 20}{210000 \cdot \frac{10^3}{6}} \cdot 10^6 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} = \underline{600 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}}}$

$\underline{\epsilon_1} = -\epsilon_2 = \underline{-600 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}}}$

b)  $\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta R_2}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} \right) = \frac{k}{4} (\epsilon_2 - \epsilon_1) = \frac{2}{4} (600 \cdot 10^{-6} - (-600) \cdot 10^{-6}) \cdot 10^3 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$   
 $= \underline{0,600 \frac{\text{mV}}{\text{V}}}$

c)  $\underline{\epsilon_1} = -600 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$  (wie zuvor)

$\underline{\epsilon_2} = 600 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \cdot \frac{22}{20} = \underline{660 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}}}$

$\underline{\frac{u_D}{u_B}} = \frac{2}{4} (660 \cdot 10^{-6} - (-600) \cdot 10^{-6}) \cdot 10^3 \frac{\text{mV}}{\text{V}} = \underline{0,630 \frac{\text{mV}}{\text{V}}}$

d)  $\frac{0,630 - 0,600}{0,600} \cdot 100\% = \underline{5\%}$



Prüfung Messtechnik 19.07.14

$$\begin{aligned} \text{zu 4, a)} \quad |G| &= \frac{u_2^1}{u_1^1} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \Rightarrow u_1^1 = u_2^1 \frac{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}{\omega RC} \\ &= 0,2 \text{ V} \frac{\sqrt{1+(2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 1)^2}}{2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 1} \\ &= \underline{\underline{0,200004053 \text{ V} (\approx 0,20 \text{ V})}} \end{aligned}$$

$$\text{b)} \quad \frac{0,200004053 - 0,2}{0,2} \cdot 100\% = 0,002026\% \approx 0,002\%$$

$$\text{zu 5, a)} \quad |G| = 1 + \frac{R_R}{R_V} = \frac{u_3^1}{u_2^1} \Rightarrow R_R = R_V \left( \frac{u_3^1}{u_2^1} - 1 \right) = 5 \text{ k}\Omega \left( \frac{4}{0,2} - 1 \right) = \underline{\underline{95 \text{ k}\Omega}}$$

$$\text{b)} \quad \underline{\underline{i_1^1}} = \frac{u_1^1}{R_V} = \frac{u_2^1}{R_V} = \frac{u_3^1}{R_V} = \frac{0,2 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = \underline{\underline{0,04 \mu\text{A}}}$$

$$\text{zu 6)} \quad L = \frac{b-a}{2} = \frac{6-0}{2} = 3$$

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{1}{3} \int_0^2 4 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}x\right) dx = \frac{4}{3} \int_0^2 \sin\left(\frac{\pi}{3}x\right) dx = \frac{4}{3} \left[ -\frac{3}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{3}x\right) \right]_0^2 \\ &= -\frac{4}{\pi} \left( \underbrace{\cos\left(\frac{\pi}{3} \cdot 2\right)}_{-1/2} - \underbrace{\cos(0)}_1 \right) = -\frac{4}{\pi} \left( -\frac{3}{2} \right) = \underline{\underline{\frac{6}{\pi} \approx 1,910}} \end{aligned}$$

$$A_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} = \sqrt{\left(\frac{2\sqrt{3}}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{6}{\pi}\right)^2} = \frac{1}{\pi} \sqrt{12 + 36} = \frac{1}{\pi} \sqrt{48} = \frac{1}{\pi} \sqrt{16 \cdot 3}$$

$$\underline{\underline{A_1}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{16 \cdot 3} = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} \approx 2,205$$

$$\tan \varphi_{01} = \frac{a_1}{b_1} = \frac{2\sqrt{3}/\pi}{6/\pi} = \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow \underline{\underline{\varphi_{01} = +30^\circ}}$$

