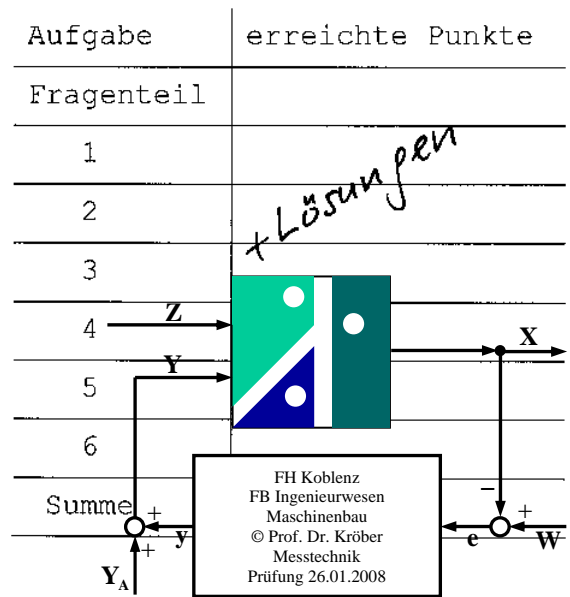


Diese Prüfung besteht aus einem Fragenteil und einem Rechenteil. Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

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

Note : _____

KURZFRAGEN :



1. Wie lautet der Bereich der Messwerte unterhalb des Anzeigebereiches? (1P)

Unterdrückungsbereich

2. Zur Bestimmung der Eigenfrequenz eines Biegebalkens wird auf dem Biegebalken ein Beschleunigungsaufnehmer montiert. Weshalb entsteht hier ein systematischer Messfehler? (2P)

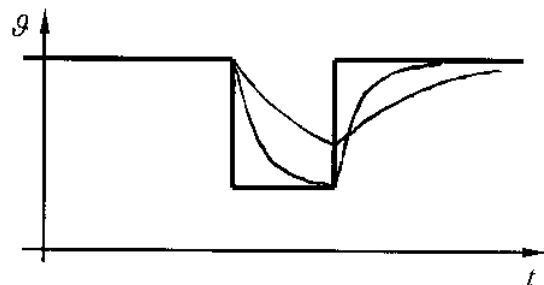
durch die zusätzlich aufgebracht Masse des Beschl.-aufnehmers

3. Eine Oberflächentemperatur beträgt konstant 150°C. Beispielhafte Messwerte lauten: 146°C, 147°C, 145°C, 146°C, 145°C, 147°C, 146°C, 146°C, usw. Erläutern Sie an diesem Beispiel den Begriff "systematischer Fehler"! Wie groß ist der systematische Fehler? (2P)

Messwerte (bis auf Rundungsfehler) ständig zu niedrig

Syst. Fehler = Messwert - wahrer Wert = 146°C - 150°C = -4°C

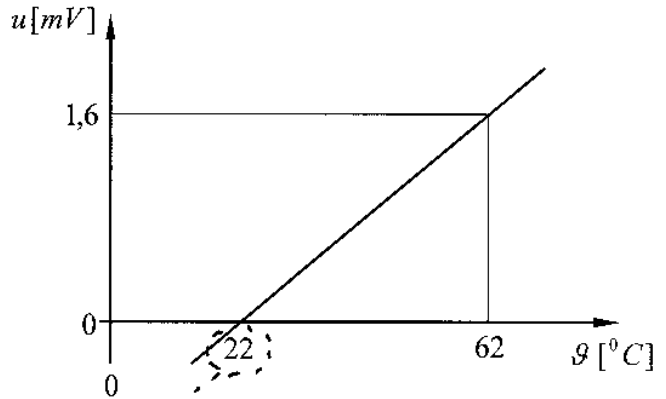
4. Ein Temperaturmesssystem verhalte sich wie ein System 1. Ordnung. In der Skizze ist der tatsächlich vorhandene Temperaturverlauf eingetragen. Ergänzen Sie den angezeigten Temperaturverlauf für zwei Temperatursensoren mit unterschiedlichen Zeitkonstanten! Die zu Beginn der Betrachtung vorhandene Temperatur sei bereits seit langer Zeit konstant. (4P)



5. Wie groß muss ein Widerstand zur Shunt-Kalibrierung sein, damit sich eine Brückenverstärkung vom 1mV/V ergibt? (2P)

250 · R_{DMS}

6. In der Abbildung ist die Thermospannung einer Thermoelementmessstelle aufgetragen. (4P)



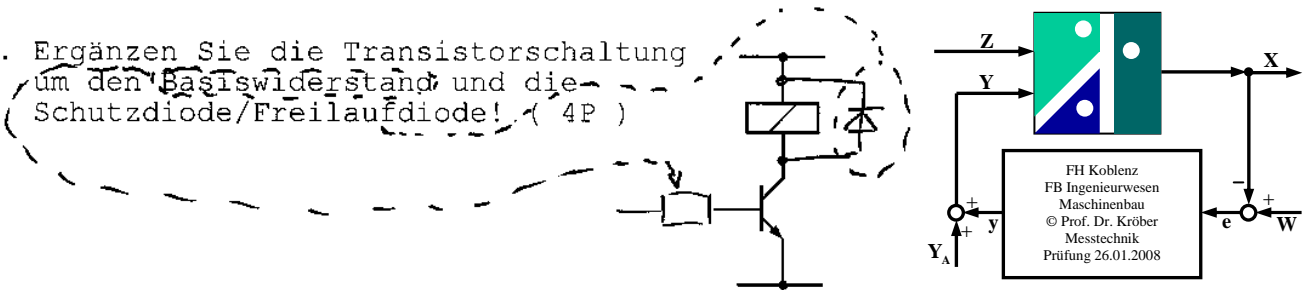
Wie groß ist die Vergleichstemperatur?

Bestimmen Sie die Thermoempfindlichkeit in $[\mu\text{V}/\text{K}]$?

Vergleichstemp. = 22°C

$$k = \frac{\Delta u}{\Delta \vartheta} = \frac{1,6 \text{ mV}}{40 \text{ K}} = 40 \mu\text{V}/\text{K}$$

7. Ergänzen Sie die Transistorschaltung um den Basiswiderstand und die Schutzdiode/Freilaufdiode! (4P)



8. Wie groß ist der übliche Eingangswiderstand eines Voltmeters? (1P)

10 MΩ

9. Wobei/wozu wird der "Seebeck-Effekt" und wobei/wozu wird der "Peltier-Effekt" ausgenutzt? (4P)

Seebeck : Thermoelement (Temp.-messung)

Peltier : Kühlelemente (Kälteerzeugung)

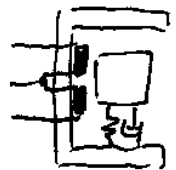
10. Die Zeitkonstante eines Gliedes 1. Ordnung beträgt 10s. Wie groß ist dann die Halbwertszeit [in sec]? (3P)
Hinweis:

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

$$\frac{1}{2} = e^{-t/T} \Rightarrow \ln \frac{1}{2} = -t/T \Rightarrow t = -T \cdot \ln \frac{1}{2} = T \cdot \ln 2 = 6,93 \text{ s}$$

11. Welche Gemeinsamkeiten haben seismische Wegaufnehmer und Beschleunigungsaufnehmer? (2P)

Gehäuse und innen eine zum Gehäuse abfederte „seismische“ Masse ; Messung: Relativweg Gehäuse/seis. Masse



12. Ein periodischer Vorgang wiederholt sich 10 mal pro Sekunde. Der periodische Vorgang ist nicht sinusförmig, sondern "nur" periodisch. Welche Frequenzen [in Hz] können aufgrund einer Frequenzanalyse im Signal vorhanden sein? (3P)

10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, ...

13. Vergleichen Sie den Temperatureinsatzbereich von DMS-basierten Aufnehmern im Vergleich zu piezoelektrischen Aufnehmern! (2P)

DMS bis ca 120°C piezo bis ca 300°C - 400°C

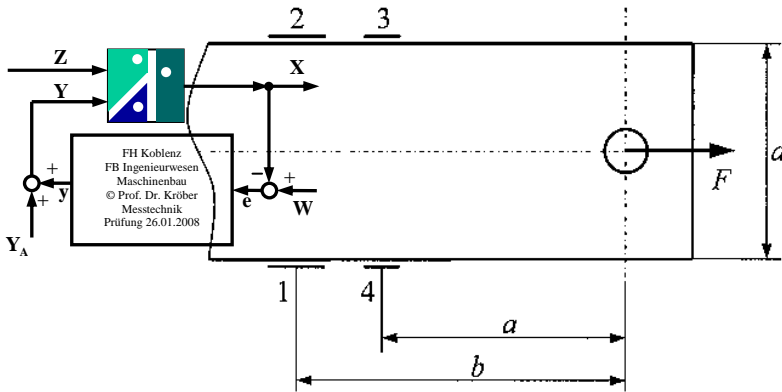
14. Vergleichen Sie die Nullpunktstabilität von DMS-basierten Aufnehmern im Vergleich zu piezoelektrischen Aufnehmern! (2P)

DMS → gut piezo: nur quasi-statisch (bis ca 1...2min)

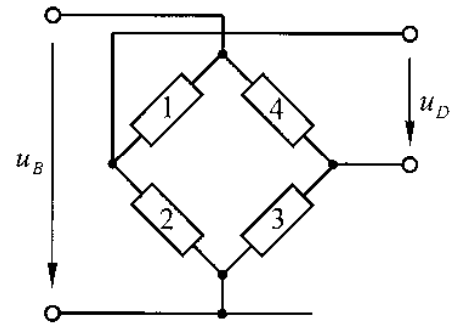
15. Vergleichen Sie die Steifigkeit von DMS-basierten Kraftaufnehmern im Vergleich zu piezoelektrischen Kraftaufnehmern! (2P)

DMS "weicher" im Vergleich zu Piezo-Aufnehmern

16. Bei der abgebildeten DMS-Anordnung geht die Zugkraft nicht in das Messergebnis ein. Begründen Sie diese Aussage! (4P)
 Bem.: DMS 1+2 längs, DMS 3+4 quer angeordnet



Zur Begründung "nützlich":



$\epsilon_1 = \epsilon_2 \Rightarrow \frac{\Delta R_1}{R} = \frac{\Delta R_2}{R} \Rightarrow$ heben sich auf

$\epsilon_3 = \epsilon_4 (<0) \Rightarrow \frac{\Delta R_3}{R} = \frac{\Delta R_4}{R} \Rightarrow$ heben sich auch auf

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

17. Welches ist das besondere Einsatzgebiet eines Trägerfrequenzmessverstärkers? (2P)

induktive Aufnehmer

18. Nennen Sie 3 Drehzahlmessverfahren! (3P)

Stroboskop, Gleichspannungstachogenerator, digitaler Signalaufgriff mit Näherungsschalter

19. Der Wandlerbereich eines A/D-Wandlers sei +/-10V. Wie groß ist die Wertigkeit des LSB (Auflösung) in [mV] bei

8-bit: $\frac{20V}{2^8} = 78,1mV$ 12-bit: $\frac{20V}{2^{12}} = 4,88mV$ 16-bit: $\frac{20V}{2^{16}} = 0,305mV$

(3P)

RECHENTEIL

Aufgabe 1 (8P)

Von einem rechtwinkligen Dreieck werden die Breite b der Grundlinie und die Höhe h gemessen. Aus diesen Größen lässt sich die Fläche $A = \frac{b \cdot h}{2}$ berechnen.

a. Für die Längenmessung der Breite b wird ein relativer Fehler von $\Delta b/b=1\%$ und für die Höhe ein relativer Fehler von $\Delta h/h=2\%$ zugrunde gelegt. Wie groß ist der (maximale) relative Fehler der Fläche?

Ges.: $\frac{\Delta A}{A} = ?$

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

b. Für die Längenmessung der Breite b wird ein zufälliger Fehler von $S_b/b=1\%$ und für die Höhe ein zufälliger Fehler von $S_h/h=2\%$ zugrunde gelegt. Wie groß ist der zufällige Fehler der Fläche?

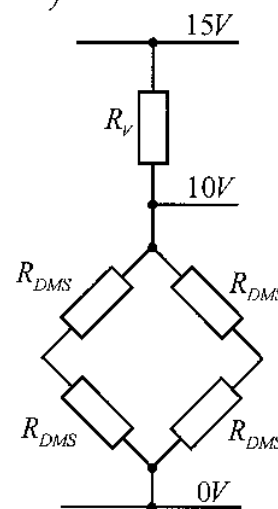
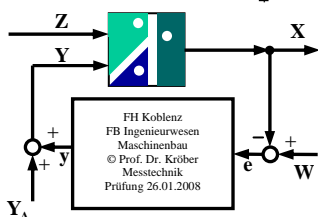
Ges.: $\frac{S_A}{A} = ?$

Hilfestellung zu b: $S_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot S_{x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot S_{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot S_{x_n} \right)^2}$

Aufgabe 2 (9P)

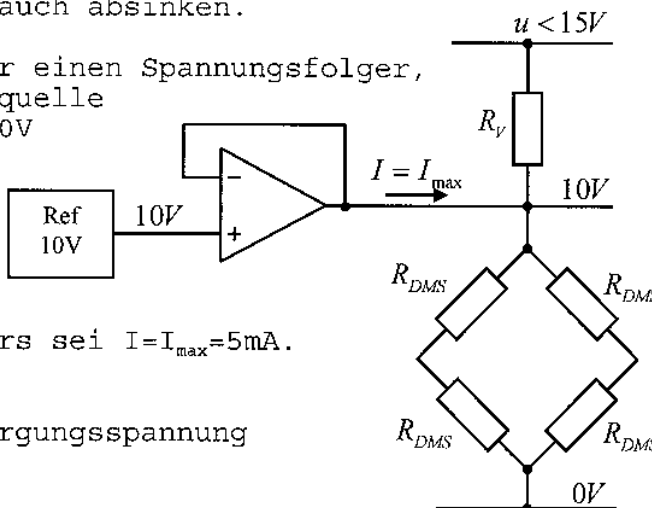
An der abgebildeten Messbrücke soll stets eine konstante Brückenspeisespannung von 10V anliegen. Zur Verfügung steht eine Gleichspannung von 15V. Der Widerstand eines einzelnen DMS sei 120Ω .

Erste Frage: Wie groß muss der dazu erforderliche Widerstand R_v sein?



Wenn die Versorgungsspannung auf einen tieferen Wert als 15V absinkt, wird die Brückenspeisespannung auch absinken.

Um dies zu verhindern, wird über einen Spannungsfolger, der von einer Referenzspannungsquelle stets einen Spannungswert von 10V vorgegeben bekommt, ein zusätzlicher Strom in die Messbrücke eingespeist. Damit verbleibt die Brückenspeisespannung weiterhin bei 10V. Der Maximalstrom des Spannungsfolgers sei $I = I_{max} = 5mA$.



Zweite Frage:

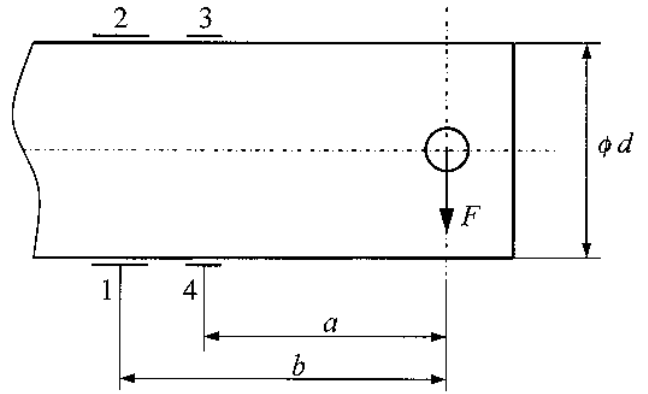
Auf welchen Wert darf die Versorgungsspannung (zuvor 15V) dann absinken?

Aufgabe 3 (8P)

Mit der abgebildeten DMS-Anordnung kann die Querkraft, und damit letztlich das Biegemoment, gemessen werden.

Bemerkung: Eine eventuell überlagerte Längskraft geht nicht in das Messergebnis ein.

Geg.: F, a, b, d, k, E, ν



- a. Bestimmen Sie formelmäßig die Dehnungen $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ und ϵ_4 in Abhängigkeit der gegebenen Größen!

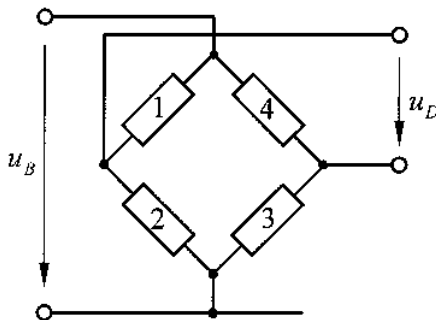
Erläuterung zur Abbildung:

DMS 1 und DMS 2 sind längs, DMS 3 und DMS 4 sind quer angeordnet.

- b. Bestimmen Sie formelmäßig die Brückenverstimmung in Abhängigkeit der gegebenen Größen!

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

Verschiedene Formeln zum Thema DMS:



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

$W_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$

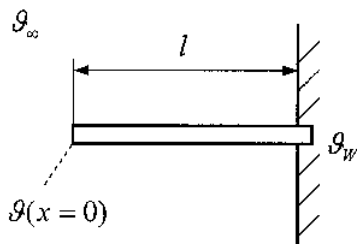
$\epsilon_{quer} = -\nu \cdot \epsilon_{längs}$

FH Koblenz
FB Ingenieurwesen
Maschinenbau
© Prof. Dr. Kröber
Messtechnik
Prüfung 26.01.2008

Aufgabe 4 (8P)

Ein Temperatursensor ist an einer Außenwand (Wandtemperatur sei ϑ_w) befestigt und soll die Umgebungstemperatur ϑ_∞ messen. Der Sensor befindet sich an der Messspitze und zeigt die Temperatur $\vartheta(x=0)$ an. Der Sensor wird als Vollmaterial angenommen und besitzt Kreisquerschnitt (Durchmesser d).

Geg.: $\alpha = 30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \lambda = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}), d = 4 \text{ mm}, l = 100 \text{ mm}, \vartheta_w = 30^\circ \text{ C}, \vartheta_\infty = 90^\circ \text{ C}$



Hilfestellungen:

$$\frac{\vartheta(x=0) - \vartheta_\infty}{\vartheta_w - \vartheta_\infty} = \frac{1}{\cosh(ml)} \quad m = \sqrt{\frac{\alpha \cdot U}{\lambda \cdot A}} \quad \cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

Wie groß ist der systematische Messfehler?

Aufgabe 5 (9P)

Am Eingang eines Tiefpassfilters 1. Ordnung liegt eine sinusförmige Eingangsgröße an. Bei einer bestimmten Frequenz beträgt der Frequenzgang $|G|_{dB} = -3dB$.

- Um wie viel Prozent ist dann das Ausgangssignal kleiner als das Eingangssignal?
- Wie groß ist die Phasenverschiebung?

Hilfestellungen:

$$|G|_{dB} = 20 \cdot \lg |G| \qquad |G| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot T)^2}} \qquad \tan \varphi = -\omega \cdot T$$

Aufgabe 6 (8P)

Bestimmen Sie die Gesamtamplitude A_1 der Grundschwingung des abgebildeten Signals!

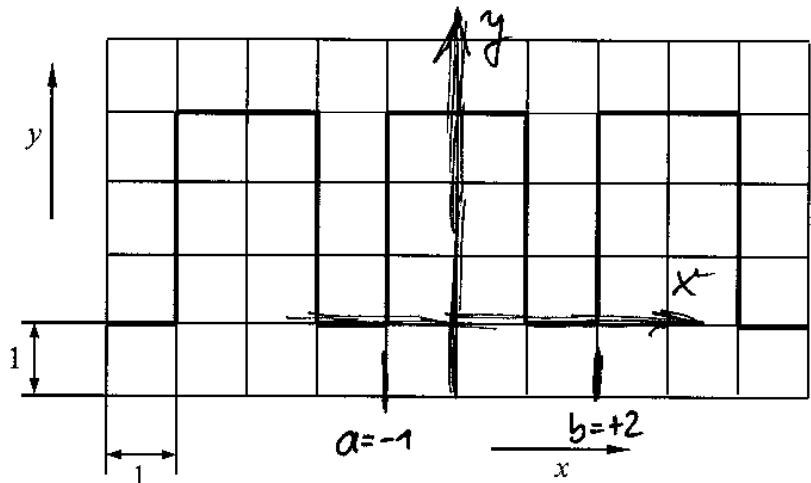
Hinweis: Um den Rechenaufwand zu minimieren, ist es sinnvoll, das Koordinatensystem so zu legen, dass sich eine gerade Funktion ergibt.

Hilfestellungen:

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

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

$$A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}$$



Hinweis:

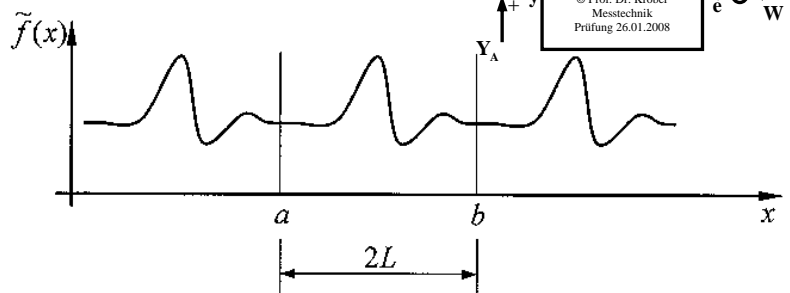
Sei $\tilde{f}(x)$ eine periodische Funktion der Periode $2L$, dann lässt sich $\tilde{f}(x)$ durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

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

wobei:

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

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



Lösungen Prüfung Messtechnik vom 26.01.08 | Blatt 1

m1.a) $A = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h$

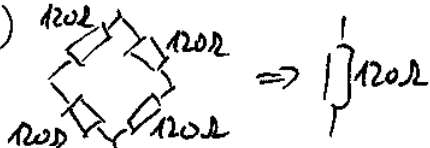
$$\Delta A = \left| \frac{\partial A}{\partial b} \cdot \Delta b \right| + \left| \frac{\partial A}{\partial h} \cdot \Delta h \right| = \frac{h}{2} \cdot \Delta b + \frac{b}{2} \Delta h \quad | \cdot \frac{1}{A}$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\frac{h}{2} \cdot \Delta b}{\frac{1}{2} b h} + \frac{\frac{b}{2} \cdot \Delta h}{\frac{1}{2} b h} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta h}{h} = 1\% + 2\% = 3\%$$

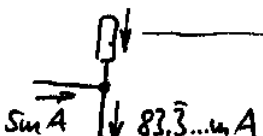
b) $S_A = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial b} \cdot S_b \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial h} \cdot S_h \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{h}{2} \cdot S_b \right)^2 + \left(\frac{b}{2} \cdot S_h \right)^2} \cdot \frac{1}{A}$

$$\frac{S_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{h}{2 \cdot \frac{1}{2} b h} S_b \right)^2 + \left(\frac{b}{2 \cdot \frac{1}{2} b h} S_h \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{S_b}{b} \right)^2 + \left(\frac{S_h}{h} \right)^2}$$

$$= \sqrt{(1\%)^2 + (2\%)^2} = \sqrt{5\%} \approx 2,24\%$$

m2)  $i = \frac{U}{R} = \frac{10V}{120\Omega} = 83,3... \mu A$

$$R_V = \frac{\Delta U}{i} = \frac{5V}{0,0833... A} = 60\Omega$$

 $i = 83,3... \mu A - 5 \mu A = 78,3... \mu A$

$$\Delta U = R_V \cdot i$$

$$= 60\Omega \cdot 0,0783... A = 4,70V$$

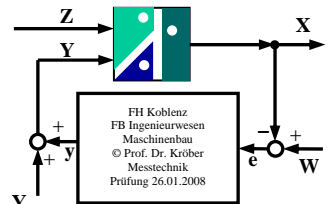
also: $U = 10V + 4,70V = 14,70V$

m3) $E_2 = \frac{b_2}{E} = \frac{M_{b2}}{E \omega b} = \frac{F \cdot b}{E d^3 \cdot \frac{\pi}{32}} = \frac{32 \cdot F \cdot b}{\pi \cdot E \cdot d^3}$; $E_1 = -E_2 = -\frac{32 \cdot F \cdot b}{\pi \cdot E \cdot d^3}$

$$E_3 = -V \frac{32 \cdot F \cdot a}{\pi \cdot E \cdot d^3} ; E_4 = -E_3 = +V \frac{32 \cdot F \cdot a}{\pi \cdot E \cdot d^3}$$

b) $\frac{U_0}{U_B} = \frac{K}{4} (E_2 + E_4 - E_1 - E_3) = \frac{K}{4} \left(\frac{32 \cdot F \cdot b}{\pi E d^3} + V \frac{32 F a}{\pi E d^3} - \left(-\frac{32 \cdot F \cdot b}{\pi E d^3} \right) - \left(-V \frac{32 F a}{\pi E d^3} \right) \right)$

$$= \dots = \frac{16 \cdot K (b + V a)}{\pi E d^3} \cdot F$$



Lösungen Prüfung Messtechnik vom 26.01.08 / Blatt 2

$$u4) m = \sqrt{\frac{\alpha \cdot U}{\lambda \cdot A}} = \sqrt{\frac{30 \cdot \pi \cdot 0,004}{50 \cdot \pi / 4 \cdot 0,004^2}} \text{ m}^{-1} = 24,49 \text{ m}^{-1}$$

$$\cosh(ml) = \cosh(24,49 \cdot 0,1) = 5,8344$$

$$\begin{aligned} \alpha(x=0) &= \alpha_0 + (\alpha_w - \alpha_0) \cdot \frac{1}{\cosh(ml)} = 90^\circ\text{C} + (30^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}) \frac{1}{5,8344} \\ &= 79,72^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\text{System. Fehler} = \text{IST} - \text{SOLL} = 79,72^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C} = \underline{\underline{-10,28^\circ\text{C}}}$$

$$u5) -3 = 20 \cdot \lg|G| \Rightarrow -\frac{3}{20} = \lg|G| \Rightarrow |G| = 10^{-\frac{3}{20}} = 0,7079$$

also um 29,21% kleiner

$$\begin{aligned} |G| &= \frac{1}{\sqrt{1+(\omega T)^2}} \Rightarrow 1+(\omega T)^2 = \frac{1}{|G|^2} \Rightarrow \omega T = \sqrt{\frac{1}{|G|^2} - 1} \\ &= \sqrt{\frac{1}{0,7079^2} - 1} = 0,9976 \end{aligned}$$

$$\tan \varphi = -\omega T = -0,9976$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\varphi = -47,93^\circ \text{ (nachteilig)}}}$$

$$u6) L = \frac{b-a}{2} = \frac{2-(-1)}{2} = \frac{3}{2}$$

$$a_1 = \frac{2}{3} \int_{-1}^{+1} (3) \cdot \cos\left(1 \cdot \frac{2\pi}{3} x\right) dx = 2 \int_{-1}^{+1} \cos\left(\frac{2\pi}{3} x\right) dx$$

$$= 2 \left[\frac{3}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{3} x\right) \right]_{-1}^{+1} = \frac{3}{\pi} \left[\sin\left(\frac{2\pi}{3} x\right) \right]_{-1}^{+1} = \frac{3}{\pi} \left[\underbrace{\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right)}_{\frac{1}{2}\sqrt{3}} - \underbrace{\sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right)}_{-\frac{1}{2}\sqrt{3}} \right]$$

$$\underline{\underline{a_1 = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \approx 1,654 = A_1 \quad (b_1 = 0)}}$$

