

Dieser Leistungsnachweis 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)

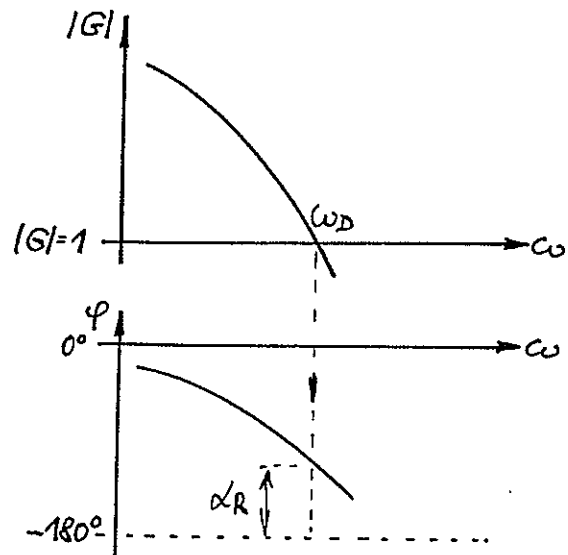
Note : _____

Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	-----
7	-----
Summe	

K U R Z F R A G E N :

1. Gegeben ist der Frequenzgang des offenen Regelkreises. Um welches Maß kann eine im Regelkreis befindliche Totzeit erhöht werden, bis der Regelkreis gerade an der Stabilitätsgrenze arbeitet? (3 P)

$$\alpha_R = \omega_D \cdot \Delta T_t \Rightarrow \Delta T_t = \frac{\alpha_R}{\omega_D}$$



2. Eine Totzeit verursacht bei einer bestimmten Kreisfrequenz eine Phasenverschiebung von z.B. 30 Grad. Bei welcher Kreisfrequenz verdoppelt sich dieser Wert? (2 P)

doppelte Kreisfrequenz

3. Nennen Sie übliche Signalbereiche in der Regelungstechnik:

Basis Strom: 0 (4) ÷ 20 mA -20 mA ÷ +20 mA

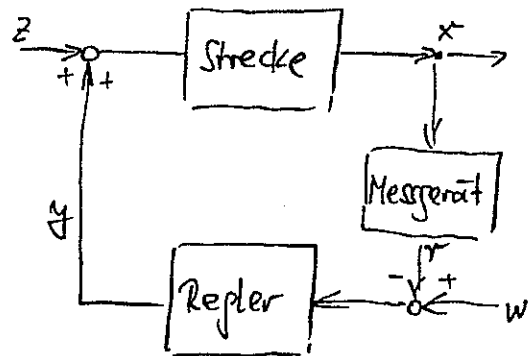
Basis Spannung: 0 ÷ 10 V -10 V ÷ +10 V

Pneumatik: 0,2 ÷ 1,0 bar (Überdruck)
 (6 P)

4. Welche Bedingungen müssen die Nullstellen der charakteristischen Gleichung besitzen, damit der Regelkreis stabil ist? (2 P)

Realteile aller Nullstellen negativ

5. Skizzieren Sie einen Wirkungsplan eines Regelkreises! Tragen Sie ein: Stellgröße, Störgröße, Regelgröße, Rückführgröße, Führungsgröße (mit den jeweiligen Formelzeichen)! (6P)



6. Bei einem PI-Regler sind die Werte $K_p = 2$ sowie $T_n = 15$ s eingestellt. Beim Betrieb des Regelkreises arbeitet der Regelkreis ohne Überschwingen. Offensichtlich ist die Verstärkung zu niedrig eingestellt. In einem Versuch soll alternativ die P-Verstärkung und die I-Verstärkung um den Faktor 2 erhöht werden. Wie lauten die neuen Einstellwerte? (3P)

$K_p = \underline{\quad 4 \quad}$ $T_n = \underline{\quad 7,5 \text{ s} \quad}$

7. Beurteilen Sie folgende Kombinationen von Regelstrecke und Regler:

Strecke I / Regler P → Gesamtverhalten: PT_1
 Strecke P / Regler I → Gesamtverhalten: PT_1
 Strecke I / Regler I → Gesamtverhalten: PT_2 (ohne Dämpfung)
 Strecke PT_1 / Regler I → Gesamtverhalten: PT_2

(6P)

A U F G A B E N T E I L:

Aufgabe 1 (16P)

Bei einem PID-Regler lässt sich das Verhalten durch folgende Rekursionsgleichung beschreiben:

$$y_i = y_{i-1} + K_p \left[\left(1 + \frac{T}{T_n} + \frac{T_v}{T}\right) e_i - \left(1 + 2\frac{T_v}{T}\right) e_{i-1} + \left(\frac{T_v}{T}\right) e_{i-2} \right]$$

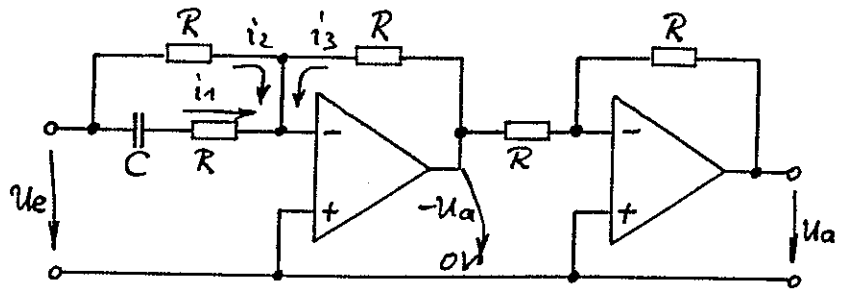
Bei der Anwendung dieser Rekursionsgleichung werden in einem konkreten Anwendungsfall folgende Werte ermittelt:

i	0	1	2	3	4
e_i	0	0	3	3	3
y_i	1	1	7	8	9

Das Abtastintervall T beträgt 0,5 s. Bestimmen Sie K_p , T_n und T_v !
 (Hinweis: Skizze "zeitlicher Verlauf" ist sinnvoll)

Aufgabe 2 (30P)

Die abgebildete Schaltung wird zum Anheben des Phasenverlaufs verwendet (Phasenschnittkreisfrequenz lässt sich dadurch etwas erhöhen).



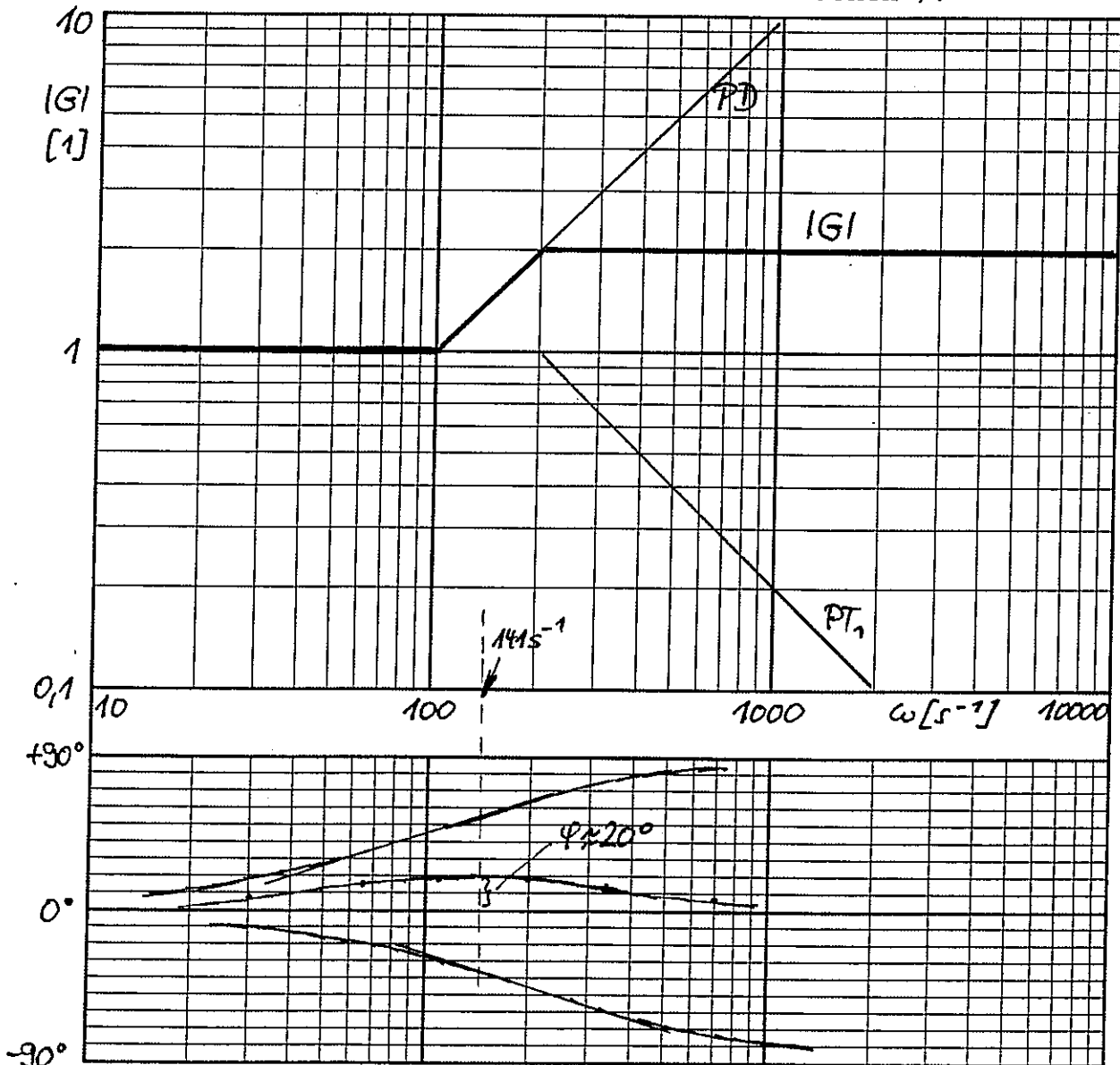
- a. Weisen Sie nach, dass die Schaltung durch folgenden Frequenzgang beschrieben werden kann!

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

- b. Tragen Sie den Frequenzgang in das unten abgebildete Bode-Diagramm ein (Zahlenwerte: $C = 0,1 \mu\text{F}$, $R = 50 \text{ k}\Omega$) !

- c. Bestimmen Sie graphisch den Phasenwinkel für $\omega = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{RC}$!

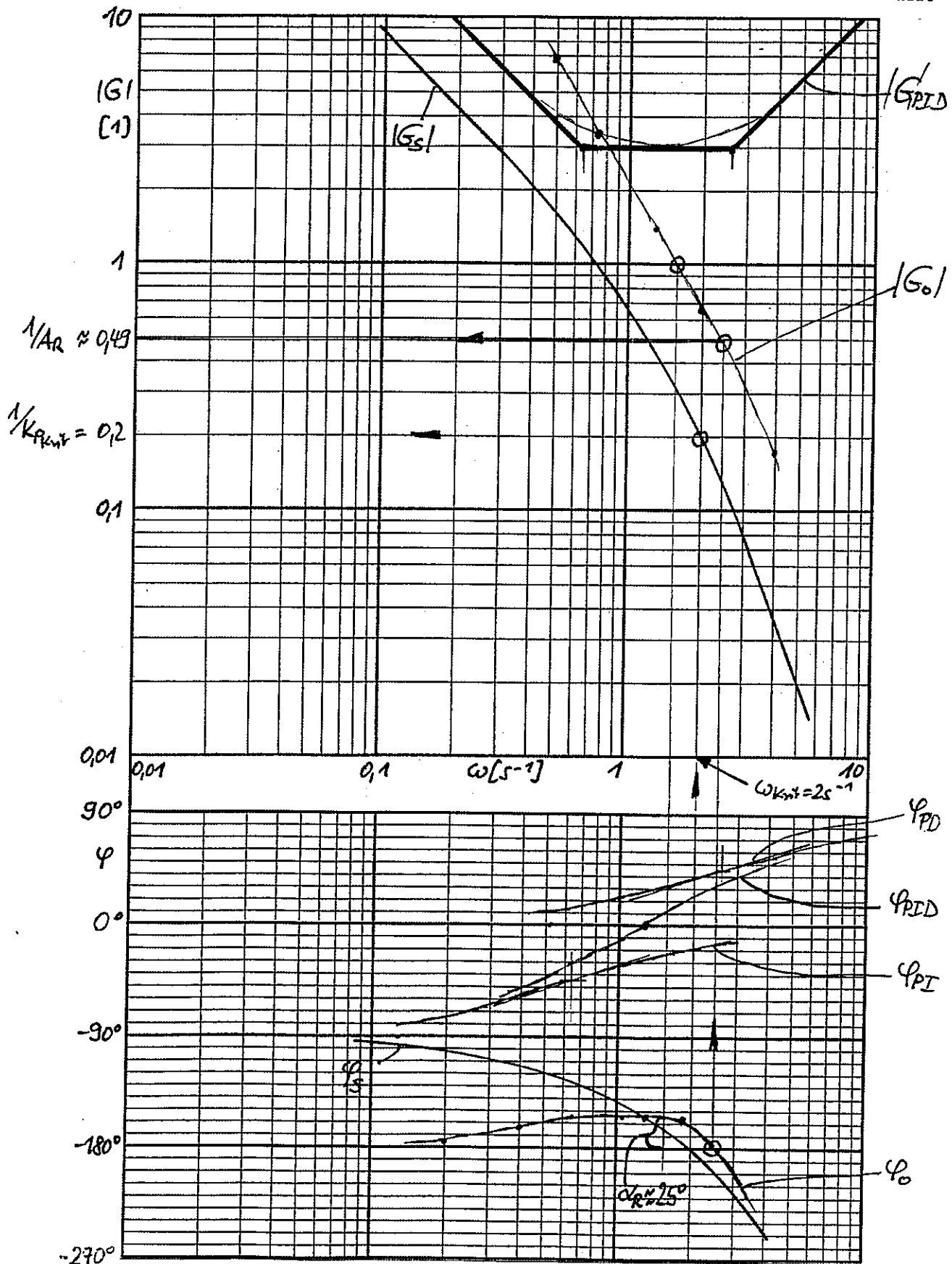
- d. Bei welcher Kreisfrequenz erreicht der Phasenwinkel sein Maximum (aus Skizze ablesen, Methode "scharfes Hinsehen")?



Aufgabe 3 (30 P)

Von einer Anlage zur Regelung eines Füllstandes wurde experimentell der folgende Frequenzgang aufgenommen. Ermitteln Sie die Reglereinstellung für einen PID-Regler (nach Ziegler/Nichols)! Tragen Sie den PID-Regler in das Diagramm ein und ermitteln Sie die Amplitudenreserve und die Phasenreserve!

Ziegler/Nichols: $K_p = 0,6 \cdot K_{krit}$ $T_n = 0,5 \cdot T_{krit}$ $T_v = 0,12 \cdot T_{krit}$

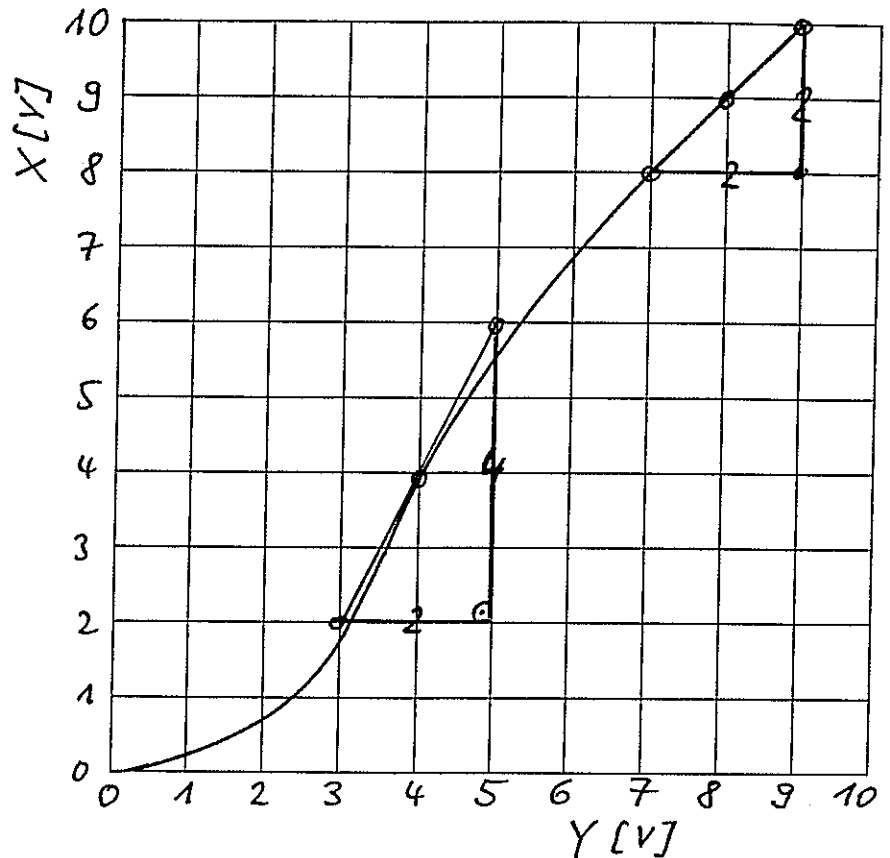


Aufgabe 4 (8 P)

In dem abgebildeten Kennfeld ist die Regelgröße über der Stellgröße aufgetragen. Ermitteln

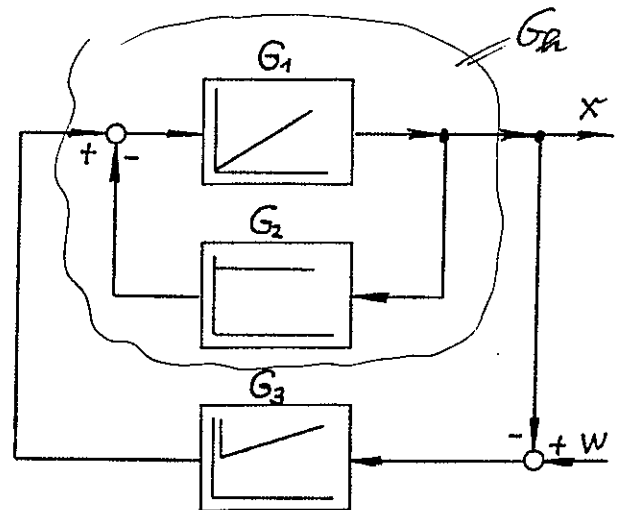
Sie den Parameter $K_s = \frac{\partial X}{\partial Y}$

in den beiden Arbeitspunkten $Y_A = 4 \text{ V}$ und $Y_A = 8 \text{ V}$! Um welchen Faktor müsste die Verstärkung des Reglers im zweiten Arbeitspunkt höher sein als im ersten Arbeitspunkt, damit die Kreisverstärkung in beiden Arbeitspunkten identisch ist?



Aufgabe 5 (28 P)

Der dargestellte Regelkreis besteht aus einer Regelstrecke (I-Verhalten mit P-Rückkopplung) und einem übergeordneten PID-Regler.



- a. Weisen Sie zunächst die angegebene Gleichung nach (Lösungsweg muss ersichtlich sein)!

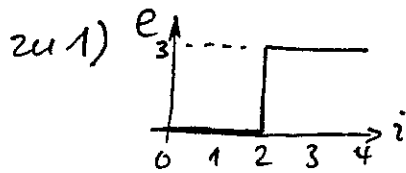
$$G_w = \frac{G_1 G_3}{1 + G_1 G_2 + G_1 G_3}$$

- b. Bilden Sie den Führungsfrequenzgang und bestimmen Sie eine Gleichung für den Dämpfungsgrad (Ergebnis möglichst vereinfachen)!

$$\text{Ergebnis : } \frac{\delta}{\omega_0} = f(K_I, K, K_P, T_n, T_v)$$

$$\text{Sei:} \quad G_1 = \frac{K_I}{j\omega} \quad ; \quad G_2 = K \quad ; \quad G_3 = K_p \left(1 + \frac{1}{T_v j\omega} + T_v j\omega\right)$$

Lösungen Klausur Regelungstechnik vom 6.6.2000/Blatt 1



Methode scharfes Hinsehen

→ kein D-Anteil $T_v=0$

$$y_i = y_{i-1} + K_p \left[\left(1 + \frac{T}{T_n} + 0\right) e_i - (1 + 2 \cdot 0) e_{i-1} + 0 \right]$$

$$y_i = y_{i-1} + K_p \left(1 + \frac{T}{T_n}\right) e_i - K_p e_{i-1}$$

$i=2$:

$$y_2 = y_1 + K_p \left(1 + \frac{T}{T_n}\right) e_2 - K_p \cdot e_1$$

$$7 = 1 + K_p \left(1 + \frac{T}{T_n}\right) 3 - K_p \cdot 0$$

$$\Rightarrow 2 = K_p \left(1 + \frac{T}{T_n}\right) \quad (1)$$

$i=3$:

$$y_3 = y_2 + K_p \left(1 + \frac{T}{T_n}\right) e_3 - K_p \cdot e_2$$

$$8 = 7 + \underbrace{2}_{\text{from (1)}} \cdot 3 - K_p \cdot 3 \Rightarrow \underline{\underline{K_p = 5/3}}$$

$$\text{f.c.} \quad \underline{\underline{T_n}} = \frac{T}{\frac{2}{K_p} - 1} = \underline{\underline{2,5s}}$$

zu 2,a) $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

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

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

$$\underline{\underline{\frac{\underline{u_a}}{\underline{u_e}}} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} + \frac{R}{R} = \dots = \underline{\underline{\frac{1 + 2j\omega RC}{1 + j\omega RC}}}}$$

$$b) \quad G = \underbrace{(1 + 2j\omega RC)}_{\text{PD mit } T_v = 2RC} \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + j\omega RC}}_{\text{PT}_1 \text{ mit } T = R \cdot C}$$

c) $\omega = 141s^{-1} \Rightarrow \varphi \approx +20^\circ$

d) genau bei der Kreisfrequenz von c)

Lösungen Klausur Regelungstechnik vom 6.6.2000 / Blatt 2

zu 3) aus Diagramm: $\frac{1}{K_{krit}} = 0,2 \rightarrow K_{krit} = 5$

$$K_p = 0,6 \cdot K_{krit} = \underline{\underline{3}}$$

$$\omega_{krit} = 2s^{-1} \rightarrow T_{krit} = \frac{2\pi}{\omega_{krit}} = 3,14s$$

$$T_n = 0,5 \cdot T_{krit} = \underline{\underline{1,57s}}; T_r = 0,12 T_{krit} = \underline{\underline{0,37s}}$$

Stabilität = ? $\alpha_R = 25^\circ$
 $\frac{1}{A_R} \approx 0,49 \approx 0,5 \rightarrow A_R = 2$ } stabil

zu 4) $V_A = 4V$: $K_S = \frac{\partial x}{\partial y} = \frac{4}{2} = \underline{\underline{2}}$

$V_A = 8V$: $K_S = \frac{2}{2} = \underline{\underline{1}}$

Kreisverstärkung konstant $\rightarrow$ im zweiten Arbeitspunkt um Faktor 2 höher

zu 5) $G_{eh} = \frac{G_1}{1+G_1 G_2}$; $G_w = \frac{G_3 \cdot G_{eh}}{1+G_3 \cdot G_{eh}} = \frac{G_3 \frac{G_1}{1+G_1 G_2}}{1+G_3 \frac{G_1}{1+G_1 G_2}} = \frac{G_1 G_3}{1+G_1 G_2 + G_1 G_3}$

$$\begin{aligned} G_w &= \frac{\frac{K_I}{j\omega} \cdot K_p \left(1 + \frac{1}{T_n j\omega} + T_r j\omega\right)}{1 + \frac{K_I}{j\omega} \cdot K + \frac{K_I}{j\omega} K_p \left(1 + \frac{1}{T_n j\omega} + T_r j\omega\right)} \cdot \frac{T_n (j\omega)^2}{T_n (j\omega)^2} \\ &= \frac{K_I K_p (T_n j\omega + 1 + T_r T_n (j\omega)^2)}{T_n (j\omega)^2 + K_I K T_n (j\omega) + K_I K_p (T_n j\omega + 1 + T_r T_n (j\omega)^2)} \\ &= \frac{K_I K_p (T_n j\omega + 1 + T_r T_n (j\omega)^2)}{(j\omega)^2 [T_n + T_n T_r K_I K_p] + (j\omega) [K_I K T_n + K_I K_p T_n] + K_I K_p} \cdot \frac{1}{\frac{T_n (1 + T_r K_I K_p)}{1}} \end{aligned}$$

$$G_w = \frac{\dots}{(j\omega)^2 + (j\omega) \underbrace{\frac{K_I T_n (K + K_p)}{T_n (1 + T_r K_I K_p)}}_{2\delta} + \underbrace{\frac{K_I K_p}{T_n (1 + T_r K_I K_p)}}_{\omega_0^2}}$$

$$\underline{\underline{\frac{\delta}{\omega_0} = \frac{K_I (K + K_p)}{2 (1 + T_r K_I K_p)} \cdot \sqrt{\frac{T_n (1 + T_r K_I K_p)}{K_I K_p}} = \dots = \frac{K + K_p}{2} \sqrt{\frac{T_n \cdot K_I}{K_p (1 + K_I K_p T_r)}}}}$$