Einlesezeit

Für die Durchsicht der Klausur wird eine „Einlesezeit" von **10 Minuten** gewährt. Während dieser Zeitdauer ist es Ihnen **nicht** gestattet, mit der Bearbeitung der Aufgaben zu beginnen. Dies bedeutet konkret, dass sich während der gesamten Dauer der Einlesezeit keinerlei Schreibgeräte (Stifte, Füller, etc.) auf dem Tisch befinden dürfen sowie die Nutzung von mitgeführten Unterlagen respektive (elektronischer) Wörterbücher bzw. tragbarer Translater strengstens untersagt ist. Nehmen Sie Ihre Schreibgeräte und Unterlagen erst zur Hand, wenn die Prüfungsaufsicht auf das Ende der Einlesezeit hingewiesen hat und füllen Sie zunächst das Deckblatt **vollständig** aus.

Viel Erfolg!

NAME	
VORNAME	
MATRIKEL-NR.	
TISCH-NR.	

Klausurunterlagen

Ich versichere hiermit, dass ich sämtliche für die Durchführung der Klausur vorgesehenen Unterlagen erhalten, und dass ich meine Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung unerlaubter Hilfsmittel und sonstiger unlauterer Mittel angefertigt habe. Ich weiß, dass ein Bekanntwerden solcher Umstände auch nachträglich zum Ausschluss von der Prüfung führt. Ich versichere weiter, dass ich sämtliche mir überlassenen Arbeitsunterlagen sowie meine Lösung vollständig zurück gegeben habe. Die Abgabe meiner Arbeit wurde in der Teilnehmerliste von Aufsichtsführenden schriftlich vermerkt.

DIE OBIGEN ANGABEN SOWIE DIE UNTERSCHRIFT
SIND ZWINGEND ZU KLAUSURBEGINN ZU LEISTEN.

Duisburg, den ______________ ________________________________
(Datum) (Unterschrift der/des Studierenden)

Falls Klausurunterlagen vorzeitig abgegeben: ______________Uhr

Bewertungstabelle

Aufgabe 1	
Aufgabe 2	
Gesamtpunktzahl	
Angepasste Punktzahl	
%	
Bewertung gem. PO in Ziffern	

(Datum und Unterschrift 1. Prüfer, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Söffker)

(Datum und Unterschrift 2. Prüfer, Prof. Dr.-Ing. Yan Liu)

(Datum und Unterschrift des für die Prüfung verantwortlichen Prüfers, Söffker)

Fachnote gemäß Prüfungsordnung:

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	5,0
sehr gut		gut			befriedigend			ausreichend		mangelhaft

Bemerkung: ______________________________

Achtung: Schreiben Sie Ihre Antwort für ALLE Aufgaben direkt unter die entsprechende Aufgabe in den Aufgabenbogen!

Verwenden Sie KEINE Bleistifte oder roten Stifte für die Beantwortung von Fragen oder für Zeichnungen!
(Rote Stifte werden bei der Korrektur verwendet.)

Diese Prüfung lege ich ab als
☐ Pflichtfach
☐ Wahlfach
☐ Auflage
(Bitte EINES ankreuzen).

Maximal erreichbare Punktzahl:	**70**
Mindestprozentzahl für die Note 1,0:	**95%**
Mindestprozentzahl für die Note 4,0:	**50%**

Allgemeine Hinweise:

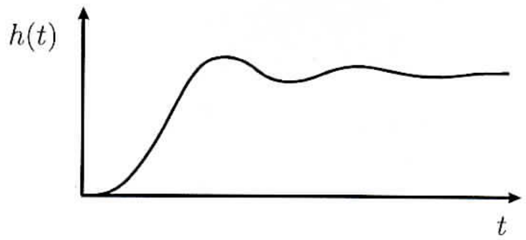
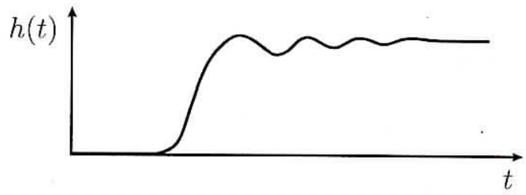
1) Für die Multiple-Choice und multiple-choice-ähnlichen Fragen gilt:
   i) Korrekte Teilantworten werden mit der vorgesehenen Teilpunktzahl bewertet.
   ii) Nichtkorrekte Teilantworten werden mit der vorgesehenen Teilpunktzahl negativ bewertet.
   iii) Keine Willensäußerung führt weder zu einer negativen noch zu einer positiven Anrechnung.
   iv) Die in einer Aufgabe anfallenden positiven wie negativen Punkte werden aufsummiert. Eine negative Gesamtpunktzahl gibt es nicht.

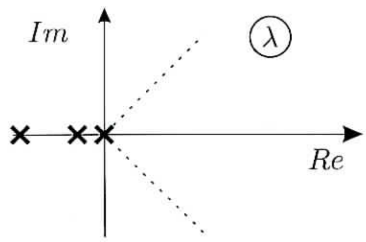
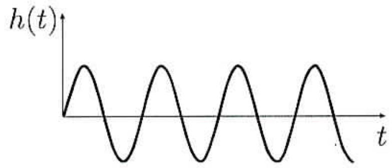
2) Sollten im Einzelfall keine zulässigen Zahlenbereiche für Zeitkonstanten, Massen etc. angegeben sein, gehen Sie immer von positiven Zahlenwerten für die Zeit und für Massen aus.

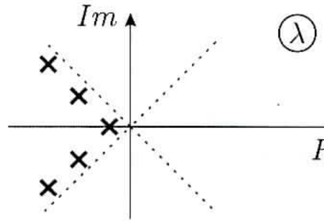
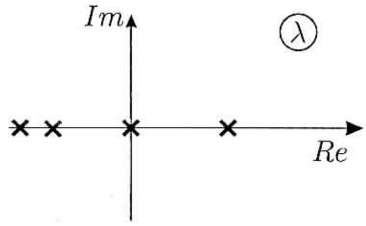
3) Sollte im Einzelfall keine Angabe zu positiver oder negativer Rückführung angegeben sein, gehen Sie immer von der üblichen negativen Rückführung aus.

Aufgabe 1 (40 Punkte)

1a) (3 × 5 × 1 Punkt, 15 Punkte)
Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch?

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
A.1)	Der Unterschied zwischen einer Steuerung und einer Regelung liegt in der Position der Störgrößen.	○	⊗
A.2)	Bei einem Übertragungssystem werde bei einem Eingangssignal $u(t) = a\sin(\omega t)$ der Ausgang $y(t) = b\sin(3\omega t - \varphi_0)$ gemessen. Bei dem System liegt ein nichtlineares Übertragungsverhalten vor.	⊗	○
A.3)	Die Übergangsfunktion ist die Antwort eines Systems auf die impulsförmige Erregung $u(t) = \delta(t)$.	○	⊗
A.4)	Ein lineares System der Ordnung 2 mit einer Dämpfung $D < 1$ kann die nachstehende Übergangsfunktion aufweisen. 	⊗	○
A.5)	Ein System der Ordnung 2 mit einer Dämpfung $D < 1$ kann die nachstehende Übergangsfunktion aufweisen. 	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
B.1)	Eine typische Ein-/Ausgangsbeschreibung $$y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + ... + a_1 y + a_0 = K[u(t) + \frac{1}{T}\int u\ dt]$$ beschreibt ein MIMO-System.	○	⊗
B.2)	Eine Steuerung ist aufgrund des geschlossenen Wirkablaufes in der Lage, den Einfluss von Störgrößen zu kompensieren.	○	⊗
B.3)	Die Linearisierung der Gleichung $$f(x, y) = 2yx^2 - \sin(y) + xy$$ um den Arbeitspunkt $(x_0, y_0) = (1, 0)$ entspricht der Gleichung $$f(x, y) = 2y.$$	⊗	○
B.4)	Die Amplitude des Eingangs von einem Übertragungssystem wird verdoppelt. Der Ausgang des Systems verändert sich ebenfalls; konkret verdoppelt sich die Frequenz des Ausgangs. Ein derartiges Verhalten kann nur bei nichtlinearen Systemen auftreten.	⊗	○
B.5)	Ein System mit der Eigenwert-Verteilung  weist folgendes Verhalten auf. 	○	⊗

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
C.1)	Für die kanonische Normalform wird die Systemmatrix A auf Diagonalform transformiert.	⊗	○
C.2)	Für lineare Systeme kann das Führungs- und Störverhalten separat analysiert werden.	⊗	○
C.3)	Das System mit der Eigenwert-Verteilung  ist asymptotisch stabil.	⊗	○
C.4)	Das System mit der Eigenwert-Verteilung  ist grenzstabil.	○	⊗
C.5)	Übertragungselemente zweiter Ordnung, hier beschrieben durch $$T_2\ddot{y} + T_1\dot{y} + y = Ku,$$ können, abhängig von den Einstellparametern T_1 und T_2, schwingungsfähig sein.	⊗	○

☐

1b) (2 × 5 × 1 Punkt, 10 Punkte)

In der nachstehenden Abbildung 1.1 sind die Eigenwerte des E/A-Verhaltens von zwei unterschiedlichen linearen Systemen ohne Totzeit grafisch dargestellt. In Abbildung 1.2 werden zwei gemessene Gewichtsfunktionen $g(t)$ wiedergegeben. Beurteilen Sie die Aussagen in den nachstehenden Tabellen.

Hinweis: Die Gewichtsfunktion ist die Ableitung der Übergangsfunktion.

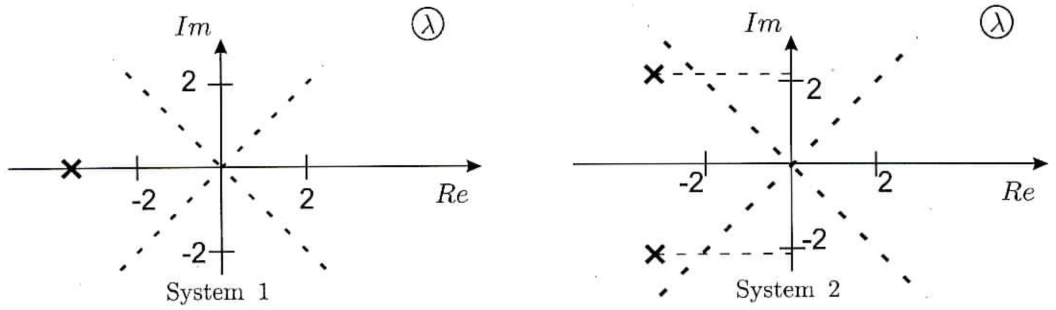


Abbildung 1.1: Eigenwert-Verteilungen von zwei unterschiedlichen Systemen

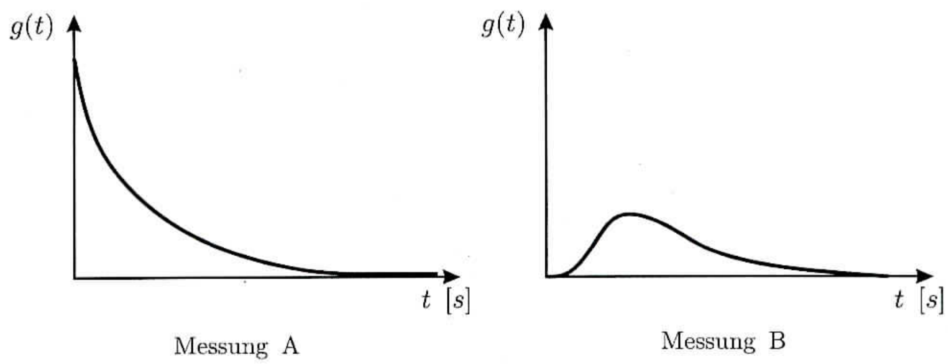


Abbildung 1.2: Gewichtsfunktionen von zwei unterschiedlichen Systemen

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
A.1)	Das System 1 lässt sich durch die Gleichung $$\dot{y} + y = K(\frac{1}{T_\mathrm{I}} \int u\, dt)$$ beschreiben.	○	⊗
A.2)	Das System 2 entspricht einem System mit einer Dämpfung $D > 1$.	○	⊗
A.3)	Das System 1 ist asymptotisch stabil.	⊗	○
A.4)	Die Messung B weist ein Dämpfungsverhalten mit $D \geq 1$ auf.	⊗	○
A.5)	Die Messung A weist ein Totzeitverhalten auf.	○	⊗

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
B.1)	Die Messung A könnte einem Verhalten eines PT_1-Systems entsprechen.	⊗	○
B.2)	Die Messung A und das System 1 entsprechen einander.	⊗	○
B.3)	Die Messung B und das System 2 entsprechen einander.	○	⊗
B.4)	Aus der Eigenwert-Verteilung der Systeme 1 und 2 kann geschlossen werden, dass eindeutig eine identische statische Verstärkung K ihres stationären Zeitverhaltens vorliegt.	○	⊗
B.5)	Wird dem System 2 ein Totzeitsystem nachgeschaltet, lässt sich Messung A erzielen.	○	⊗

1c) (5 × 2 Punkte, 10 Punkte)
Das mathematische Modell eines mechanischen Systems (siehe Abbildung 1.3) wird durch die Gleichungen

$$\begin{aligned} m\ddot{x}_2 &= F_1 - F_2, \\ F_1 &= c(x_1 - x_2) \text{ und} \\ F_2 &= d\dot{x}_2 + cx_2 \end{aligned}$$

beschrieben, wobei

$x_{1,2}$: Position,
$\dot{x}_{1,2}$: Geschwindigkeit,
F_1 : Federkraft,
F_2 : Dämpferkraft + Federkraft,
c : Federkonstante,
d : Dämpferkonstante und
m : Masse

bezeichnen.
Beurteilen Sie die Aussagen in den nachstehenden Tabellen.

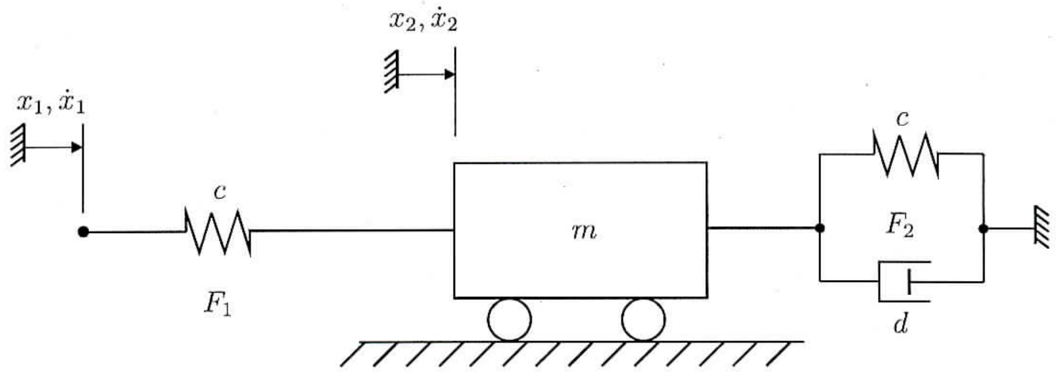


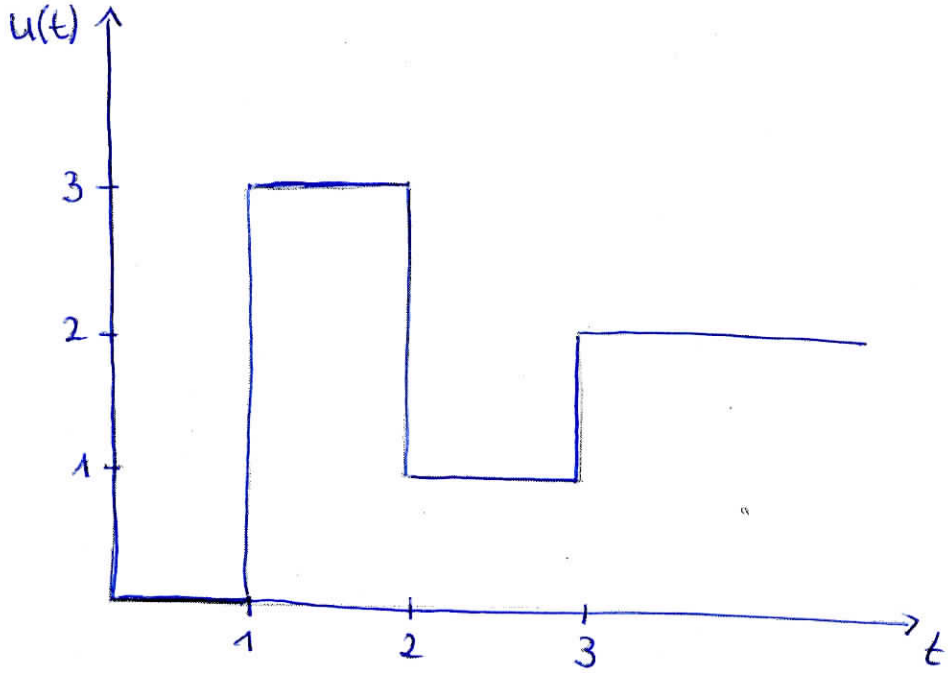
Abbildung 1.3: Modell eines mechanischen Systems

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das Übertragungsverhalten zwischen der Eingangsgröße x_1 und der Ausgangsgröße x_2 wird durch $$\frac{d}{c}\ddot{x}_2 + \frac{m}{c}\dot{x}_2 + x_2 = \frac{1}{2}x_1$$ beschrieben.	○	⊗
2)	Das Übertragungsverhalten kann als PDT_2-Verhalten klassifiziert werden.	○	⊗
3)	Das Übertragungsverhalten des mechanischen Systems mit x_1 als Eingangsgröße, x_2 als Ausgangsgröße und dem Zustandsvektor $x = \begin{bmatrix} x_2 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix}$ wird durch die Zustandsraumdarstellung $$\begin{bmatrix} \dot{x}_2 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{2c}{m} & -\frac{d}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{c}{m} \end{bmatrix} x_1$$ $$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix}$$ beschrieben.	⊗	○
4)	Für die Parameter c, d und m des Übertragungsverhaltens des mechanischen Systems werden die folgenden Werte angenommen: $c = 2$, $m = 1$ und $d = 4$. Das betrachtete System weist Schwingungen ($D < 1$) auf.	○	⊗
5)	Das betrachtete mechanische System mit den Parametern aus 1c)4) besitzt die Eigenwerte $\lambda_{1,2} = -2$.	⊗	○

□

1d) (2 Punkte)

Stellen Sie die Funktion $u(t) = 3 \cdot 1(t-1) - 2 \cdot 1(t-2) + 1 \cdot 1(t-3)$ grafisch dar.



1e) (3 Punkte)

Bei einer Messung eines Regelkreises wurden am Stabilitätsrand Messwerte entsprechend Abbildung 1.4 aufgenommen. Die Verstärkung des P-Reglers betrug hierbei 1,2.

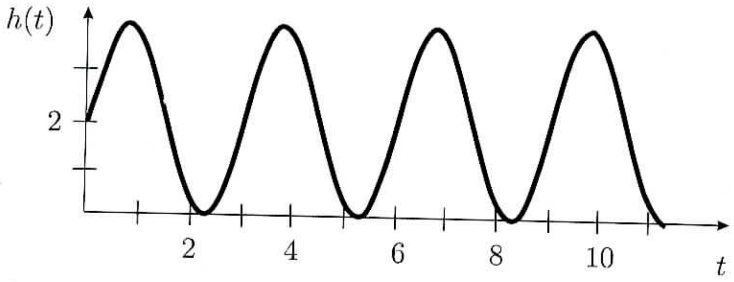


Abbildung 1.4: Aufgenommene Messwerte

Bestimmen Sie die Werte der Parameter K, T_I und T_D eines PID-Reglers, der ähnlich der ITAE-Optimierung eingestellt ist.

$K_{krit} = K = 1{,}2$

$T_{krit} = 3$

Auslegung nach Ziegler-Nichols:

$k = 0{,}6 \cdot K_{krit} = 0{,}72$

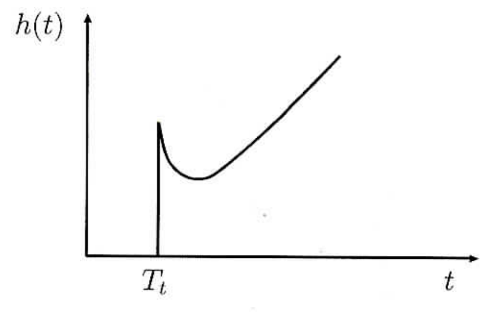
$T_I = 0{,}5 \cdot T_{krit} = 1{,}5$

$T_D = 0{,}12 \cdot T_{krit} = 0{,}36$

Σ

Aufgabe 2 (30 Punkte)

2a) (3 × 2 Punkte, 6 Punkte)
Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch?

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Mit der Beschreibung des Zustandsverhaltens $x(t) = \phi(t)x_0(t=0) + \int_{t=0}^{t} \phi(t-\tau)bu(\tau)d\tau,$ lässt sich der Zeitverlauf des Ausgangs $y(t)$ als $y(t) = Cx(t)$ berechnen. Für ein asymptotisch stabiles und proportionales Systemverhalten $\phi(t)$ weist der Anteil der freien Bewegung $y_{\text{frei}}(t \to \infty)$ ein stationäres Verhalten $y_{\text{frei}}(t \to \infty) = 0$ auf.	⊗	○
2)	Das System beschrieben durch $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ k & -d \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} -1 & 0 \end{bmatrix}$ und $D = 0$ ist identisch zur E/A-Beschreibung $\ddot{y} - d\dot{y} + ky = u,$ wobei y gemessen wird.	○	⊗
3)	Ein System mit  lässt sich als PIDT$_1$T$_t$-Verhalten klassifizieren.	⊗	○

2b) (10 Punkte)
Gegeben ist das Blockschaltbild eines Systems bestehend aus drei Übertragungselementen mit w und z als Eingangsgrößen und y als Ausgangsgröße (siehe Abbildung 2.1).

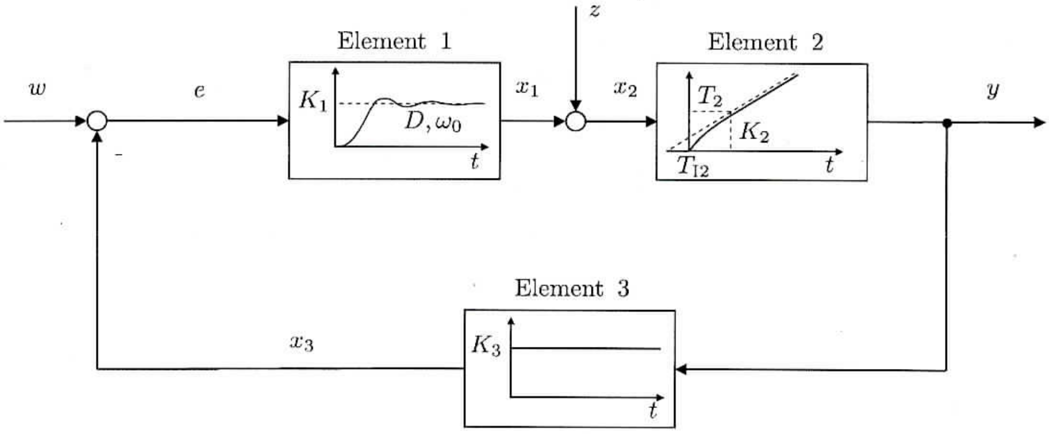


Abbildung 2.1: Blockschaltbild des Systems

i) (3 Punkte)
Klassifizieren Sie die Übertragungsverhaltensweisen (Typ des Einzelübertragungsverhaltens) der Elemente 1 bis 3 und geben Sie jeweils die entsprechende Differenzialgleichung unter Berücksichtigung der in Abbildung 2.1 vorgegebenen Bezeichnungen in einer zur Klassifikation geeigneten Form (Normalform) an.

Element 1:

$$PT_2: \frac{1}{\omega_0^2}\ddot{x}_1 + \frac{2D}{\omega_0}\dot{x}_1 + x_1 = K_1 e$$

Element 2:

$$PIT_1: T_2\dot{y} + y = K_2\left[x_2 + \frac{1}{T_{I2}}\int x_2\,dt\right]$$

Element 3:

$$P: x_3 = K_3 y$$

Für die weiteren Betrachtungen nehmen Sie die folgenden Differenzialgleichungen für die Elemente 1 bis 3 an:

$$\text{Element 1: } \frac{1}{2}\ddot{x}_1 + \dot{x}_1 + \frac{1}{2}x_1 = e,$$

$$\text{Element 2: } \dot{y} + y = \int x_2 \, dt \text{ und}$$

$$\text{Element 3: } \frac{1}{5}x_3 = y.$$

ii) (3 Punkte)
Stellen Sie die Differenzialgleichung für die Führungsübertragung ($w \to y$) in Normalform auf.

$$\ddot{x}_1 + 2\dot{x}_1 + x_1 = 2e$$

$$z = 0$$
$$e = w - x_3$$
$$x_1 = x_2$$

$$\dot{y} + y = \int x_2 \, dt \Rightarrow \ddot{y} + \dot{y} = x_2 = x_1$$

$$x_3 = 5y$$

$$\Rightarrow \ddot{x}_1 + 2\dot{x}_1 + x_1 = 2(w - x_3)$$

$$\ddddot{y} + 3\dddot{y} + 3\ddot{y} + \dot{y} + 10y = 2w$$

$$\frac{1}{10}\ddddot{y} + \frac{3}{10}\dddot{y} + \frac{3}{10}\ddot{y} + \frac{1}{10}\dot{y} + y = \frac{2}{10}w$$

iii) (3 Punkte)
Stellen Sie die Differenzialgleichung für die Störübertragung ($z \to y$) in Normalform auf.

$w = 0$

$-x_3 = e$ $\qquad x_3 = 5y \rightarrow -e = 5y$

$x_2 = x_1 + z$

$\ddot{x}_1 + 2\dot{x}_1 + x_1 = 2e$

$\dot{y} + y = \int x_2 \, dt \quad \rightarrow x_2 = \ddot{y} + y$

$\Rightarrow \ddot{x}_2 - \ddot{z} + 2\dot{x}_2 - 2\dot{z} + x_2 - z = -10y$

$\ddddot{y} + 3\dddot{y} + 3\ddot{y} + \dot{y} + 10y = \ddot{z} + 2\dot{z} + z$

$\frac{1}{10}\ddddot{y} + \frac{3}{10}\dddot{y} + \frac{3}{10}\ddot{y} + \frac{1}{10}\dot{y} + y = \frac{1}{10}\ddot{z} + \frac{2}{10}\dot{z} + \frac{1}{10}z$

iv) (1 Punkt)
Bestimmen Sie für stationäres Verhalten die statische Verstärkung K_S der Führungsübertragung.

Zeitableidungen = 0

$\Rightarrow K_S = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}$

2c) (4 Punkte)
Gegeben sei die experimentell bestimmte Kennlinie $f(u)$ nach Abbildung 2.2.

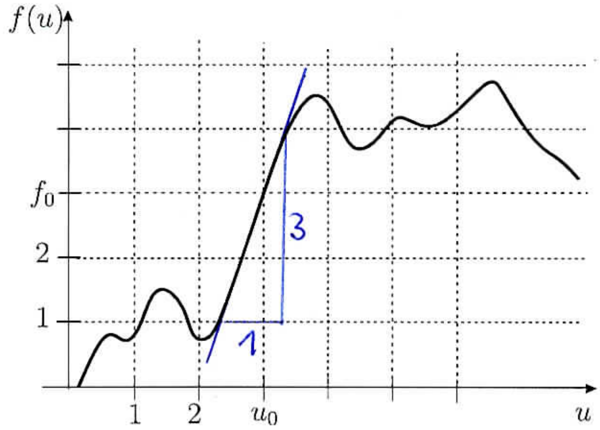


Abbildung 2.2: Kennlinie

Die Dynamik eines Systems wird durch die Gleichung $\dot{y} = f(u) - 2y$ beschrieben.

i) (2 Punkte)
Bestimmen Sie das linearisierte Verhalten zwischen $f(u)$ und u im Arbeitspunkt (u_0, f_0) mit $f(u) = Ku$ in den linearisierten Koordinaten des Arbeitspunktes. Bitte beachten Sie die Achsenskalierung.

$\dot{y} = f(u) - 2y$

$f(u) = ku$

↳ Steigung : $K = 3$

ii) (2 Punkte)
Geben Sie das linearisierte Verhalten des Systems als DGL mit geeigneten Koeffizienten in Normalform an und klassifizieren Sie das Systemverhalten.

$$\dot{y} = 3u - 2y$$

$$\frac{1}{2}\dot{y} + y = \frac{3}{2}u$$

$\Rightarrow PT_1$

2d) (2 × 5 × 1 Punkt, 10 Punkte)
Gegeben ist das Blockschaltbild eines Systems von Übertragungselementen (siehe Abbildung 2.3).
Beantworten Sie die folgenden Fragen bezogen auf das genannte System.

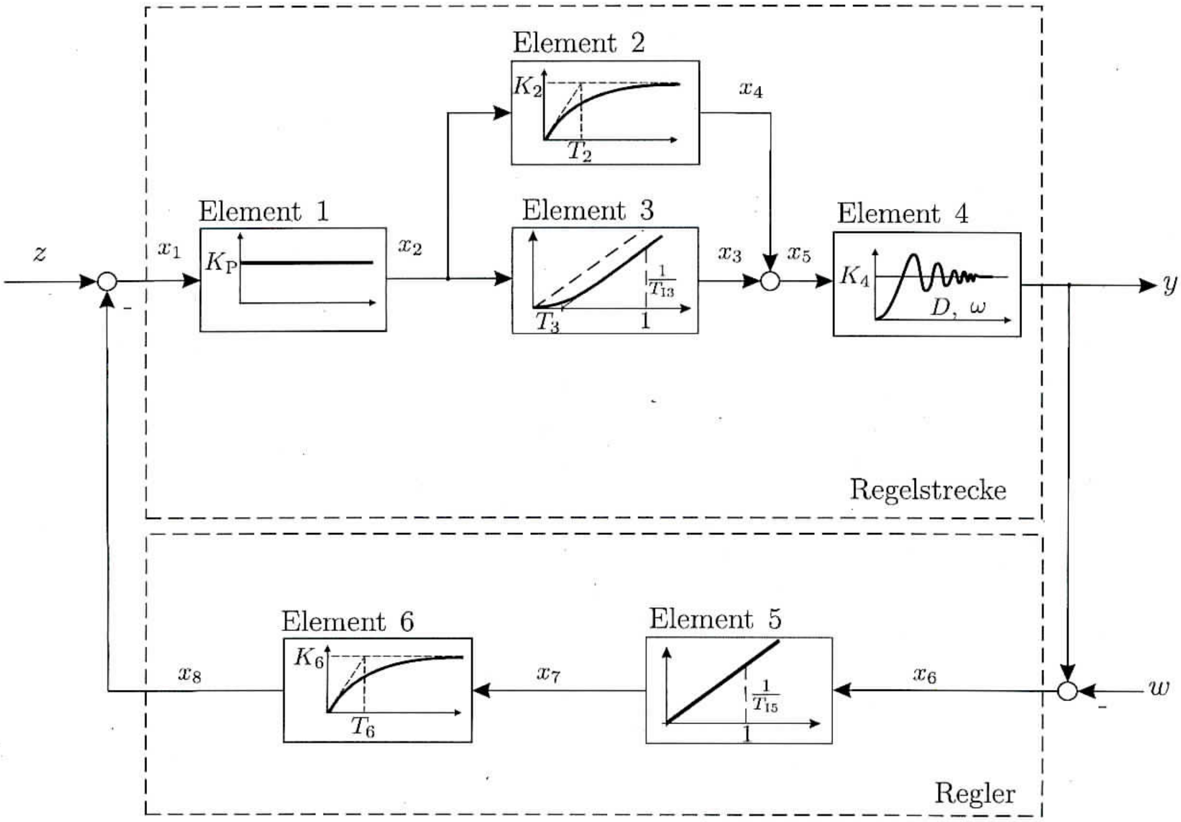


Abbildung 2.3: Blockschaltbild

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
A.1)	Beim Element 6 handelt es sich um ein System mit proportionalem Verhalten.	⊗	○
A.2)	Beim Element 3 handelt es sich um ein IT_3-System.	○	⊗
A.3)	Das Systemverhalten von x_2 zu x_5 enthält keine Totzeit.	⊗	○
A.4)	Das Systemverhalten von x_6 zu x_8 lässt sich durch $$T_6\dot{x}_8 + x_8 = K_6(x_6 + \frac{1}{T_{I5}}\int x_6 dt)$$ beschreiben.	○	⊗
A.5)	Element 3 ist grenzstabil.	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
B.1)	Abhängig von dem Parameter T_{I5} kann das Element 5 schwingungsfähig sein.	○	⊗
B.2)	Angenommen, das Systemverhalten $x_1 \rightarrow y$ lässt sich durch ein proportionales Verhalten beschreiben: Die gegebene Wahl der Elemente 5 und 6 ist geeignet zur stationär genauen Regelung des Systems.	⊗	○
B.3)	Das Element 4 weist aufgrund der veränderlichen Frequenz für instationäres Verhalten ein nicht der linearen Theorie entsprechendes Verhalten auf.	⊗	○
B.4)	Für die Einstellung des Reglers (Element 5 und Element 6) lässt sich die Vorgehensweise nach Ziegler-Nichols anwenden.	○	⊗
B.5)	Angenommen, die Regelstrecke wird als $\mathrm{PT_1}$-System mit der Gleichung $T_1\dot{y} + y = K_{\mathrm{P}}x_8$ beschrieben. Zusammen mit dem dargestellten Regler (Element 5 und Element 6) ergibt sich für den offenen Regelkreis ($x_6 \rightarrow y$) ein $\mathrm{PIT_2}$-Systemverhalten.	○	⊗

Σ