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. Mohieddine Jelali, Priv.-Doz.)

____

(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:

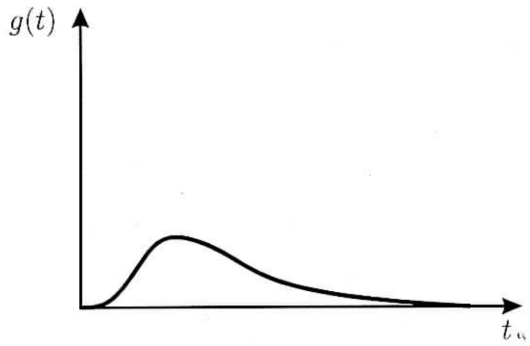
1) Für die Multiple-Choice und multiple-choice-ähnlichen Fragen gilt:
   i) Korrekte Teilantworten werden mit der vorgesehenen Teilpunktzahl bewertet.
   ii) Nichtkorrekte Teilantworten werden mit der vorgesehenen Teilpunktzahl negativ bewertet.
   iii) Keine Willensäußerung führt weder zu einer negativen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

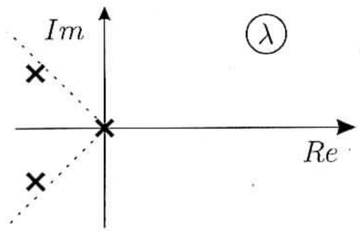
2) Sollten im Einzelfall keine zulässigen Zahlenbereiche für Zeitkonstanten, Massen etc. angegeben sein, gehen Sie immer von positiven Zahlenwerten für die Zeit und für Massen aus.

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)

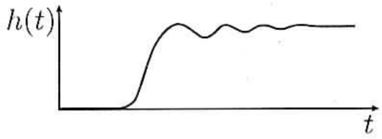
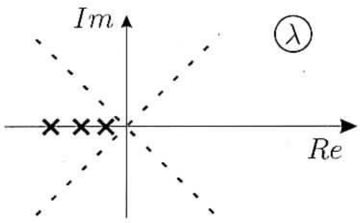
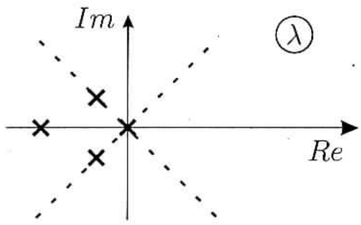
1a) (3 × 5 × 1 Punkt, 15 Punkte)
Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch?

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
A.1)	Die Gewichtsfunktion ist die Antwort eines Systems auf die impulsförmige Erregung $u(t) = \delta(t)$.	⊗	○
A.2)	Die Berechnungsvorschrift für die Bestimmung der Eigenvektoren lautet $$Av_i = \lambda_i v_i,$$ mit der Systemmatrix A und den Eigenwerten λ_i.	⊗	○
A.3)	Die Übergangsfunktion ist ein typisches Eingangssignal.	○	⊗
A.4)	Ein lineares System der Ordnung 2 mit einer Dämpfung $D > 1$ kann die nachstehende Übergangsfunktion aufweisen. 	○	⊗
A.5)	Die Linearisierung der Gleichung $$f(x,y) = -\frac{1}{2}\sin(x)y + 2y^2 - \frac{1}{3}x$$ um den Arbeitspunkt $(x_0, y_0) = (0,0)$ entspricht der Gleichung $$f(x,y) = -\frac{1}{3}x.$$	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
B.1)	Die Differenzialgleichung $$T_2y = K(u + T_{\mathrm{D}}\dot{u}),$$ beschreibt ein PDT_2-Verhalten.	○	⊗
B.2)	Übertragungselemente zweiter Ordnung, hier beschrieben durch $$\frac{1}{\omega_0^2}\ddot{y} + \frac{2D}{\omega_0}\dot{y} + y = K[u + T_{\mathrm{D}}\dot{u}]$$ weisen für $D = 1$ einen doppelten realen Eigenwert auf.	⊗	○
B.3)	Für Werte $D > 1$ weist das in 1a)B.2) beschriebene System zwei unterschiedliche Eigenwerte ohne Imaginärteil auf.	⊗	○
B.4)	Die Führungsgröße soll der Zustandsgröße folgen.	○	⊗
B.5)	Ein System mit der Eigenwert-Verteilung  hat konjugiert komplexe Eigenwerte.	⊗	○

UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN
Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abt. Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik
Systemdynamik

24. Juli 2014

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
C.1)	Eine lineare Differenzialgleichung mit konstanten Koeffizienten beschreibt das mit der Zeit veränderliche Übertragungsverhalten des Systems.	○	⊗
C.2)	Ein System mit dem Übergangsverhalten  weist auf ein System zweiter Ordnung mit $D > 1$ hin.	○	⊗
C.3)	Das System mit der Eigenwert-Verteilung  ist asymptotisch stabil.	⊗	○
C.4)	Das System mit der Eigenwert-Verteilung  ist instabil.	○	⊗
C.5)	Eine Steuerung ist ein Vorgang, bei der die Regelgröße fortlaufend erfasst, mit der Führungsgröße verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird.	○	⊗

1b) (2 × 5 × 1 Punkt, 10 Punkte)
Das Übertragungsverhalten eines technischen Systems mit u als Eingangsgröße, x_1 als Ausgangsgröße und dem Zustandsvektor $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x}_1 \end{bmatrix}$ wird durch die Differenzialgleichung

$$\ddot{x}_1 + 3\dot{x}_1 + 2x_1 = u$$

beschrieben. Beurteilen Sie die Aussagen in den nachstehenden Tabellen.

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
A.1)	Das Übertragungsverhalten kann als PDT_2-Verhalten klassifiziert werden.	○	⊗
A.2)	Für das betrachtete technische System ergibt sich folgende Zustandsraumdarstellung $\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \ddot{x}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u,$ $y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x}_1 \end{bmatrix}.$	⊗	○
A.3)	Die Durchgangsmatrix D beeinflusst die Schwingungsfähigkeit eines Systems.	○	⊗
A.4)	Die Eigenwerte ergeben sich zu $\lambda_1 = 1$ und $\lambda_2 = 2$.	○	⊗
A.5)	Das System kann die Eigenvektoren $v_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ und $v_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \end{bmatrix}$ aufweisen.	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
B.1)	Die Modalmatrix V ergibt sich zu $$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}.$$	○	⊗
B.2)	Durch die kanonische Normalform wird der Zustandsvektor in einer solchen Weise transformiert, dass sich die Bewegungen der neu eingeführten Zustandsvariablen gegenseitig beeinflussen.	○	⊗
B.3)	Die Systemmatrix $\tilde{A}$ ergibt sich nach der Modaltransformation zu $$\tilde{A} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -2 \end{bmatrix}.$$	⊗	○
B.4)	Die Berechnungsvorschrift für die Modaltransformation der Ausgangsmatrix C zu $\tilde{C}$ lautet $\tilde{C} = CV$.	⊗	○
B.5)	Angenommen die Ausgangsmatrix C sei $$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$$ und die Modalmatrix V sei $$V = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}.$$ Die transformierte Matrix $\tilde{C}$ ergibt sich damit zu $$\tilde{C} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}.$$	⊗	○

□

1c) ($3 \times 5 \times 1$ Punkt, 15 Punkte)
In der nachstehenden Abbildung 1.1 sind die Eigenwerte des E/A-Verhaltens von vier unterschiedlichen linearen Systemen ohne Totzeit grafisch dargestellt. In Abbildung 1.2 werden vier gemessene Übergangsfunktionen $h(t)$ wiedergegeben. Beurteilen Sie die Aussagen in den nachstehenden Tabellen.

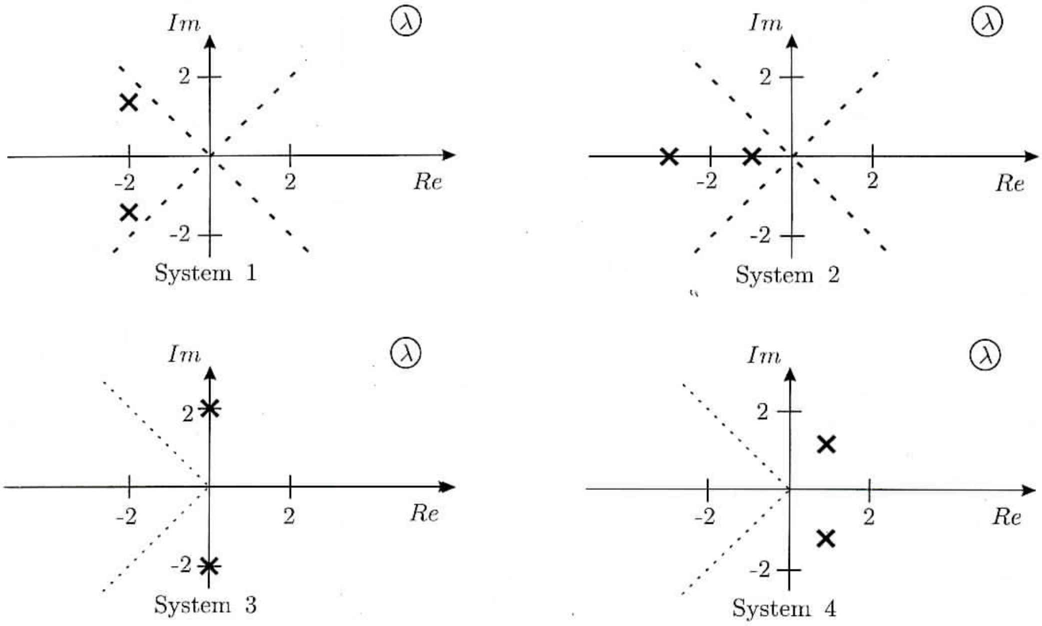


Abbildung 1.1: Eigenwert-Verteilungen von vier unterschiedlichen Systemen

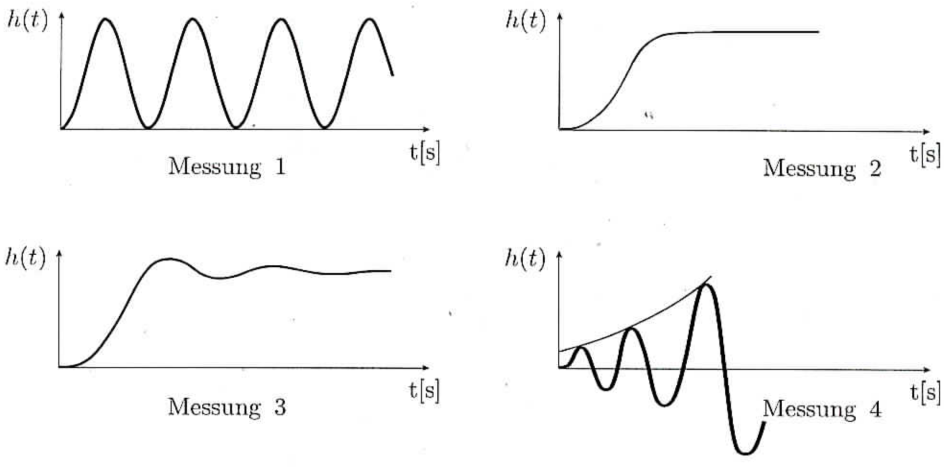


Abbildung 1.2: Übergangsfunktionen von vier unterschiedlichen Systemen

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
A.1)	Das System 1 kann durch die Gleichung $\frac{1}{\omega_0^2}\ddot{y}+\frac{2D}{\omega_0}\dot{y}+y=Ku$ beschrieben werden.	⊗	○
A.2)	Die Verteilung der Eigenwerte der Systeme 2 und 3 zeigt jeweils ein starkes Dämpfungsverhalten auf.	○	⊗
A.3)	Das System 2 entspricht einem System mit einer Dämpfung $D > 1$.	⊗	○
A.4)	Das System 1 ist asymptotisch stabil.	⊗	○
A.5)	Aus der Eigenwert-Verteilung der Systeme 1 und 2 kann geschlossen werden, dass eindeutig eine identische statische Verstärkung K ihres stationären Zeitverhaltens vorliegt.	○	⊗

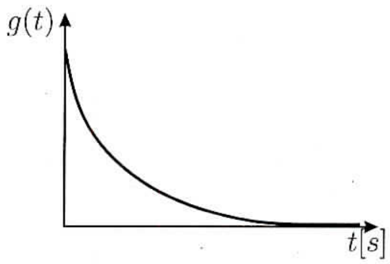
Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
B.1)	Die Messungen 2 und 3 zeigen typische Übergangsfunktionen von PT_2-Systemen.	⊗	○
B.2)	Das Verhalten bei Messung 3 zeigt eine stärkere Dämpfung des Systems als bei Messung 2.	○	⊗
B.3)	Die Messung 3 weist ein Totzeitverhalten auf.	○	⊗
B.4)	Die Messung 2 könnte einem Verhalten eines PT_1-Systems entsprechen.	○	⊗
B.5)	Die Messung 4 weist ein Dämpfungsverhalten mit $D < 0$ auf.	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
C.1)	Die Messung 2 und das System 2 entsprechen einander.	⊗	○
C.2)	Die Messung 1 und das System 3 entsprechen einander.	⊗	○
C.3)	Die Messung 4 und das System 4 entsprechen einander.	⊗	○
C.4)	Wird dem System 1 ein Totzeitsystem nachgeschaltet, lässt sich Messung 4 erzielen.	○	⊗
C.5)	Die Messung 2 zeigt, dass das zugrundeliegende System keinerlei Dynamik (im Sinne von Verzögerungen, Trägheiten) besitzt.	○	⊗

Σ

Aufgabe 2 (30 Punkte)

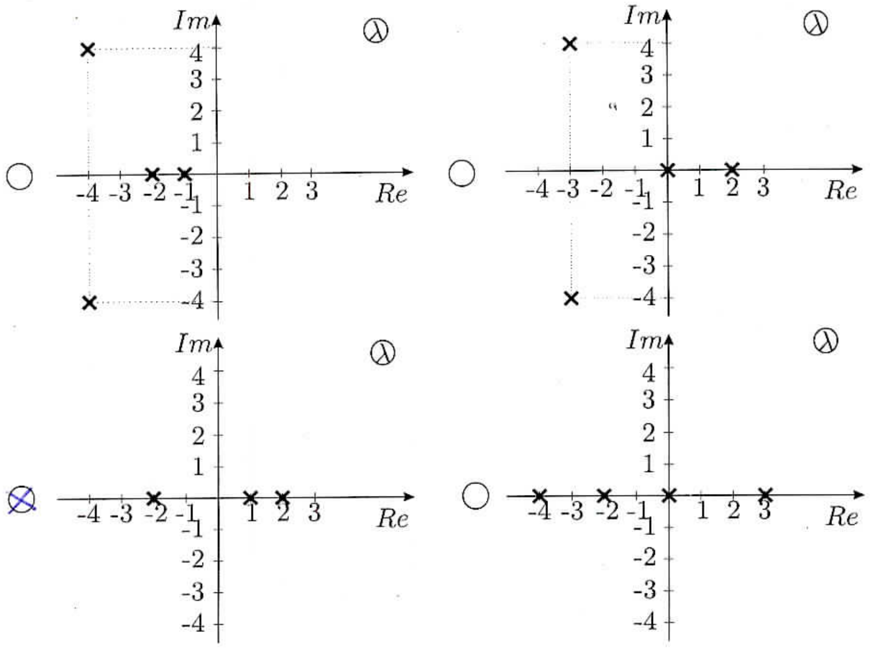
2a) (4 × 1 Punkt, 4 Punkte)
Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch?

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 mit $y(t) = Cx(t)$ bei einem Eingangssignal $u(t)$ berechnen.	⊗	○
2)	Bei einem System mit Totzeit hängt der Wert des Ausgangssignals $y(t)$ zum Zeitpunkt t ausschließlich von dem um eine feste Zeitdifferenz T_t zurückliegenden Wert der Eingangsgröße $u(t)$ ab.	⊗	○
3)	Bei der Reglerauslegung gilt: Bei proportionalen Systemen kann ein PI-Regler verwendet werden.	⊗	○
4)	Ein System mit DT_1-Verhalten weist folgende Gewichtsfunktion auf: 	○	⊗

2b) (2 Punkte)
Das E/A-Übertragungsverhalten

$$\dddot{y} - \ddot{y} - 4\dot{y} + 4y = 45u + \dot{u},$$

weist folgende Eigenwert-Verteilung auf.



$\dddot{y} - \ddot{y} - 4\dot{y} + 4y = 45u + \dot{u}$

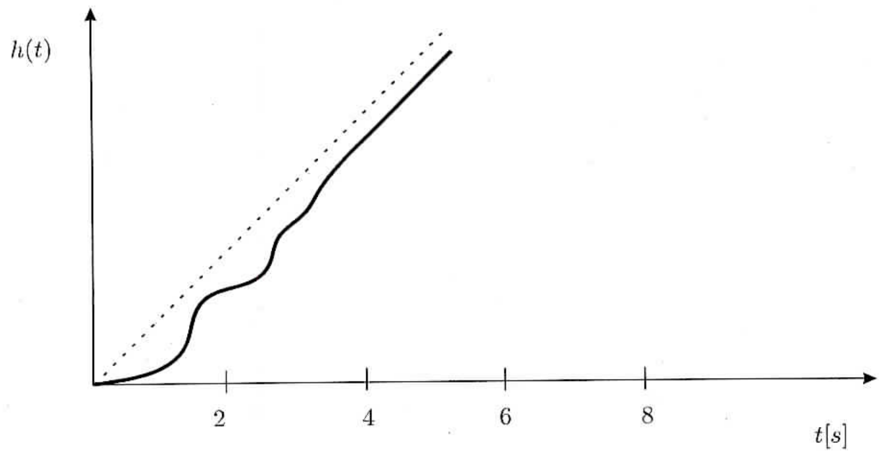
$\lambda^3 - \lambda^2 - 4\lambda + 4 = 0$

$\lambda_1 = 1$ raden

→ es gibt nur eine Möglichkeit mit $\lambda = 1$

→ ansonsten weiter mit Polynomdivision

2c) (4 × 1 Punkt, 4 Punkte)
Die Messung des Übergangsverhaltens eines offenen Regelkreises ist in nachstehender Darstellung wiedergegeben:



Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Es handelt sich zweifelsfrei um ein nichtlineares Übergangsverhalten.	○	⊗
2)	Es liegt kein Totzeitverhalten bei der Systemantwort vor.	⊗	○
3)	Das Übergangsverhalten entsteht, weil die Eigenbewegung des Systems durch die Eingangsgröße $u(t)$ angeregt wird.	○	⊗
4)	Es handelt sich zweifelsfrei um ein IT_1-Verhalten.	○	⊗

2d) (10 Punkte)
Für den dargestellten hydraulischen Zylinder in Abbildung 2.1 ist die folgende Bewegungsgleichung gegeben: $\dot{y}(t) = \frac{q_e(t)}{A}$.

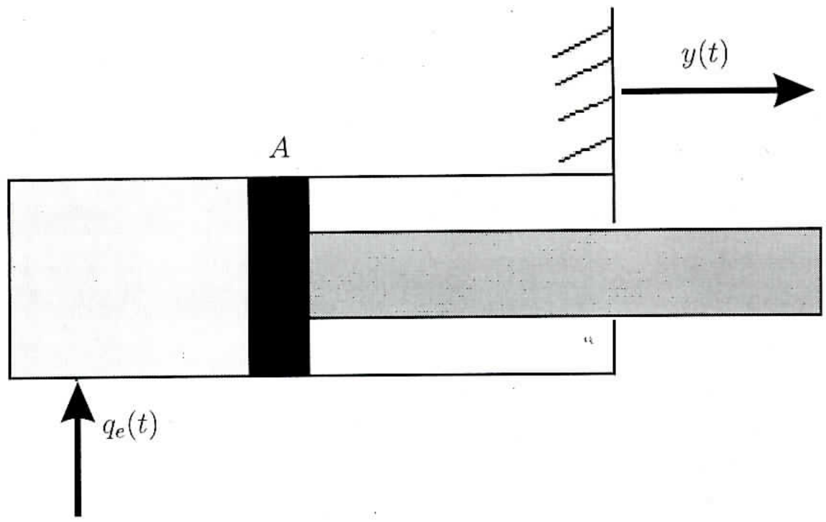


Abbildung 2.1: Modell eines hydraulischen Zylinders

Das Zylindermodell stellt die Strecke dar (vgl. Abbildung 2.2). Die Strecke soll mit einem PIT_1-Regler mit den Parametern T_1 und T_I in Gegenkopplung geregelt werden.

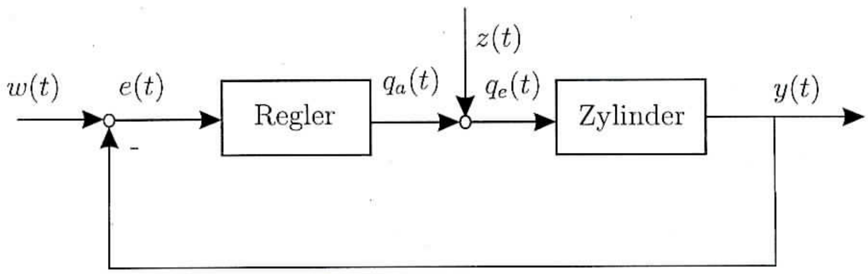


Abbildung 2.2: Regelkreis

i) (2 Punkte)
Geben Sie die den Regler beschreibende Differenzialgleichung unter Berücksichtigung der in Abbildung 2.2 vorgegebenen Bezeichnungen in einer zur Klassifikation geeigneten Form (Normalform) an.

PIT_1:

$$T_1 \dot{q}_a + q_a = K\left[e + \frac{1}{T_I}\int e \, dt\right]$$

Für die weiteren Berechnungen nehmen Sie für den Regler die Differenzialgleichung

$$\text{Regler:} \quad \dot{q}_a + q_a = K[e + \int e \, dt]$$

an.

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

Strecke: $\dot{y} = \frac{1}{A} q_e \quad (1)$

Regler: $\dot{q}_a + q_a = k[e + \int e \, dt]$

$z = 0$

$e = w - y \quad (3)$

aus (1)

$q_e = \dot{y} A$

$\left.\begin{aligned} q_a &= \dot{y} A \\ \dot{q}_a &= \ddot{y} A \end{aligned}\right\} (4)$

(4) in (2)

$A\ddot{y} + A\dot{y} = k[e + \int e \, dt] \quad (5)$

(3) in (5)

$A\ddot{y} + A\dot{y} = k[w - y + \int w - y \, dt]$

$A\ddot{y} + A\dot{y} = kw - ky + k\int w dt - k\int y dt$

$A\ddot{y} + A\dot{y} + ky + k\int y dt = kw + k\int w dt$

1 x ableiten

$A\dddot{y} + A\ddot{y} + k\dot{y} + ky = k\dot{w} + kw$

$\frac{A}{K}\dddot{y} + \frac{A}{K}\ddot{y} + \dot{y} + y = \dot{w} + w$

$\square$

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

Strecke: $\dot{y} = \frac{1}{A} q_e$ (1) $\Rightarrow$ $q_e = \dot{y} A$

Regler: $\dot{q}_a + q_a = K[e + \int e\,dt]$ (2)

$w = 0$

$q_e = q_a + z$ (3)

$e = -y$ (4)

(4) und (3) in (2)

$\dot{q}_e - \dot{z} + q_e - z = K[-y + \int -y\,dt]$

$A\ddot{y} - \dot{z} + A\dot{y} - z = -Ky - K\int y\,dt$

$A\ddot{y} + A\dot{y} + Ky + K\int y\,dt = \dot{z} + z$

1x ableiten

$A\dddot{y} + A\ddot{y} + K\dot{y} + Ky = \ddot{z} + \dot{z}$

$\frac{A}{K}\dddot{y} + \frac{A}{K}\ddot{y} + \dot{y} + y = \frac{1}{K}\ddot{z} + \frac{1}{K}\dot{z}$

iv) (2 Punkte)
Ist der verwendete Regler für eine stationär genaue Festwertregelung ($\omega(t)$ = konstant) geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort.

Zeitableitungen = 0

$y = \omega$

Ausgang y endspricht der Führungsgröße ω

=> Regler ist geeignet

2e) (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.

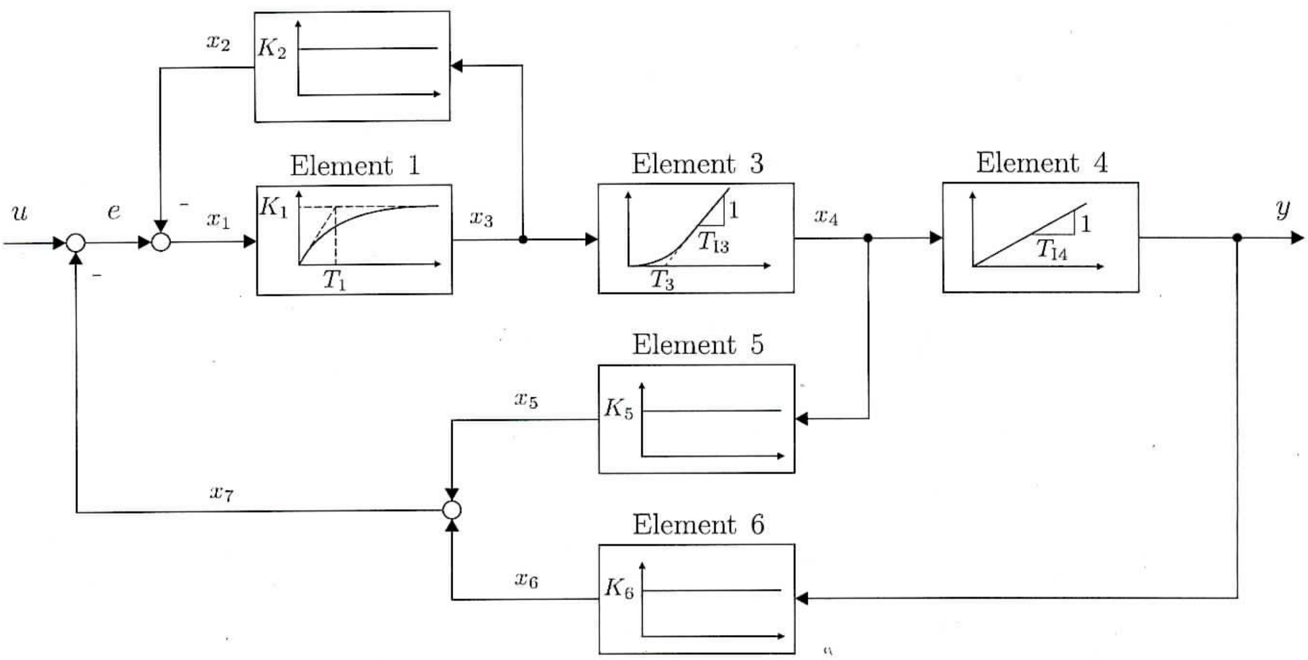


Abbildung 2.3: Blockschaltbild des Systems

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_3 zu x_7 enthält Totzeit.	○	⊗
A.4)	Das Systemverhalten von x_3 zu x_5 lässt sich durch $$T_3\dot{x}_5 + x_5 = \frac{K_5}{T_{I3}} \int x_3 \, dt$$ beschreiben.	⊗	○
A.5)	Element 3 ist grenzstabil.	⊗	○

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
B.1)	Abhängig von dem Parameter T_{I4} kann das Element 4 schwingungsfähig sein.	○	⊗
B.2)	Das Systemverhalten von e zu x_3 (Element 1 und Element 2) lässt sich durch $$\frac{T_1}{1+K_1K_2}\dot{x}_3 + x_3 = \frac{K_1}{1+K_1K_2}e$$ beschreiben.	⊗	○
B.3)	Das Element 4 lässt sich durch $$x_4 = \frac{1}{T_{I4}}\int y\,dt$$ beschreiben.	○	⊗
B.4)	Unter Proportionalelementen werden dynamische Übertragungselemente verstanden, die für konstante Eingangsgrößen $u(t)$ einen dem Wert der Eingangsgröße proportionalen stationären Endwert aufweisen.	⊗	○
B.5)	Ein Blockschaltbild beschreibt die Struktur eines betrachteten dynamischen Systems.	⊗	○

$\square$

$\sum$ $\square$