

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

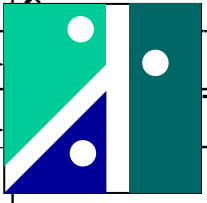
- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
  - Schreib- und Zeichengerät
  - Taschenrechner

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

KURZFRAGEN :

Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

*x Lösungen*



FH Koblenz  
 FB Ingenieurwesen  
 Maschinenbau  
 © Prof. Dr. Kröber  
 Messtechnik  
 Prüfung 18.09.2007

1. Bei der Messung der Umgebungstemperatur absorbiert der Sensor durch Sonnenstrahlung eine Wärmeleistung P. Durch Konvektion wird diese Wärmeleistung an die Umgebung abgegeben ( $P = \alpha \cdot A \cdot \Delta \vartheta$ ). Erläutern Sie, wie die Wärmeübergangszahl in den Messfehler eingeht! ( 3P )

$P_{\text{absorbiert}} = P_{\text{konv}} = \alpha \cdot A \cdot \Delta \vartheta \Rightarrow \Delta \vartheta \sim \frac{1}{\alpha}$   $\alpha \uparrow \Rightarrow$  Messfehler  $\downarrow$

*Messfehler*

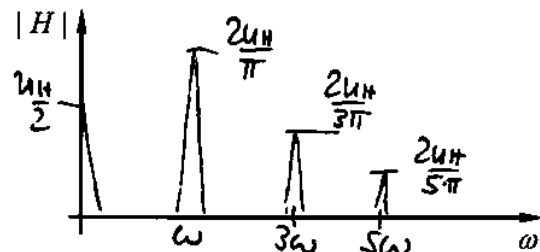
2. Skizzieren Sie den Aufbau bzw. das Ersatzschaltbild eines induktiven Wegaufnehmers (Drosselprinzip)! ( 3P )



3. Die Fourierreihenentwicklung eines Messsignals lautet:

$$f(t) = \frac{u_H}{2} + \frac{2 \cdot u_H}{\pi} \cdot \left[ 1 \cdot \sin(1 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{3} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{5} \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t) + \dots \right]$$

Skizzieren Sie das dazugehörige Spektrum! ( 3P )



4. Ein Tiefpassfilter hat bei der Knickfrequenz ein Amplitudenverhältnis von  $|G| = 1/\sqrt{2}$ . Wie groß ist dieses Verhältnis, wenn es in [dB] angegeben wird? ( 2P )

$|G_{dB}| = 20 \cdot \lg \frac{1}{\sqrt{2}} = -3,01 \text{ dB} \approx -3 \text{ dB}$

5. Nennen Sie die 2 häufigsten eingesetzten Thermopaare! ( 2P )

K-Typ (NiCr-Ni)

J-Typ (Fe-Konst)

6. Ein A/D-Wandler hat einen Wandlerbereich von 0 bis 10 V. Der momentane Spannungswert beträgt 8,0 V. Wie lauten die ersten 4 bit des Ergebnisses des A/D-Wandlers? ( 3P )

	Rest	
5V	3V	1 = Bit 1
2,5V	0,5V	1 = Bit 2
1,25V	0,5V	0 = Bit 3
0,625V	0,5V	0 = Bit 4

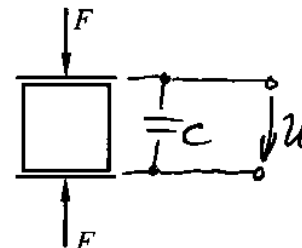
7. Bei der DMS-Messtechnik wird häufig ein "Kompensations-DMS" auf einem unbelasteten Ort am Bauteil appliziert. Erläutern Sie, was hier kompensiert wird! ( 3P )

unterschiedliche Wärmeausdehnung (infolge  $\alpha$ ) zwischen DMS und Bauteil wird kompensiert

8. Bei der Messung von großen Kräften werden bei den Messelementen meist Zug/Druckkonstruktionen verwendet. Weshalb verwendet man bei kleineren Kräften Biegekonstruktionen? ( 2P )

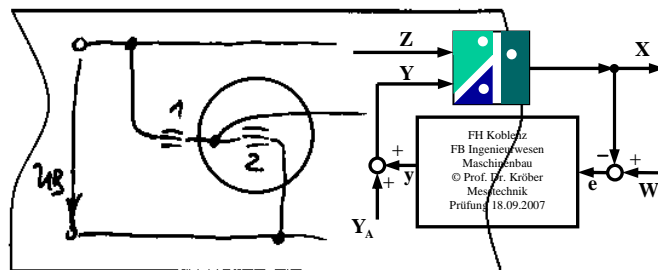
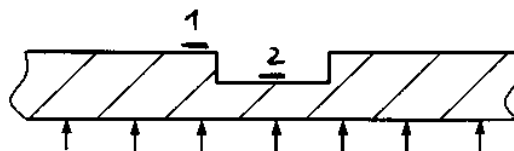
Biegung => größere Spf bzw. Dehnungen erzielbar (Hebelarm); mehr Messereffekt

9. Bei piezoelektrischen Aufnehmern liefert die Verformung eines Quarzes ein Ausgangssignal. Um welches Ausgangssignal handelt es sich und wie wird dieses Ausgangssignal in eine zu messende Ausgangsspannung umgewandelt (Skizze ergänzen!)? ( 3P )



Ladung Q

10. Ein Maschinengehäuse steht unter Innendruck. Die vorhandene Außenwand wird in einem kreisrunden Bereich (außen) abgefräst. Nun sollen 2 DMS außen so appliziert werden, damit eine Messbrücke zur Messung des Innendruckes entsteht. Skizzieren Sie die Lage der DMS und begründen Sie die Anordnung! ( 3P )



Bem: DMS 1 quasi passiv  
DMS 2 Zug bei Innendruck

11. Bei welchem Messverfahren wird der GRAY-Code verwendet? ( 2P )

absolute digitale Wegmessung

12. Eine Welle dreht mit 50 Hz. Wenn der Beobachter diese Welle mit einem Stroboskop mit der Blitzfrequenz von 50 Hz anblitzt, sieht er ein sogenanntes einfaches stehendes Bild. Welches Bild sieht er, falls die Blitzfrequenz 25 Hz, 51 Hz und 100 Hz beträgt? ( 3P )

25 Hz: stehendes Bild (wie bei 50 Hz)

51 Hz: Markierung (Welle) scheint sich mit 1 Hz entgegen Drehrichtung zu drehen

100 Hz: eine Markierung erscheint 2 mal (180° versetzt)

13. Die Messergebnisse einer größeren Messreihe lauten  $x_1=100, 101, 99, 100, 101, 99, 100, 101, 99, \dots$

Bem.: Beim genaueren Hinsehen stellt man fest, dass sich die Werte nach 3 Einzelwerten stets wiederholen.

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Wie groß ist die Standardabweichung, wenn die ersten 3 Messwerte einbezogen werden? ( 1P )

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{3-1} (0^2 + 1^2 + (-1)^2)} = 1$$

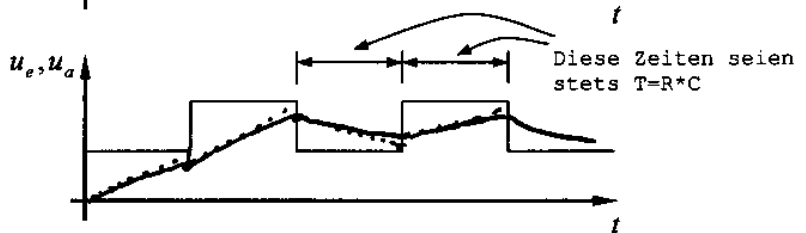
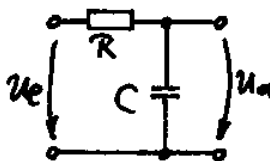
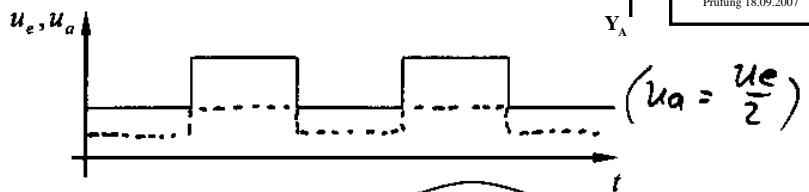
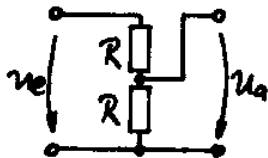
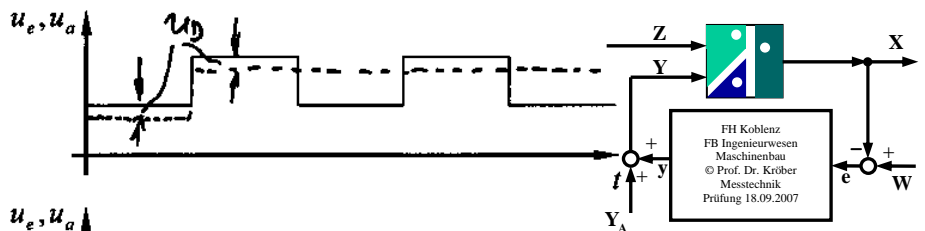
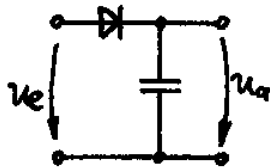
Wie groß ist die Standardabweichung, wenn die ersten 6 Messwerte einbezogen werden? ( 1P )

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{6-1} (4)} = \sqrt{\frac{2}{5}} \approx 0,8944$$

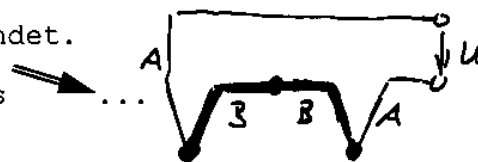
Wie groß ist die Standardabweichung, wenn unendlich viele Messwerte einbezogen werden? ( 2P )

$$s_x = \sqrt{\frac{2 \cdot n}{3 \cdot n}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \approx 0,8165$$

14. Ein Messsignal hat den angegebenen zeitlichen Verlauf (eingetragen ist  $u_e$ ). Tragen Sie den jeweiligen Verlauf für  $u_a$  in die Skizze ein! Bem.: Zum Zeitpunkt  $t=0$  sei  $u_a=0$  (Anfangsbedingung). ( 9P )



15. Skizzieren Sie die Verschaltung einer Thermoelementmessstelle! Hierbei werden zwei Thermoelemente verwendet. Ein Thermoelement misst die zu messende Temperatur, ein weiteres Thermoelement befindet sich auf Vergleichstemperatur. ( 3P )



16. Zur Ausfilterung der Trägerfrequenzreste wird ein Tiefpass mit einer Knickfrequenz von 1000 Hz verwendet. Als Abtastfrequenzen des Messwertauffassungssystems sind möglich:  
~~100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 5000 Hz, 10000 Hz.~~  
 Streichen Sie die Abtastfrequenzen durch, damit ein Aliasing-Effekt in jedem Fall vermieden wird! ( 2P )

RECHENTEIL

Aufgabe 1 ( 10P )

Ein Pt100 hat bei einer Temperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  einen Widerstand von  $R_{\vartheta} = 109,625\Omega$ .

$$R_{\vartheta} = R_0(1 + \alpha_{Pt} \cdot \vartheta) \quad \text{wobei: } R_0 = 100\Omega; \alpha_{Pt} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

- Ausgehend von diesem Wert steigt der Widerstand des Pt100 um 5%. Wie groß muss dann die Temperatur sein?
- Ausgehend vom obigen Wert ( $R_{\vartheta} = 109,625\Omega$ ) sinkt der Widerstand des Pt100 um 5%. Wie groß muss dann die Temperatur sein?

Ein NTC hat bei einer Temperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  einen Widerstand von  $R_T = R_0 = 10\text{k}\Omega$ .

$$R_T = R_0 \cdot e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad \text{wobei: } T_0 = (25 + 273)\text{K}; B = 3500\text{K}$$

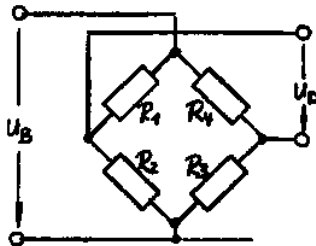
- Ausgehend von diesem Wert steigt der Widerstand des NTC um 5%. Wie groß muss dann die Temperatur sein?
- Ausgehend vom obigen Wert ( $R_T = R_0 = 10\text{k}\Omega$ ) sinkt der Widerstand des NTC um 5%. Wie groß muss dann die Temperatur sein?
- Die Empfindlichkeit des NTC's ist um einen Faktor x höher als die Empfindlichkeit eines Pt100. Können Sie zu diesem Faktor x aufgrund der obigen Ergebnisse eine quantitative Aussage angeben?

Aufgabe 2 ( 9P )

Bei der Messung eines Drehmomentes werden 4 DMS mit den Nennwiderständen  $120\Omega$  verwendet. Die Brückenspeisespannung beträgt  $u_B = 5\text{V}$ . Die Messbrücke ist zunächst abgeglichen.

Bei dem zu untersuchenden Lastfall und der verwendeten Vollbrückenschaltung werden zwei DMS gedehnt (Widerstände 2+4) und zwei DMS gestaucht (Widerstände 1+3). Die Dehnungen sind betragsmäßig gleich groß. Die Brückenverstimmung beträgt  $0,4\text{mV/V}$ .

- Welcher Strom ist zur Speisung der Messbrücke erforderlich?
- Wie groß ist die Diagonalspannung?
- Wie groß ist der Spannungsabfall über dem DMS 2 (Widerstand 2)?

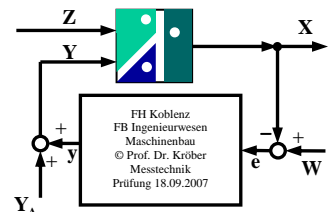


Verschiedene Formeln zum Thema DMS:

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

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

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



Aufgabe 3 ( 8P )

Ein Temperatursensor hat eine Zeitkonstante von  $T=60s$ . Zum Zeitpunkt  $t=0$  wird er in einen Heizbehälter gebracht.

Zum Zeitpunkt  $t=0$  sei die Anfangstemperatur des Sensors  $\vartheta_0$ . Zur Zeit  $t=20s$  ist die angezeigte Temperatur  $40^{\circ}C$ , zur Zeit  $t=70s$  ist die angezeigte Temperatur  $70^{\circ}C$ .

- Wie groß ist die Temperatur des Heizbehälters?
- Wie groß war die anfängliche Temperatur  $\vartheta_0$ ?

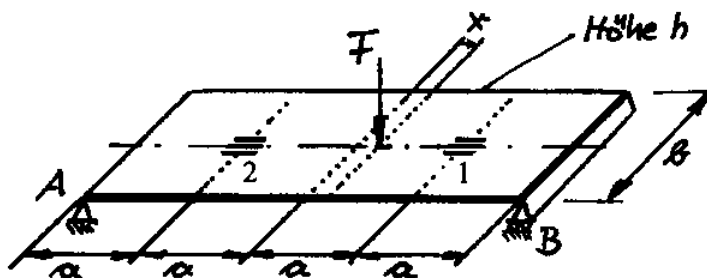
Hinweis:  $\frac{\text{momentane Differenz}}{\text{Anfangsdifferenz}} = e^{-\frac{t}{T}}$

Aufgabe 4 ( 8P )

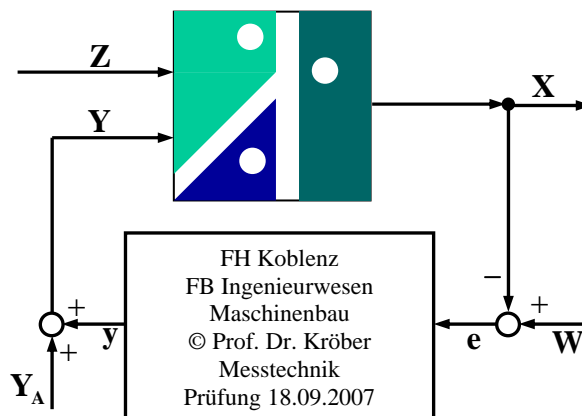
Auf dem Biegebalken sind zwei DMS appliziert und als Halbbrücke verschaltet. Wirkt die Kraft  $F$  genau in der Mitte des Biegebalkens, dann ist die Messbrücke abgeglichen. Für die weiteren Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Größe der Kraft sich nicht ändert, sondern nur der Angriffspunkt (Maß  $x$ , wobei  $|x| < a$ ). Je weiter die Wirkungslinie der Kraft in  $x$ -Richtung verschoben wird, desto größer wird die Brückenverstimmung. Es muss also gelten:

$$\frac{u_D}{u_B} = konst \cdot x \quad ; \quad konst = f(F, E, k, b, h, \dots)$$

Bestimmen Sie diese Gleichung, bzw. bestimmen Sie die Größe "konst"!

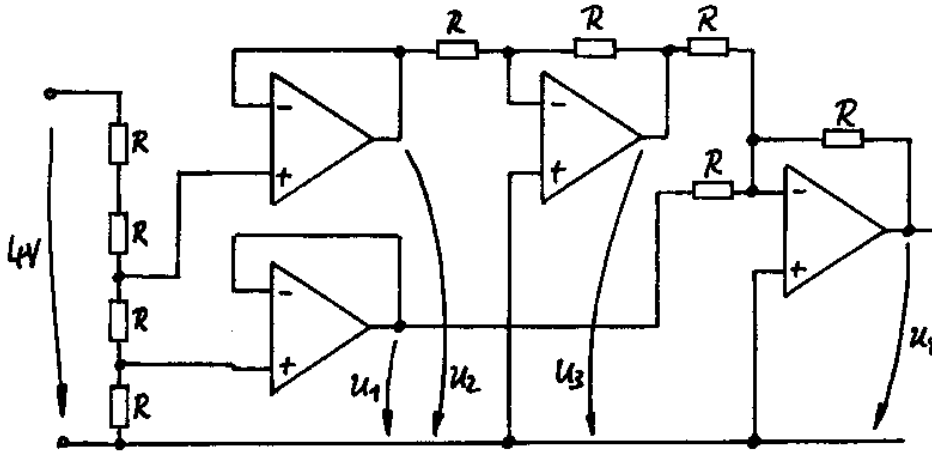


Hinweis: Lagerkräfte  $F_A = F \cdot \frac{2 \cdot a - x}{4 \cdot a}$       $F_B = F \cdot \frac{2 \cdot a + x}{4 \cdot a}$



Aufgabe 5 ( 7P )

Bestimmen Sie von der angegebenen Schaltung die Spannungen  $u_1, u_2, u_3$  und  $u_4$ ! Die Widerstände seien alle  $10\text{k}\Omega$ .



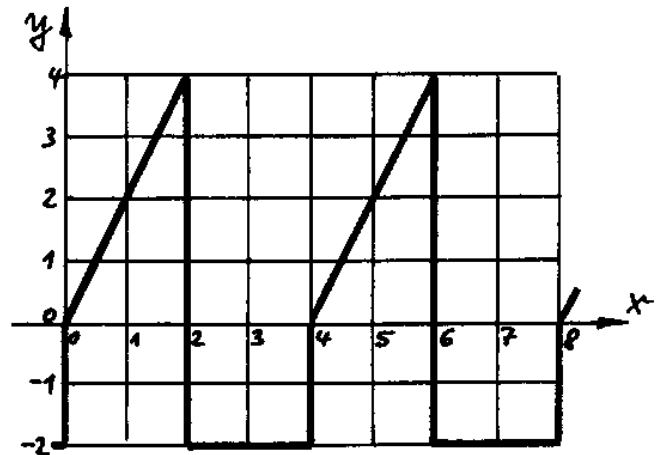
Aufgabe 6 ( 8P )

Bestimmen Sie den Koeffizienten  $b_1$  des abgebildeten Signals!

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:

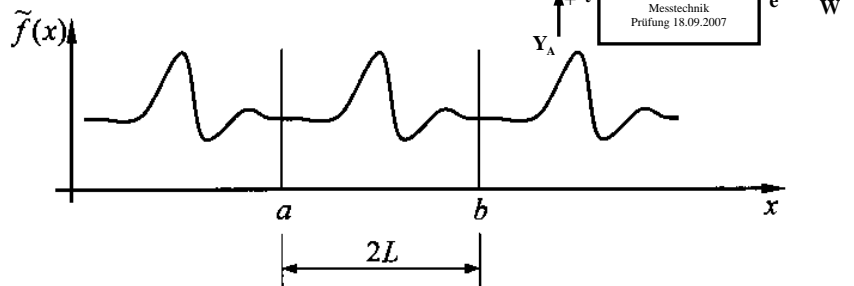
Sei  $\tilde{f}(x)$  eine periodische Funktion der Periode  $2L$ , dann lässt sich  $\tilde{f}(x)$  durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

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

wobei:

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

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



# Lösungen Prüfung Messtechnik vom 18.09.07 / Blatt 1

zu 1.a)  $\frac{R_{rel}}{R_0} = 1 + \alpha \cdot \Delta l \Rightarrow \Delta l = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{R_{rel}}{R_0} - 1 \right) = \frac{1}{3,85 \cdot 10^{-3}} \left( \frac{109,625 \cdot 1,05}{100} - 1 \right) ^\circ C$   
 $= \underline{\underline{39,273^\circ C}}$

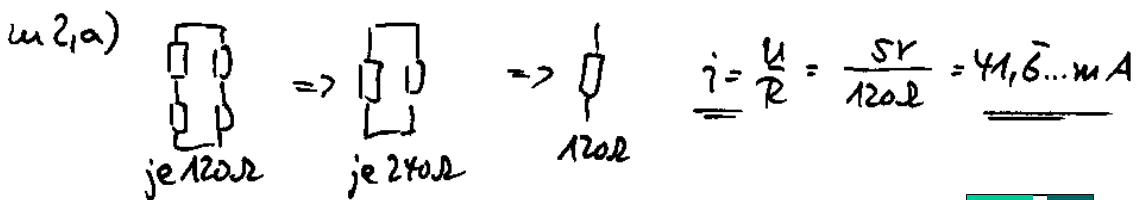
b)  $\Delta l = \frac{1}{3,85 \cdot 10^{-3}} \left( \frac{109,625 \cdot 0,995}{100} - 1 \right) ^\circ C = \underline{\underline{10,763^\circ C}}$

c)  $\frac{R_T}{R_0} = e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$ ;  $\ln \frac{R_T}{R_0} = B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{R_T}{R_0}$

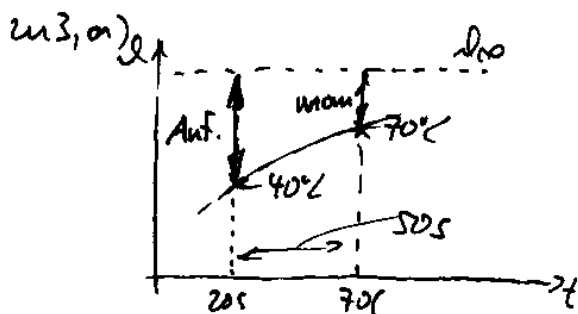
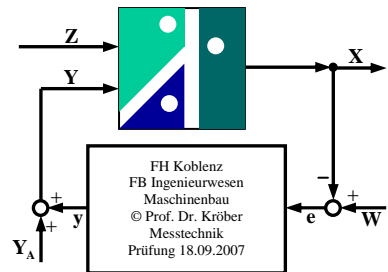
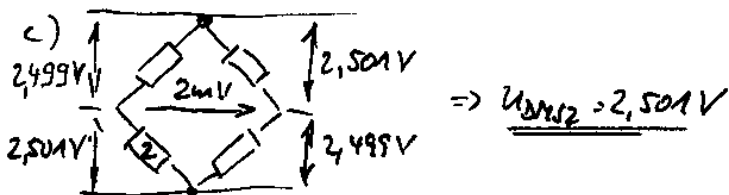
$\underline{\underline{T}} = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{R_T}{R_0}} = \frac{1}{\frac{1}{254,273} + \frac{1}{3500} \ln \frac{10 \cdot 1,05}{10}} K = 296,767 K \hat{=} \underline{\underline{23,767^\circ C}}$

d) 0,995 anstatt 1,05  $\Rightarrow \underline{\underline{T}} = 299,307 K \hat{=} \underline{\underline{26,307^\circ C}}$

e)  $\frac{39,273 - 10,763}{26,307 - 23,767} = \underline{\underline{11,21 = x}}$



b)  $\underline{\underline{u_0}} = \frac{u_0}{u_R} \cdot u_R = 0,4 \frac{mV}{V} \cdot 5V = \underline{\underline{2mV}}$



$\frac{man}{Auf} = e^{-t/T}$

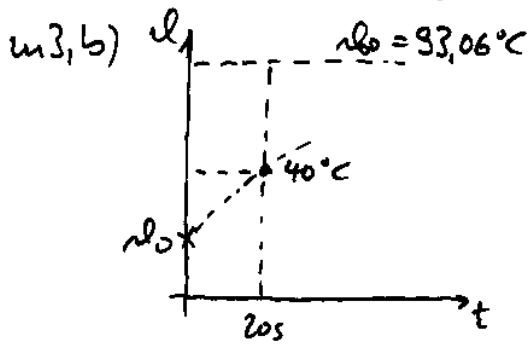
$\frac{\alpha_{70} - 70\%}{\alpha_{70} - 40\%} = e^{-\frac{50s}{60s}} = e^{-\frac{5}{6}} = a$

$\alpha_{70} - 70\% = a(\alpha_{70} - 40\%) = a \alpha_{70} - a \cdot 40\%$

$\alpha_{70}(1-a) = 70\% - a \cdot 40\%$

$\underline{\underline{\alpha_{70}}} = \frac{70\% - a \cdot 40\%}{1-a} = \frac{70\% - e^{-\frac{5}{6}} \cdot 40\%}{1 - e^{-\frac{5}{6}}} = \underline{\underline{93,06^\circ C}}$

# Lösungen Prüfung Messtechnik vom 18.09.07 | Blatt 2



$$\frac{R_0 - 40^\circ\text{C}}{R_0 - R_0} = e^{-\frac{20s}{60s}} = e^{-\frac{1}{3}}$$

$$\underline{\underline{R_0}} = R_0 - \frac{R_0 - 40^\circ\text{C}}{e^{-\frac{1}{3}}} = 93,06^\circ\text{C} - \frac{93,06^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}}{e^{-\frac{1}{3}}} = \underline{\underline{19,01^\circ\text{C}}}$$

m4)  $\epsilon = \frac{F}{E} = \frac{M_b}{E \cdot W_b}$

$$E_2 = -\frac{F_A \cdot a}{E W_b} = -\frac{\alpha}{E W_b} \cdot F \left( \frac{2a-x}{4} \right); E_1 = -\frac{F_B \cdot a}{E W_b} = -\frac{\alpha}{E W_b} \cdot F \left( \frac{2a+x}{4} \right)$$

$$\frac{u_0}{u_B} = \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta R_2}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} \right) = \frac{K}{4} (E_2 - E_1) = \frac{K}{4} \left[ -\frac{F}{E W_b} \cdot \frac{2a-x}{4} - \left( -\frac{F}{E W_b} \cdot \frac{2a+x}{4} \right) \right]$$

$$\underline{\underline{= \frac{K}{4} \left( \frac{F \cdot x}{4 E W_b} + \frac{F \cdot x}{4 E W_b} \right) = \frac{K \cdot F}{8 E W_b} \cdot x = \frac{3 \cdot K \cdot F}{4 E B l^2} \cdot x}}$$

$\frac{b \cdot l^2}{6}$       konst

m5)  $u_1 = 1V$ ;  $u_2 = 2V$  (Spannungsteiler und Spannungsfölger)

$u_3 = -u_2 = -2V$  (Invertierung)

$u_4 = -(u_1 + u_3) = -(1V + (-2V)) = \underline{\underline{+1V}}$  (Summation incl. Invertierung)

m6)  $a=0$  }  $2L = b - a \Rightarrow 4 - 0 = 4 \Rightarrow L=2$   
 $b=4$  }

$$b_1 = \frac{1}{2} \int_0^2 (2x) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right) dx + \frac{1}{2} \int_2^4 (-2) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right) dx$$

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

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

$$= \left[ -\frac{2}{\pi/2} \underbrace{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right)}_{-1} + \frac{1}{(\pi/2)^2} \underbrace{\sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right)}_0 + 0 - 0 \right] - \left[ -\frac{1}{\pi/2} \underbrace{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 4\right)}_1 + \frac{1}{\pi/2} \underbrace{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2\right)}_{-1} \right]$$

$$\underline{\underline{= \left[ \frac{4}{\pi} \right] - \left[ -\frac{2}{\pi} - \frac{2}{\pi} \right] = \frac{4}{\pi} + \frac{4}{\pi} = \frac{8}{\pi} \approx 2,546}}$$

