

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

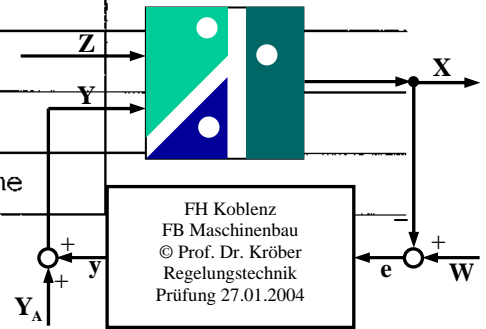
- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
 - Schreib- und Zeichengerät
 - Taschenrechner
 - Formelsammlung (4 Blätter)

Note : _____

K U R Z F R A G E N :

Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
Summe	

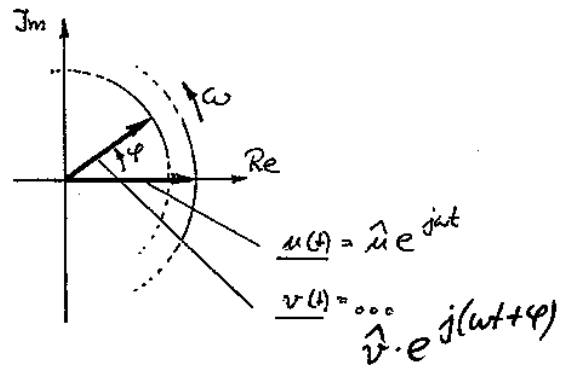
+ Lösungen



1. Der Druck im Druckstutzen einer Kreiselpumpe wird an einem Manometer abgelesen. Durch Veränderung der Stellung eines Absperrventils (z.B. Kugelhahn) kann ein Bediener einen gewünschten Druck einstellen. Welche Geräte (Hardware) müssen angeschafft werden, falls diese Aufgabe automatisch ausgeführt werden soll? (3P)

Druckmessgerät (Messumformer), Regler, Stellventil

2. Die Abbildung zeigt einen Eingangs- und Ausgangszeiger. Ergänzen Sie die mathematische Formulierung des Ausgangszeigers! In welcher Darstellung/Koordinatensystem sind die Zeiger abgebildet? (Bem.: Die Antwort lautet nicht Ortskurve) (3P)



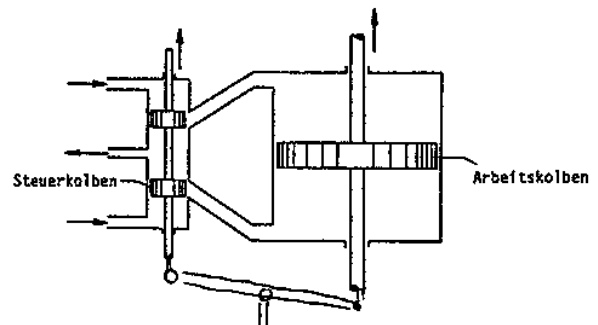
Gauß'sche Zahlenebene

3. Welches Verhalten besitzt der abgebildete hydraulische Verstärker?

I

Ergänzen Sie eine starre Rückführung (Wegvergleich)! Welches Verhalten entsteht dadurch? (4P)

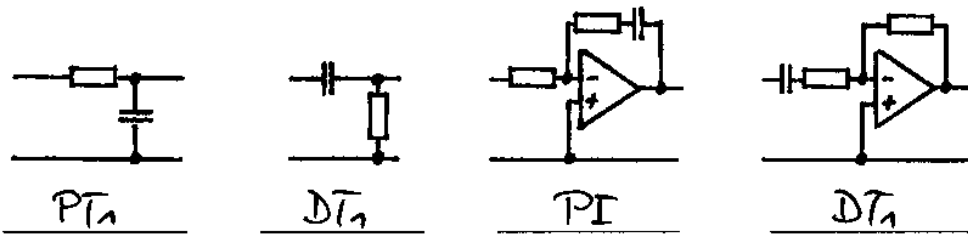
PT₁



4. Die Einstellwerte eines PID-Reglers lauten: $K_p = 0,8$; $T_n = 5s$ und $T_v = 0,8s$. Wie müssen die Parameter verändert werden, damit ein P-Regler entsteht? (2P)

$T_n \rightarrow \infty$ $T_v = 0$

5. Welches Verhalten haben die abgebildeten Schaltungen?
 (Antwortbeispiel IT_1, PT_2, \dots) (4P)



6. Eine Übertragungsstrecke sei durch den folgenden Frequenzgang angegeben: (4P)

$$G = \frac{K_I (1+j\omega T_1) (1+j\omega T_2)}{j\omega}$$

- Wie groß ist der Phasenwinkel für $\omega = 0 \text{ s}^{-1}$? $\varphi = -90^\circ$
- Wie groß ist der Phasenwinkel für $\omega \rightarrow \infty$? $\varphi = +90^\circ$
- Wie lautet die Gleichung für die Asymptote für $\omega \rightarrow 0$? $|G| = \frac{K_I}{\omega}$
- Wie lautet die Gleichung für die Asymptote für $\omega \rightarrow \infty$? $|G| = K_I T_1 T_2 \cdot \omega$

RECHENTEIL

Aufgabe 1 (9P)

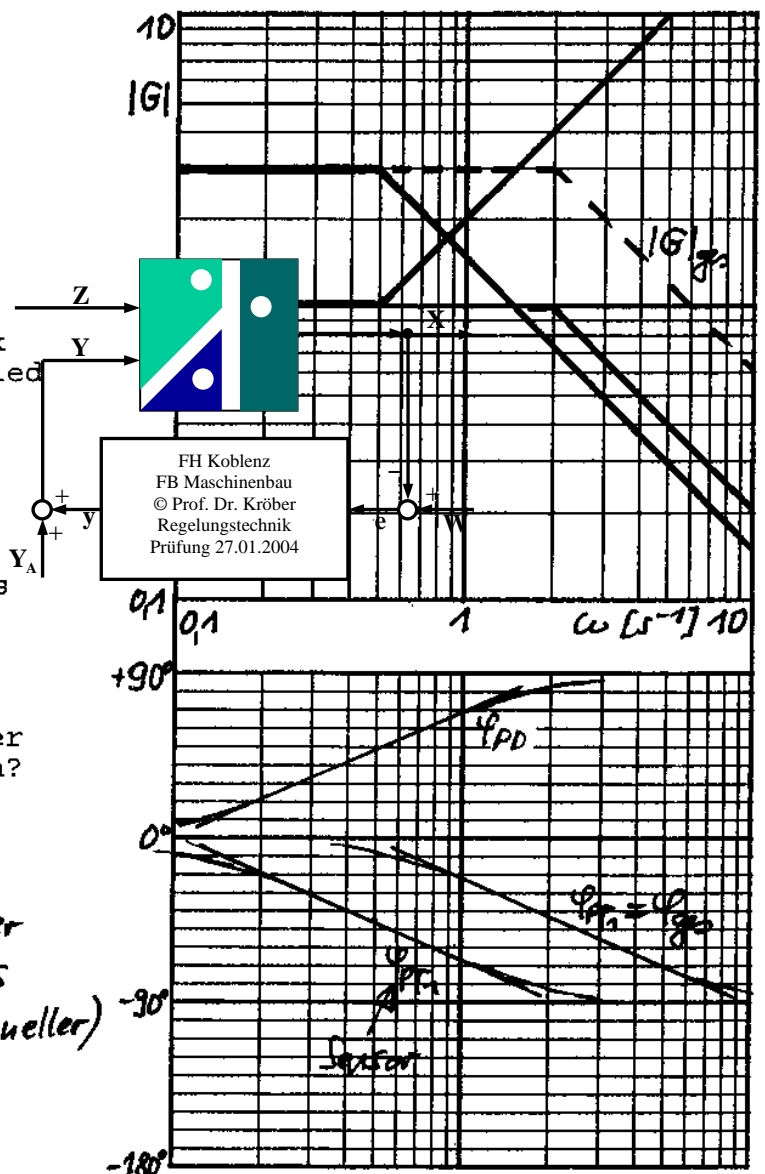
Die dynamischen Eigenschaften eines Sensors mit Verzögerung können durch ein PT_1 -Verhalten beschrieben werden. Dabei sei $K=3$ und die Zeitkonstante sei $T=2\text{s}$. Zur Erhöhung der Dynamik wird folgendes Übertragungsglied in Reihe geschaltet:

$$G = \frac{1+j\omega T_1}{1+j\omega T_2}$$

Zahlenwerte: $T_1 = 2\text{s}; T_2 = 0,5\text{s}$

- a. Bilden Sie den Gesamtfrequenzgang im Bode-Diagramm!
- b. Können Sie eine Aussage über das Gesamtverhalten angeben? (Welches Übertragungsverhalten? Weshalb: Erhöhung Dynamik? Ist Zeitkonstante verändert? ...)

\Rightarrow wieder PT_1 mit kleinerer Zeitkonstante von $T=0,5\text{s}$ („Sensor“ um Faktor 4 schneller)



Aufgabe 2 (18 P)

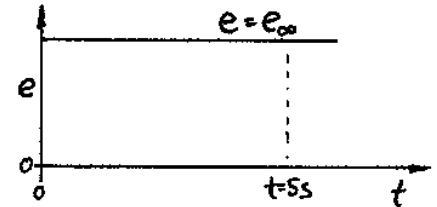
Auf ein PID-Übertragungselement wirkt im Fall a eine Sprungfunktion und im Fall b eine Rampenfunktion.

$$y = y_p + y_I + y_D = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt}$$

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

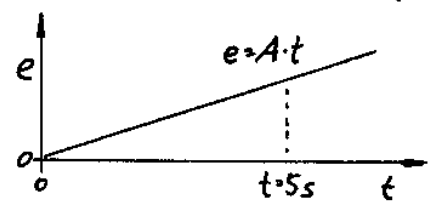
a. Die Sprungfunktion habe die Höhe $e_\infty = 3$. Wie groß ist y_p , y_I , y_D und y nach einer Zeit von 5 Sekunden nach dem Auftreten der Sprungfunktion?

Fall a:



b. Die Rampenfunktion habe die Gleichung $e = A \cdot t$ (wobei: $A = 0,2 \text{ s}^{-1}$). Wie groß ist y_p , y_I , y_D und y nach einer Zeit von 5 Sekunden nach dem Auftreten der Rampenfunktion?

Fall b:



Hinweis: Skizze sinnvoll

Aufgabe 3 (16 P)

Im Praktikum der Regelungstechnik wird in einem Versuch eine hydraulische Positionsregelung untersucht. Das Verhalten der Anlage ist in Form eines Wirkungsplanes dargestellt. Die angegebenen Zahlenwerte entsprechen etwa den realen Versuchsdaten.

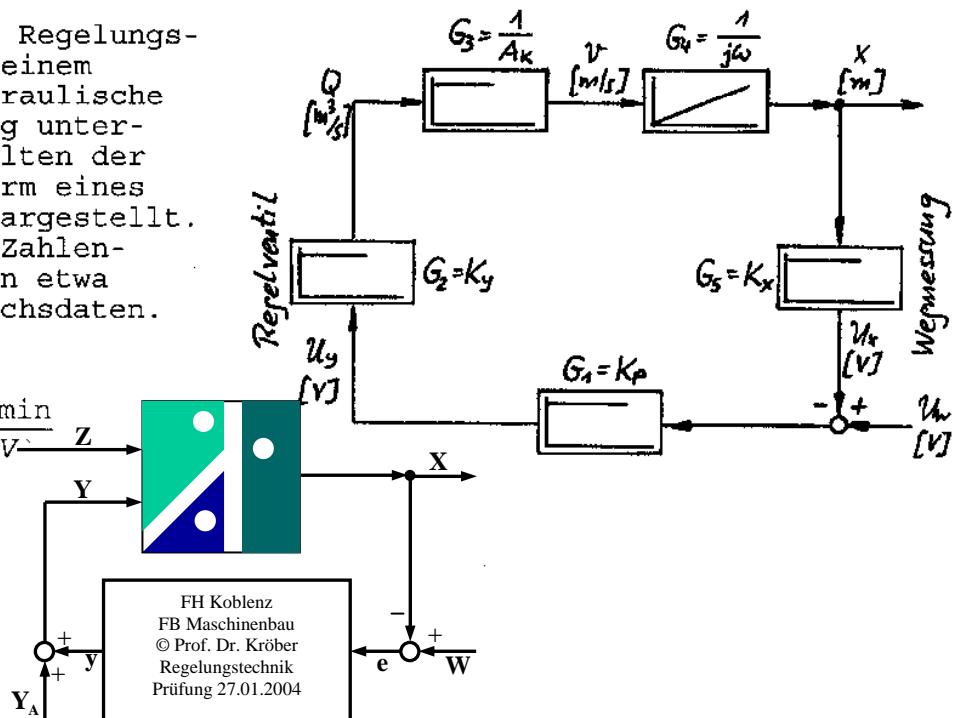
Zahlenwerte:

$$K_y = 0,4 \frac{\text{L/min}}{\text{V}}$$

$$A_k = 5 \text{ cm}^2$$

$$K_x = 20 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$K_p = 40$$



a. Der Frequenzgang der Regelstrecke $G_S = \underline{U}_x / \underline{U}_y$ (hier: G_2 , G_3 , G_4 und G_5 als Reihenschaltung auffassen) kann durch ein I-Glied beschrieben werden. Bestimmen Sie K_I (formelmäßige und numerische Lösung)!

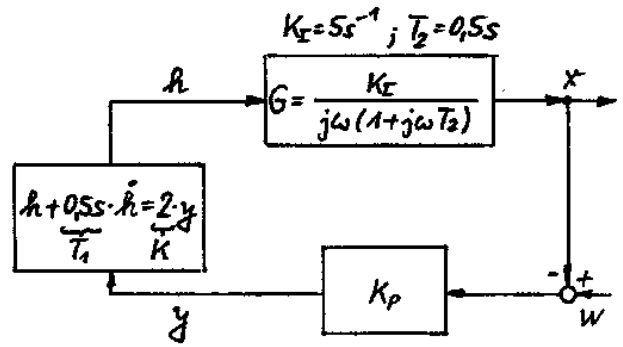
$$K_I = f(K_y, A_k, K_x) = ?$$

b. Ist der Regler nicht (mehr) übersteuert, besitzt das Gesamtsystem PT_1 -Verhalten. Wie groß ist die Zeitkonstante dieses Systems (formelmäßige und numerische Lösung)?

$$T = f(K_y, A_k, K_x, K_p) = ?$$

Aufgabe 4 (27 P)

Der Wirkungsplan zeigt einen Regelkreis mit drei Übertragungsblöcken. Als Regler soll ein P-Regler eingesetzt werden.



a. Ermitteln Sie im Bode-Diagramm die Reglereinstellung für den P-Regler! Hierbei soll eine Amplitudenreserve von $A_R=2$ vorhanden sein.

b. Wie groß ist dann die Phasenreserve?

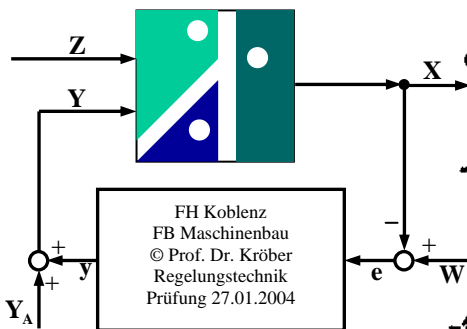
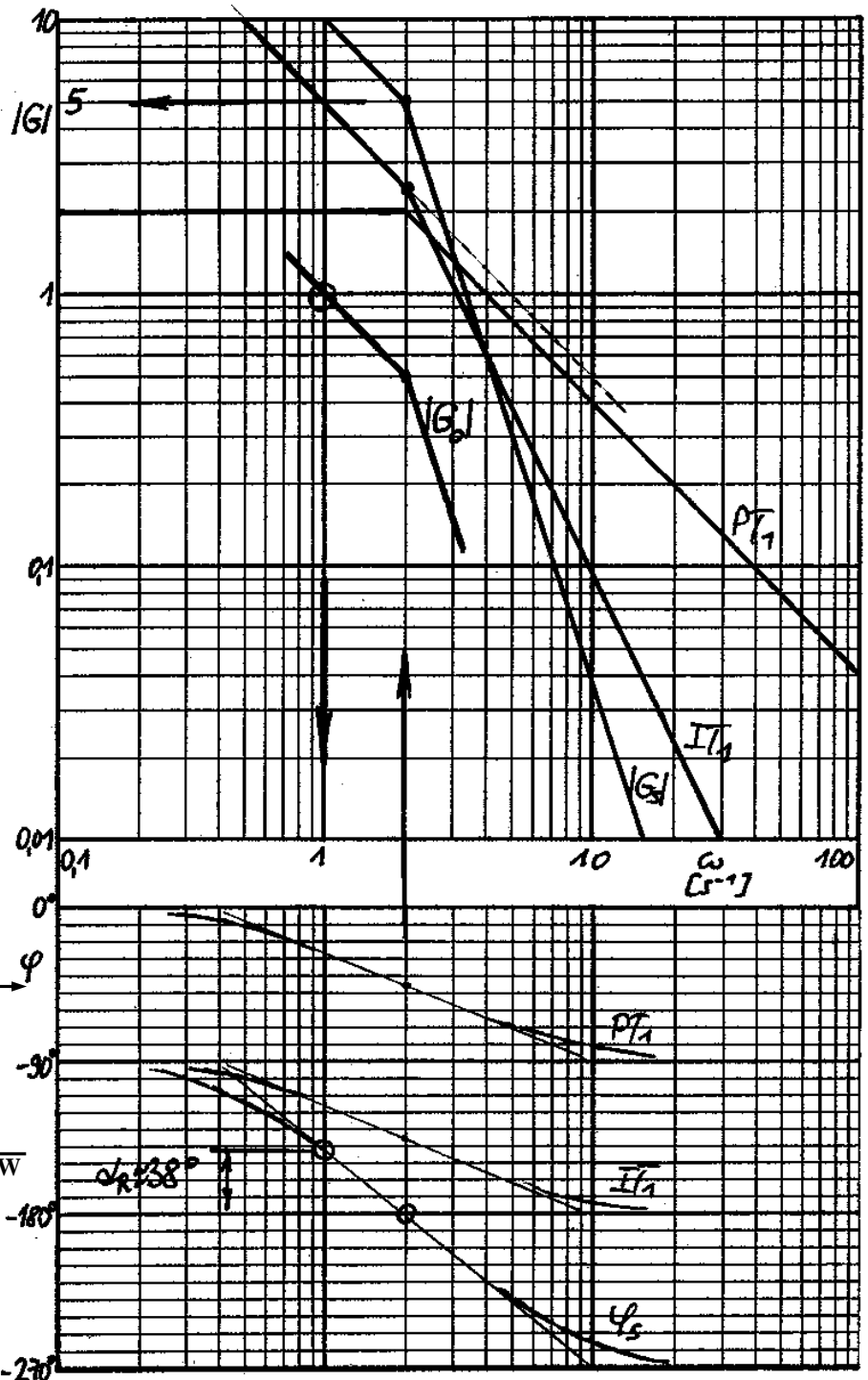
c. Ermitteln Sie den Führungsfrequenzgang!

d. Bestimmen Sie mit dem Hurwitzverfahren K_P an der Stabilitätsgrenze! (Hinweis: $a_1 \cdot a_2 > a_0 \cdot a_3$)

e. Beide Lösungen ergeben ein um den Faktor 2 unterschiedliches Ergebnis. Worin liegt die Begründung?

$$\frac{1}{K_{P_{krit}}} = 5 \Rightarrow K_{P_{krit}} = 0,2$$

$$A_R = 2 \Rightarrow K_P = 0,1$$

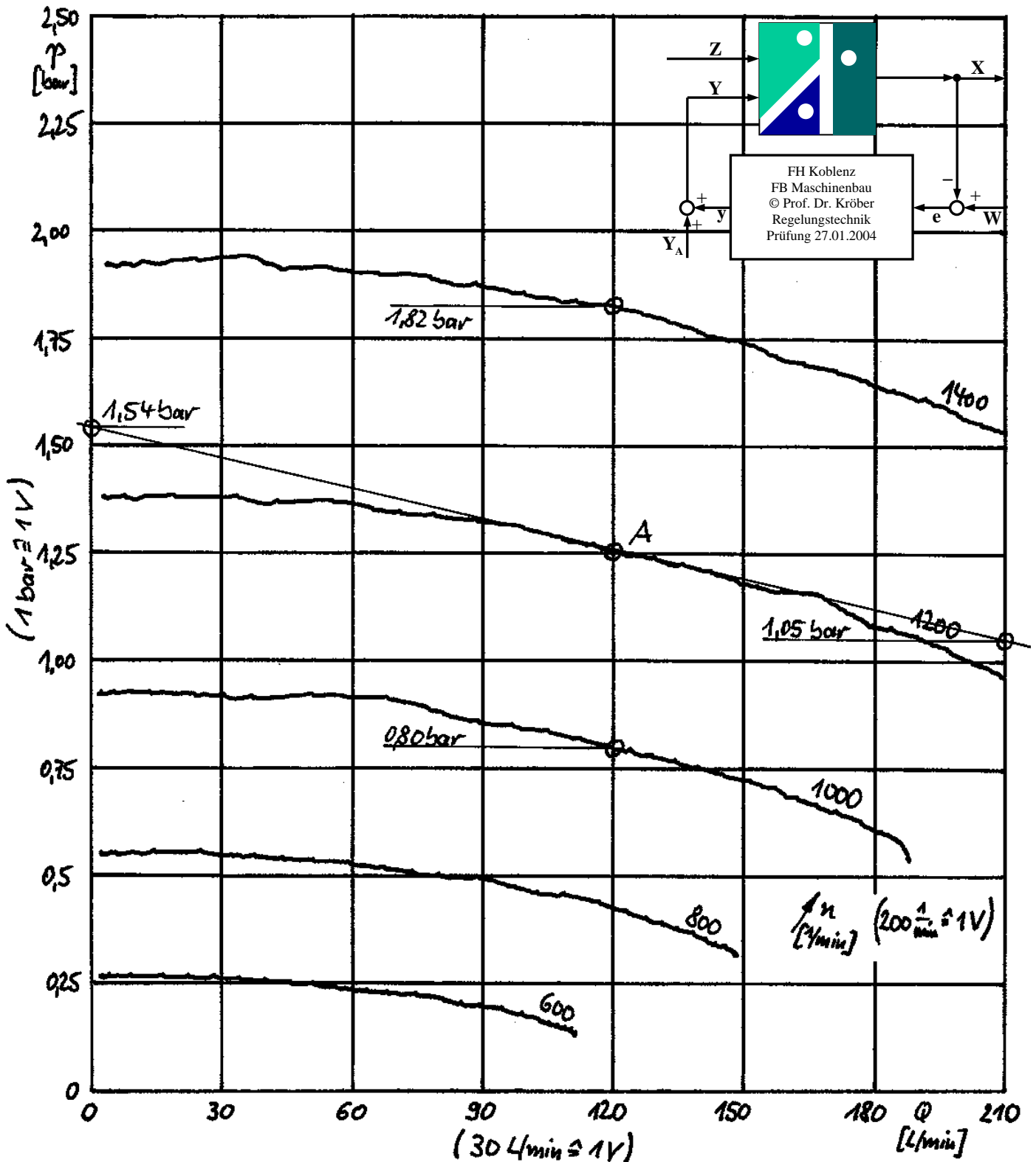


Aufgabe 5 (10 P)

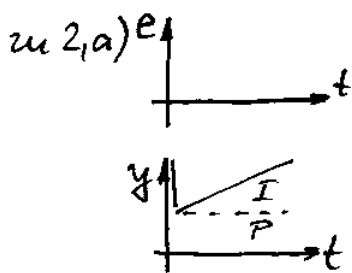
Das abgebildete Kennfeld stammt vom Pumpenprüfstand im Labor Regelungstechnik. Aufgetragen ist der Druck über dem Durchfluss (Parameter ist die Drehzahl). Es soll eine Linearisierung im Arbeitspunkt $p_A = 1,25$ bar; $n_A = 1200$ 1/min und $Q_A = 120$ L/min durchgeführt werden.

Bestimmen Sie $\frac{\partial p}{\partial n}|_A$ in [bar/(1/min)] und in [V/V] sowie

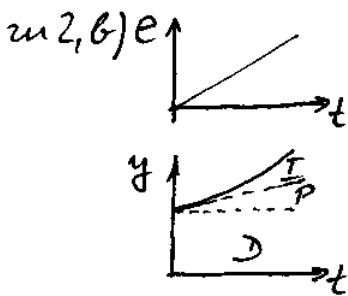
$\frac{\partial p}{\partial Q}|_A$ in [bar/(L/min)] und in [V/V] !



Lösung Prüfung Regelungstechnik 27.1.04 / Blatt 1

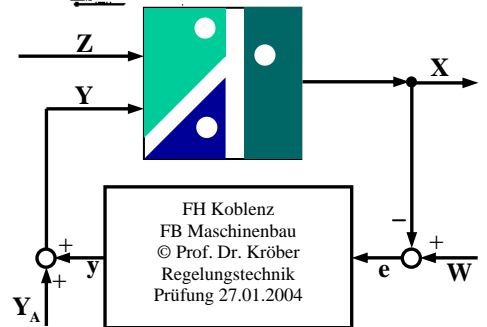


D-Anteil $y_D = 0$
 $y_P = K_P \cdot e_0 = 2 \cdot 3 = 6$
 $y_I = K_I \int e_0 dt = K_I \cdot e_0 \cdot t = 0,25^{-1} \cdot 3 \cdot 5s = 3$
 $y = y_P + y_I + y_D = 6 + 3 + 0 = 9$



$y_D = K_D \frac{de}{dt}; \frac{de}{dt} = A$
 $y_D = K_D \cdot A = 2s \cdot 0,25^{-1} = 0,4$
 $y_P = K_P \cdot e = K_P \cdot A \cdot t = 2 \cdot 0,25^{-1} \cdot 5s = 2$
 $y_I = K_I \int e dt = K_I \int A \cdot t dt = K_I \cdot A \cdot \frac{1}{2} t^2 = 0,25^{-1} \cdot 0,25^{-1} \cdot \frac{1}{2} (5s)^2 = 0,5$
 $y = y_P + y_I + y_D = 0,4 + 2 + 0,5 = 2,9$

2.3.a) $G_S = \frac{U_x}{U_y} = G_2 \cdot G_3 \cdot G_4 \cdot G_5$
 $= K_y \cdot \frac{1}{A_k} \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot K_x$
 $= \frac{K_y \cdot K_x}{A_k \cdot j\omega}$



$K_I = \frac{K_y \cdot K_x}{A_k} = \frac{0,4 \frac{1}{60000} \frac{m^3/s}{V} \cdot 20 \frac{V}{m}}{5 \cdot 10^{-4} m^2} = 0,26 \dots s^{-1}$

2.3.b) $G_W = \frac{X}{U_w} = \frac{G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot G_4}{1 + G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot G_4 \cdot G_5}$
 $= \frac{K_P \cdot K_y \cdot \frac{1}{A_k} \cdot \frac{1}{j\omega}}{1 + K_P \cdot K_y \cdot \frac{1}{A_k} \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot K_x} \cdot \frac{A_k \cdot j\omega}{A_k \cdot j\omega}$
 $= \frac{K_P \cdot K_y}{A_k \cdot j\omega + K_P \cdot K_y \cdot K_x} \cdot \frac{1}{\frac{K_P \cdot K_y \cdot K_x}{K_P \cdot K_y \cdot K_x}}$
 $= \frac{1}{K_x} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \frac{A_k}{K_P \cdot K_y \cdot K_x}} = T$

$T = \frac{A_k}{K_P \cdot K_y \cdot K_x}$
 $= \frac{5 \cdot 10^{-4} m^2}{40 \cdot 0,4 \frac{1}{60000} \frac{m^3/s}{V} \cdot 20 \frac{V}{m}}$
 $T = 0,09375s \approx 0,094s$

Lösung Prüfung Regelungstechnik 27.1.04 / Blatt 2

zu 4c,d)
$$G_w = \frac{K_p \frac{K}{1+j\omega T_1} \cdot \frac{K_I}{j\omega(1+j\omega T_2)}}{1 + K_p \frac{K}{1+j\omega T_1} \cdot \frac{K_I}{j\omega(1+j\omega T_2)}} \cdot \frac{1+j\omega T_1}{1+j\omega T_1} \cdot \frac{j\omega}{j\omega} \cdot \frac{1+j\omega T_2}{1+j\omega T_2}$$

$$= \frac{K_p \cdot K \cdot K_I}{(1+j\omega T_1) j\omega (1+j\omega T_2) + K_p \cdot K \cdot K_I}$$

$$G_w = \frac{K_p \cdot K \cdot K_I}{j\omega + (j\omega)^2 (T_1 + T_2) + (j\omega)^3 T_1 T_2 + K_p \cdot K \cdot K_I}$$

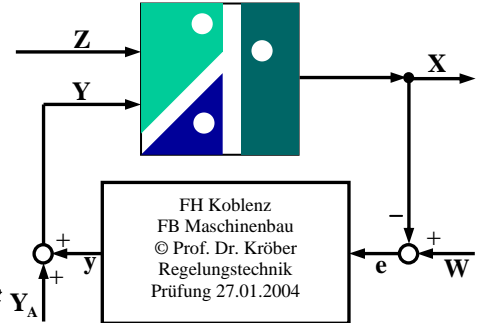
$\alpha_0 = K_p \cdot K \cdot K_I$; $\alpha_1 = 1$; $\alpha_2 = T_1 + T_2$; $\alpha_3 = T_1 \cdot T_2$

Bem.: $\alpha_i > 0$

$$\alpha_1 \cdot \alpha_2 > \alpha_0 \alpha_3$$

$$1 \cdot (T_1 + T_2) > K_p K K_I \cdot T_1 \cdot T_2$$

$$\underline{K_p} < \frac{T_1 + T_2}{K \cdot K_I \cdot T_1 \cdot T_2} = \frac{0,5s + 0,5s}{2 \cdot 5s^{-1} \cdot 0,5s \cdot 0,5s} = \underline{0,4}$$



zu 4e) Bode-Diagramm: $K_{\text{Pmit}} = 0,2$ Hurwitz: $K_{\text{Pmit}} = 0,4$

⇒ im Bode-Diagramm wurde nur mit Asymptoten gearbeitet.

In Eckkreisfrequenz ist tatsächliche Kurve beim PT_1 um $\frac{1}{\sqrt{2}}$ kleiner; beim IT_1 auch ⇒ $1/K_{\text{Pmit}}$ ist Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$

zu groß ermittelt; also $1/K_{\text{Pmit}} = 2,5 \Rightarrow K_{\text{Pmit}} = 0,4$

zu 5)
$$\frac{\partial p}{\partial n} \Big|_A = \frac{1,82 \text{ bar} - 0,80 \text{ bar}}{1400 \frac{1}{\text{min}} - 1000 \frac{1}{\text{min}}} \approx 2,55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{bar}}{1/\text{min}}$$

$$= \frac{1,82 \text{ V} - 0,80 \text{ V}}{7 \text{ V} - 5 \text{ V}} = \underline{0,51}$$

$$\frac{\partial p}{\partial Q} \Big|_A = \frac{1,05 - 1,54}{210} \frac{\text{bar}}{\text{L/min}} \approx -2,33 \cdot 10^{-3} \frac{\text{bar}}{\text{L/min}}$$

$$= \frac{1,05 - 1,54}{7} \cdot \frac{\text{V}}{\text{V}} = \underline{-0,07}$$

Bem.: Bei Linearisierung muss der Betrag von $\frac{\partial p}{\partial Q} \Big|_A$ verwendet werden. Das Minuszeichen wird im Wirkungsplan berücksichtigt.