

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. Auf einer Welle wird das Drehmoment gemessen. Der Durchmesser der Welle beträgt $(20 \pm 0,1) \text{ mm}$. Welcher relative Fehler [in %] ergibt sich daraus für das gemessene Drehmoment? (4 P)

Hinweis: $W_p = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$ $3 \cdot \frac{0,1}{20} \cdot 100\% = 1,5\%$

2. Der E-Modul von Stahl nimmt bei einer Temperatursteigerung von 25°C etwa um 1% ab. Auf dem belasteten Stahlbauteil wird im Ausgangszustand eine Kraft 1000 N angezeigt. Welche Kraft wird angezeigt, wenn sich die Temperatur um 25°C erhöht? (2 P)

1010 N Bem.: $\sigma = E \cdot \epsilon$ $\sigma = \text{konst}$ $E \downarrow \Rightarrow \epsilon \uparrow$ (wird „weicher“)

3. Bei der Durchflussmessung von Leitungswasser wurde bisher eine Messblende verwendet. Bei der Neukonzeption der Anlage soll die magnetisch induktive Durchflussmessung eingesetzt werden. Nennen Sie zwei gravierende Vorteile! (3 P)

Signal $\sim$ Durchfluss ; deutlich kürzere Einbaulänge ; kein Druckverlust $\rightarrow 0$

4. Worauf beruht die Hitzdrahtmesstechnik? Wozu wird sie eingesetzt? (4 P)

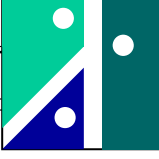
Messung Strömungsgeschwindigkeit (lokal) $\propto$ Heizleistung des „Hitzdrahtes“ ist Maß für zu messende Strömungsgeschwindigkeit

5. Eine Spannung hat den zeitlichen Verlauf $u(t) = 2\text{V} + 2\text{V} \cdot \sin(\omega t)$. Welchen Wert zeigt ein Voltmeter an auf der Schalterstellung DC bzw. auf der Schalterstellung AC ? (3 P)

DC: 2V AC: $\sqrt{2} \text{ V}$

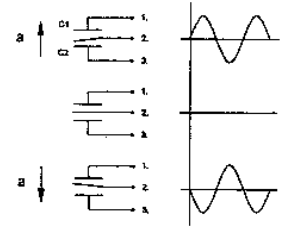
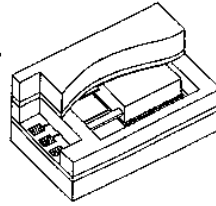
Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

+ Lösungspunkte



FH Koblenz
 FB Ingenieurwesen
 Maschinenbau
 © Prof. Dr. Kröber
 Messtechnik
 Prüfung 03.03.2010

6. Bei einem Beschleunigungsaufnehmer ist eine kleine seismische Masse in Form eines Biegebalkens ausgeführt. In die Kapazität eines sogenannten Plattenkondensators geht der Abstand der Platten ein ($C \sim \text{Abstand}^{-1}$). Erläutern Sie unter Verwendung der Abbildungen die Funktionsweise des kapazitiven Beschleunigungsaufnehmers! (5P)



a nach oben $C_1 \uparrow$ $C_2 - C_1 > 0$ also $|C_2 - C_1| \sim a$

a nach unten $C_1 \downarrow$ $C_2 - C_1 < 0$ also auch $|C_2 - C_1| \sim a$

Auswertung
≈ wie
Trägerfrequenz-
Verfahren

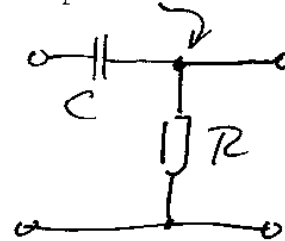
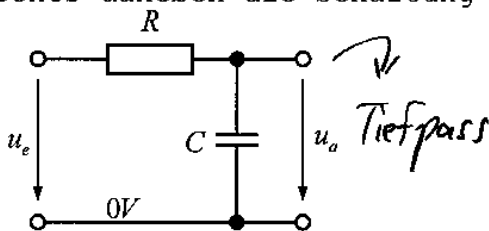
7. Einem Messsignal mit der Frequenz $f_1 = 60$ Hz ist ein hochfrequentes Störsignal mit der Frequenz $f_2 = 800$ Hz überlagert. Zusammen lautet die formelmäßige Beschreibung des Messsignals:

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

Mit welcher Abtastfrequenz muss mindestens gemessen werden?
(2P)

1600 Hz

8. Welche Filtereigenschaft hat die abgebildete Schaltung? Ergänzen Sie rechts daneben die Schaltung für einen Hochpassfilter! (3P)

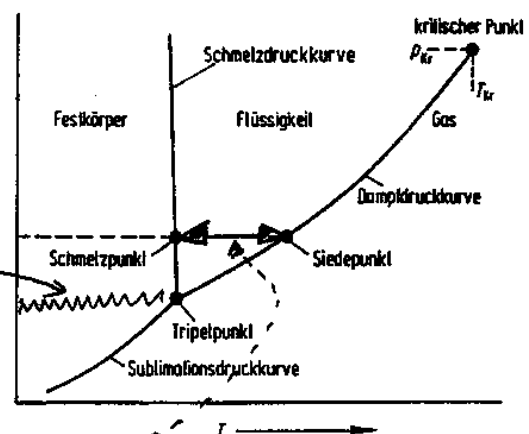


9. Wie geht die Oberfläche eines Temperatursensors in die Zeitkonstante des Temperatursensors ein? (2P)

10. In der Abbildung werden die Aggregatzustände von Wasser in Abhängigkeit des Druckes und der Temperatur dargestellt. Verwenden Sie das Diagramm, um die Definition von 1 Kelvin und 1°C zu erläutern! (4P)

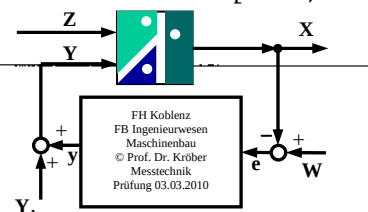
$$1K = \frac{T_{\text{Tripelpunkt}}}{273,16}$$

$$1^\circ C = \frac{T_{\text{Siedep.}} - T_{\text{Schmelz}}}{100}$$

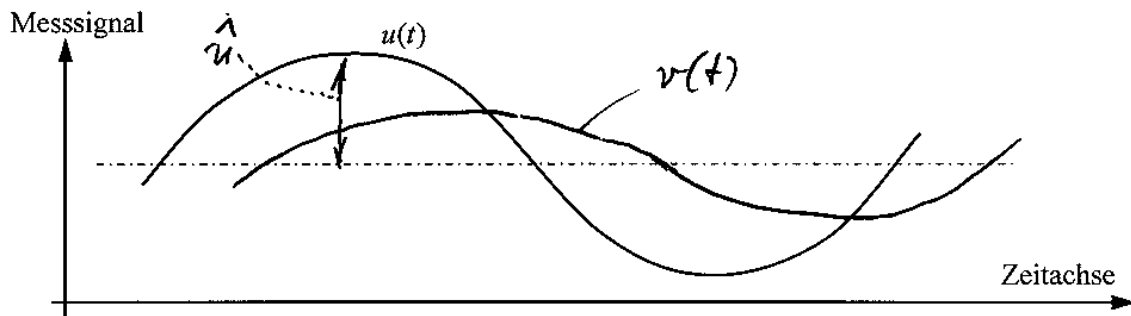


11. Ordnen Sie nach der Größe der Empfindlichkeit (Thermoelemente):
(2P) J-Typ K-Typ S-Typ (=edles Thermopaar)

J > K > S



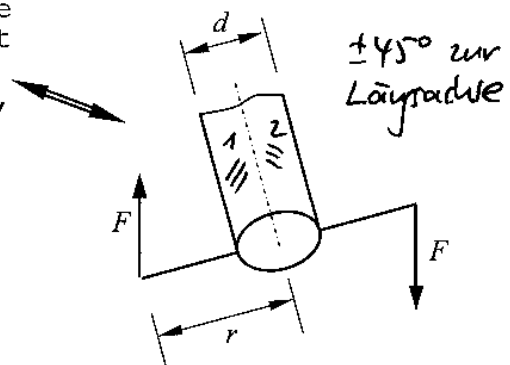
12. Die Abbildung zeigt die Eingangsgröße u für ein System 1. Ordnung. Das Signal geht durch einen Tiefpassfilter.
- Ergänzen Sie in der Abbildung den Signalverlauf v der Ausgangsgröße (eingeschwungener Zustand)! (4P)
 - Markieren Sie in der Skizze $\hat{u}$! (2P)



13. Eine Welle dreht mit 60 Hz. Welche Blitzfrequenz muss man an einem Stroboskop einstellen, damit sich die Welle "scheinbar" mit 1 Hz in Drehrichtung dreht? (2P)

59 Hz

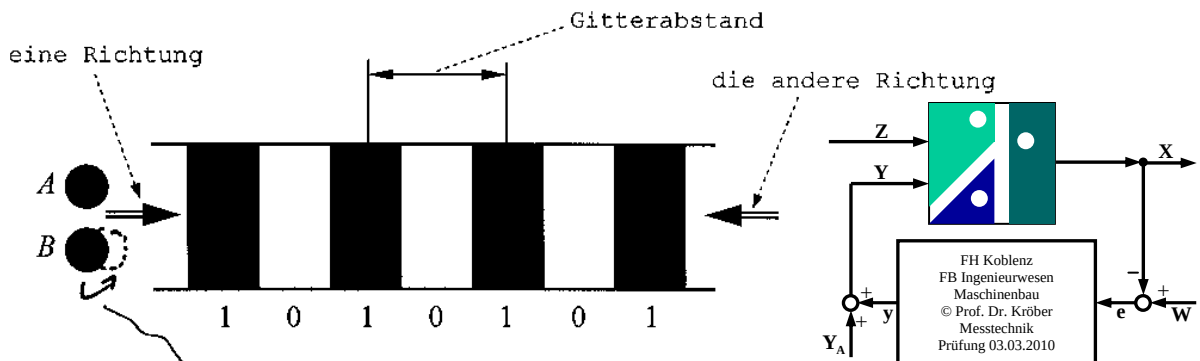
14. Durch das Kräftepaar wirkt in der Welle ein Torsionsmoment. Das Moment soll mit einer Halbbrücke gemessen werden. Wie müssen DMS1 und DMS2 angeordnet werden, damit ein positives Ausgangssignal entsteht (in Skizze eintragen!)? (4P)



15. Nennen Sie 2 Beispiele für einen systematischen Fehler! (2P)

Nullpunktverschiebung
Verstärkung "leicht" verstellt

16. Mit zwei Näherungsschaltern (A und B) kann man beim Überfahren des abgebildeten Lochgitters bei bekanntem Gitterabstand durch Zählen der Schwarz/Weiß-Übergänge auf den zurückgelegten Weg schließen. Dafür wird jedoch grundsätzlich nur ein Sensor benötigt (A oder B).



Zusätzlich soll eine Richtungserkennung realisiert werden. Dann muss an der Anordnung eine wichtige Änderung durchgeführt werden. Welche? (5P)

z.B. Sensor B um Gitterabstand versetzt zu Sensor A anordnen
(=180°)

R E C H E N T E I L

Aufgabe 1 (7P)

Bei einer Messgröße treten zufällige Fehler auf. Es liegen folgende 4 Einzelwerte vor:

i	1	2	3	4
x_i	120,1	121,2	119,9	120,8

a. Bestimmen Sie den Mittelwert und die Standardabweichung!

Anmerkung: Die Anzahl der Einzelwerte ist hier nicht so groß gewählt, damit der Rechenaufwand von Teilaufgabe a. nicht so groß wird.

b. Die Messunsicherheit soll $u = 0,43$ betragen (statistische Sicherheit 95%). Wie groß muss der Stichprobenumfang n gewählt werden?

Werte für $t/\sqrt{n}$, statistische Sicherheit 95%:

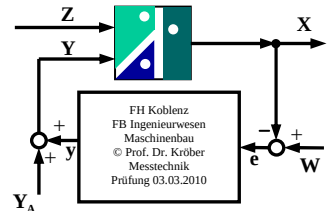
n	2	3	4	5	6	8	10	13	20	30
$t/\sqrt{n}$	8,98	2,48	1,59	1,24	1,05	0,84	0,71	0,60	0,48	0,37

Hilfestellungen:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum x_i$$

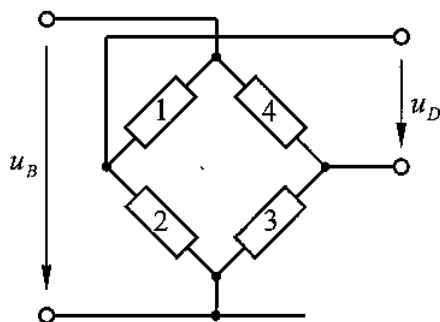
$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$u = \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot S_x$$



Aufgabe 2 (10P)

Der Zusammenhang zwischen der Brückenverstimmung und den Widerständen R_1 bis R_4 wird durch die nebenstehende Gleichung angegeben.



$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{R_2 \cdot R_4 - R_1 \cdot R_3}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}$$

bzw.

$$u_D = \frac{R_2 \cdot R_4 - R_1 \cdot R_3}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \cdot u_B$$

Gegeben sind folgende Zahlenwerte:

$$u_B = 5,0 \text{ V}; R_1 = 200 \text{ } \Omega; R_2 = 300 \text{ } \Omega; R_3 = 300 \text{ } \Omega; R_4 = 200 \text{ } \Omega;$$

Wie groß ist der maximale Fehler Δu_D , wenn der Widerstand R_2 um 0,5% vergrößert wird und die Brückenspeisespannung u_B ebenfalls um 0,5 % vergrößert wird?

Hinweis: Die Lösung kann numerisch durch Einsetzen geeigneter Zahlenwerte ermittelt werden. Es muss nicht mit der Fehlerformel gerechnet werden. Trotzdem sind die dazu notwendigen Formeln angegeben.

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

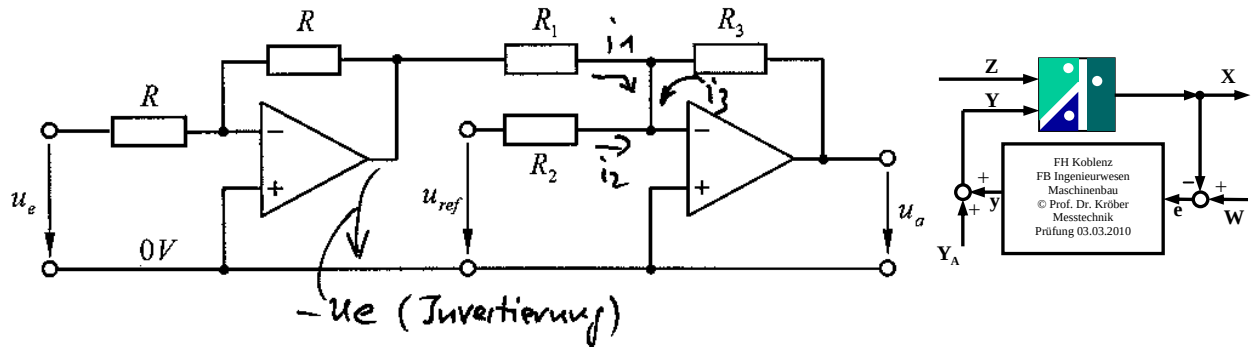
$$f = \frac{u}{v} \rightarrow f' = \frac{v \cdot u' - v' \cdot u}{v^2}$$

Aufgabe 3 (10P)

Die analoge Ausgangsspannung eines I/O-Ports (USB6008) ist auf einen Signalbereich von 0V bis 5V begrenzt. Durch einen nachgeschalteten Messumformer sollen daraus -10V bis +10V erzeugt werden. Dieser Sachverhalt kann durch die Gleichung $u_a = 4 \cdot u_e - 10V$ beschrieben werden.

Zur Erläuterung: Einsetzen von $u_e = 0V$ in die Gleichung ergibt $u_a = -10V$

Einsetzen von $u_e = 5V$ in die Gleichung ergibt $u_a = +10V$



- Bestimmen Sie für die abgebildete Schaltung eine Gleichung der Form $u_a = f(u_e, u_{ref}, R_1, R_2, R_3)!$
- Wie groß müssen die Widerstände R_1 , R_2 und R_3 gewählt werden, damit die obige Gleichung $u_a = 4 \cdot u_e - 10V$ erfüllt wird? Im Rahmen der Lösung ist noch eine sinnvolle Wahl/Festlegung zu treffen.
Es sei noch gegeben: $u_{ref} = 5V$

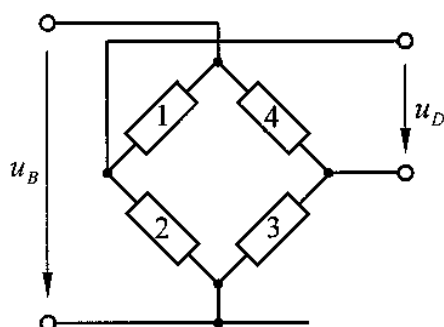
Aufgabe 4 (9P)

Auf dem abgebildeten Biegebalken sind 4 DMS zu einer Vollbrücke verschaltet.

- Ermitteln Sie zunächst die 4 Dehnungen im Bereich der DMS!
- Bestimmen Sie eine Gleichung zur Berechnung der Brückenverstimmung!

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

Hilfestellungen:

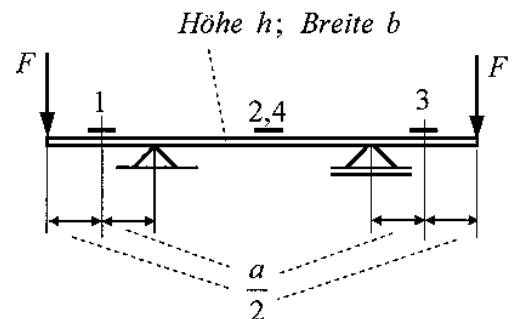
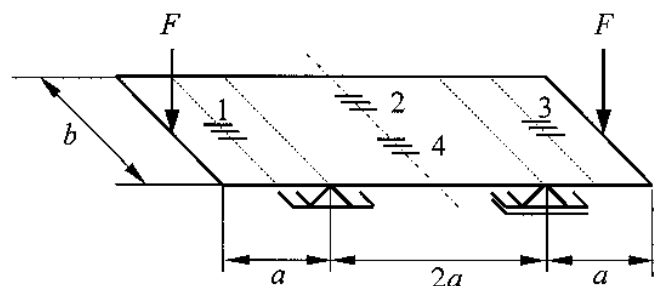


$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} \right)$$

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

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

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

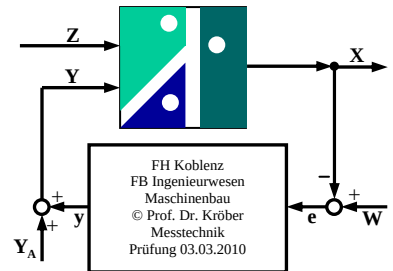


Aufgabe 5 (8P)

Ein Temperatursensor verhalte sich wie ein System 1. Ordnung. Der Sensor hat zur Zeit $t=0$ eine Temperatur von $\vartheta=20^{\circ}\text{C}$ und wird in ein Wasserbad mit $\vartheta=80^{\circ}\text{C}$ eingetaucht. Nach 10 Sekunden beträgt die angezeigte Temperatur $\vartheta=50^{\circ}\text{C}$.

- Wie groß ist die Halbwertszeit und wie groß ist die Zeitkonstante?
- Nach welcher Zeit war die angezeigte Temperatur $\vartheta=35^{\circ}\text{C}$?

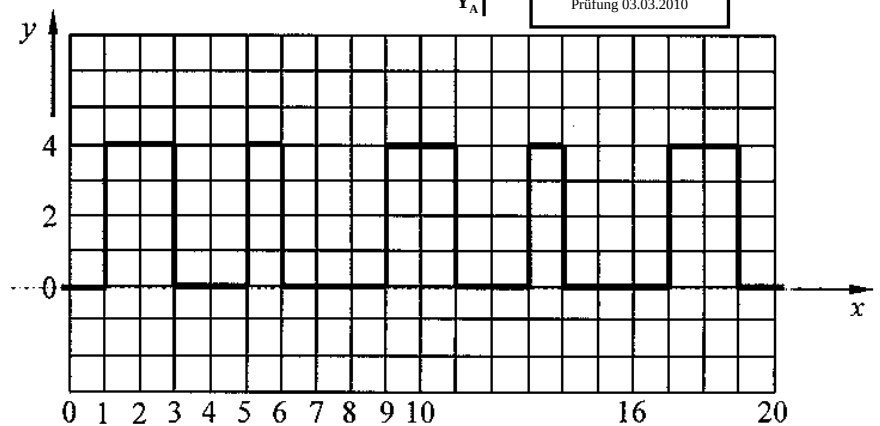
Hilfestellung: $\frac{\text{momentane Differenz}}{\text{Anfangsdifferenz}} = e^{-\frac{t}{T}}$



Aufgabe 6 (9P)

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

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



Hilfestellungen:

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

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

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

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

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

Hinweis:

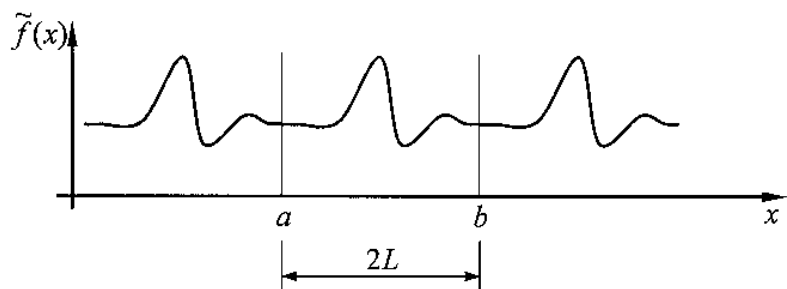
Sei $\tilde{f}(x)$ eine periodische Funktion der Periode $2L$, dann lässt sich $\tilde{f}(x)$ durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

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

wobei:

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

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



Lösungen Prüfung Messtechnik 03.03.10 / Blatt 1

m1) $\bar{x} = \frac{1}{4}(120,1 + 121,2 + 119,9 + 120,8) = \underline{\underline{120,5}}$

$\underline{\underline{s_x}} = \sqrt{\frac{1}{4-1}[(120,1-120,5)^2 + (121,2-120,5)^2 + \dots]} = 0,60553 \approx \underline{\underline{0,606}}$

$\mu = \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s_x \Rightarrow \frac{t}{\sqrt{n}} = \frac{\mu}{s_x} = \frac{0,43}{0,60553} = 0,71012 \approx 0,710$

aus Tabelle n=10

m2) Ausgangszustand:

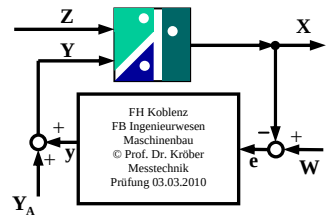
$u_D = \frac{300 \cdot 200 - 200 \cdot 300}{(200+300)(300+200)} \cdot 5V = 0V \text{ (Zähler } = 0)$

$R_{\text{neu}} = 300\Omega \left(1 + \frac{0,5}{100}\right) = 301,5\Omega$

$u_{B_{\text{neu}}} = 5V \left(1 + \frac{0,5}{100}\right) = 5,025V$

$u_D = \frac{301,5 \cdot 200 - 200 \cdot 300}{(200+301,5)(300+200)} \cdot 5,025V = 6,01196mV \approx \underline{\underline{6,012mV}}$

also: $\underline{\underline{\Delta u_D = 6,012mV - 0mV = 6,012mV}}$



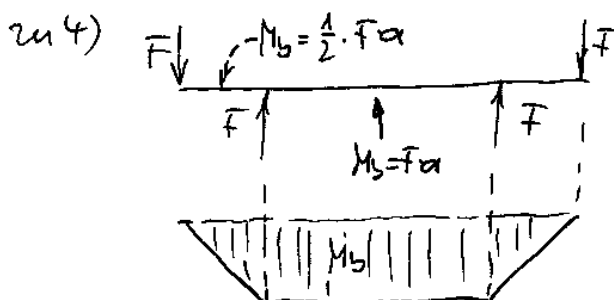
m3) $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

$-\frac{u_e}{R_1} + \frac{u_{ref}}{R_2} + \frac{u_a}{R_3} = 0 \Rightarrow \underline{\underline{u_a = \frac{R_3}{R_1} u_e - \frac{R_3}{R_2} u_{ref}}}$

$u_a = 4 \cdot u_e - 10V \text{ (Koeff.-vergleich)}$

Wahl: $\underline{\underline{R_1 = 10k\Omega}} \Rightarrow \underline{\underline{R_3 = 4 \cdot R_1 = 4 \cdot 10k\Omega = 40k\Omega}}$

$10V = \frac{R_3}{R_2} u_{ref} = \frac{40k\Omega}{R_2} \cdot 5V \Rightarrow \underline{\underline{R_2 = 20k\Omega}}$



$\underline{\underline{\epsilon_1 = \frac{M_{b1}}{E \cdot I_{b1}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot F \cdot l}{E \cdot b l^2 \cdot \frac{1}{6}} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{E \cdot b l^2} = \epsilon_3}}$

$M_{b2} = 2 \cdot M_{b1}$

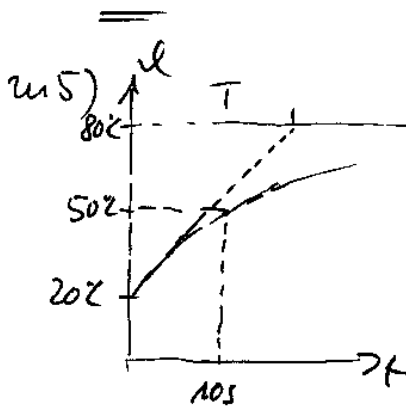
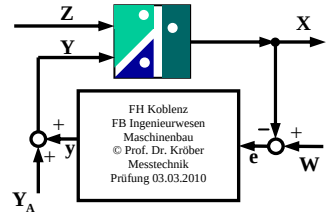
$\underline{\underline{\epsilon_2 = \epsilon_4 = \frac{6 \cdot F \cdot l}{E \cdot b l^2}}}$

Lösungen Prüfung Messtechnik 03.03.10 / Bl. 12

Fortsetzung 4)

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \cdot K (\epsilon_2 + \epsilon_4 - \epsilon_1 - \epsilon_3) = \frac{K}{4} \left(\frac{6Fa}{Ebl^2} + \frac{6Fa}{Ebl^2} - \frac{3Fa}{Ebl^2} - \frac{3Fa}{Ebl^2} \right)$$

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



da gep. $u_{\text{mom}} = 30^\circ\text{C}$; $u_{\text{auf}} = 60^\circ\text{C}$

$$\frac{u_{\text{mom}}}{u_{\text{auf}}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \text{Halbwertszeit} = 10s$$

$$\frac{u_{\text{mom}}}{u_{\text{auf}}} = \frac{1}{2} = e^{-t/T}$$

$$2 = e^{t/T} \Rightarrow \ln 2 = t/T$$

$$\Rightarrow T = \frac{t}{\ln 2} = \frac{10s}{\ln 2} = 14,427s$$

$$u = 35^\circ\text{C}: \frac{u_{\text{mom}}}{u_{\text{auf}}} = \frac{80-35}{80-20} = \frac{45}{60} = e^{-t/T} \Rightarrow \ln \frac{60}{45} = t/T$$

$$t = T \cdot \ln \frac{60}{45} = 14,427s \cdot \ln \frac{60}{45} = 4,15s$$

$$u_6) \quad 2L = b - a = 8 - 0 \Rightarrow L = 4$$

$$b_1 = \frac{1}{4} \int_1^3 4 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}x\right) dx + \frac{1}{4} \int_5^6 4 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}x\right) dx$$

$$= \int_1^3 \sin\left(\frac{\pi}{4}x\right) dx + \int_5^6 \sin\left(\frac{\pi}{4}x\right) dx = \left[-\frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4}x\right) \right]_1^3 + \left[-\frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4}x\right) \right]_5^6$$

$$= -\frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4} \cdot 3\right) + \frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - \frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4} \cdot 6\right) + \frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4} \cdot 5\right)$$

$$b_1 = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \approx +0,9003$$