

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)

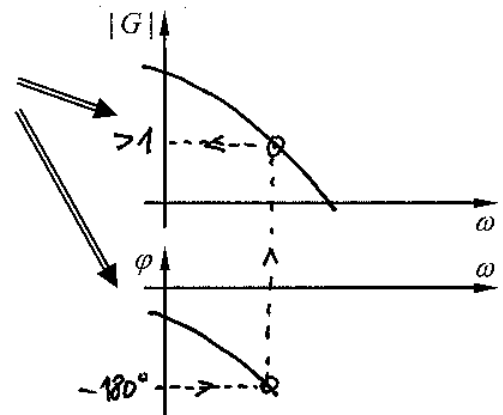
Note : _____

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.

(2 P) P I D

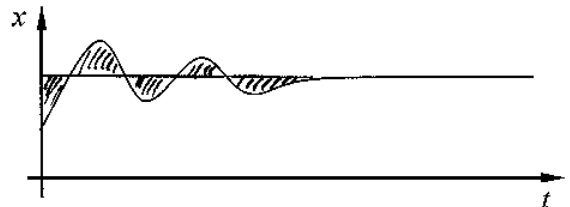
2. Tragen Sie in das nebenstehende Bode-Diagramm den Frequenzgang eines instabilen Regelkreises ein!
 (3 P)



3. Welcher Frequenzgang wird beim Nyquist-Kriterium zugrunde gelegt?
 (1 P)

 $G_0 = G_S \cdot G_R$

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



5. Welches Verhalten stellt sich ein, wenn bei einer hydraulischen Positionsregelung ein I-Regler verwendet wird? (2 P)

 PT_2 (ungedämpft) ; Dauerschwingungen

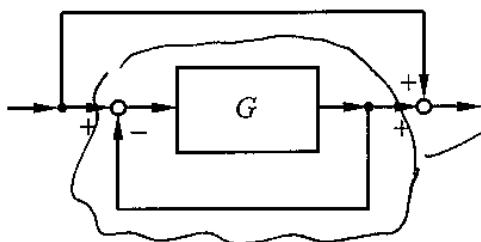
6. Durch welche Maßnahme kann man das Betriebsverhalten der Regelung aus Frage 5 "verbessern"? (2 P)

 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

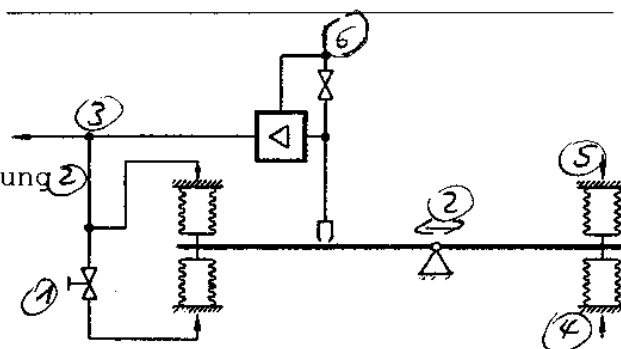
7. Wie lautet der Frequenzgang G_{ges} des abgebildeten Systems?
(3P)



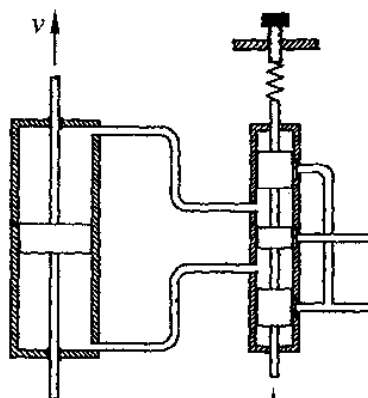
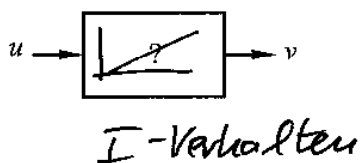
$$\tilde{G} = \frac{G}{1+G}$$

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

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



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



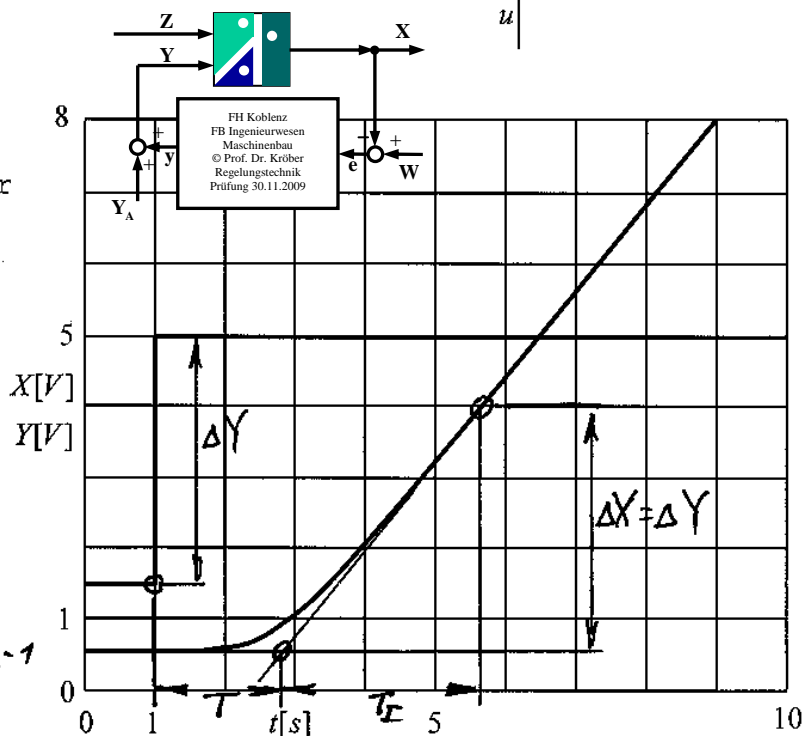
RECHENTEIL :

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 (PIDT₁-Regler) kann durch folgenden Frequenzgang beschrieben werden:

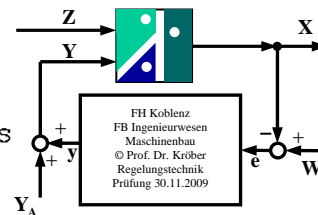
$$G = \frac{y}{e} = K_p + \frac{K_I}{j\omega} + \frac{K_D j\omega}{1 + j\omega T}$$

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 φ für $\omega = 3 \text{ s}^{-1}$!

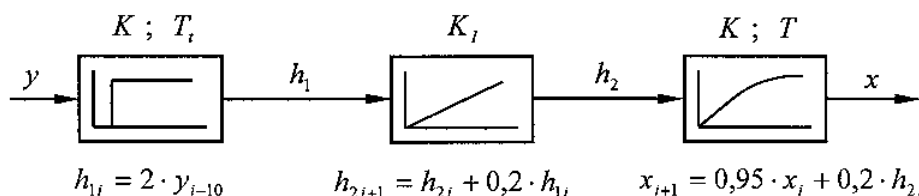
Hilfestellungen: $G = \text{Re}\{G\} + j \cdot \text{Im}\{G\}$; $|G| = \sqrt{\text{Re}\{G\}^2 + \text{Im}\{G\}^2}$; $\tan(\varphi) = \frac{\text{Im}\{G\}}{\text{Re}\{G\}}$

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



Aufgabe 3 (15P)

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



Hilfestellung:

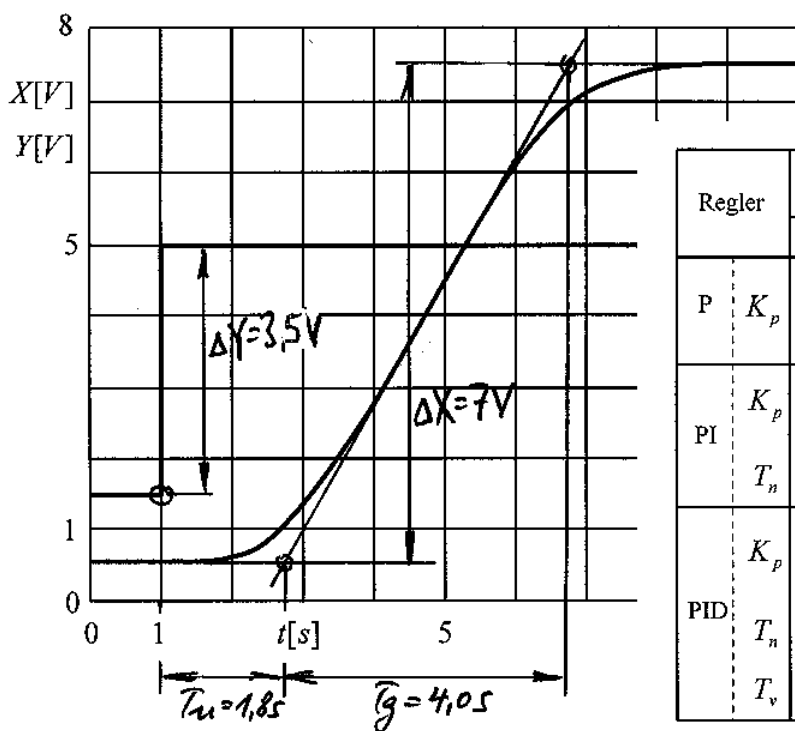
$$\frac{du}{dt} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta t}$$

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).

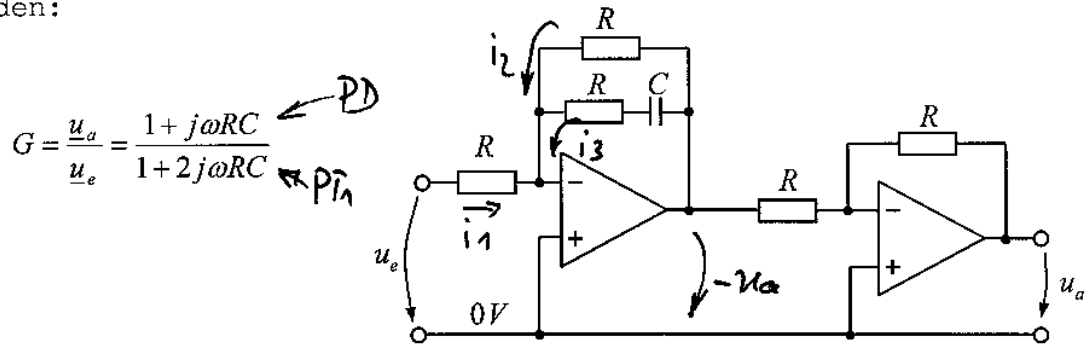
Ges.: K_p, T_n, T_v



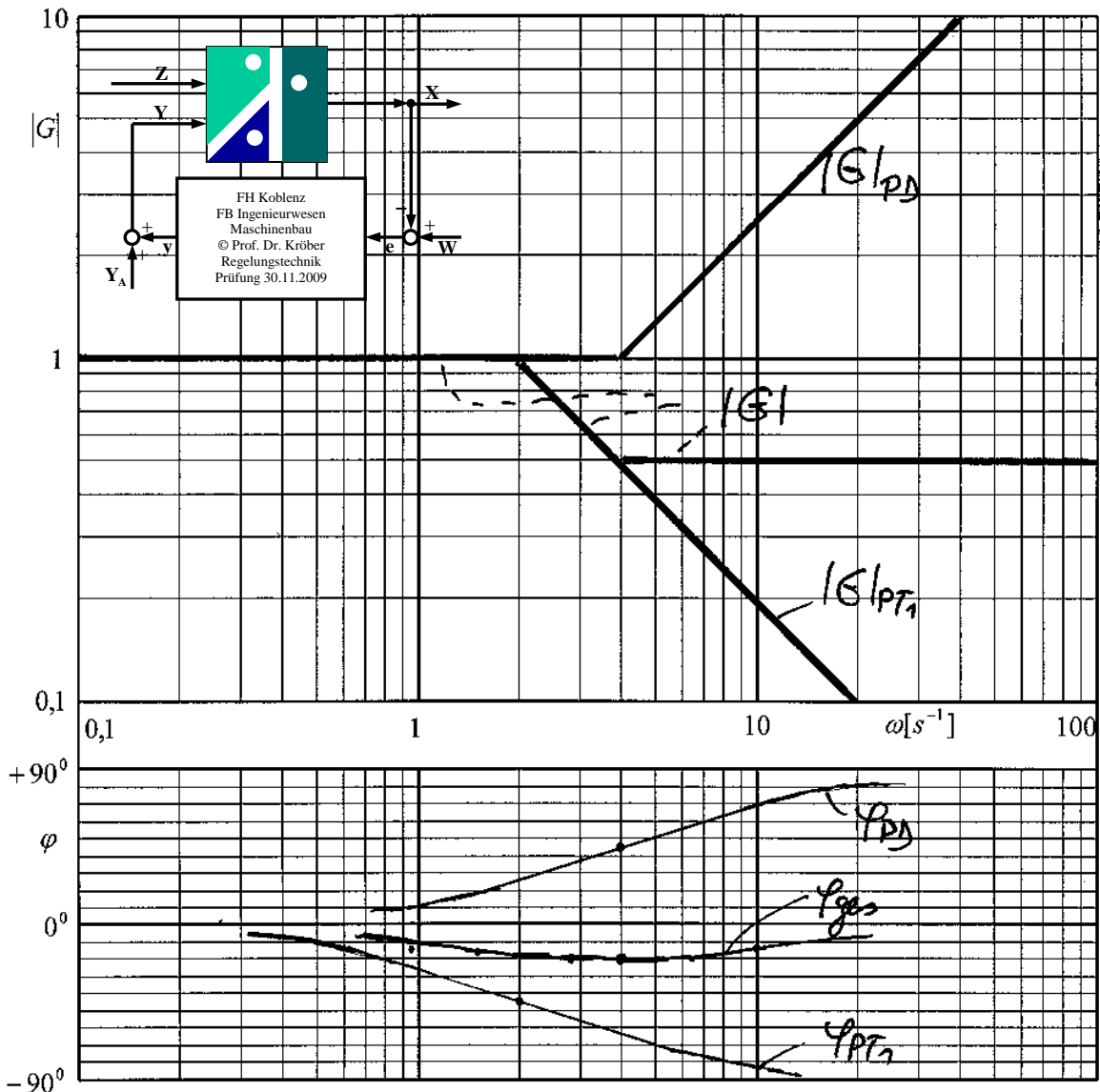
Regler	Aperiodischer Regelverlauf		Regelverlauf mit 20% Überschwingen		
	Störung	Führung	Störung	Führung	
P	K_p	$0,3 T_g$	$0,3 T_g$	$0,7 T_g$	$0,7 T_g$
		$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$
PI	K_p	$0,6 T_g$	$0,35 T_g$	$0,7 T_g$	$0,6 T_g$
		$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$	$K_S T_u$
	T_n	$4 T_u$	$1,2 T_g$	$2,3 T_u$	$1 T_g$
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:



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

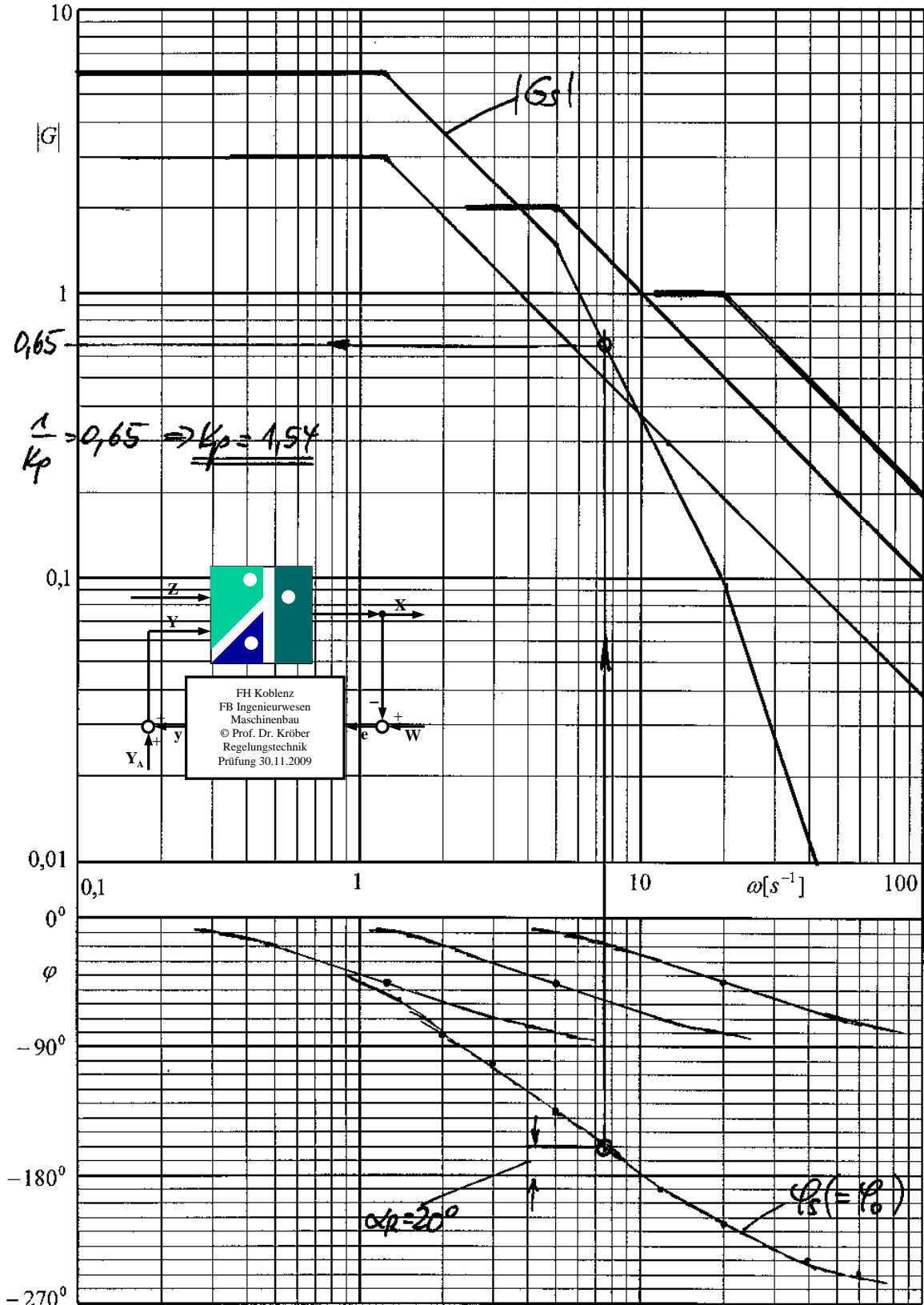


Aufgabe 6 (18P)

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:

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

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

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

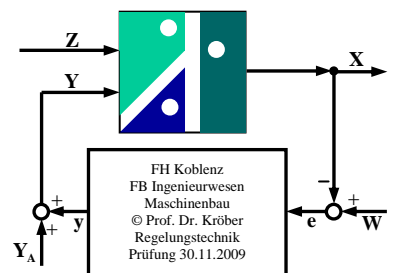
$$\tan \varphi = \frac{\text{Im}}{\text{Re}} = \frac{0,8280}{2,0837} = \dots \Rightarrow \varphi = \underline{\underline{+21,614^\circ}}$$

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

$$h_2 = K_I \cdot h_1$$

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

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



Prüfung Regelungstechnik vom 30.11.09 / Blatt 2

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

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

$$0,95 = 1 - \frac{\Delta t}{T} \Rightarrow \frac{\Delta t}{T} = \frac{1}{20}$$

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

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

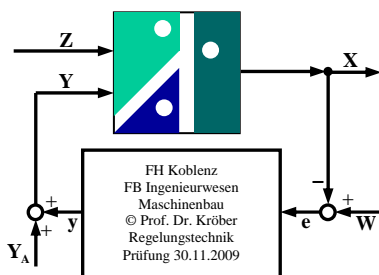
zu 4) $\Delta Y = 3,5V$ $\left\{ \begin{array}{l} K_S = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{7V}{3,5V} = 2 \\ T_u = 1,85s \\ T_g = 4,05s \end{array} \right.$

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

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

zu 5) $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

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



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

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

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

$$\underline{\underline{\frac{u_a}{u_e} = \frac{1 + j\omega RC}{1 + j\omega 2RC} = \frac{1 + j\omega T_v}{1 + j\omega T} \leftarrow PD \right.}}$$

Für Bode-Diagramm:

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

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