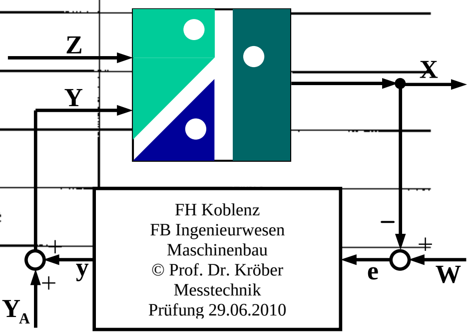
Fachhochschule Koblenz
FB Ingenieurwesen
Fachrichtung Maschinenbau
Messtechnik SS 10
Prof. Dr. W. Kröber

Name ____________________

Matr.-Nr. ____________________

Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

+ Lösungen



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 : ____________________

K U R Z F R A G E N :

1. Für die Bestimmung des Massenträgheitsmomentes einer Kugel gilt $J = \frac{8}{15} \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^5$. Um wieviel Prozent ändert sich J, falls R mit einem relativen Fehler von 0,2% ermittelt wird? (2P)

   $5 \cdot 0{,}2\% = 1\%$

2. Zur Differenzdruckmessung werden zwei Absolutdruckaufnehmer verwendet. Mit welchem absoluten Fehler des Differenzdruckes müssen Sie rechnen, wenn bei einer Differenzdruckmessung der Einzeldruck mit einem Fehler von 0,2 bar gemessen wird? (2P)

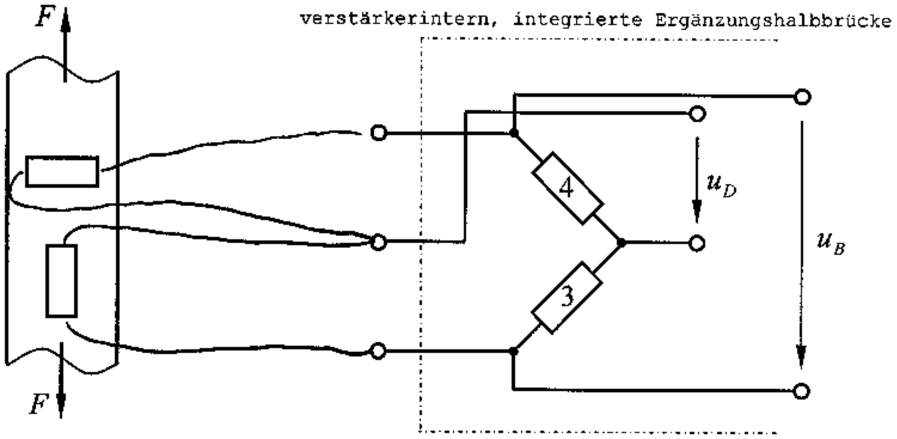
   2·0,2 bar = 0,4 bar

3. Worin besteht der Unterschied zwischen dem Anzeigebereich und dem Messbereich eines Instrumentes? (3P)

   ↳ wird am Instrument angezeigt

   ↳ Fehler sind auf Messbereich bezogen

4. Zur Messung einer Zugkraft sind auf dem Zugstab ein DMS längs und ein DMS quer angeordnet (Halbbrücke). Ergänzen Sie die notwendigen Verbindungen zum Messverstärker (positives Ausgangssignal)! (6P)



5. Die Abbildung zeigt den Signalverlauf bei der digitalen Drehzahlmessung (ein Impuls pro Umdrehung). Die Drehzahl beträgt 1500 1/min. Wie groß ist die Skalierung der Zeitbasis (konkret: ein Skalenteil = wie viel Millisekunden)? (3P)

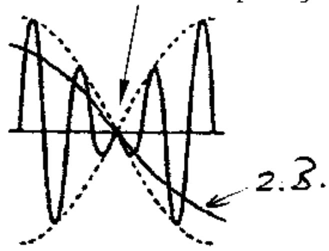
1500 1/min ≙ 25 Hz ≙ 40 ms

n f T

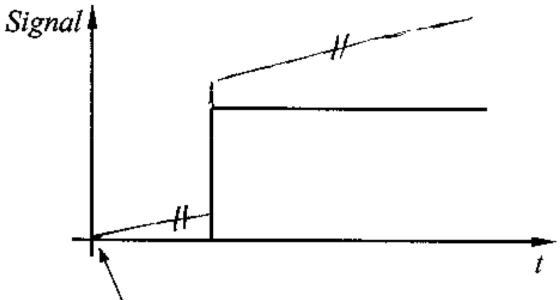
~~also Δt ≙ 10 ms (4 Skalateile)~~

6. Ergänzen Sie in der obigen Abbildung den Signalverlauf, der sich bei einer Drehzahl von 750 1/min ergibt! (4P)

7. Die Abbildung zeigt ein Signal bei einem Trägerfrequenzmessverstärker vor der phasenabhängigen Gleichrichtung. Tragen Sie den dazugehörigen zeitlichen Verlauf der physikalischen Messgröße in das Bild ein! (3P)

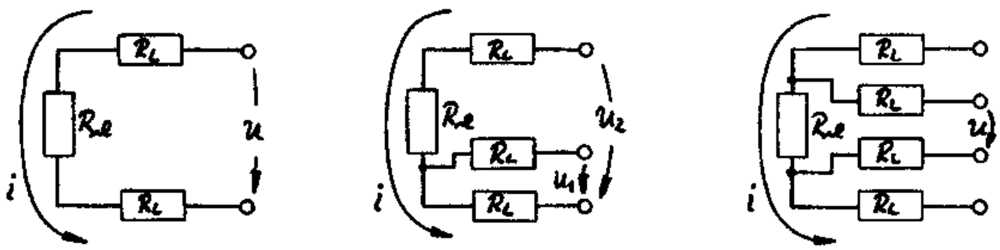


8. Bei der piezoelektrischen Kraftmessung wird der abgebildete Signalverlauf angezeigt. Dabei ist keine Drift im Signal erkennbar. Wie würde der Signalverlauf aussehen, wenn eine merkliche Drift vorhanden wäre? Bitte eintragen! (4P)



9. Bei der Temperaturmessung wird ein Pt100 verwendet. Die Temperatur beträgt 0°C. Der Strom durch den Pt100 beträgt 1 mA. Der Leitungswiderstand R_L beträgt 0,5 Ω. Wie groß sind die unten gefragten Spannungen? (7P)

Hinweis: Berechnen Sie zunächst den Spannungsabfall am Pt100 und den Spannungsabfall an einem durchstromten R_L!



Zweileiterschaltung

u = ? 101 mV

100 Ω · 1 mA = 100 mV

0,5 Ω · 1 mA = 0,5 mV

Dreileiterschaltung

u_1 = ? 0,5 mV

u_2 = ? 101 mV

Vierleiterschaltung

u = ? 100 mV

FH Koblenz
FB Ingenieurwesen
Maschinenbau
© Prof. Dr. Kröber
Messtechnik
Prüfung 29.06.2010

10. Zur Messung der Temperatur einer wärmeren Flüssigkeit wird ein Temperaturfühler in die Flüssigkeit eingetaucht. Erläutern Sie, weshalb es zu einem systematischen Messfehler kommt! (3P)

Sensor kühlt Flüssigkeit → Anzeige zu klein

11. Weshalb werden Druckaufnehmer auf DMS-Basis nicht für kleine Druckmessbereiche (z.B. 0,1 bar) gebaut? (2P)

Membran dann sehr dünn → Rückwirkung DMS auf Membran

12. Die statische Kennlinie zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße wird durch Kalibrieren und Justieren eingestellt. Erläutern Sie den möglichen Einfluss der Knickfrequenz eines Tiefpassfilters auf die statische Kennlinie! (2P) Kein Einfluss

13. Der k-Faktor eines DMS setzt sich zusammen aus dem geometrischen Anteil und dem Gefügeanteil. Nennen Sie Zahlenwerte für den geometrischen Anteil und den Gefügeanteil! (2P)

Geom = 1,6 $(1+2\nu)$ Gefüge = 0,4

14. Mit welcher üblichen Spannung wird eine DMS-Messbrücke gespeist? (1P) 5V (10V)

15. Wobei spielt die "Torzeit" eine Rolle? (2P)

Drehzahlmessung, Impulse in Torzeit werden gezählt

16. Wieviel Spulen werden beim "LVDT-Verfahren" eingesetzt? (2P)

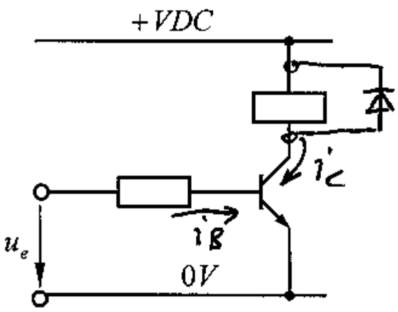
3

17. Wozu wird ein Gleichspannungstachogenerator eingesetzt? Durch welche Besonderheit (Kriterien für dessen Auswahl) zeichnet er sich aus? (4P) Drehzahlmessung, Drehrichtungserkennung

Ausgang = (echte) Gleichspannung proportional Drehzahl

18. Bei einem Thermoelement ist das Ausgangssignal stets von einer Vergleichstemperatur abhängig. Mit welchem Messverfahren ist dieses Problem nicht vorhanden? (2P) Pt100

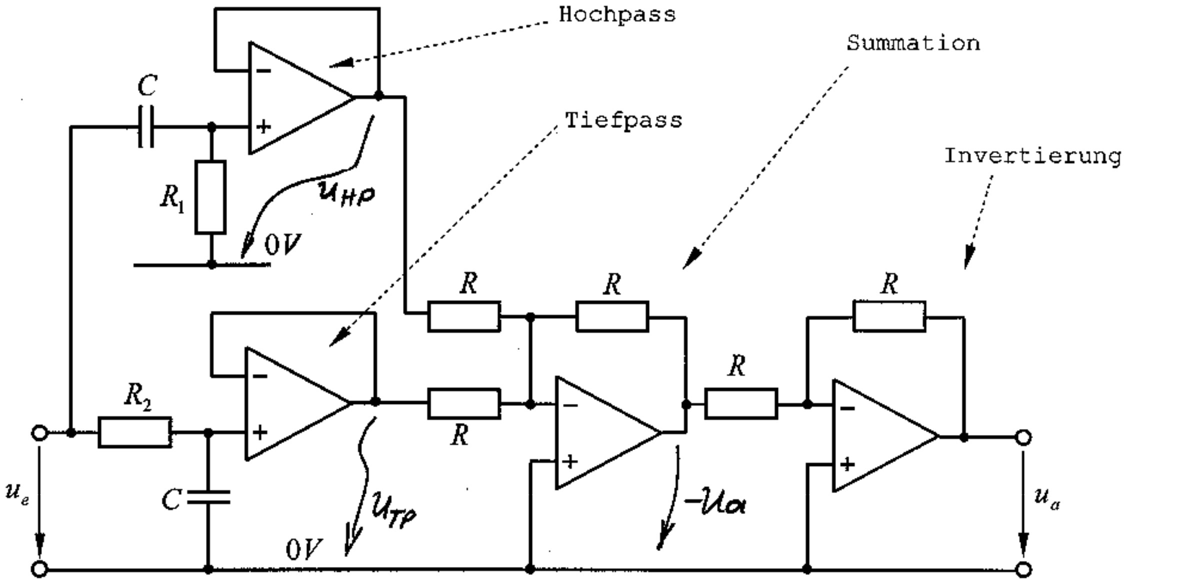
19. Mit einem Transistor wird ein Relais geschaltet. Tragen Sie in die Skizze den Basisstrom und Kollektorstrom ein! Ergänzen Sie die Schaltung um ein fehlendes Element! (6P)



R E C H E N T E I L

Aufgabe 1 (14P)

Bei der Fußball-WM in Südafrika werden von den Fans "Vuvuzelas" eingesetzt. Diese erzeugen beim Betrieb einen Ton von 233 Hz. Um im Frequenzspektrum diesen Ton auszufiltern, muss ein Tiefpass und ein Hochpass parallel geschaltet werden. Dabei lässt der Tiefpass den Frequenzbereich unterhalb 233 Hz durch und der Hochpass die Frequenzen oberhalb 233 Hz. Selbstverständlich müssen die maßgeblichen Knickfrequenzen passend ausgewählt werden.
In dieser Aufgabe werden jeweils Filter 1. Ordnung eingesetzt. Diese geben zwar kein voll befriedigendes Ergebnis, zeigen jedoch die grundsätzliche Vorgehensweise.



a. Weisen Sie nach, dass der Gesamtfrequenzgang durch folgende Gleichung beschrieben wird:

$$G = \frac{\underline{u}_a}{\underline{u}_e} = \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} + \frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C}$$

Den Betrag dieses Frequenzganges kann man schreiben als

$$|G| = \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_e} = \frac{\sqrt{\left(1-\omega^2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C^2\right)^2 + \left(\omega \cdot 2 \cdot R_1 \cdot C\right)^2}}{\sqrt{\left(1-\omega^2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C^2\right)^2 + \left(\omega \cdot (R_1 + R_2) \cdot C\right)^2}}$$

Variiert man in diesem Frequenzgang ω, so stellt man fest, dass die Funktion einen Extremwert (Minimum) besitzt. Eine Abminderung tritt auf, falls $R_1 < R_2$. Die maximale Abminderung tritt auf bei $\omega = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C^2}}$. Für den Fall vereinfacht sich die obige Gleichung zu

$$|G| = \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_e} = \frac{2 \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

Zahlenwerte für die weitere Rechnung:
R_1 = 27,89 kΩ; R_2 = 41,83 kΩ; C = 0,02 μF

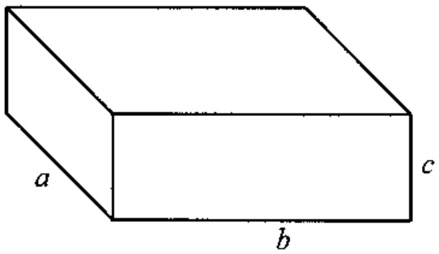
b. Bei welcher Frequenz [in Hz] liegt die maximale Abminderung vor?

c. Wie viel Prozent beträgt diese (maximale) Abminderung?

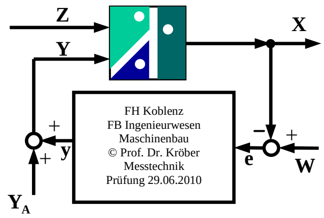
d. Wie groß ist der Betrag des Frequenzganges bei 550 Hz?

Aufgabe 2 (7P)

Ein quaderförmiger Raum hat die Maße a, b und c. Die beiden Längen a und b werden mit einer relativen Standardabweichung von $S_a/a = S_b/b = 0{,}5\%$ gemessen. Die relative Standardabweichung der Länge c beträgt $S_c/c = 0{,}25\%$. Wie groß ist die relative Standardabweichung S_V/V des Volumens?

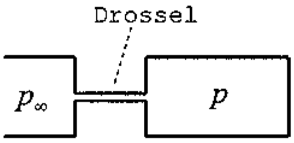


Hilfestellung: $$S_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\cdot S_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\cdot S_{x_2}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\cdot S_{x_n}\right)^2}$$



Aufgabe 3 (10P)

Der Zusammenhang zwischen dem Druck p_∞ und dem Druck p wird durch die angegebene Differentialgleichung beschrieben.

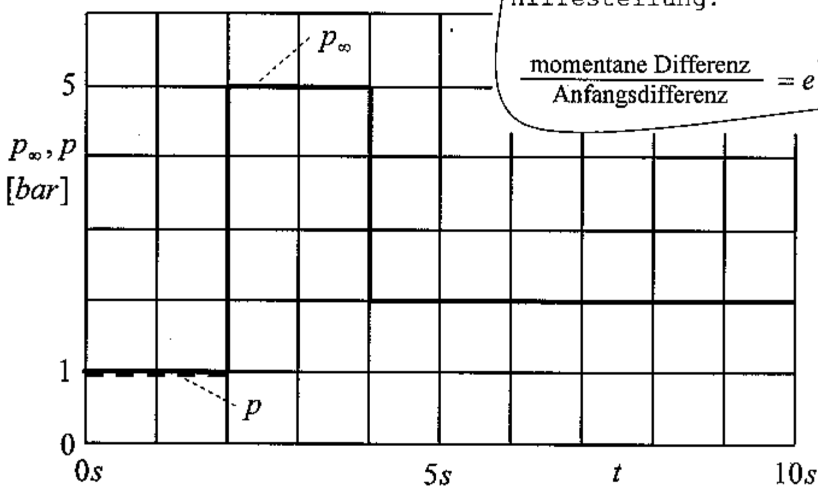


$$p + T\cdot\frac{dp}{dt} = p_\infty$$

Zu Beginn der Betrachtung seien beide Drücke gleich 1 bar. Die Zeitkonstante des Systems sei T=3s. Wie groß ist der Druck p zum Zeitpunkt t=10s?

Hilfestellung:

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



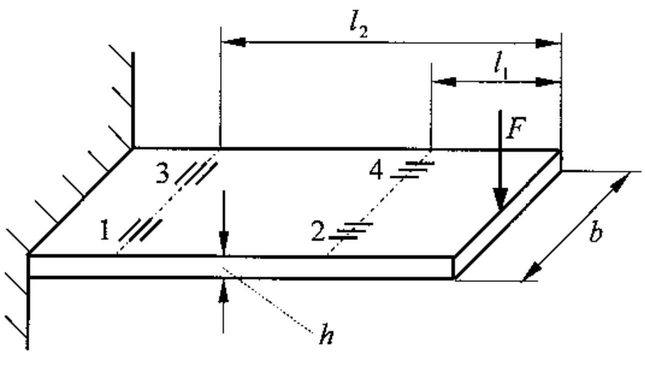
Aufgabe 4 (9P)

Der abgebildete Biegebalken wird mit einer Einzelkraft F belastet.

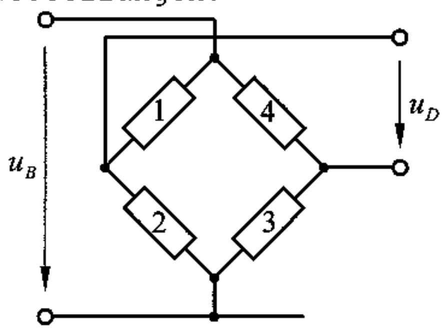
Geg.: F, b, h, l_1, l_2, E, k, ν

a. Bestimmen Sie die Brückenverstimmung in Abhängigkeit der gegebenen Größen!

b. Welcher "bemerkenswerte Effekt" ergibt sich für den Fall, dass $l_1 = \nu\cdot l_2$?



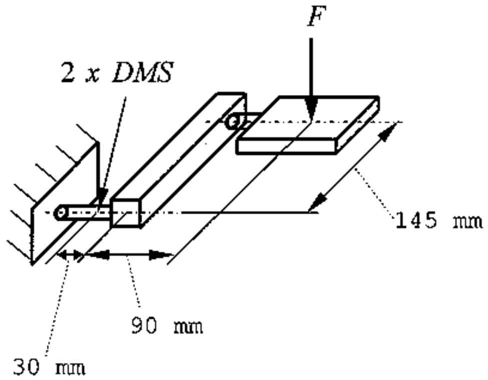
Hilfestellungen:



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

$$W_b = \frac{b\cdot h^2}{6} \qquad \frac{\Delta R}{R} = k\cdot\varepsilon \qquad \varepsilon_{quer} = -\nu\cdot\varepsilon_{längs}$$

Aufgabe 5 (10P)



Zur Bestimmung der Fußkraft an einem Fahrradpedal wird an der Welle (Durchmesser 14 mm) zum Kettenrad mit 2 DMS (k=1,98) das Drehmoment gemessen.
Die DMS sind unter ±45° appliziert.
Die Kalibrierung der Messbrücke mit 1 mV/V ergibt eine Anzeige von 6,0 V.
Bei Belastung mit der Kraft F ergibt sich eine Anzeige von 3,0 V. Der Schubmodul beträgt G = 80000 N/mm²

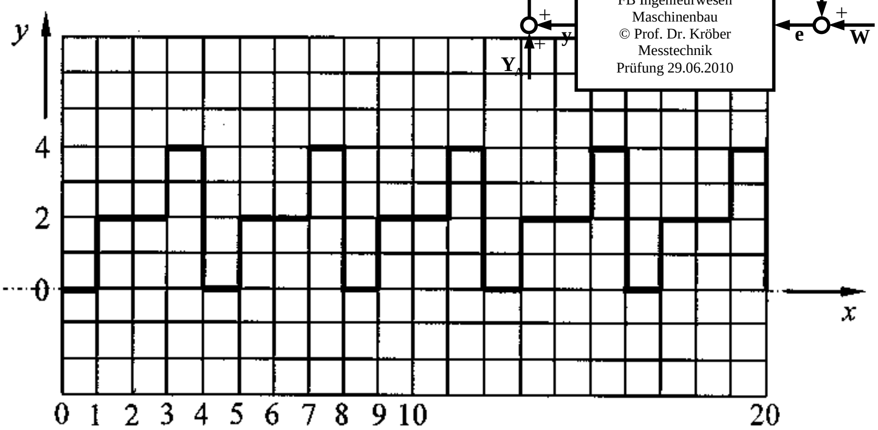
a. Wie groß ist das Drehmoment an der Messstelle?

b. Bestimmen Sie die Fußkraft F! Hierbei können alle maßgeblichen Winkel zur Ermittlung der Pedalkraft als 90° Winkel angesetzt werden.

Hilfestellungen: $\varepsilon_{DMS} = \frac{\tau}{2 \cdot G}$ $\qquad W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$

Aufgabe 6 (10P)

Bestimmen Sie von dem abgebildeten Signal den Konstantanteil sowie a_1 und b_1 (Exakte Lösung!)!
Hinweis: Methode scharfes Hinsehen anwenden, wenn möglich.
Bem.:
Der gesamte Lösungsweg muss ersichtlich sein.
Keine Integration "nur im Taschenrechner"!



Hilfestellungen:

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

Hinweis:

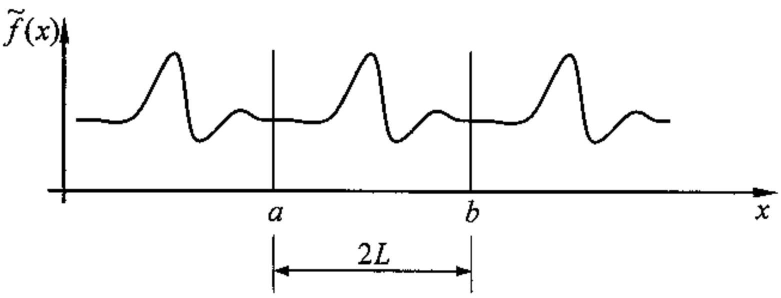
Sei $\tilde{f}(x)$ eine periodische Funktion der Periode $2L$, dann lässt sich $\tilde{f}(x)$ durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

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

wobei:

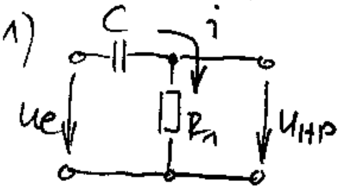
$$a_i = \frac{1}{L}\int_a^b \tilde{f}(x)\cos(i\frac{\pi}{L}x)dx$$

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



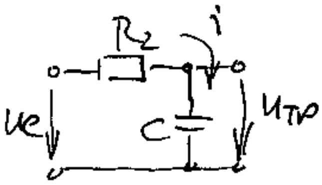
Prüfung Messtechnik vom 29.06.10 Blatt 1

zu 1)



$$\underline{i} = \frac{\underline{u_e}}{\frac{1}{j\omega C} + R_1} = \frac{\underline{u_{HP}}}{R_1} \Rightarrow \frac{\underline{u_{HP}}}{\underline{u_e}} = \frac{R_1}{\frac{1}{j\omega C} + R_1} \cdot \frac{j\omega C}{j\omega C}$$

$$\Rightarrow \underline{u_{HP}} = \frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C} \cdot \underline{u_e}$$



$$\underline{i} = \frac{\underline{u_e}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{\underline{u_{TP}}}{\frac{1}{j\omega C}} \Rightarrow \frac{\underline{u_{TP}}}{\underline{u_e}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} \cdot \frac{j\omega C}{j\omega C}$$

$$\Rightarrow \underline{u_{TP}} = \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \cdot \underline{u_e}$$

Summationsverstärker mit anschließende Rückinvertierung:

$$\underline{u_a} = \underline{u_{TP}} + \underline{u_{HP}} = \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \underline{u_e} + \frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C} \underline{u_e}$$

ergibt

$$\underline{\underline{\frac{\underline{u_a}}{\underline{u_e}} = \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} + \frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C}}}$$

b) $$\underline{\underline{f}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C^2}} = \frac{1}{2\cdot\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{27890 \cdot 41830 \cdot (0{,}02 \cdot 10^{-6})^2}} \text{ Hz} = 232{,}98 \text{ Hz} \approx \underline{\underline{233 \text{ Hz}}}$$

c) $$|G| = \frac{2R_1}{R_1 + R_2} = \frac{2 \cdot 27890}{27890 + 41830} = 0{,}80 \Rightarrow \underline{\underline{\text{Abminderung } 20\%}}$$

d) $$1 - \omega^2 R_1 R_2 C^2 = 1 - (2\cdot\pi\cdot 550)^2 \cdot 27890 \cdot 41830 \cdot (0{,}02 \cdot 10^{-6})^2 = -4{,}5729$$

$$\omega\, 2 R_1 C = 2\cdot\pi\cdot 550 \cdot 2 \cdot 27890 \cdot 0{,}02 \cdot 10^{-6} = 3{,}8552$$

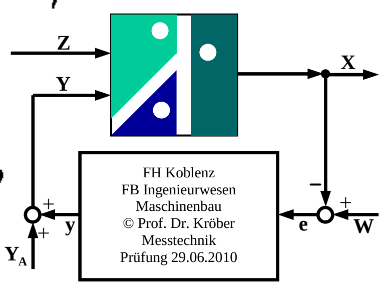
$$\omega (R_1 + R_2) C = 2\cdot\pi\cdot 550\, (27890 + 41830) \cdot 0{,}02 \cdot 10^{-6} = 4{,}8187$$

$$\underline{\underline{|G|}} = \sqrt{\frac{(-4{,}5729)^2 + 3{,}8552^2}{(-4{,}5729)^2 + 4{,}8189^2}} = 0{,}90034 \approx \underline{\underline{0{,}90}}$$

zu 2) $$V = a \cdot b \cdot c \;;\; \frac{\partial V}{\partial a} = b \cdot c \;;\; \frac{\partial V}{\partial b} = a \cdot c \;;\; \frac{\partial V}{\partial c} = a \cdot b$$

$$S_V = \sqrt{(b \cdot c \cdot S_a)^2 + (a \cdot c \cdot S_b)^2 + (a \cdot b \cdot S_c)^2} \cdot \frac{1}{abc}$$

$$\underline{\underline{\frac{S_V}{V}}} = \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2} = \sqrt{0{,}5^2 + 0{,}5^2 + 0{,}25^2}\,\% = \underline{\underline{0{,}75\%}}$$



Prüfung Messtechnik vom 29.06.10 Blatt 2

zu 3) 1. Intervall: $\frac{u_{Mom}}{A_{uf}} = e^{-t/T} \Rightarrow u_{Mom} = A_{uf} \cdot e^{-t/T} = 4\,bar \cdot e^{-2/3} = 2{,}0537\,bar$

also $p = (5 - 2{,}0537)\,bar = 2{,}9463\,bar$

2. Intervall: $u_{Mom} = A_{uf} \cdot e^{-t/T} = 0{,}9463\; e^{-6/3}\,bar = 0{,}1281\,bar$

also $\underline{\underline{p = 2{,}1281\,bar}}$

zu 4) $\varepsilon_2 = \frac{F l_1}{E W_b}$; $\varepsilon_4 = \frac{F l_1}{E W_b}$; $\varepsilon_1 = -\nu \frac{F l_2}{E W_b}$; $\varepsilon_3 = -\nu \frac{F l_2}{E W_b}$

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{K}{4}(\varepsilon_2 + \varepsilon_4 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) = \frac{K}{4}\left(\frac{F l_1}{E W_b} + \frac{F l_1}{E W_b} - \left(-\nu \frac{F l_2}{E W_b}\right) - \left(-\nu \frac{F l_2}{E W_b}\right)\right)$$

$$= \frac{K \cdot F}{4 E \underbrace{W_b}_{\frac{b \cdot h^2}{6}}}(2 l_1 + 2 \nu l_2) = \underline{\underline{\frac{3 \cdot K}{E b h^2}(l_1 + \nu l_2) \cdot F}}$$

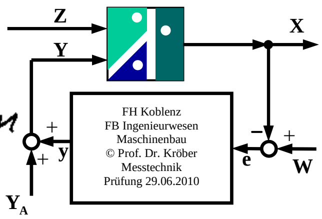
b) 2+4 liefern gleichen Beitrag zum Ergebnis wie 1+3

zu 5) $\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{2} K \cdot \varepsilon_{DMS}$ (Halbbrücke)

$$= \frac{1}{2} K \frac{\tau}{2G} = \frac{K}{4G} \frac{M_t}{W_p} = \frac{K}{4G} \cdot \frac{M_t}{\frac{\pi d^3}{16}} \Rightarrow M_t = \frac{\cancel{4} \cdot \frac{u_D}{u_B} \cdot G \cdot \frac{\pi}{\cancel{16}_4} d^3}{K}$$

Dreisatz: $6{,}0\,V \hat{=} 1\,mV/V \rightarrow 3{,}0\,V \hat{=} 0{,}5\,mV/V$

also $M_t = \frac{0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 80000 \cdot \pi \cdot 14^3}{4 \cdot 1{,}98}\,Nmm \hat{=} 43{,}54\,Nm$



b) $\underline{\underline{F}} = M_t / l = \frac{43{,}54}{0{,}145}\,N = \underline{300{,}3\,N \approx 300\,N}$

Nebenbemerkung: Biegespannung $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \rightarrow$ biegekompensiert

zu 6) $\frac{a_0}{2} = 2$ (Methode scharfes Hinsehen) $\qquad 2L = b - a = 4 - 0 = 4$

$a_1 = 0$ (Funktion ungerade) $\qquad L = 2$

$$b_1 = \frac{1}{2}\int_1^3 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx + \frac{1}{2}\int_3^4 4 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx$$

$$= \int_1^3 \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx + 2\int_3^4 \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right)dx = \left[-\frac{2}{\pi}\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)\right]_1^3 + 2\left[-\frac{2}{\pi}\cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)\right]_3^4$$

$$= -\frac{2}{\pi}\underbrace{\cos\left(\frac{3}{2}\pi\right)}_{0} + \frac{2}{\pi}\underbrace{\cos\left(\frac{\pi}{2}\right)}_{0} - \frac{4}{\pi}\underbrace{\cos(2\pi)}_{1} + \frac{4}{\pi}\underbrace{\cos\left(\frac{3}{2}\pi\right)}_{0}$$

$$\underline{\underline{b_1 = -\frac{4}{\pi} \approx -1{,}273}}$$