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 erst zur Hand, wenn die Prüfungsaufsicht auf das Ende der Einlesezeit hingewiesen hat und füllen Sie zunächst das Deckblatt **vollständig** aus.

Viel Erfolg!

NAME	Musterloesung
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.
Durch die Teilnahme versichere ich, dass ich prüfungsfähig bin. Bei Krankheit werde ich die Klausur vorzeitig beenden und unmittelbar eine Ärztin/einen Arzt aufsuchen.

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	
Die Bewertung gem. PO in Ziffern ist der xls-Tabelle bzw. dem Papierausdruck zu entnehmen.	

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

(Datum und Unterschrift 2. Prüfer, Dr.-Ing. Sandra Rothe)

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

Fachnote gemäß Prüfungsordnung: (alternativ: siehe xls-Tabelle bzw. beigefügter Papierausdruck)

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
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:	**54**
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) Bei Aufgaben mit Einzelbewertung von Teilaufgaben gilt: Nur korrekte Teilantworten werden mit der vorgesehenen Teilpunktzahl bewertet.
   - ii) Die in einer Teilaufgabe anfallenden Punkte werden aufsummiert.
   - iii) Sofern nicht explizit anders dargestellt ist nur eine der angegebenen Lösungsoptionen korrekt.
   - iv) Falls Teilaufgaben mehr als zwei Antwortoptionen beinhalten und nur eine Lösung existiert: Das Ankreuzen von mehreren Antwortoptionen wird auf Grund der nicht eindeutigen Willensäußerung als NICHTantwort interpretiert. Hieraus resultiert, dass in diesem Fall keine Punkte gegeben werden können.
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 (41 Punkte)

Markieren Sie in den folgenden Aussagen die richtige Lösung.

1a) (10 × 1 Punkt, 10 Punkte)
Gegeben sei das Ausgangsverhalten zweier Systeme.

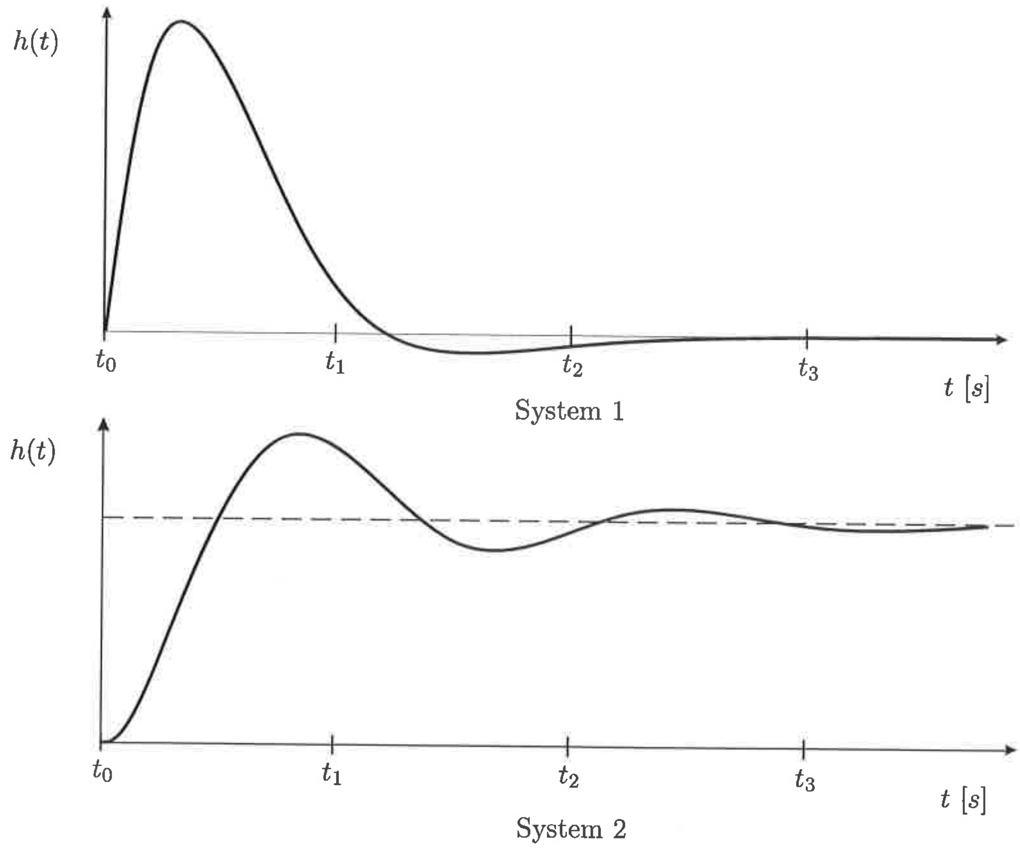


Abbildung 1.1: Systemausgänge

A1) (1 Punkt)
System 1 weist ein

○ proportionales

○ integrales

☒ differentielles

Verhalten auf.

A2) (1 Punkt)
System 2 weist ein

- [x] proportionales
- [ ] integrales
- [ ] differentielles

Verhalten auf.

A3) (1 Punkt)
Welches System weist eine statische Verstärkung gleich null auf?

- [x] Nur System 1
- [ ] Nur System 2
- [ ] System 1 und System 2

A4) (1 Punkt)
Als Eingang von System 1 liegt

- [x] ein Sprung
- [ ] ein Impuls
- [ ] eine Sinusfunktion
- [ ] ein Rampensignal

an.

A5) (1 Punkt)
Als Eingang von System 2 liegt

- [x] ein Sprung
- [ ] ein Impuls
- [ ] eine Sinusfunktion
- [ ] ein Rampensignal
- [ ] ein beliebiges beschränktes Signal

an.

A6) (1 Punkt)
Systemverhaltensweisen sind oft durch das Vorliegen einer Totzeit gekennzeichnet. Im konkreten Fall gilt dies für

- [ ] System 1.
- [ ] System 2.
- [ ] System 1 und System 2.
- [x] keines der Systeme.

A7) (1 Punkt)
Der Ausgang von System 1 zeigt stationäres Verhalten

- [ ] zum Zeitpunkt t_1.
- [ ] zum Zeitpunkt t_2.
- [x] zum Zeitpunkt t_3.
- [ ] zu keinem der genannten Zeitpunkte.

A8) (1 Punkt)
Der Ausgang von System 2 zeigt stationäres Verhalten

- ○ zum Zeitpunkt t_1.
- ○ zum Zeitpunkt t_2.
- ○ zum Zeitpunkt t_3.
- ☒ zu keinem der genannten Zeitpunkte.

A9) (1 Punkt)
Welches der Systeme ist ein System nullter oder erster Ordnung?

- ○ System 1
- ○ System 2
- ○ System 1 und System 2
- ☒ Keines der Systeme

A10) (1 Punkt)
Ab dem Zeitpunkt t_3 liegt beim System 1 keine Eingangsgröße mehr an. Diese Aussage ist

- ○ richtig, weil das Ausgangsverhalten gegen null geht.
- ☒ falsch, weil es sich um ein differenzierendes Systemverhalten handelt.
- ○ falsch, weil der Ausgang eines PT_1-Systems immer ausgleichend gegen null strebt.
- ○ richtig, weil es sich bei dem Verhalten – wie ersichtlich – nur um eine Störung handelt, die zum Zeitpunkt t_0 wirkt. Es hat nie eine Eingangsgröße angelegen.

☐

1b) (3 × 1 Punkt, 3 Punkte)
Zahlreiche regelungstechnische Methoden und Vorgehensweisen verwenden Modelle bzw. auf geeigneten Beschreibungsmitteln basierende Beschreibungen des E/A- oder Gesamtsystemverhaltens.

B1) (1 Punkt)
Der Korrektheit von Modellen (z. B. im Kontext der Nutzung zur rechnerbasierten Simulation) kommt eine zentrale Bedeutung zu. Modellvalidierung beinhaltet

- ○ die Prüfung, ob sich ein Modell programmiertechnisch gut eignet, um in einer Simulation auf Basis geeigneter Eingangsgrößen und Modellparameter die gewünschten Ausgangsgrößen zu liefern.
- ☒ die Prüfung, ob sich das Modellverhalten in gleicher Weise auch mindestens für den beanspruchten Gültigkeitsbereich bei einem realen System zeigt (z. B. durch Messungen).
- ○ die Zertifizierung der Modellbeschreibung und des Modellverhaltens durch eine geeignete Behörde oder Prüfinstitution.

B2) (1 Punkt)
Modellbildung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Theoretische Modellbildung

- ☒ basiert auf der Nutzung von Axiomen (first principles) und leitet mit spezifischen Methoden z. B. der Mathematik oder der Logik Beschreibungen ab, welche dann innerhalb eines definierten Gültigkeitsbereiches verwendet werden.
- ○ basiert auf der Nutzung von Theorien wie Modelle generiert werden, z. B. heuristisch oder statistisch.
- ○ ist ein sehr neuer Begriff und bezeichnet die Nutzung von Modellen wie sie z. B. mit Hilfe theoretischer Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens aufgestellt werden. Theoretische Modelle bilden daher eine neue Klasse von Modellen gegenüber konventionellen, auf Formeln wie z. B. von Newton, Euler oder Kirchhoff basierenden Modellen.

B3) (1 Punkt)
Die Approximation von PT_2-ähnlichen Verhaltensweisen unter Nutzung von PT_1- sowie Totzeitelementen basierend auf Messungen lässt sich dem Bereich der

- ◯ datenbasierten Modellbildung z. B. mit Hilfe von Methoden des maschinellen Lernens
- ◯ theoretischen Modellbildung
- ☒ experimentellen Modellbildung

zuordnen.

☐

1c) (5 × 1 Punkt, 5 Punkte)
Basierend auf der Zustandsraumbeschreibung

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

und den bekannten mathematischen Zusammenhängen

$$\det(\lambda_i I - A) = 0 \quad \rightarrow \lambda_i \quad \text{(Eigenwertgleichung)}$$
$$Av_i = \lambda_i v_i \quad \rightarrow v_i \quad \text{(Eigenvektorgleichung)}$$

sowie

$$V = \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & \dots & v_n \end{bmatrix} \quad \text{(Modalmatrix)}$$
$$AV = V \text{diag}\left[\lambda_i\right] \triangleq \underbrace{V^{-1}AV}_{\tilde{A}} = \text{diag}\left[\lambda_i\right]$$

erläutern Sie mit Ihren Antworten der nachstehenden Teilaufgaben was dieses konkret bedeutet.

C1) (1 Punkt)
Ein einzelner Eigenvektor v_i beschreibt

- ○ die Frequenz mit der ein System schwingt/oszilliert.
- ☒ die zeitlich gleichbleibenden Zusammenhänge zwischen den beschreibenden Zustandsvariablen x_i.
- ○ die Zusammenhänge in der Modalmatrix.
- ○ die Länge eines Eigenwertes.
- ○ die Auslenkung eines schwingenden Balkens.
- ○ die Auslenkungsform eines schwingenden Balkens.
- ○ die Schwingamplitude eines schwingenden Balkens.

C2) (1 Punkt)
Ein komplexer Eigenwert λ_i beschreibt

- ○ die Frequenz mit der ein System schwingt/oszilliert.
- ☒ die Frequenz mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn die zugehörige Dämpfung D geeignet klein ist.
- ○ die Amplitude mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn die zugehörige Dämpfung D geeignet klein ist.
- ○ die Frequenz mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn die zugehörige Dämpfung D geeignet groß ist.
- ○ die Amplitude mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn die zugehörige Dämpfung D geeignet groß ist.
- ○ die Frequenz mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn der Realteil klein genug ist.
- ○ die Frequenz mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn der Realteil groß genug ist.
- ○ die Frequenz mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn der Imaginärteil klein genug ist.
- ○ die Frequenz mit der ein System schwingen/oszillieren kann, wenn der Imaginärteil groß genug ist.

C3) (1 Punkt)
Die Modalmatrix V ist

- ○ die Summe aller Eigenvektoren.
- ○ das Produkt aller Eigenvektoren.
- ○ die diagonalisierte Matrix der Eigenwerte (in Block-Jordan Form).
- ☒ eine aus den Eigenvektoren gebildete Matrix.
- ○ die Vektordarstellung der Eigensummen.
- ○ die Inverse der aus den Eigenvektoren gebildeten Matrix.

C4) (1 Punkt)
Die Matrix $\tilde{A}$ wird

- ○ durch Ähnlichkeitstransformation mit Hilfe der diagonalisierten Eigenwertmatrix gebildet.
- ○ durch Rechtsmultiplikation mit der Modalmatrix gebildet.
- ○ durch Linksmultiplikation mit der inversen Modalmatrix gebildet.
- ○ durch Rechtsmultiplikation mit der diagonalisierten Eigenwertmatrix gebildet.
- ⊗ durch Ähnlichkeitstransformation mit Hilfe der Modalmatrix gebildet.

C5) (1 Punkt)
Die Systemmatrix A und die zugehörige diagonalisierte Systemmatrix $\tilde{A}$ beschreiben

- ⊗ das gleiche physikalische System in unterschiedlichen Koordinatensystemen.
- ○ das gleiche physikalische System im gleichen Koordinatensystemen.
- ○ zwei unterschiedliche physikalische Systeme in unterschiedlichen Koordinatensystemen.
- ○ zwei unterschiedliche physikalische Systeme im gleichen Koordinatensystem.

1d) (6 × 1 Punkt, 6 Punkte)

D1) (1 Punkt)
Betrachtet werde das durch

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ -d & -e & -f\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}b_3 & 0 & 0\\ 0 & b_2 & 0\\ 0 & 0 & b_1\end{bmatrix} u;\; y = \begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}\;;\; d, e, f, b_1, b_2, b_3 > 0$$

beschriebene System. Es handelt sich um ein

- ○ PT_2-System.
- ○ PT_3-System.
- ○ System erster Ordnung mit proportionalem Eingang.
- ☒ System mit mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen (MIMO) in Zustandsraumdarstellung.

D2) (1 Punkt)
Als Rückführung des Systems aus D1) werde ein Regler $u = \begin{bmatrix}0 & 0 - Kx_2\end{bmatrix}^T$ verwendet. Durch eine Rückführung mit $K > 0$ für $d = 4$, $e = 3$, $f = 3$, $b_3 = 0$, $b_2 = 0$, and $b_1 = 1$ lässt sich das Systemverhalten

- ☒ beeinflussen.
- ○ nicht beeinflussen.

D3) (1 Punkt)
Der Begriff „Übergangsfunktion“ bezeichnet den

- ○ Eingang des Systems als Sprung.
- ○ Eingang des Systems als Funktion.
- ○ Ausgang des Systems als Sprung.
- ○ Ausgang des System als Funktion.
- ○ Eingang des Systems, wenn auf der Ausgangsseite ein Sprung anliegt.
- ☒ Ausgang des Systems, wenn auf der Eingangsseite ein Sprung anliegt.

D4) (1 Punkt)
Es gilt $\int\limits_0^\infty \delta(t) = 1$. Was bedeutet das?

- ○ Die Amplitude des Impulses δ ist 1.
- ○ Die Zeitdauer des Impulses δ ist 1.
- ☒ Der Impuls δ schließt eine Fläche der Größe 1 ein.
- ○ Die Ableitung des Impulses δ ist 1 (Sprungfunktion).

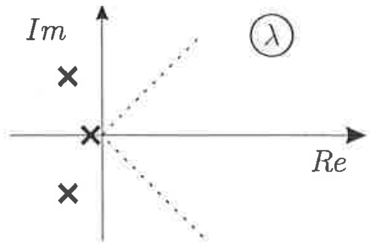
D5) (1 Punkt)
Die Ein-/Ausgangsbeschreibung

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \ldots + y(t) = K[u(t) + \frac{1}{T_\mathrm{I}} \int u(t)dt];\ a_i \neq 0,\ K,\ T_\mathrm{I} > 0,\ i = 1 \ldots n$$

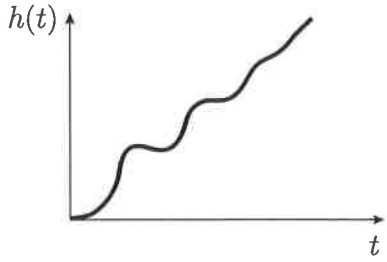
beschreibt ein $\mathrm{PIT_n}$-System in einer für die Klassifizierung geeigneten Standardform. Die Aussage „Es handelt sich um ein System n-ter Ordnung“ ist

- ☒ richtig, da der Koeffizient a_n ungleich null ist.
- ○ richtig, da der Ausgang y durch einen neuen Ausgang y_neu mit $y = \int y_\mathrm{neu}\,\mathrm{d}t$ ersetzt werden kann.
- ○ falsch, da es sich um ein $\mathrm{PDT_n}$-System handelt.
- ○ falsch, da nicht angegeben ist, ob alle Koeffizienten existieren.

D6) (1 Punkt)
Ein System mit der Eigenwertverteilung



kann folgendes Verhalten aufweisen.



Diese Aussage ist

- [ ] richtig, da anhand der Eigenwertverteilung auf ein integrales Systemverhalten geschlossen werden kann.
- [ ] richtig, da das konjugiert komplexe Polpaar gedämpfte Schwingungen beschreibt.
- [ ] falsch, da das Systemverhalten instabil ist.
- [ ] falsch, da der rein reale Eigenwert für das instabile Verhalten verantwortlich ist.
- [x] falsch, da die Eigenwertverteilung kein integrales Systemverhalten beschreibt.
- [ ] richtig, da der rein reale Eigenwert für das integrale Verhalten verantwortlich ist.

1e) (6×1 Punkt, 6 Punkte)
In der Abbildung 1.2 sind die Eigenwerte von vier verschiedenen linearen Systemen ohne Totzeit grafisch dargestellt. In Abbildung 1.3 werden vier gemessene Ausgangsfunktionen wiedergegeben.

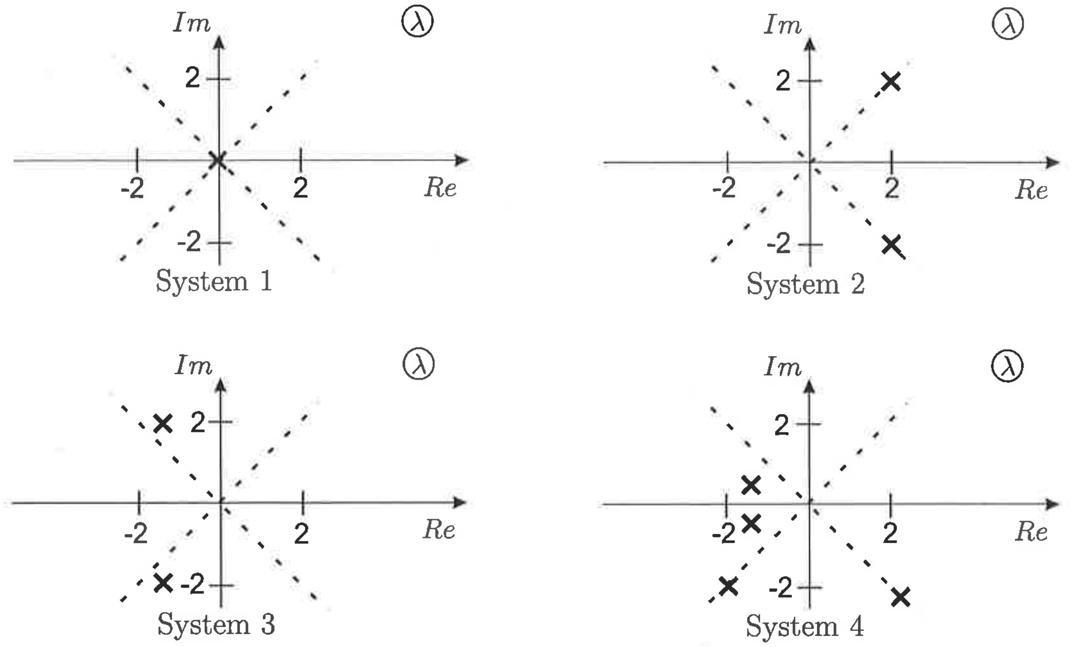


Abbildung 1.2: Eigenwertverteilungen von vier verschiedenen Systemen

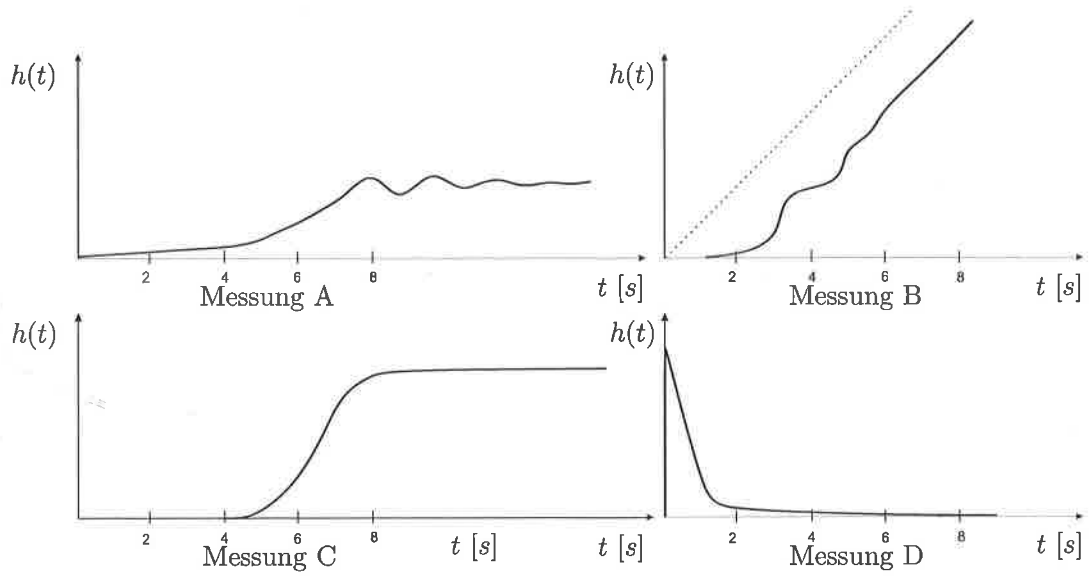


Abbildung 1.3: Ausgangsfunktionen

E1) (1 Punkt)
Die Messung B zeigt ein System mit

- ☐ proportionalem
- ☒ integralem
- ☐ differentiellem
- ☐ chaotischem

Verhalten auf.

E2) (1 Punkt)
Die Messung B weist

- ☒ Totzeitverhalten
- ☐ kein Totzeitverhalten
- ☐ Bounded-Input, Bounded-Output (BIBO) stabiles Verhalten
- ☐ exponentiell instabiles Verhalten

auf.

E3) (1 Punkt)
Die Messung C weist auf ein Systemverhalten

- ☐ ohne Dynamik (dynamische Eigenschaften)
- ☒ mit Dynamik (dynamische Eigenschaften)
- ☐ ohne Totzeit
- ☐ ohne Trägheit

hin.

E4) (1 Punkt)
Bei der Messung D handelt es sich um die Übergangsfunktion eines

- ○ PDT_1-Systems.
- ☒ DT_1-Systems.
- ○ $PIDT_1$-Systems.

E5) (1 Punkt)
Die Messung C entspricht dem Verhalten eines

- ○ IT_1T_t-Systems mit $T_t < 0$.
- ○ IT_2T_t-Systems mit $T_t > 0$.
- ○ PIT_2T_t-Systems mit $T_t < 0$.
- ☒ PT_2T_t-Systems mit $T_t > 0$.

E6) (1 Punkt)
Das aus Messung B hervorgehende Systemverhalten kann durch

- ○ System 1
- ○ System 3
- ☒ Serienschaltung der Systeme 1 und 3 und zusätzliche Totzeit
- ○ Serienschaltung der Systeme 1 und 3
- ○ Parallelschaltung der Systeme 1 und 3 und zusätzliche Totzeit
- ○ Parallelschaltung der Systeme 1 und 3

beschrieben werden.

1f) (4 × 1 Punkt, 4 Punkte)

F1) (1 Punkt)
Welche Aussage ist falsch?

- ○ Die Lage der Eigenwerte in der komplexen Ebene erlaubt eine Aussage über die Stabilität des zugrunde liegenden Systems.
- ○ Die Lage der Eigenwerte in der komplexen Ebene erlaubt eine Aussage über die Dämpfung der Moden des Systems.
- ○ Ein System gilt als stabil, wenn es keine Eigenwerte gibt für die gilt: $\mathrm{Re}\{\lambda_i\} > 0$.
- ○ Ein System gilt als instabil, wenn es Eigenwerte gibt für die gilt: $\mathrm{Re}\{\lambda_i\} > 0$.
- ○ Ein System gilt als grenzstabil, wenn für die Eigenwerte $\mathrm{Re}\{\lambda_i\} \leq 0$ gilt und ein Eigenwert im Ursprung der s-Ebene liegt.
- ☒ E/A-stabile Systeme sind immer zustandsstabil.

F2) (1 Punkt)
Systembeschreibungen der Art

$$\begin{aligned} y &= \tfrac{1}{T_\mathrm{I}} \int u \,\mathrm{d}t \\ T_1 \dot{y} + y &= \tfrac{1}{T_\mathrm{I}} \int u \,\mathrm{d}t \\ \tfrac{1}{\omega_0^2} \ddot{y} + \tfrac{2D}{\omega_0} \dot{y} + y &= \tfrac{1}{T_\mathrm{I}} \int u \,\mathrm{d}t \end{aligned}$$

bilden folgendes Verhalten ab:

- ☒ integrales E/A-Verhalten mit unterschiedlicher Ausgangsdynamik.
- ○ proportionales E/A-Verhalten mit unterschiedlicher Ausgangsdynamik.
- ○ differenzierendes E/A-Verhalten mit unterschiedlicher Ausgangsdynamik.
- ○ integrales E/A-Verhalten mit unterschiedlicher Eingangsdynamik.
- ○ proportionales E/A-Verhalten mit unterschiedlicher Eingangsdynamik.
- ○ differenzierendes E/A-Verhalten mit unterschiedlicher Eingangsdynamik.

F3) (1 Punkt)
Grundsätzlich lassen sich bei der Reglerauslegung die Auslegungsziele hinsichtlich des Führungs- und Störverhaltens unterscheiden. Welche der nachfolgenden Aussagen ist falsch?

- ○ Führungs- und Störverhalten können bei linearen Systemen unabhängig voneinander betrachtet werden, da die jeweiligen Ausgänge überlagert werden.
- ☒ Jeder stabile Regelkreis, der die Forderung nach Sollwertfolge erfüllt, ist auch zur vollständigen Kompensation von Störungen geeignet.
- ○ Bei einer proportionalen Strecke ist ein integraler Regler sowohl zur Verbesserung des Führungsverhaltens als auch des Störverhaltens geeignet.
- ○ Jeder asymptotisch stabile Regelkreis erfüllt die Forderung nach Störkompensation für impulsförmige Störsignale.

F4) (1 Punkt)
Die Vorgehensweise des Ziegler-Nichols Kriteriums bei schwingungsfähigen proportionalen Strecken ist

- ☒ eine experimentelle Einstellstrategie.
- ○ eine auf analytischen Betrachtungen basierte Einstellstrategie zur Bestimmung der besten PID-Reglerparameter.
- ○ eine Strategie, die mit Sicherheit immer die besten Reglerparameter gemäß dem ITAE-Kriterium liefert.
- ○ perfekt.
- ○ komplex.
- ○ eine Strategie, die eine komplexe Interaktion des automatisierten Reglers mit der Regelstrecke erfordert und daher im Zuge von Industrie 4.0 zukunftsfähig ist.
- ○ eine Strategie aus dem Jahr 1942, die auf Grund der zugrunde liegenden Automatisierungsfähigkeit in der Zukunft Arbeitsplätze von Regelungstechnikern wegrationalisieren wird.

In Abbildung 1.4 ist das Blockschaltbild eines Systems, bestehend aus vier Übertragungselementen, mit den Eingängen w und u und dem Ausgang y gegeben.

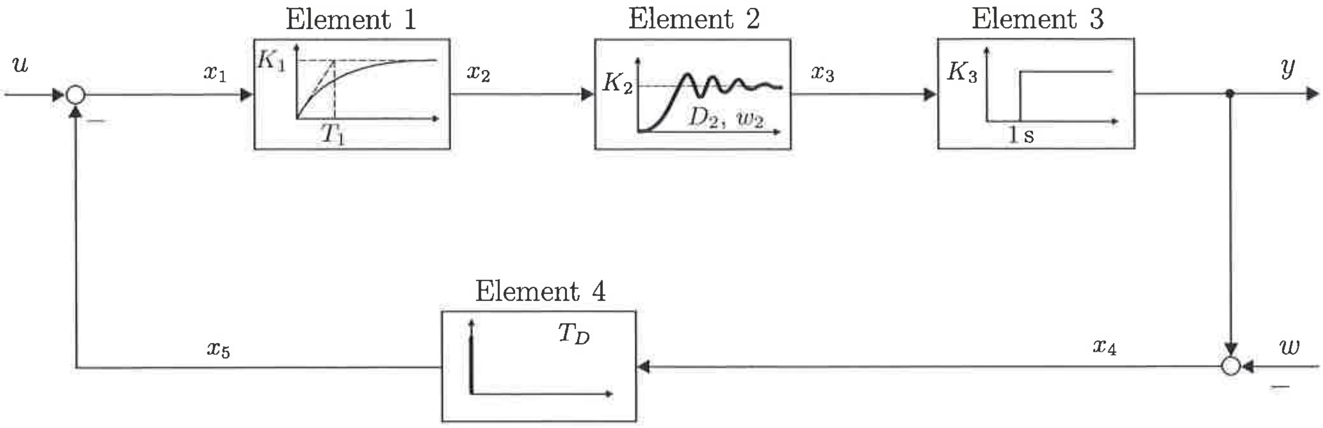


Abbildung 1.4: Blockschaltbild des Systems

1g) (4 Punkte)
Klassifizieren Sie die Übertragungsverhaltensweisen (Typ des Einzelübertragungsverhaltens) der Elemente 1 bis 4 und geben Sie jeweils die entsprechende Differenzialgleichung unter Berücksichtigung der vorgegebenen Bezeichnungen in einer zur Klassifizierung geeigneten Form an.

Element 1: $T_1 \dot{x}_2 + x_2 = K_1 x_1$ (PT1)

Element 2: $\frac{1}{\omega_2^2} \ddot{x}_3 + \frac{2D_2}{\omega_2} \dot{x}_3 + x_3 = K_2 x_2$ (PT2)

Element 3: $y = K_3 x_3 (t - 1s)$ (PT$_t$)

Element 4: $x_5 = T_D \dot{x}_4$ (D)

1h) (2 Punkte)
Bestimmen Sie für die Parameter $T_1 = D_2 = w_2 = T_\mathrm{D} = K_1 = K_2 = K_3 = 1$ die Differenzialgleichung des Gesamtsystems aus Abbildung 1.4 mit w als Eingang und y als Ausgang.

Hinweis: $\mathrm{PT_1T_t}: T_1\dot{y} + y = K_\mathrm{S} \cdot u(t - T_\mathrm{t})$

$$\dot{x}_2 + x_2 = x_1 \qquad (1)$$

$$\ddot{x}_3 + 2\dot{x}_3 + x_3 = x_2 \qquad (2)$$

$$y = x_3(t - 1s) \qquad (3)$$

$$x_5 = \dot{x}_4 \qquad (4)$$

$$x_1 = u - x_5 \qquad (5)$$

$$x_4 = y - w \qquad (6)$$

(2) in (1):

$$\dddot{x}_3 + 3\ddot{x}_3 + 3\dot{x}_3 + x_3 = x_1 \quad (1^*)$$

(6) in (4) und (4) in (5)

$$x_1 = -\dot{y} + \dot{w} \quad (5^*)$$

(3) in (1^*) und (5^*) in (1^*)

$$\dddot{y}(t) + 3\ddot{y}(t) + 3\dot{y}(t) + y(t) = \dot{w}(t-1) - \dot{y}(t-1)$$

$$\Rightarrow \dddot{y}(t) + 3\ddot{y}(t) + 3\dot{y}(t) + y(t) + \dot{y}(t-1) = \dot{w}(t-1)$$

1i) (1 Punkt)
Klassifizieren Sie das Übertragungsverhalten des Gesamtsystems aus Abbildung 1.4 unter Vernachlässigung der Totzeit des Elements 3.

DT_3

$\sum$

Aufgabe 2 (13 Punkte)

a) (7 Punkte)
In Abb. 2.1 ist das Blockschaltbild einer nichtlinearen Regelstrecke dargestellt.

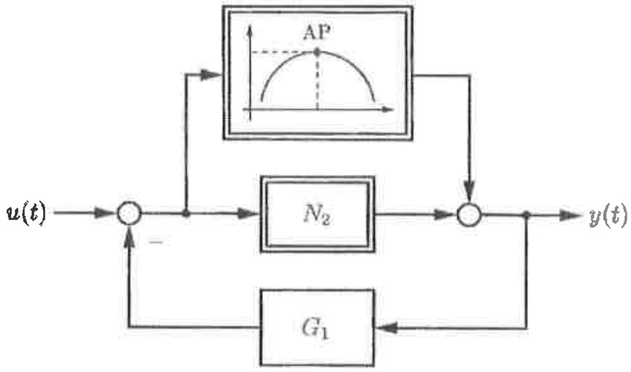


Abbildung 2.1: Nichtlineare Regelstrecke

Die Systemantwort des linearen Teilsystems G_1 auf das Eingangssignal $u_1(t) = t \cdot 1(t)$ lautet $y_1(t) = 2 \cdot 1(t)$. Das nichtlineare Teilsystem N_2 wird durch

$$\ddot{Y}(t)\dot{Y}^2(t) + \dot{Y}(t)\sqrt{Y(t)} - Y(t)U(t) + Y(t) - 6 = 0 \qquad (2.1)$$

beschrieben.

2a) i) (1 Punkt)
Bestimmen Sie die E/A-Beschreibung (Gleichung) des linearen Teilsystems G_1.

$y_1 = 2 \dot{u}_1$

2a) ii) (3 Punkte)
Linearisieren Sie die Gleichung 2.1 um den allgemeinen Arbeitspunkt $(\ddot{Y}_0, \dot{Y}_0, Y_0, U_0)$.

$$\dot{y}_0 \cdot \Delta \ddot{y} + \left(2 \ddot{y}_0 \dot{y}_0 + \sqrt{y_0}\right) \cdot \Delta \dot{y}$$

$$+ \left(\frac{\dot{y}_0}{2\sqrt{y_0}} - U_0 + 1\right) \cdot \Delta y - y_0 \Delta U = 0$$

iii) (3 Punkte)
Bestimmen Sie die E/A-Beschreibung (Gleichung) des linearisierten Teilsystems N_2 für den Arbeitspunkt $\ddot{Y}_0 = 0, \dot{Y}_0 = 1, Y_0 = 4, U_0 = 0,25$. Um welchen Systemtyp handelt es sich?

$\Delta\ddot{y} + 2\Delta\dot{y} + \Delta y = 4\Delta u$ PT_2

2b) (6 Punkte)
Gegeben ist das Blockschaltbild in Abb. 2.2.

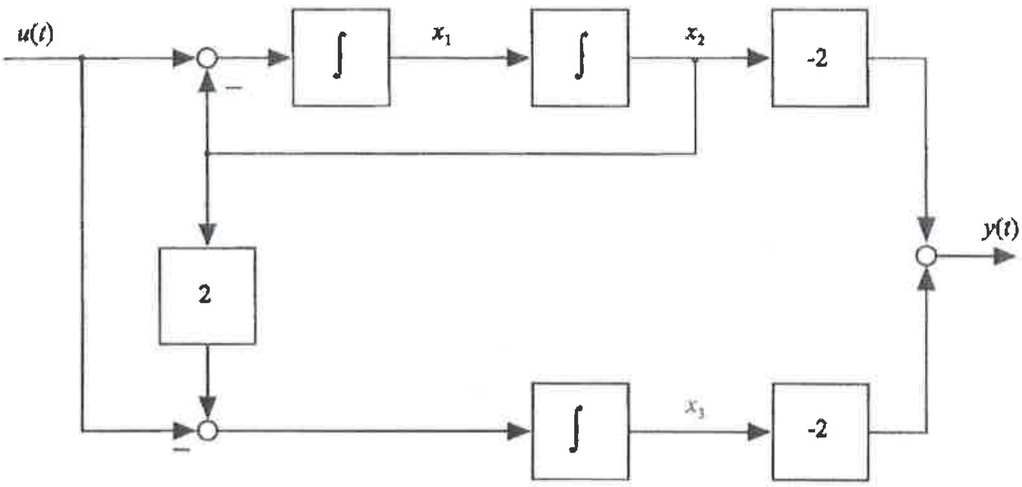


Abbildung 2.2: Blockschaltbild

2b) i) (1 Punkt)
Entscheiden Sie nach Eingangs-, Ausgangs- und Zwischengrößen bzw. ordnen Sie die vorhandenen Variablenbezeichnungen $u(t), y(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ entsprechend zu.

U: Eingangsgröße

y: Ausgangsgröße

x_1, x_2, x_3 : Zwischengröße

2b) ii) (4 Punkte)
Entwickeln Sie aus dem Blockschaltbild die zugeordnete Zustandsraumbeschreibung. Wie lauten die Matrizen A, B, C, wenn der Zustandsvektor $x(t) = \left[x_1(t) \quad x_2(t) \quad x_3(t)\right]^T$ gewählt wird.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}}_{A} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}}_{B} u$$

$$y = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & -2 & -2 \end{bmatrix}}_{C} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

2b) iii) (1 Punkt)
Handelt es sich bei dem angegebenen System um ein SISO, ein MIMO, ein SIMO oder ein MISO System? Begründen Sie Ihre Antwort.

B hat eine Spalte

C hat eine Zeile

$\Rightarrow$ SISO

$\sum$