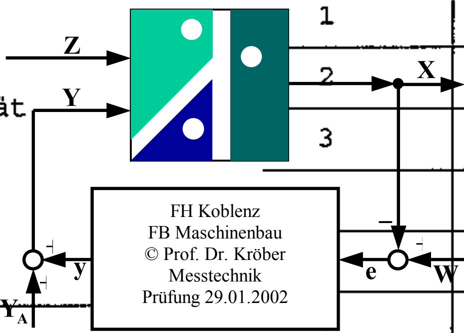
Fachhochschule Koblenz
Fachbereich Maschinenbau
Messtechnik WS 01/02
Prof. Dr. W. Kröber

Name ____________________

Matr.-Nr. ____________________

Diese Prüfung/Klausur 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	
Summe	

x Lösungen

Note : ____________________

K U R Z F R A G E N :

1. Ein analoges Messsignal wird mit einem A/D-Wandler (0-10V, 8 bit) in ein digitales Signal umgeformt.
   Wie groß ist die Auflösung (LSB)? $2^8 = 256$ $10V/256 \approx 39mV$
   (2P)
   Wie lautet das Ergebnis des A/D-Wandlers bei einem Eingangssignal von 5V ? (2P)
   $1000\,0000_2 \hat{=} 128_{10}$

2. Wobei spielt die Shunt-Kalibrierung eine Rolle? (1P)
   Kalibrierung einer DMS-Messstelle

3. Bei der Verstärkerauswahl "Halbbrücke" werden 2 DMS verwendet. Eine Wheatstonesche Messbrücke besteht jedoch aus 4 Widerständen. Wo sind die anderen beiden Widerstände zur Komplettierung der Messbrücke? (2P)
   verstärkerintern (Ergänzungshalbbrücke)

4. Vergleichen Sie die Temperaturabhängigkeit des k-Faktors mit der Temperaturabhängigkeit des E-Moduls (Kennen Sie die Zahlenwerte?)!
   (3P) $\left|\frac{\Delta k}{k}\right| \approx 1\%$ je 100°C ; $\left|\frac{\Delta E}{E}\right| \approx 1\%$ je 25°C (K-Faktor "temperaturunabhängiger")

5. Zwei in Reihe geschaltete Übertragungselemente besitzen jeweils ein Amplitudenverhältnis von -10dB. Wie ist das gesamte Amplitudenverhältnis in dB? (1P)
   -20dB

   Um wieviel Prozent wird das Eingangssignal abgemindert? (2P)
   um 90%

6. Ein Messsignal (Konstantanteil mit überlagerter Sinusfunktion) wird mit einem Voltmeter gemessen. Auf dem Bereich "DC" werden 4 V angezeigt, auf dem Bereich "AC" werden 2 V angezeigt. Wie groß ist der Minimalwert und der Maximalwert des tatsächlichen Messsignals?
   (3P) $2V \cdot \sqrt{2} = 2{,}828\,V$ $(4+2{,}828)V = 6{,}828V$ (MAX) $(4-2{,}828)V = 1{,}172V$ (MIN)

7. Weshalb wird ein Widerstand von 10kΩ bevorzugt eingesetzt? Hier ist eine Argumentation gewünscht: Was geschieht bei drastischer Verringerung, bzw. drastischer Vergrößerung des Wertes? (4P)

R↓ ⇒ Strom zu groß $\frac{10V}{10k\Omega} = 1mA$ ($I_{max\,Verstärker} \approx 5mA$)

R↑ Störeinflüsse verstärken sich (Rauschen, EMV, ...) Standard

8. Mit welchem Widerstand (Bürde) darf ein üblicher Stromausgang etwa belastet werden (bei sinnvollem Ausgangssignal)? (Unter/Obergrenze angeben) (2P)

$R_{Bürde} \lesssim 500\Omega$ (z.B. 150Ω)

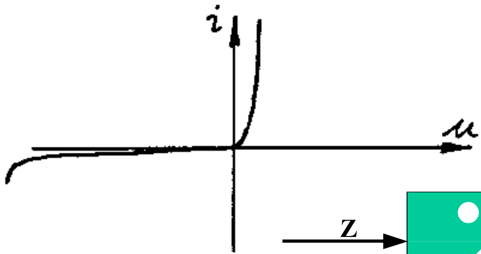
Was geschieht bei einer Belastung mit 10kΩ ? (2P)

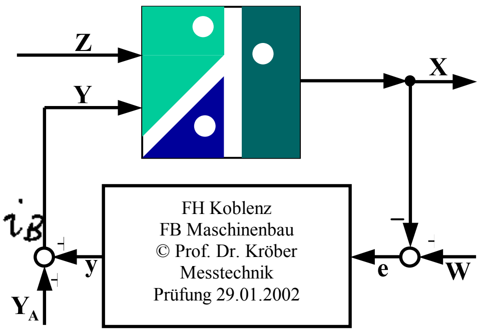
Strom kann nicht "durchgetrieben" werden, R zu groß, Verstärker übersteuert

9. Nennen Sie ein Beispiel, wo die Durchlassspannung auftritt! Erläutern/Benennen Sie dabei die (negative) Auswirkung! (2P)

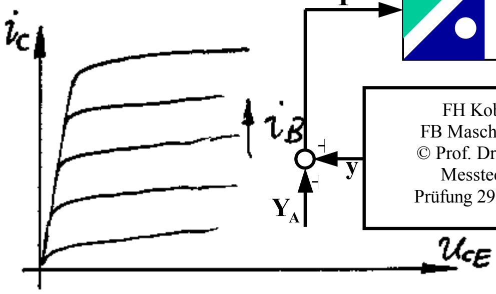
Verpolungsschutz, Verluste durch Spannungsabfall ($P = \Delta U \cdot I$) U_D

10. Tragen Sie in die nebenstehende Abbildung die Kennlinie einer Diode (Standard-Diode) ein! (2P)





11. Tragen Sie in die nebenstehende Abbildung die Kennlinie (Kurvenscharen) eines Transistors ein! (3P)



12. Wobei treten Thermospannungen in unerwünschter Eigenschaft auf? Nennen Sie 2 Möglichkeiten zur Abhilfe! (3P)

DMS-Messbrücke + Gleichspannungsmessverstärker

Stecker + Messstelle abdecken, Kapseln   Trägerfrequenzmessverstärker

13. Wie ist der absolute Messfehler definiert? (2P)

Messwert - wahrer Wert (IST-SOLL)

14. Geben Sie 2 Definitionen an für die Definition des relativen Messfehlers! (3P)

rel. Fehler = $\frac{\text{abs. Fehler}}{\text{wahrer Wert}} \cdot 100\%$ rel. Fehler = $\frac{\text{abs. Fehler}}{\text{Endwert Messbereich}} \cdot 100\%$

15. Das Standardeingangssignal für die direkte Messwerterfassung mit einem PC ist +/-10 Volt oder 0-10V. Weshalb kann ein Pt100 nicht direkt an den "Eingangskanal" des Rechners angeschlossen werden? (2P)

ist ein Widerstand, gibt keine Spannung raus

Was ist zu tun? (2P) mit Konstantstrom speisen, Spg.-abfall messen

Weshalb kann ein Thermoelement nicht direkt an den "Eingangskanal" angeschlossen werden? (2P)

Thermospannung zu klein

Was ist hier notwendig? (2P) Verstärkung (Potential anheben) z.B. Faktor 100...1000

16. Erläutern Sie (mindestens 2) prinzipielle Unterschiede von DMS-Kraftaufnehmern und piezoelektrischen Kraftaufnehmern! (3P)

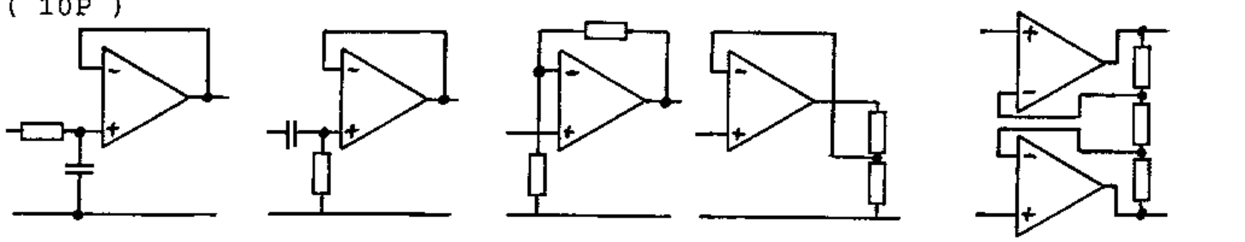
geringe Steifigkeit	höhere Steifigkeit
stat. Kräfte messbar	nur quasistatisch messbar

17. Worin liegt der prinzipielle Unterschied von Beschleunigungsaufnehmern im Vergleich zu seismischen Wegaufnehmern im Hinblick auf den Frequenzbereich? (4P)

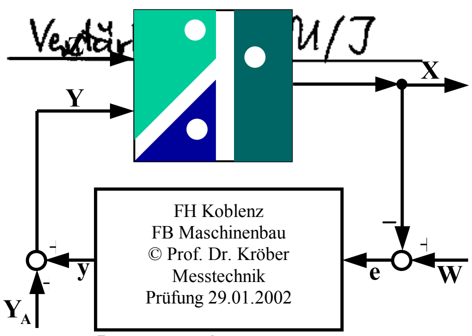
Beschl. → unterkritisch z.B. 0 ÷ 200 Hz

seism. → überkritisch z.B. f > 0,5 Hz

18. Welche Eigenschaften haben die abgebildeten Verstärkerschaltungen? (10P)



Tiefpass | Hochpass | nichtinvert. Verstärker | Messumformer U/I | Differenzverstärker mit hoher Verstärkung



R E C H E N T E I L

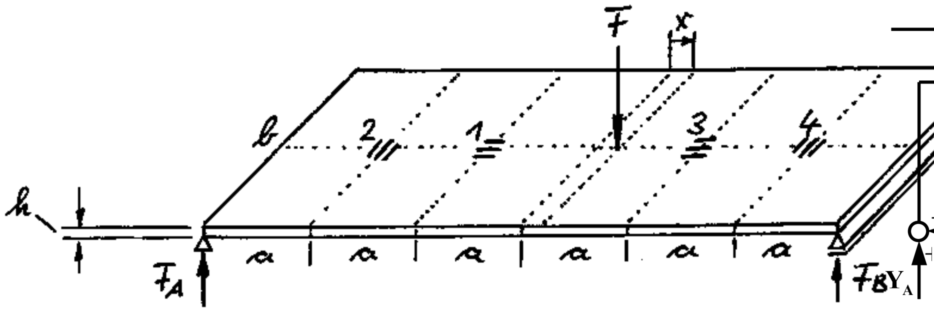
Aufgabe 1 (5 P)

Bei der experimentellen Spannungsanalyse wird bei Kalibrierung (1mV/V) eine Änderung des Ausgangssignals von 4 V erzeugt. Wie groß ist die Dehnung in [μm/m], falls sich bei einem zu untersuchenden Lastfall eine Änderung des Ausgangssignals von 1 V ergibt? Der k-Faktor des DMS beträgt k=2,06 .

(Hilfestellung/Hinweis: verschiedene Formeln siehe nächste Aufgabe)

Aufgabe 2 (16 P)

Auf dem abgebildeten Biegebalken soll der Einfluss der Kraftangriffsstelle auf das Messsignal untersucht werden.



a. Ermitteln Sie formelmäßig die Dehnungen ε_1, ε_2, ε_3, ε_4 in Abhängigkeit der Kraft F !
Hilfestellungen:

$$F_A = F\cdot\frac{3a-x}{6a} \quad ; \quad F_B = F\cdot\frac{3a+x}{6a} \quad ; \quad \varepsilon_{quer} = -\nu\varepsilon_{längs} \quad ; \quad W_b = \frac{b\cdot h^2}{6}$$

b. Ermitteln Sie eine Gleichung zur Bestimmung der Brückenverstimmung in Abhängigkeit der gegebenen Größen!

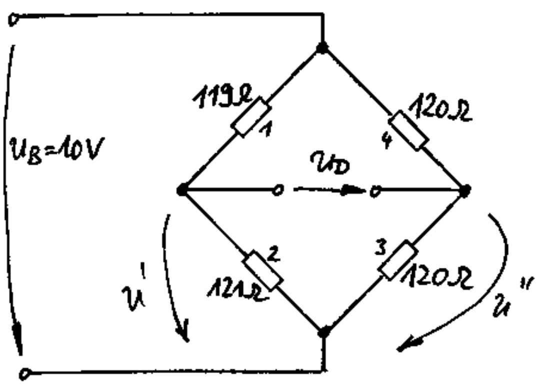
Gesucht: $$\frac{u_D}{u_B} = f(F,x,k,a,b,h,E,\nu)$$

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

c. Beurteilen Sie den Einfluss vom Abstand x auf das Ergebnis! Gibt es dafür eine anschauliche Erklärung?

Aufgabe 3 (11 P)

Die Abbildung zeigt eine DMS-Messbrücke.



a. Bestimmen Sie die Diagonalspannung u_D ohne Verwendung der in Aufgabenteil b. angegebenen Brückenformel!

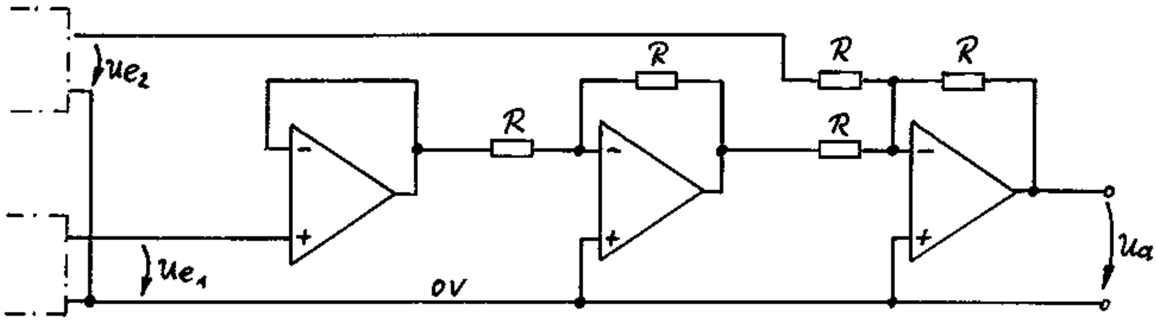
b. Bestimmen Sie die Diagonalspannung u_D mit der angegebenen Brückenformel!

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

c. Wie groß ist der Strom [mA] zur Speisung der Messbrücke?

Aufgabe 4 (11 P)

Die Abbildung zeigt eine Verstärkerschaltung.



a. Entwickeln Sie eine Gleichung zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens $u_a = f(u_{e1}, u_{e2}, R)$ bzw. $u_a = f(u_{e1}, u_{e2})$!

b. Im Folgenden seien alle Widerstände R = 10kΩ. Die beiden Eingangsspannungen seien gleich und betragen 10V. Wie groß ist das Ausgangssignal?

c. Mit welchem Strom in [mA] wird die Spannungsquelle u_{e1} belastet?

d. Mit welchem Strom in [mA] wird die Spannungsquelle u_{e2} belastet?

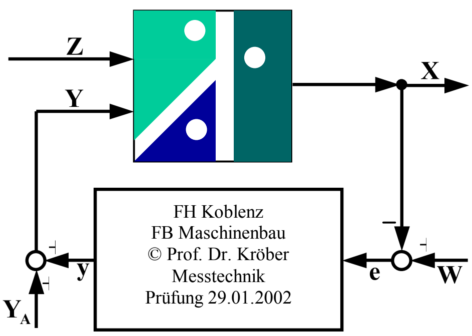
Aufgabe 5 (7 P)

Ein Temperaturfühler verhalte sich wie ein System 1. Ordnung.

$$\vartheta + T\frac{d\vartheta}{dt} = \vartheta_\infty \qquad \textit{Sprungantwort:}\quad \frac{\vartheta-\vartheta_\infty}{\vartheta_0-\vartheta_\infty} = e^{-\frac{t}{T}}$$

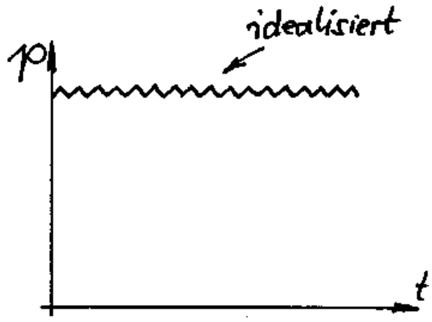
a. Wie kommt man von der Differentialgleichung zum Frequenzgang (Ergebnis nicht einfach nur hinschreiben!)?

b. Die Zeitkonstante des Temperaturfühlers beträgt T=10s. Bei einem Aufheizvorgang wurde zum Zeitpunkt t=0 eine Temperatur von ϑ=20°C ermittelt und zum Zeitpunkt t=25s eine Temperatur von ϑ=40°C. Wie groß ist die zu erwartende Endtemperatur (Anzeige für große Zeiten)?

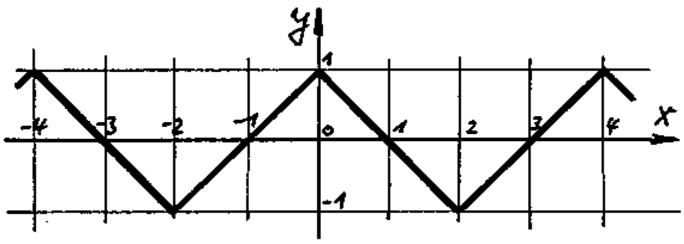


Aufgabe 6 (14 P)

Vorbemerkung:
In einem gemessenen Drucksignal unmittelbar hinter einer Zahnradpumpe können die einzelnen Zähne im Drucksignal abgelesen werden. Zur Auslegung eines Tiefpasses muss die Amplitude der Grundschwingung ermittelt werden.
Der Konstantanteil des Messsignals beinhaltet den eigentlich zu messenden Druck. Für die Fourierreihenentwicklung interessiert jedoch nur der Wechselanteil. Dieser soll hier untersucht werden.



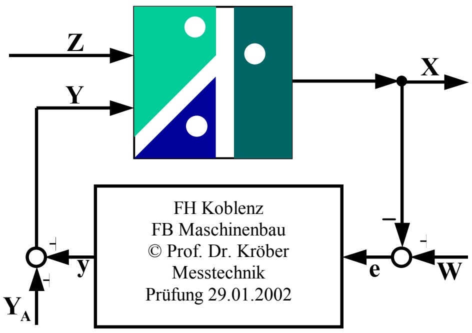
Eigentliche Aufgabe:
Wie groß ist die Amplitude der Grundschwingung des nebenan abgebildeten Messsignals?



Hinweis:
Da es sich um eine gerade Funktion handelt, ist nur a_1 zu bestimmen.

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

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



Hilfestellung:

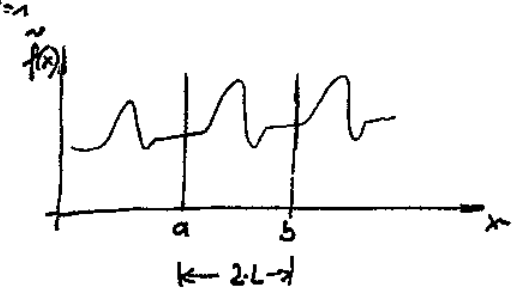
Sei $\tilde{f}(x)$ eine periodische Funktion der Periode $2L$, dann läßt sich $\tilde{f}(x)$ durch eine Reihenentwicklung approximieren:

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

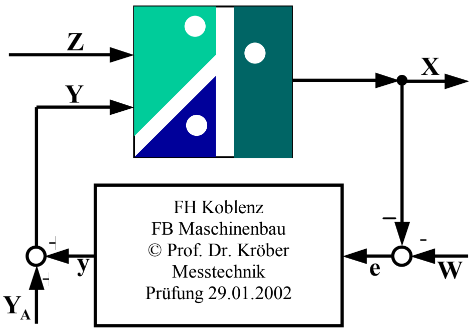
wobei

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

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



Lösungen Prüfung / Klausur Messtechnik vom 29.1.02 / Blatt 1



zu 1) $\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4}\cdot k\cdot\varepsilon \Rightarrow \varepsilon = \frac{4\,\frac{u_D}{u_B}}{k} = \frac{4\cdot 10^{-3}}{2{,}06} = 1942\,\mu m/m$

$4V \mathrel{\hat=} 1942\,\mu m/m$

$1V \mathrel{\hat=} x \qquad \Rightarrow \underline{\underline{x = 485\,\mu m/m}}$

zu 2) zunächst nur betragsmäßig:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E} = \frac{M_{bi}}{E W_{bi}} = \frac{F_i\, l_i}{E W_{bi}}$$

also:

$$\underline{\underline{\varepsilon_1 = -F\,\frac{3a-x}{6a}\cdot\frac{2a}{E W_b}}} \; ; \; \underline{\underline{\varepsilon_2 = +F\,\frac{3a-x}{6a}\cdot\frac{a}{E W_b}\cdot\nu}}$$

$$\underline{\underline{\varepsilon_3 = -F\,\frac{3a+x}{6a}\cdot\frac{2a}{E W_b}}} \; ; \; \underline{\underline{\varepsilon_4 = +F\,\frac{3a+x}{6a}\cdot\frac{a}{E W_b}\cdot\nu}}$$

b) $\frac{u_D}{u_B} = \frac{K}{4}(\varepsilon_2+\varepsilon_4-\varepsilon_1-\varepsilon_3)$

$$= \frac{K}{4}\left[F\,\frac{3a-x}{6a}\cdot\frac{a}{E W_b}\cdot\nu + F\,\frac{3a+x}{6a}\cdot\frac{a}{E W_b} - \left(-F\,\frac{3a-x}{6a}\cdot\frac{2a}{E W_b}\right) - \left(-F\,\frac{3a+x}{6a}\cdot\frac{2a}{E W_b}\right)\right]$$

$$= \frac{K}{4}\,\frac{F\cdot a}{6a E W_b}\left[\underbrace{(3a-x)\cdot\nu + (3a+x)\nu}_{6a\nu} + \underbrace{(3a-x)\cdot 2 + (3a+x)\cdot 2}_{12a}\right] = \ldots$$

$$\underline{\underline{\frac{u_D}{u_B}}} = \frac{K\cdot F a}{4 E W_b}(2+\nu) = \underline{\underline{\frac{3(2+\nu)K\cdot F\cdot a}{2 E\, b h^2}}}$$

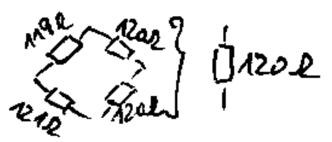
c) Kein Einfluss; bei Verschiebung von F nach rechts nimmt die Dehnung der rechts liegenden DMS im gleichen Maße zu wie links der Einfluss zurück geht.

zu 3, a) $u' = \frac{10V}{121\Omega + 119\Omega}\cdot 121\Omega = 5{,}041\bar{6}\ldots V$; $u'' = 5V$ (Spannungsteiler)

$\underline{\underline{u_D}} = u' - u'' = \underline{\underline{41{,}\bar{6}\ldots mV}}$

b) $\Delta R_2 = +1\Omega$; $\Delta R_1 = -1\Omega$

$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4}\left(\frac{1\Omega}{120\Omega} + \frac{0}{120\Omega} - \frac{-1\Omega}{120\Omega} - \frac{0}{120\Omega}\right) = \frac{1}{4}\cdot\frac{1}{120}\cdot 2 = \frac{1}{240} \Rightarrow \underline{\underline{u_D}} = \frac{10V}{240} = \underline{\underline{41{,}\bar{6}\ldots mV}}$

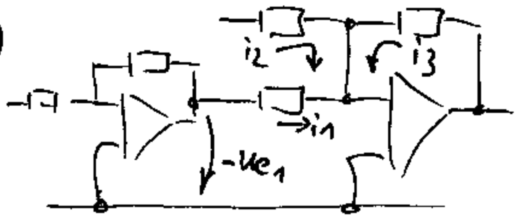
c) 

$\underline{\underline{I}} = \frac{10V}{120\Omega} = \underline{\underline{83{,}\bar{3}\ldots mA}}$

Lösungen Prüfung / Klausur Messtechnik vom 29.1.02 / Blatt 2

FH Koblenz
FB Maschinenbau
© Prof. Dr. Kröber
Messtechnik
Prüfung 29.01.2002

zu 4) a)



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$\frac{-U_{e1}}{R} + \frac{U_{e2}}{R} + \frac{U_a}{R} = 0$$

$$\Rightarrow U_a = U_{e1} - U_{e2}$$

b) $U_a = 10V - 10V = 0V$

c) $i_{U_{e1}} = 0\,mA$ (Spannungsfolger)

d) $i_{U_{e2}}\ (= i_2) = \frac{10V}{10k\Omega} = 1\,mA$ ("virtueller Nullpunkt")

zu 5, a) $\vartheta + T(j\omega)\vartheta = \vartheta_\infty \Rightarrow G = \frac{\vartheta}{\vartheta_\infty} = \frac{1}{1+j\omega T}$

b) $\vartheta_\infty = ?$ $\qquad \vartheta - \vartheta_\infty = (\vartheta_0 - \vartheta_\infty)e^{-t/T}$

$\vdots$

$$\vartheta_\infty = \frac{\vartheta - \vartheta_0 e^{-t/T}}{1 - e^{-t/T}} = \frac{40 - 20e^{-25/10}}{1 - e^{-25/10}}\ °C = 41{,}79°C$$

zu 6) $a_1 = \frac{1}{2}\int_{-2}^{+2} \tilde{f}(x)\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx$; $2L = b - a = +2 - (-2) = 4 \Rightarrow L = 2$

$$a_1 = \frac{1}{2}\int_{-2}^{0}(1+x)\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx + \frac{1}{2}\int_{0}^{2}(1-x)\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx$$

$$= \frac{1}{2}\int_{-2}^{0}\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx + \frac{1}{2}\int_{-2}^{0}x\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx + \frac{1}{2}\int_{0}^{2}\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx - \frac{1}{2}\int_{0}^{2}x\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx$$

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

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

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

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

$$a_1 = \ldots = \frac{8}{\pi^2} \approx 0{,}81$$