

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

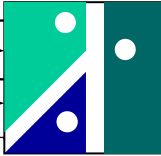
Note : \_\_\_\_\_

**KURZFRAGEN :**

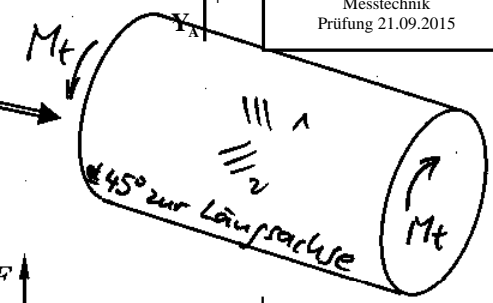
1. Skizzieren Sie die Anordnung der DMS bei der Messung eines Drehmomentes in einer Welle (Halbbrücke)! ( 2 P )

Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

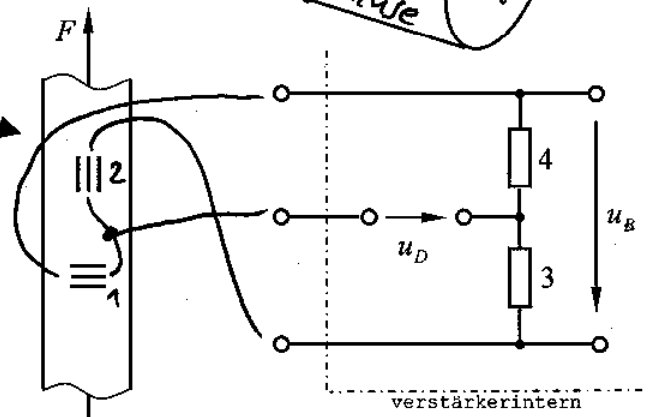
*+ Lösungen*



HS Koblenz  
 FB Ingenieurwesen  
 FR Maschinenbau  
 © Prof. Dr. Kröber  
 Messtechnik  
 Prüfung 21.09.2015



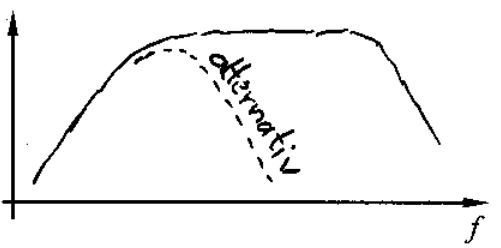
2. In dem Zugstab soll mit einer Halbbrücke eine Zugkraft gemessen werden (positives Ausgangssignal bei positiver Kraft). Ergänzen Sie die dazu notwendigen Verbindungen! ( 3 P )



3. Wie ändert sich die Zeitkonstante eines Temperatursensors, wenn seine geometrischen Abmessungen (Länge, Durchmesser) verdoppelt werden? ( 2 P )

T auch verdoppelt

4. Tragen Sie die Kennlinie (Frequenzgang) |G| eines Bandpassfilters in das Diagramm ein!  
 Bem.: Die Achsen seien logarithmisch skaliert. ( 2 P )



5. Wozu wird das Triangulationsverfahren eingesetzt? ( 1 P )

berührungslose Abstandsmessung

6. Wie hoch liegt etwa der Preis pro Kanal eines DMS-Verstärkers? ( 1 P )

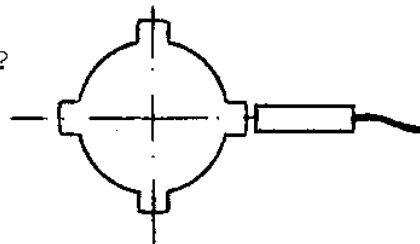
500 €

7. Wie groß ist die Auflösung eines 12 bit A/D-Wandlers (Wandlerbereich 0 bis 10V)? ( 2P )

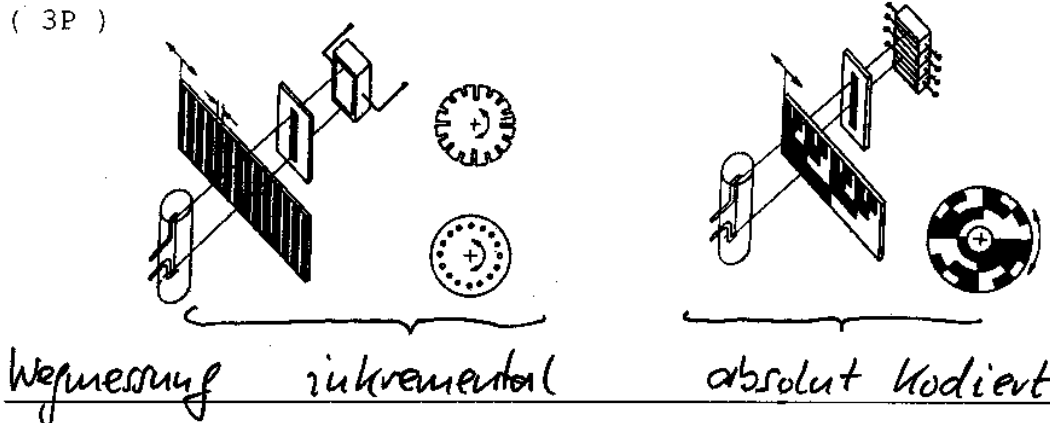
$10V / 2^{12} = 2,44mV$

8. Welche Messgröße wird hier (wie?) gemessen? ( 2P )

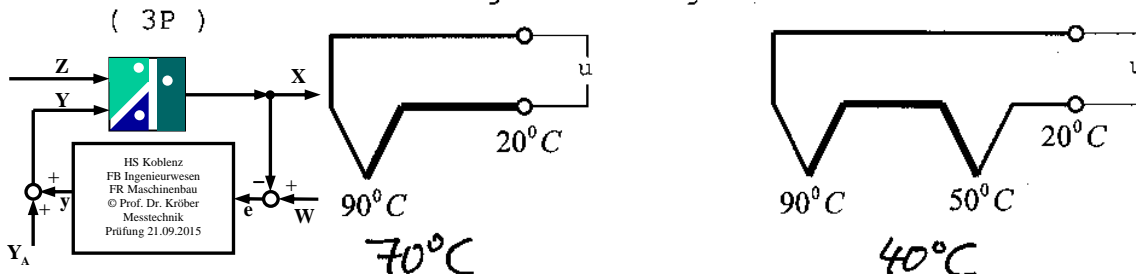
digitale Drehzahlmessung  
z.B. induktiver Näherungsschalter



9. Welche Messgröße wird hier gemessen? Worin liegt der wesentliche Unterschied der beiden Verfahren? ( 3P )



10. Welche Temperaturdifferenz geht in der linken und rechten Thermoelementanordnung in das Ergebnis ein? ( 3P )



11. Ein Trägerfrequenzverstärker, dessen Trägerfrequenz 5 kHz beträgt, hat am Ausgang einen Tiefpassfilter, um die Trägerfrequenzreste auszufiltern. Dadurch sind praktisch keine Frequenzinhalte mit  $f \geq 2$  kHz mehr im Signal enthalten. Wie groß muss die Abtastfrequenz mindestens sein, damit kein Aliasing-Effekt auftritt? ( 2P )

4 kHz

12. Wozu wird ein Stroboskop eingesetzt? ( 1P )

Drehzahlmessung, Beobachtung von Schwingformen

13. Geben Sie 2 Definitionen an für den relativen Messfehler! ( 3P )

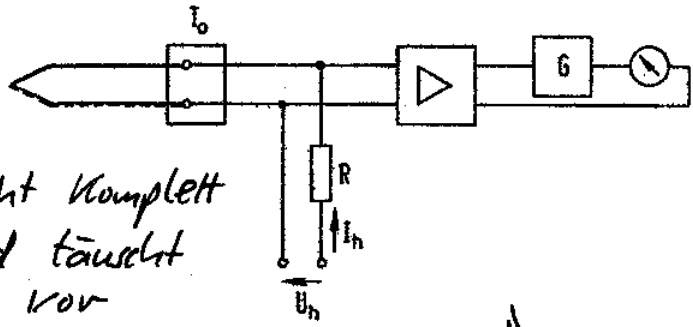
$\frac{IST-SOLL}{SOLL} \cdot 100[\%]$        $\frac{IST-SOLL}{\text{Endwert Messbereich}} \cdot 100[\%]$

14. Wie groß ist der Widerstand eines Pt100 bei 0°C? ( 1P )

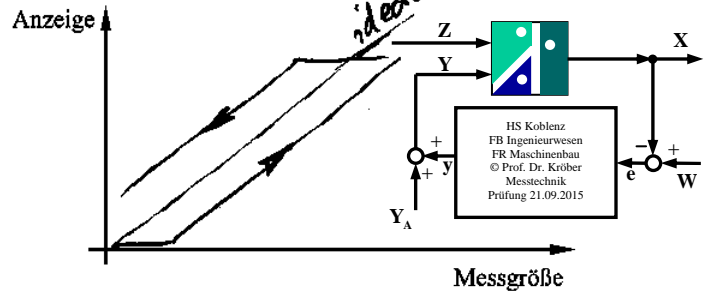
100Ω

15. Erläutern Sie die Wirkungsweise einer Thermoelementbruchsicherung!  
( 3P )

intakt: Hilfsspannung fällt  
komplett über R ab  
Kabelbruch: Hilfsspannung steht komplett  
am Verstärkereingang an und täuscht  
hohe Temperatur vor



16. Tragen Sie in die Skizze ein, wie sich die Anzeige in Abhängigkeit der Messgröße ändert, wenn eine Umkehrspanne (konstante Hysterese z.B. durch mechanisches Spiel) vorliegt!  
( 3P )



17. Wodurch unterscheiden sich die Signalformen der Eingangs- und Ausgangsgrößen bei einem Komparator (in der Argumentation z.B. analog und digital berücksichtigen)?  
( 2P )

Eingang: analog      Ausgang: digital

18. Der Durchmesser eines Kreises ändert sich um 1%. Um wie viel Prozent ändert sich dann der Umfang des Kreises?  
( 1P )

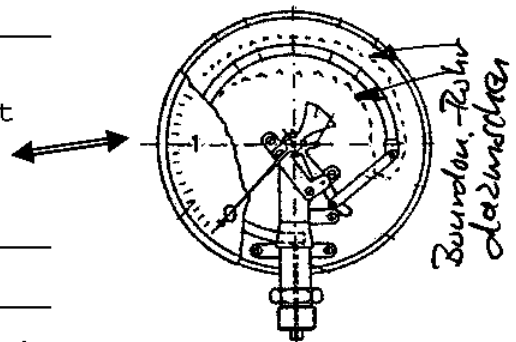
1%

19. Welches ist ein durchaus üblicher Wert für eine Brückenverstimmung bei einer DMS-Messung?  
( 2P )

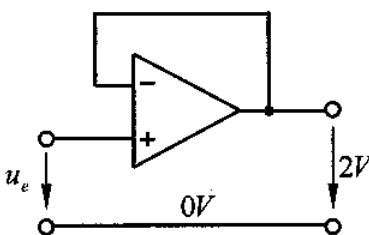
z.B. 1mV/V

20. Durch welche elastische Verformung kommt es bei dem abgebildeten Manometer zu einer Druckanzeige?  
( 2P )

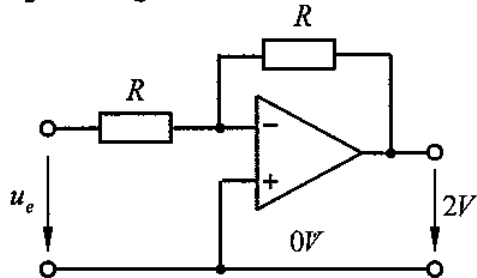
Bourdon-Rohr weitet sich  
unter Druck auf



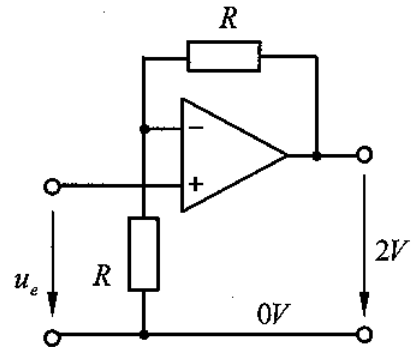
21. Wie lauten die Bezeichnungen für die drei abgebildeten Verstärker? Wie groß müssen die jeweiligen Eingangsspannungen sein? ( 9P )



Spannungsfollower  
2V



invertierender Verstärker  
-2V



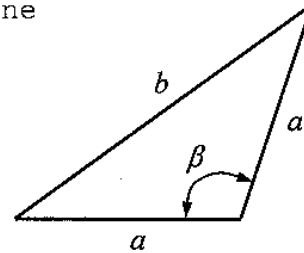
nicht invertierender V.  
1V

RECHENTEIL

Aufgabe 1 ( 8P )

In einem gleichschenkligen Dreieck sei  $b$  eine Funktion der Länge  $a$  (hier ohne Fehler) und des Winkels  $\beta$ .

$$b = 2 \cdot a \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)$$



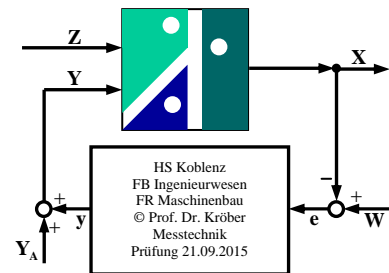
Aus Messungen sind bekannt:

$$a = 4 \text{ m} ; \bar{\beta} = 110^\circ ; S_\beta = 2^\circ$$

Wie groß ist die Standardabweichung  $S_b$  der Länge  $b$ ?

Hilfestellung:

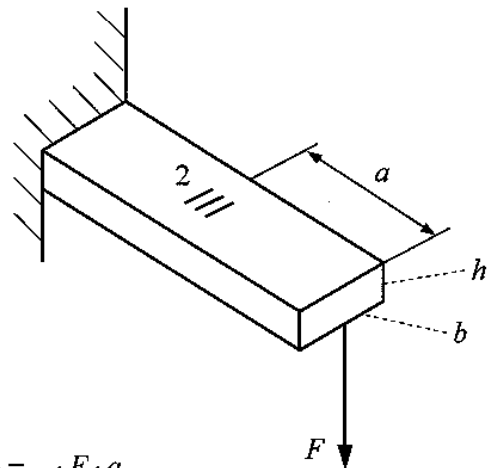
$$S_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot S_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot S_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot S_{x_n}\right)^2}$$



Aufgabe 2 ( 8P )

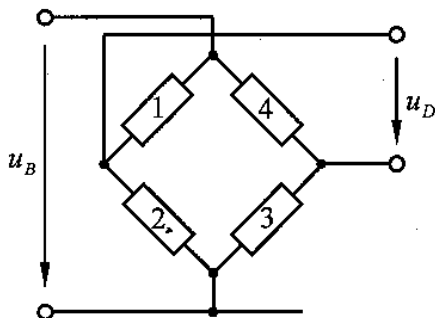
Zur Messung eines Biegemomentes sollten ursprünglich 2 DMS längs auf den Probekörper appliziert werden. Dies ist leider "schief gegangen". Nun ist der DMS 2 oben quer angeordnet und der DMS 1 ist, genau unterhalb, ebenfalls quer angeordnet (in Skizze nicht sichtbar).

Bestimmen Sie einen Zusammenhang zur Ermittlung der Brückenverstimmung in Abhängigkeit des Biegemomentes an der Messstelle.



Ziel:  $\frac{u_D}{u_B} = \dots \cdot M_b$     alternativ geht auch:  $\frac{u_D}{u_B} = \dots \cdot F \cdot a$

Hilfestellungen:



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

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \epsilon \quad W_b = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \epsilon_{\text{quer}} = -\nu \cdot \epsilon_{\text{längs}}$$

Aufgabe 3 ( 8P )

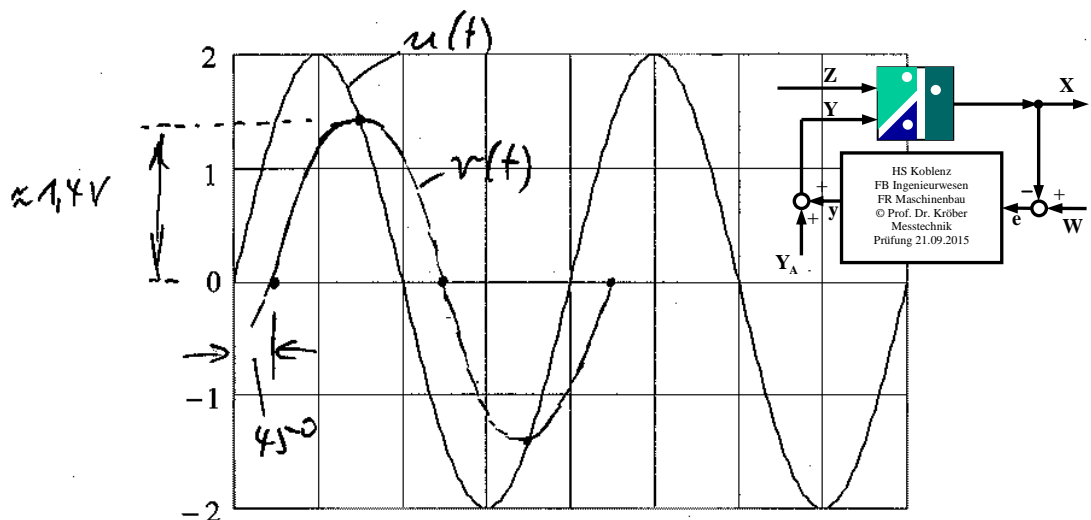
In einer DMS-Messbrücke (Vollbrücke) werden 120 Ohm-Widerstände verwendet. Die Brückenspeisespannung beträgt  $u_b = 5 \text{ V}$ .

- Wie groß ist der Strombedarf zur Speisung der Messbrücke?
- Welchen Spannungsabfall misst man über einem Widerstand in der Messbrücke ?

Aufgabe 4 ( 8P )

Auf ein Messsystem mit Verzögerung 1. Ordnung wirkt am Eingang eine sinusförmige Eingangsgröße  $u = u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$ . Von dieser Eingangsgröße sind in der untenstehenden Abbildung zwei Schwingungen dargestellt. Betrachtet wird der eingeschwungene Zustand. Die vorliegende Frequenz ist identisch mit der sogenannten Eckfrequenz.

- Bestimmen Sie zunächst  $\hat{u}$ ,  $\hat{v}$  und  $\varphi$ !
- Tragen Sie den zeitlichen Verlauf der Ausgangsgröße  $v(t)$  in das Diagramm ein (zumindest eine halbe Schwingung eintragen)!



Hilfestellungen:

$$G = \frac{v}{u} = \frac{1}{1 + j\omega T} ; |G| = \frac{\hat{v}}{\hat{u}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} ; \tan(\varphi) = -\omega T ; \omega = \omega_E = \frac{1}{T}$$

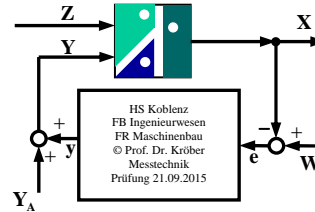
Aufgabe 5 ( 8P )

Die Temperatur einer Tasse Kaffee aus der Mensa beträgt unmittelbar nach der Herstellung 65°C. Nach einer Zeit von 15 Minuten (komplette Pausenzeit) ist die Temperatur auf 40°C abgefallen. Die Umgebungstemperatur sei 20°C.

- Bestimmen Sie die Zeitkonstante!
- Wie groß wäre die Temperatur zur gleichen Zeit, wenn ein heißer Sommertag vorliegt, an dem die Umgebungstemperatur 30°C beträgt?

Hilfestellung:

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

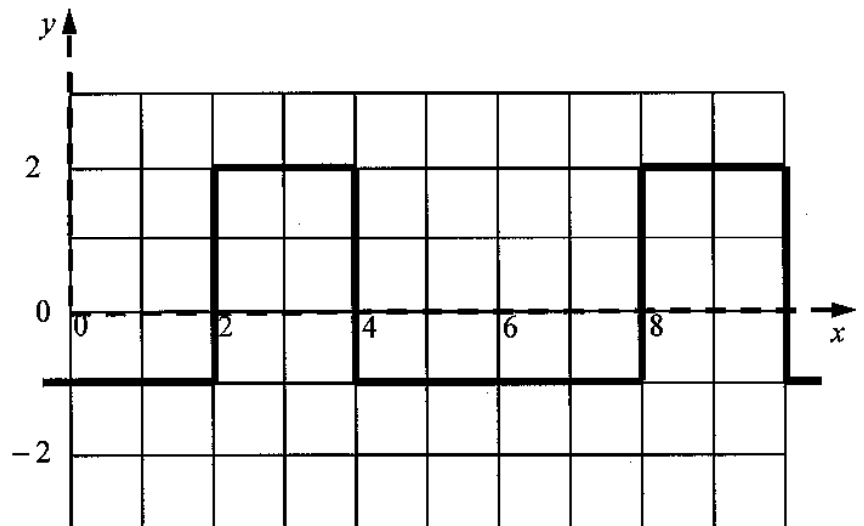


Aufgabe 6 ( 10P )

Von dem abgebildeten Signalverlauf sind zu ermitteln:

$a_0/2$ ,  $a_1$ ,  $b_1$  und  $A_1$ !

Bemerkungen:  
Der gesamte Lösungsweg muss ersichtlich sein. Keine Integration "nur im Taschenrechner"! Gesucht ist die exakte Lösung.



Hilfestellungen:

$$\int \sin(ax) dx = -\frac{1}{a} \cos(ax) + C \quad \int \cos(ax) dx = +\frac{1}{a} \sin(ax) + C \quad A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad \tan \varphi_{0i} = \frac{a_i}{b_i}$$

Hinweis:

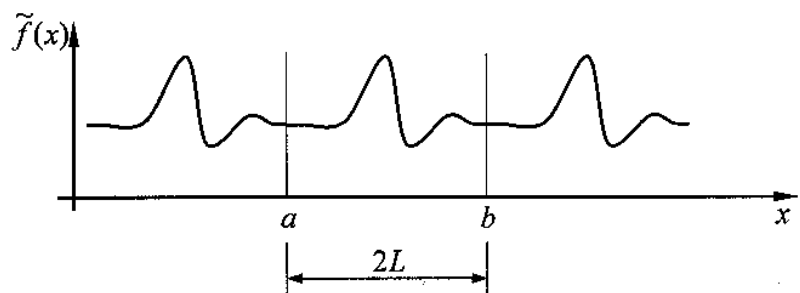
Sei  $\tilde{f}(x)$  eine periodische Funktion der Periode  $2L$ , dann lässt sich  $\tilde{f}(x)$  durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

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

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 21.09.15

zu 1)  $\frac{\partial b}{\partial \beta} = 2 \cdot a \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \frac{1}{2} = a \cdot \cos(\beta/2)$

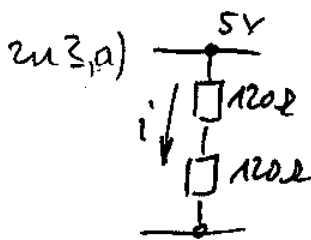
$$s_b = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} s_{x_1} \right| = a \cdot \cos(\beta/2) \cdot s_\beta$$

$$= 4 \text{ m} \cdot \cos\left(\frac{110^\circ}{2}\right) \cdot 2^\circ \frac{\pi}{180^\circ} = \underline{\underline{0,08009 \text{ m} \approx 0,08 \text{ m}}}$$

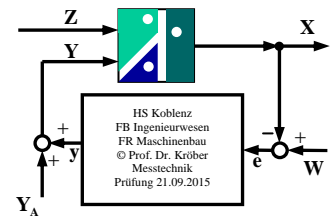
zu 2)  $E_{\text{Zwangs}} = \frac{\sigma_{b2}}{E} = \frac{M_b}{E W_b} = \frac{F a}{E b l^2} = \frac{6 F a}{E b l^2}$

$E_2 = E_{\text{quer}} = -\nu \frac{6 F a}{E b l^2}$  ;  $E_1 = E_{\text{quer}} = +\nu \frac{6 F a}{E b l^2}$

$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{k}{4} (E_2 - E_1) = \frac{k}{4} \left( -\nu \frac{6 F a}{E b l^2} - \nu \frac{6 F a}{E b l^2} \right) = \underline{\underline{-\frac{3 k \cdot \nu}{E b l^2} F a}}$$



$$i = \frac{5V}{240\Omega} = 20,8\bar{3} \dots \text{ mA}$$



andere Halbbrücke gleicher Anteil, also  $i_{gs} = 2 \cdot i$   
 $= 2 \cdot 20,8\bar{3} \dots \text{ mA}$   
 $= \underline{\underline{41,6 \dots \text{ mA}}}$

b) klassischer Spannungsteiler

über jedem Widerstand  $u = \Delta u = \frac{5V}{2} = \underline{\underline{2,5V}}$

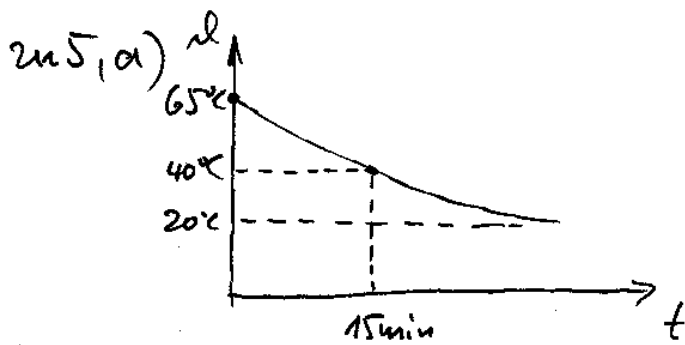
zu 4)  $\underline{\underline{\hat{u} = 2V}}$  (aus gegebener Abbildung)

$\omega T = \frac{1}{T} \cdot T = 1$  ;  $|G| = \frac{\hat{v}}{\hat{u}} = \frac{1}{\sqrt{1+1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\underline{\underline{\hat{v} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = \frac{2V}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}V \approx 1,414V}}$$

$\tan \varphi = -\omega T = -1 \Rightarrow \underline{\underline{\varphi = -45^\circ}}$  (eilt nach)

# Lösungen Prüfung Messtechnik 21.09.15



$$\frac{m_{\text{am}}}{A_{\text{uf}}} = e^{-t/T}$$

$$\frac{20}{45} = e^{-t/T}$$

$$2,25 = e^{+t/T} \quad | \ln$$

$$\ln 2,25 = t/T$$

$$\underline{T = \frac{t}{\ln 2,25} = \frac{15 \text{min}}{\ln 2,25} = 18,497 \text{min}}$$

$$b) \frac{m_{\text{am}}}{A_{\text{uf}}} = e^{-t/T} \Rightarrow m_{\text{am}} = A_{\text{uf}} \cdot e^{-t/T} = 35^\circ\text{C} \cdot e^{-\frac{15 \text{min}}{18,497 \text{min}}} = 15,556^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\Delta = 30^\circ\text{C} + 15,556^\circ\text{C} = 45,556^\circ\text{C}}}$$

2u6)  $\frac{a_0}{2} = 0$  (Fläche oberhalb und unterhalb Funktion gleich)

$b_n = 0$  (Funktion gerade)

$$2L = b - a = 8 - 2 = 6 \Rightarrow L = 3$$

$$a_1 = \frac{1}{3} \int_2^4 2 \cdot \cos\left(1 \frac{\pi}{3} x\right) dx + \frac{1}{3} \int_4^8 (-1) \cos\left(1 \frac{\pi}{3} x\right) dx$$

$$= \frac{2}{3} \int_2^4 \cos\left(\frac{\pi}{3} x\right) dx - \frac{1}{3} \int_4^8 \cos\left(\frac{\pi}{3} x\right) dx$$

$$= \frac{2}{3} \left[ \frac{3}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{3} x\right) \right]_2^4 - \frac{1}{3} \left[ \frac{3}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{3} x\right) \right]_4^8$$

$$= \frac{1}{\pi} \left\{ \underbrace{2 \sin\left(\frac{\pi}{3} 4\right)}_{-\frac{1}{2}\sqrt{3}} - \underbrace{2 \sin\left(\frac{\pi}{3} 2\right)}_{\frac{1}{2}\sqrt{3}} - \underbrace{\sin\left(\frac{\pi}{3} 8\right)}_{\frac{1}{2}\sqrt{3}} + \underbrace{\sin\left(\frac{\pi}{3} 2\right)}_{-\frac{1}{2}\sqrt{3}} \right\}$$

$$\underline{\underline{a_1 = \frac{1}{\pi} \left\{ -\sqrt{3} - \sqrt{3} - \frac{1}{2}\sqrt{3} - \frac{1}{2}\sqrt{3} \right\} = -\frac{3\sqrt{3}}{\pi} \approx -1,654}}$$

$$\underline{\underline{A_1 = |a_1| = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \approx 1,654}}$$

