

Regelungstechnik WS 09/10  
 Prof. Dr. W. Kröber

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

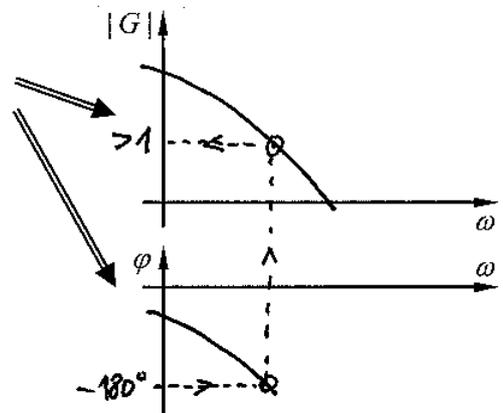
- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
  - Schreib- und Zeichengerät
  - Taschenrechner
  - Formelsammlung ( 4 Blätter )

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

**K U R Z F R A G E N :**

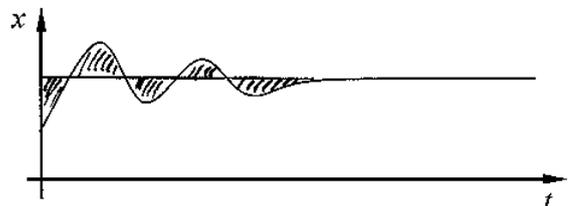
1. Sie wollen einen PID-Regler durch "Probieren" einstellen. In welcher Reihenfolge führen Sie diese Einstellung durch?  
 Antwortbeispiel: Zuerst I einstellen, dann D einstellen, dann P einstellen.  
 ( 2P )     P    I    D    

2. Tragen Sie in das nebenstehende Bode-Diagramm den Frequenzgang eines instabilen Regelkreises ein!  
 ( 3P )



3. Welcher Frequenzgang wird beim Nyquist-Kriterium zugrunde gelegt?  
 ( 1P )     G<sub>0</sub> = G<sub>S</sub> · G<sub>R</sub>    

4. Die Skizze zeigt die Sprungantwort einer schwingungsfähigen Regelstrecke. Skizzieren Sie den Anteil der homogenen Lösung der Differentialgleichung!  
 ( 3P )



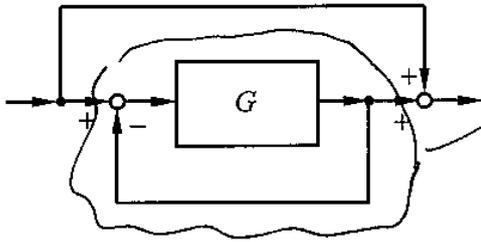
5. Welches Verhalten stellt sich ein, wenn bei einer hydraulischen Positionsregelung ein I-Regler verwendet wird? ( 2P )  
    PT<sub>2</sub> (ungedämpft) ; Dauerschwingungen    

6. Durch welche Maßnahme kann man das Betriebsverhalten der Regelung aus Frage 5 "verbessern"? ( 2P )     PI oder PD Refer (oder PID)    

Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	+ Lösungspunkte
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

FH Koblenz  
 FB Ingenieurwesen  
 Maschinenbau  
 © Prof. Dr. Kröber  
 Regelungstechnik  
 Prüfung 30.11.2009

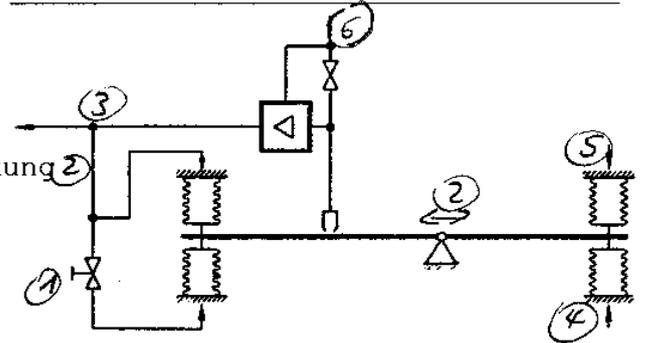
7. Wie lautet der Frequenzgang  $G_{ges}$  des abgebildeten Systems?  
( 3P )



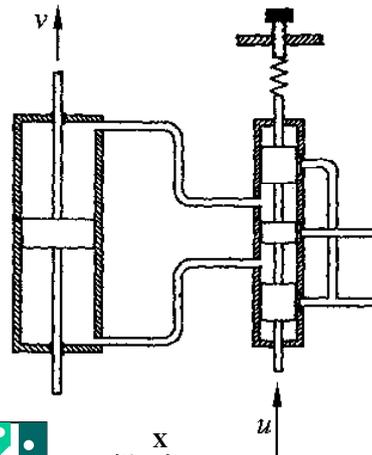
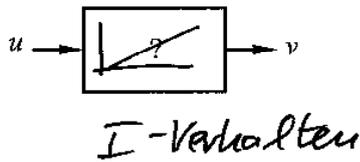
$$\tilde{G} = \frac{G}{1+G}$$

$$G_{ges} = \tilde{G} + 1 = \frac{G}{1+G} + 1$$

8. Die Abbildung zeigt einen pneumatischen PI-Regler. Kennzeichnen Sie in der Abbildung  
 - Einstellung Nachstellzeit (1)  
 - Verstellung Proportionalverstärkung (2)  
 - Anschluss Stellgröße (3) (4)  
 - Anschluss Regelgröße (5)  
 - Anschluss Führungsgröße (6)  
 - Anschluss Zuluft! (6)  
 ( 4P )



9. Welches zeitliche Verhalten hat das abgebildete System?  
( 2P )



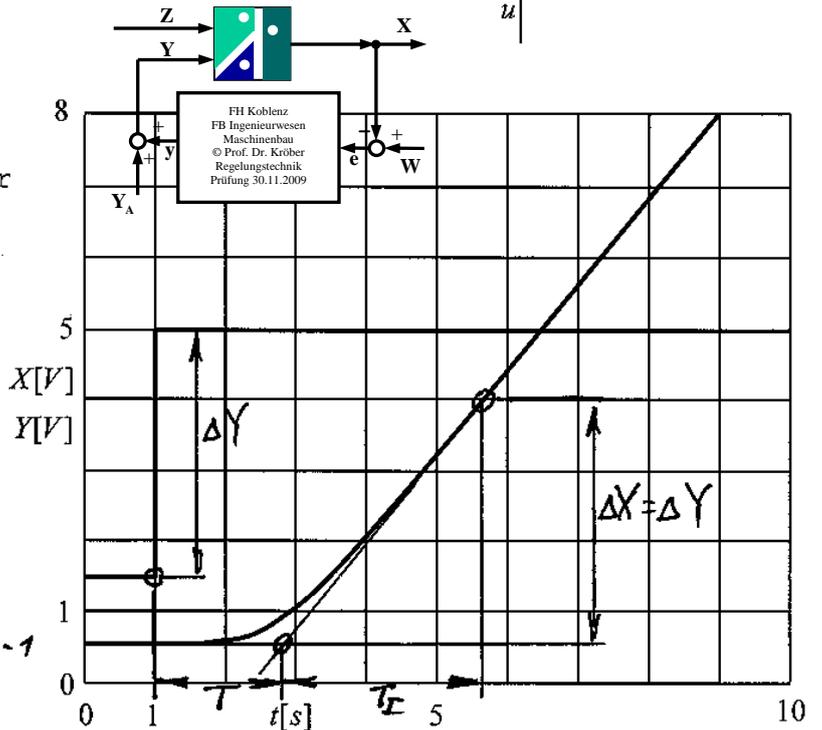
RECHENTEIL :

Aufgabe 1 ( 15P )

Eine Regelstrecke besitzt  $IT_1$ -Verhalten. Die Parameter  $K_I$  und  $T$  der Regelstrecke seien gegeben bzw. aus der Abbildung ablesbar. Als Regler wird ein P-Regler verwendet.

Wie groß muss  $K_p$  sein, damit die Regelgröße bei Sollwertsprüngen nicht überschwingt (formelmäßige und numerische Lösung)?

*abgelesen:*  
 $T = 1,85$   
 $K_I = \frac{1}{T_I} = \frac{1}{2,85} = 0,351 \text{ s}^{-1}$



Aufgabe 2 ( 13P )

Ein realer PID-Regler (PIDT<sub>1</sub>-Regler) kann durch folgenden Frequenzgang beschrieben werden:

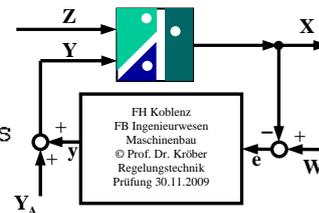
$$G = \frac{y}{e} = K_p + \frac{K_I}{j\omega} + \frac{K_D j\omega}{1+j\omega T}$$

Zahlenwerte:  $K_p = 2$ ;  $K_I = 2 \text{ s}^{-1}$ ;  $K_D = 0,5 \text{ s}$ ;  $T = 0,02 \text{ s}$

Bestimmen Sie  $|G|$  und  $\varphi$  für  $\omega = 3 \text{ s}^{-1}$  !

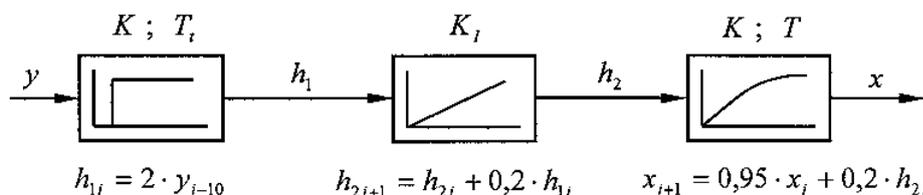
Hilfestellungen:  $G = \text{Re}\{G\} + j \cdot \text{Im}\{G\}$  ;  $|G| = \sqrt{\text{Re}\{G\}^2 + \text{Im}\{G\}^2}$  ;  $\tan(\varphi) = \frac{\text{Im}\{G\}}{\text{Re}\{G\}}$

$$\frac{K_I}{j\omega} = \frac{K_I}{j\omega} \cdot \frac{(-j)}{(-j)} ; \quad \frac{K_D j\omega}{1+j\omega T} = \frac{K_D j\omega}{1+j\omega T} \cdot \frac{1-j\omega T}{1-j\omega T}$$



Aufgabe 3 ( 15P )

Von der abgebildeten Regelstrecke sind die Rekursionsgleichungen bekannt. Der Zeitschritt beträgt  $\Delta t = 0,01 \text{ s}$ .



Hilfestellung:

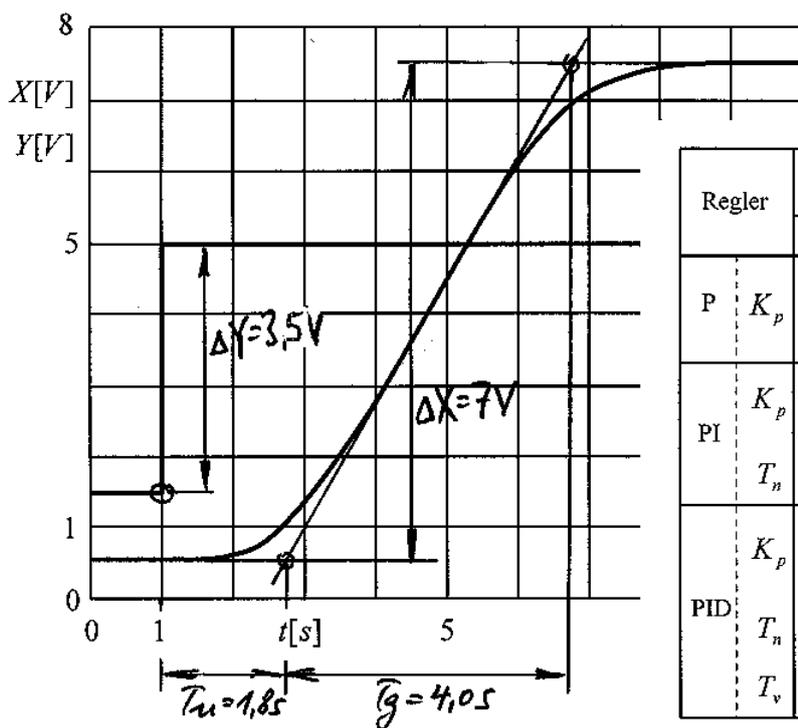
$$\frac{du}{dt} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta t}$$

Bestimmen Sie die Parameter der einzelnen Übertragungsglieder!

Aufgabe 4 ( 12P )

Die Abbildung zeigt die Sprungantwort einer Regelstrecke. Ein PID-Regler soll so ausgelegt werden, dass kein Überschwingen auftritt (Anwendung: Sollwerte werden häufig verändert).

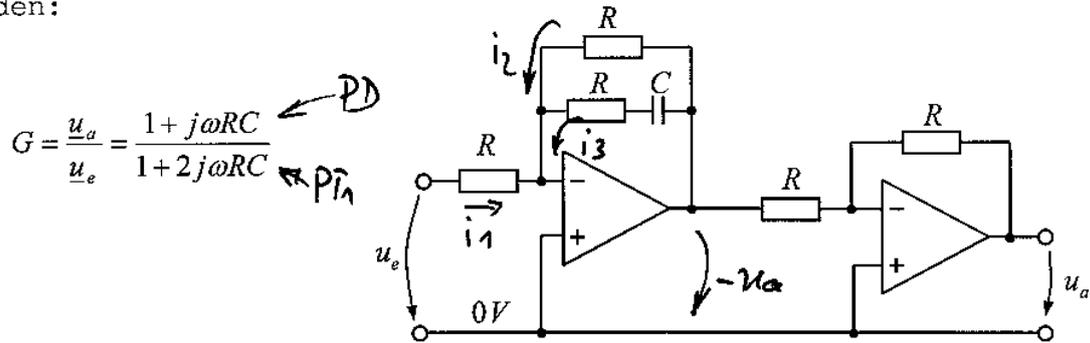
Ges.:  $K_p, T_n, T_v$



Regler	Aperiodischer Regelverlauf		Regelverlauf mit 20% Überschwingen		
	Störung	Führung	Störung	Führung	
P	$K_p$	$0,3 T_g$	$0,3 T_g$	$0,7 T_g$	$0,7 T_g$
		$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$
PI	$K_p$	$0,6 T_g$	$0,35 T_g$	$0,7 T_g$	$0,6 T_g$
		$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$
	$T_n$	$4 T_u$	$1,2 T_g$	$2,3 T_u$	$1 T_g$
PID	$K_p$	$0,95 T_g$	$0,6 T_g$	$1,2 T_g$	$0,95 T_g$
		$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$
		$T_n$	$2,4 T_u$	$1 T_g$	$2 T_u$
	$T_v$	$0,42 T_u$	$0,5 T_u$	$0,42 T_u$	$0,47 T_u$

Aufgabe 5 ( 15P )

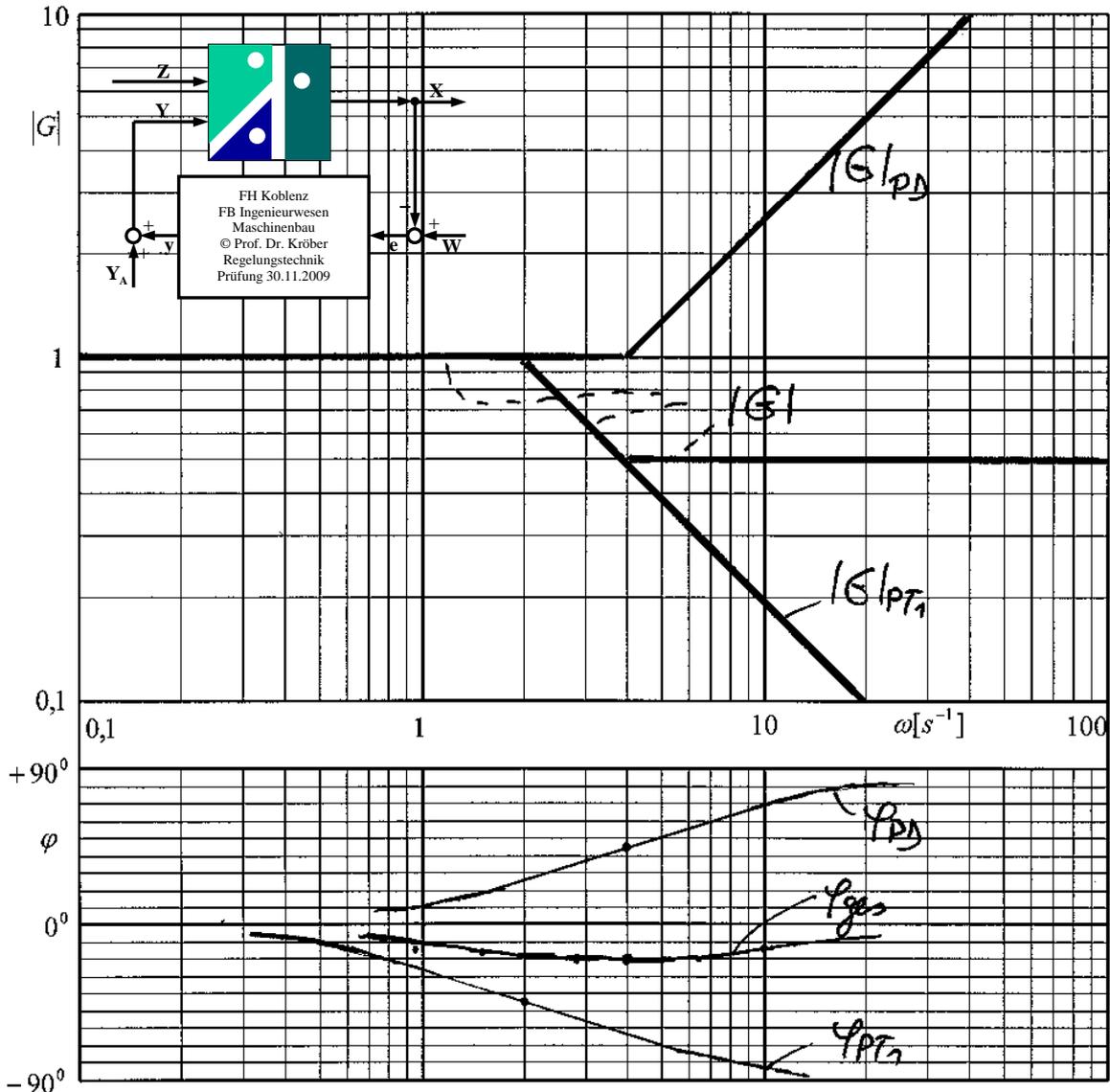
Die abgebildete Schaltung kann durch folgenden Frequenzgang beschrieben werden:



$$G = \frac{u_a}{u_e} = \frac{1+j\omega RC}{1+2j\omega RC}$$

$\leftarrow PD$   
 $\leftarrow PT_1$

- Weisen Sie die angegebene Gleichung nach!
- Tragen Sie den Frequenzgang ins Bode-Diagramm ein!  
Zahlenwerte:  $R = 50k\Omega$ ;  $C = 5\mu F$

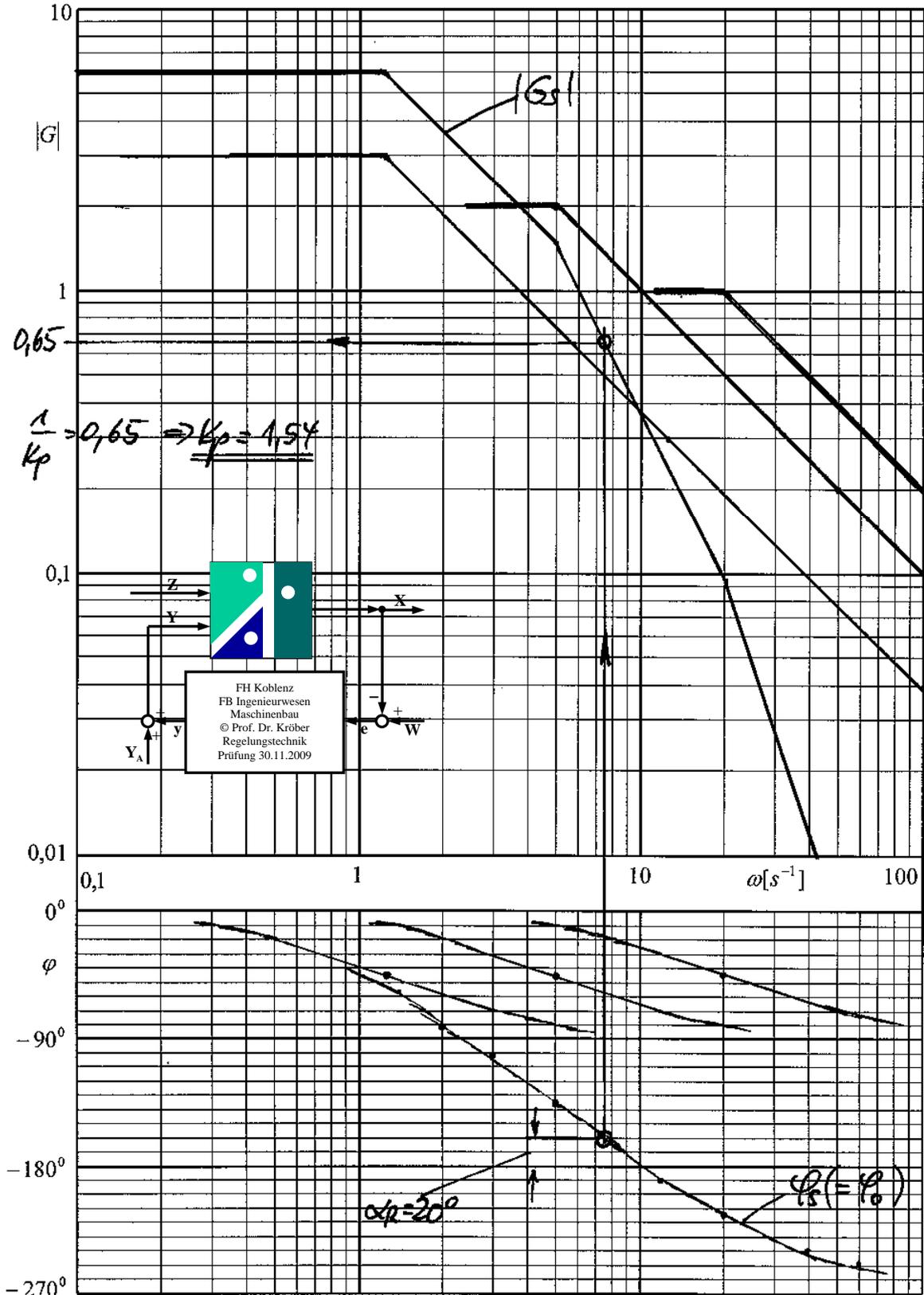


Aufgabe 6 ( 18P )

Eine Regelstrecke besteht aus einer Reihenschaltung von drei Elementen 1. Ordnung.

Zahlenwerte:  $K_1 = 1$ ;  $T_1 = 0,05s$  ;  $K_2 = 2$ ;  $T_2 = 0,2s$  ;  $K_3 = 3$ ;  $T_3 = 0,8s$

- Konstruieren Sie den Frequenzgang der Regelstrecke!
- Als Regler wird ein P-Regler verwendet. Wie groß muss  $K_p$  sein, damit die Phasenreserve 20 Grad beträgt?



# Prüfung Regelungstechnik vom 30.11.09 | Blatt 1

$$\begin{aligned}
 \text{zu 1) } G_w &= \frac{G_S \cdot G_R}{1 + G_S \cdot G_R} = \frac{\frac{K_I}{j\omega(1+j\omega T)} \cdot K_p}{1 + \frac{K_I}{j\omega(1+j\omega T)} \cdot K_p} \cdot \frac{j\omega(1+j\omega T)}{j\omega(1+j\omega T)} = \frac{K_I K_p}{j\omega(1+j\omega T) + K_I K_p} \\
 &= \frac{K_I K_p}{j\omega + (j\omega)^2 T + K_I K_p} \cdot \frac{1/T}{1/T} = \frac{K_I K_p / T}{(j\omega)^2 + \frac{1}{T} (j\omega) + \frac{K_I K_p}{T}} \\
 &\quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{2\delta} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\omega_0^2} \\
 n\ell = \frac{d}{\omega_0} &= \frac{\frac{1}{2T}}{\sqrt{\frac{K_I K_p}{T}}} = \frac{1}{2\sqrt{K_I K_p T}} \stackrel{!}{=} 1 \Rightarrow K_p = \frac{1}{4 \cdot K_I \cdot T} = \frac{1}{4 \cdot 0,357 \cdot 1,8} \\
 &= \underline{\underline{0,383 \approx 0,39}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{zu 2) } G &= K_p + \frac{K_I}{j\omega} \cdot \frac{(-j)}{(-j)} + \frac{K_D j\omega}{1+j\omega T} \cdot \frac{1-j\omega T}{1-j\omega T} \quad (\text{stets } j^2 = -1) \\
 &= K_p + \frac{K_I}{\omega} (-j) + \frac{K_D j\omega + K_D \omega^2 T}{1 + (\omega T)^2}
 \end{aligned}$$

Real- und Imaginärteile zusammenfassen:

$$G = \underbrace{\left[ K_p + \frac{K_D \omega^2 T}{1 + (\omega T)^2} \right]}_{\text{Re}} + j \underbrace{\left[ \frac{K_D \omega}{1 + (\omega T)^2} - \frac{K_I}{\omega} \right]}_{\text{Im}}$$

$$\text{Re} = 2 + \frac{0,5 \cdot 3^2 \cdot 0,02}{1 + (3 \cdot 0,02)^2} = 2,0837 \quad ; \quad \text{Im} = \frac{0,5 \cdot 3}{1 + (3 \cdot 0,02)^2} - \frac{2}{3} = 0,8280$$

$$|G| = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2} = \sqrt{2,0837^2 + 0,8280^2} = \underline{\underline{2,2477}}$$

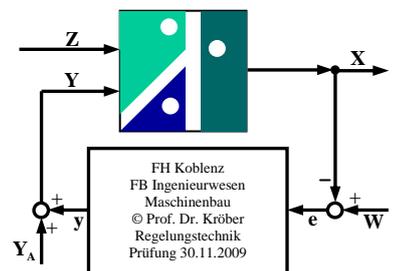
$$\tan \varphi = \frac{\text{Im}}{\text{Re}} = \frac{0,8280}{2,0837} = \dots \Rightarrow \varphi = \underline{\underline{+21,614^\circ}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{zu 3) Totzeit: } K &= \underline{\underline{2}} \\
 T_t &= \underline{\underline{10 \text{ st} = 10 \cdot 0,015 = 0,15}}
 \end{aligned}$$

$$h_2 = K_I \cdot h_1$$

$$\frac{h_{2i+1} - h_{2i}}{\Delta t} = K_I \cdot h_{1i} \Rightarrow h_{2i+1} = h_{2i} + \frac{K_I \cdot \Delta t \cdot h_{1i}}{0,2}$$

$$\underline{\underline{\frac{K_I}{\Delta t} = \frac{0,2}{0,015} = 20 \text{ s}^{-1}}}$$



# Prüfung Regelungstechnik vom 30.11.09 / Blatt 2

anzu3)  $x + T \dot{x} = K \cdot l_2$

$$x_i + T \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t} = K \cdot l_{2i} \Rightarrow \dots x_{i+1} = x_i \underbrace{\left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right)}_{0,95} + \underbrace{\frac{\Delta t}{T} \cdot K \cdot l_{2i}}_{0,2}$$

$$0,95 = 1 - \frac{\Delta t}{T} \Rightarrow \frac{\Delta t}{T} = 0,05$$

$$\underline{T = 20 \cdot \Delta t = 20 \cdot 0,015 = 0,25}$$

$$\frac{\Delta t}{T} \cdot K = 0,2 \Rightarrow \underline{K = \frac{0,2 \cdot T}{\Delta t} = \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,01} = 4}$$

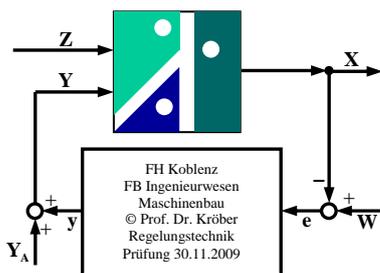
anzu4)  $\Delta Y = 3,5V$   
 $\Delta X = 7V$   $\left\{ \begin{array}{l} K_S = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{7V}{3,5V} = 2 \\ T_u = 1,85s \\ T_g = 4,05s \end{array} \right.$

$$\underline{K_P = \frac{0,6 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u} = \frac{0,6 \cdot 4,05}{2 \cdot 1,85} = 0,67}$$

$$\underline{T_u = 1 \cdot T_g = 1 \cdot 4,05 = 4,05} \quad ; \quad \underline{T_v = 0,5 \cdot T_u = 0,5 \cdot 1,85 = 0,925}$$

anzu5)  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

$$\frac{u_e}{R} + \frac{-u_a}{R} + \frac{-u_a}{R + \frac{1}{j\omega C}} = 0$$



$$\frac{u_e}{R} = u_a \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} \cdot \frac{j\omega C}{j\omega C} \right)$$

$$= u_a \left( \frac{1}{R} + \frac{j\omega C}{1 + j\omega RC} \right)$$

$$\frac{u_e}{R} = u_a \left( \frac{1 + j\omega RC + j\omega RC}{R(1 + j\omega RC)} \right)$$

$$\underline{\underline{\frac{u_a}{u_e} = \frac{1 + j\omega RC}{1 + j\omega 2RC} = \frac{1 + j\omega T_v}{1 + j\omega T} \leftarrow \begin{matrix} PD \\ PI \end{matrix}}}}$$

Für Bode-Diagramm:

$$T_v = R \cdot C = 50 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} s = 0,25s \quad ; \quad \frac{1}{T_v} = 4s^{-1}$$

$$T = 2 \cdot R \cdot C = 2 \cdot 0,25s = 0,5s \quad ; \quad \frac{1}{T} = 2s^{-1}$$