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	
Aufgabe 3	
Gesamtpunktzahl	
Angepasste Punktzahl	
%	
Bewertung gem. PO in Ziffern	

____

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

____

(Datum und Unterschrift 2. Prüfer, 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!

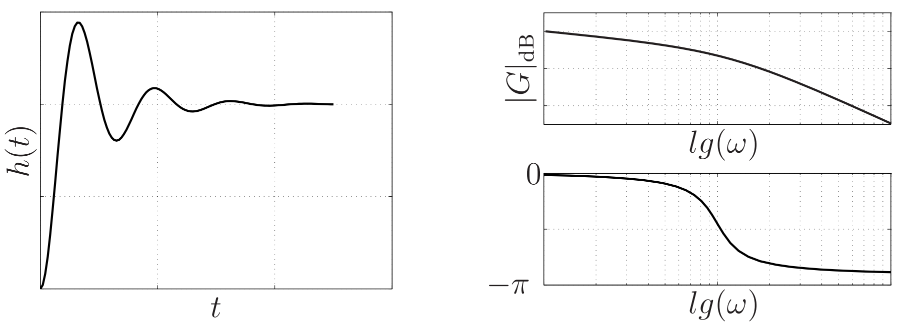
Verwenden Sie KEINE Bleistifte oder roten Stifte für die Beantwortung von Fragen oder für Zeichnungen!
(Rote Stifte werden bei der Korrektur verwendet.)

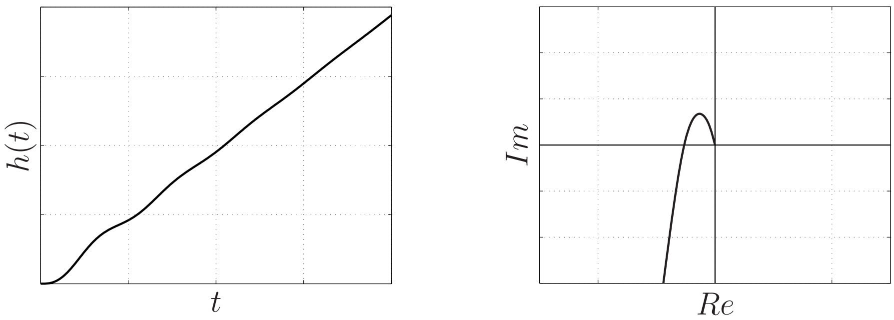
Diese Prüfung lege ich ab als
☐ Pflichtfach
☐ Wahlfach
☐ Auflage
(Bitte EINES ankreuzen).

Maximal erreichbare Punktzahl:	**80**
Mindestprozentzahl für die Note 1,0:	**95%**
Mindestprozentzahl für die Note 4,0:	**50%**

Aufgabe 1 (30 Punkte)

1a) (3 × 5 Punkte, 15 Punkte)
Bestimmen Sie die Unterschiede zwischen Zeit- und Frequenzbereich an Hand der nachstehenden Beschreibungen/Behauptungen. Welche der folgenden Aussagen sind wahr und welche sind falsch? (Alle zugrundeliegenden Zusammenhänge werden im Rahmen der Veranstaltung Regelungstechnik vermittelt.)

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
a.1)	Verzögerungen des Übertragungsverhaltens von Systemen werden im Frequenzbereich durch Pole und sinngemäß im Zeitbereich durch Ableitungen höherer Ordnung der Ausgangsvariablen beschrieben.	$\otimes$	$\bigcirc$
a.2)	Zeitinvariante Vorgänge lassen sich nur im Frequenzbereich exakt simulieren.	$\bigcirc$	$\otimes$
a.3)	Regler mit PIDT_2–Übertragungsverhalten können aufgrund ihrer Komplexität nur im Zeitbereich entworfen werden.	$\bigcirc$	$\otimes$
a.4)	Die Beschreibung eines linearen, zeitinvarianten SISO-Systems lässt sich unabhängig von der Ableitungsordnung auf der Ausgangsseite immer in eine Zustandsraumbeschreibung überführen.	$\otimes$	$\bigcirc$
a.5)	Zwischen der Übertragungsfunktion $G(s)$ und der Gewichtsfunktion $g(t)$ besteht kein mathematischer Zusammenhang.	$\bigcirc$	$\otimes$
b.1)	Folgende Darstellungen beschreiben ein exakt gleiches Übertragungsverhalten: 	$\bigcirc$	$\otimes$

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
b.2)	Folgende Darstellungen beschreiben ein prinzipiell ähnliches Übertragungsverhalten: 	⊗	○
b.3)	Zustandsraumbeschreibungen sind nur im Zeitbereich definiert. Eine Transformation in den Frequenzbereich ist nicht möglich.	○	⊗
b.4)	Mit Hilfe des Anfangs- und Endwertsatzes der Laplacetransformation lassen sich die Grenzwerte des Phasenverhaltens im Frequenzkennliniendiagramm für $\omega \to 0$ bzw. $\omega \to \infty$ bestimmen.	○	⊗
b.5)	Die Laplacetransformierte für $$f(t) = \left[\frac{1}{4}\, t\, sin(2t) + sin(2t) - 2\, t\, cos(2t)\right] \cdot 1(t) \quad \text{ist} \quad F(s) = \frac{s+16}{(s^2+4)^2}.$$	⊗	○
c.1)	An Hand der Pollage lässt sich die E/A-Stabilität eines linearen, zeitinvarianten SISO-Systems bewerten. Da Pole nur im Frequenzbereich definiert sind, ist eine vergleichbare E/A-Stabilitätsbewertung im Zeitbereich nicht möglich.	○	⊗
c.2)	Ein System besitzt die Pole $s_{1,2} = -2 \pm j\omega$, $s_3 = -0.005 \pm j1000\omega$, $s_4 = 10^{-7} \pm j\omega$. Das System ist stabil.	○	⊗
c.3)	Das E/A-Verhalten eines PI-Übertragungselements wird im Frequenzbereich durch die Gleichung $y = K(u + \frac{1}{T_I}\int u\, dt)$ beschrieben.	○	⊗
c.4)	Das System mit der Übertragungsfunktion $G(s) = \dfrac{-2s+1}{1+s+s^2}$ lässt sich im Zeitbereich durch $2\ddot{y} + \dot{y} + y = 2\dot{u} - u$ beschreiben.	○	⊗
c.5)	Die Stabilitätsbetrachtung linearer Systeme ist zwischen Zeit- und Frequenzbereich unterschiedlich, da auf Grund des instationären Charakters instabiler Systeme diese nur im Zeitbereich behandelt werden können.	○	⊗

□

1b) (7 Punkte)
Der nachstehende approximierte Verlauf einer Ortskurve ist zu analysieren.

- Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf des Bodediagramms für den Bereich von $\omega = 0$ bis $\omega = \infty$.
- Handelt es sich bei dem gezeigten System um ein stabiles System (Ja, Nein und Warum)? (Hinweis: Zahl der Pole n = Zahl der Nullstellen q)
- Dem System wird ein Totzeitsystem nachgeschaltet. Zeichnen Sie die Änderung des Verlaufes zusätzlich in das Bodediagramm ein.

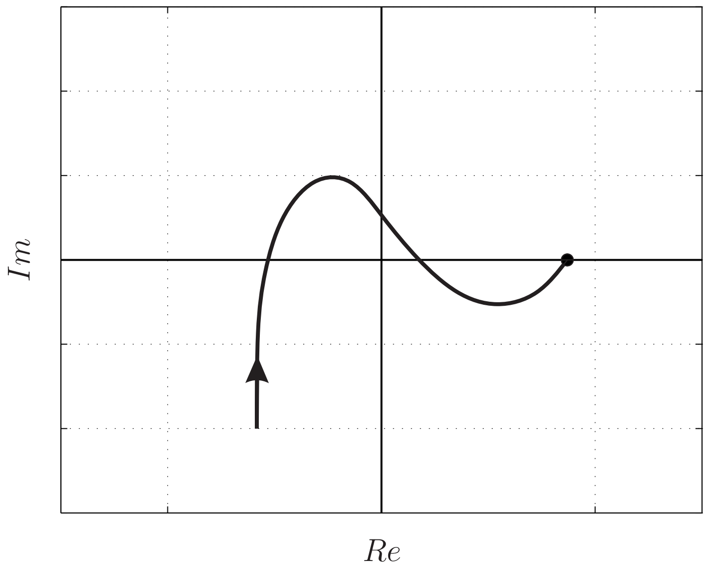


Abbildung 1.1: Ortskurve des Systems

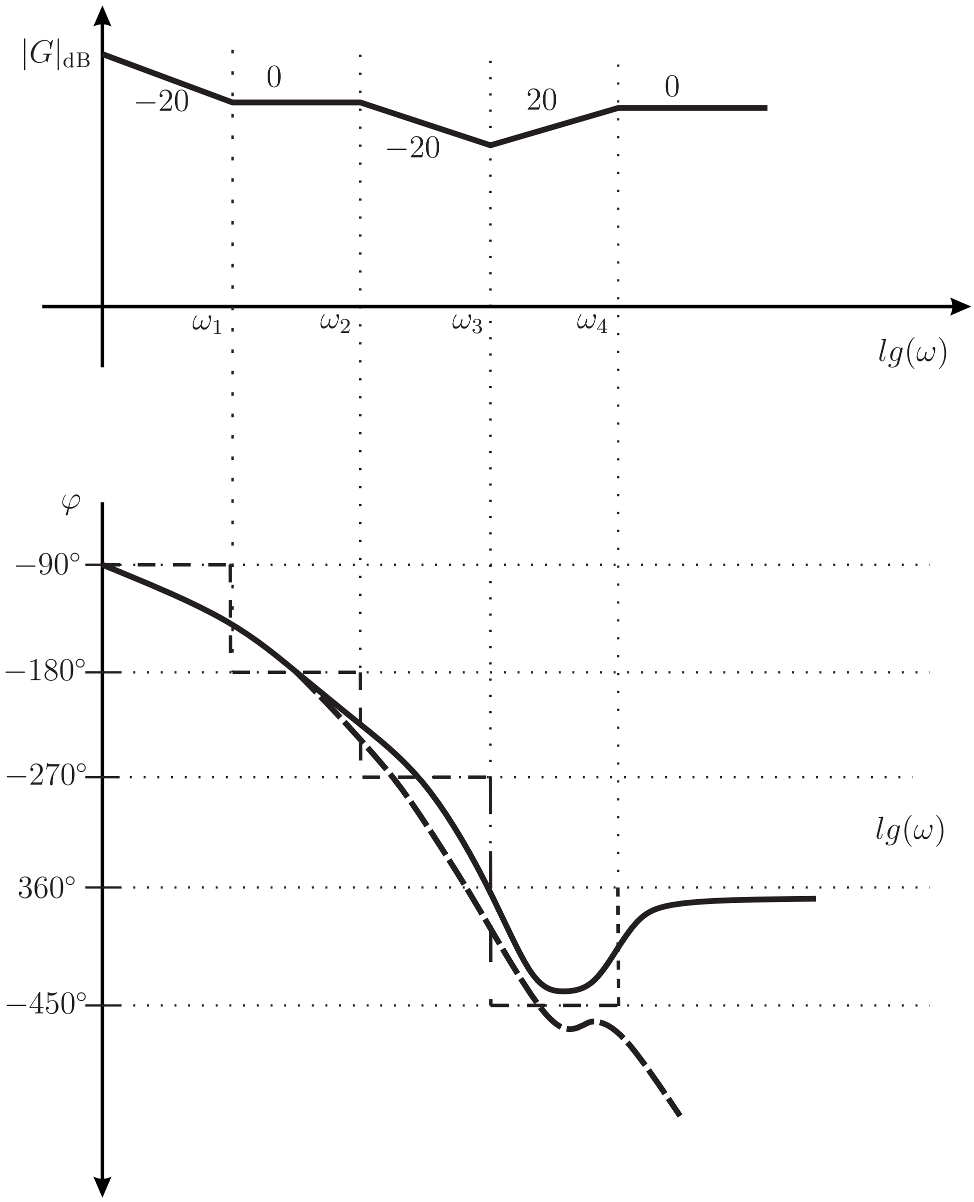


Abbildung 1.2: Bode-Diagramm

Nein, Pol ist positiv.

1c) (8 Punkte)
Gegeben sei die Störübertragungsfunktion eines Standardregelkreises

$$G_{\mathrm{Z}}(s) = \frac{K_{\mathrm{P}}(\tilde{T} - s)}{10s^3 + 5s^2 + \tilde{T}s + 1 + K_{\mathrm{P}}} \text{ mit } K_{\mathrm{P}},\ \tilde{T} > 0.$$

- Bestimmen Sie unter Zuhilfenahme des Hurwitzkriteriums den zulässigen Wertebereich der Reglerverstärkung K_{P} in Abhängigkeit von der Zeitkonstanten $\tilde{T}$, für den der geschlossene Regelkreis instabil wird. Berechnen Sie zunächst die relevanten Hurwitzdeterminanten.
- Nehmen Sie für $G_{\mathrm{Z}}(s)$

$$\tilde{G}_{\mathrm{Z}}(s) = \frac{K_{\mathrm{P}}(5 - s)}{(s+5)(s+3)(s+\tilde{T})} \quad \text{mit} \quad K_{\mathrm{P}}, \tilde{T} > 0 \text{ an.}$$

  Für welche Werte $K_{\mathrm{P}}, \tilde{T} > 0$ ist die Störübertragung asymptotisch stabil.
- Für ein Signal $Z(s) = \frac{a}{s}$ ist die bestmögliche stationäre Störentkopplung im Sinne einer minimalen Verstärkung für $\omega \to \infty$ zu berechnen.

Antwort

- $H_1 = \tilde{T} > 0$
  $H_2 = 5\tilde{T} - 10(1 + K_P) < 0 \Rightarrow K_P > 0.5\tilde{T} - 1$
  $H_3 = 50\tilde{T} - 100(1 + K_P) < 0 \Rightarrow K_P > 0.5\tilde{T} - 1$
- Das System ist für die angegebene Grenzen immer stabil.
- $$F(s) = G_z(s)Z(s)$$

  $$\lim_{s\to 0} sF(s) = \frac{aK_P\tilde{T}}{1 + K_P} = V$$

  $$K_P, \tilde{T} \downarrow \Rightarrow V \to Min.$$

$\Box$

$\sum \Box$

Aufgabe 2 (20 Punkte)

2a) (3 Punkte)
Beurteilen Sie die Aussagen in der nachstehenden Tabelle.

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Totzeitelemente beeinflussen die Phase durch einen zusätzlichen Phasenverzug von $\Delta\varphi_{\mathrm{tot}} = \omega T_{\mathrm{t}}$, mit T_{t} als Totzeit.	⊗	○
2)	Ein System wird durch $$G(s) = \frac{1}{(s+3)(s-4)(s+5)s}$$ beschrieben. Das E/A-Verhalten des Systems ist asymptotisch stabil.	○	⊗
3)	Ein System mit integralem Verhalten soll stationär genau geregelt werden. Für dieses Ziel kann beispielsweise problemlos ein integraler Anteil in die Rückführung integriert werden.	○	⊗

☐

2b) (7 Punkte)

Für den dargestellten hydraulischen Zylinder in Abbildung 2.1 ist die Bewegungsgleichung mit $\dot{y} = \frac{q}{A}$ gegeben.

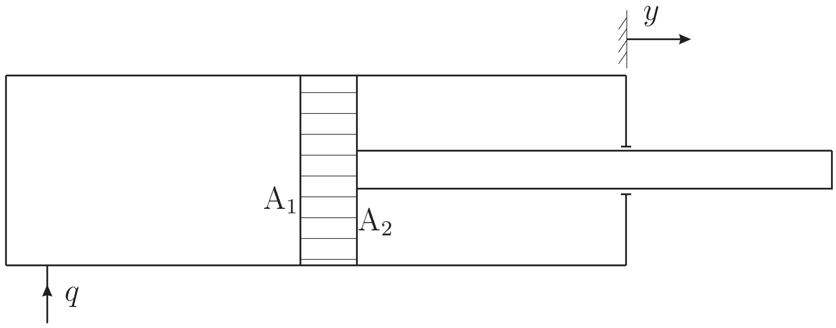


Abbildung 2.1: Modell eines hydraulischen Zylinders

1. Geben Sie die Übertragungsfunktion $G(s) = \dfrac{Y(s)}{Q(s)}$ an.
2. Das Zylindermodell aus 1) soll in Gegenkopplung mit einem:
   a) PIT_1- Regler mit K_R =1, T_1 =1, $T_\mathrm{I} = 1$ und

   b) PT_1- Regler mit K_R =5, T_1 =1

   geregelt werden. Zeichnen Sie die Ortskurven der beiden geregelten Systeme.
3. Kann das Systemverhalten für $T_1 = 2$ in den beiden Fallen instabil werden?

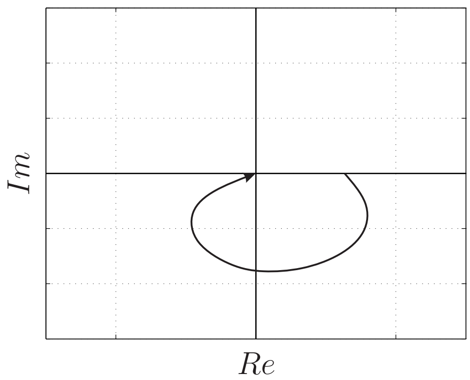
Antwort

1.

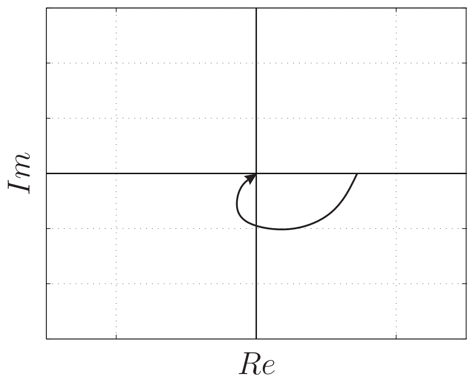
$$G(s) = \frac{1}{As}$$

2. – die Ortskurven der geschlossenen Systems

a)



b)



3. Nein

2c) (4 Punkte)
Ein technisches System wird durch $G_1(s)$ bis $G_6(s)$ beschrieben, wie in Abbildung 2.2 dargestellt.

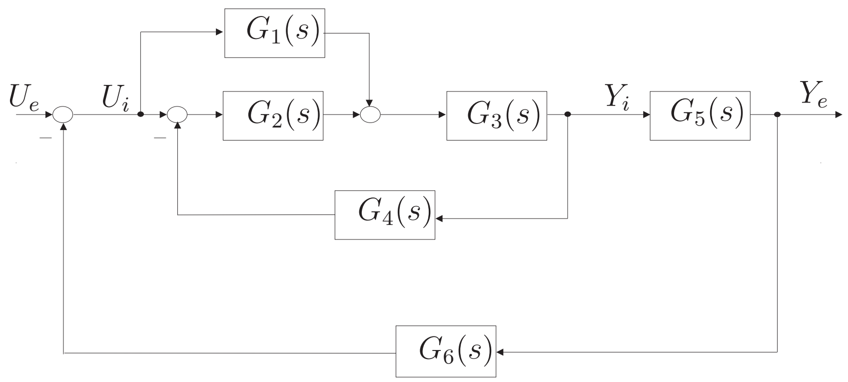


Abbildung 2.2: Blockschaltbild eines technischen Systems

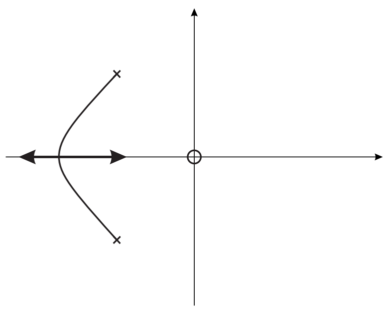
Was kann aus der Darstellung entnommen werden?

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das Gesamtsystem ($U_\mathrm{e} \rightarrow Y_\mathrm{e}$) weist genau eine Rückkopplung auf.	○	⊗
2)	Der geschlossene Regelkreis ist auf Grund der negativen Rückführung stabil.	○	⊗
3)	Auf Grund der komplexen Regelkreisverschaltung ist das System nichtlinear.	○	⊗
4)	Das Element G_6 muss auf Grund der Rückkopplung ein Regler sein.	○	⊗

2d) (6 Punkte)
Ein System mit der Übertragungsfunktion

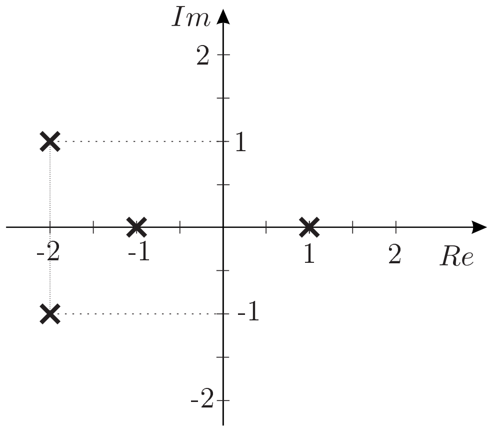
$$G(s) = \frac{K}{s^2 + \tilde{D}s + 1}$$

soll durch einen D-Regler mit der Zeitkonstante T_{D} in Gegenkopplung geregelt werden. Bewerten Sie die Aussagen in der folgenden Tabelle.

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das geregelte System weist eine stationäre Genauigkeitsabweichung für das Führungsverhalten von $e(t \to \infty) = \frac{K}{1+K}$ auf.	○	⊗
2)	Ein integraler Anteil für $G(s)$ führt zu einem stationären Verhalten ohne Genauigkeitsabweichung und perfektem Ausgleich von Störungen.	⊗	○
3)	Mit dem Einstellparameter $\tilde{D}$ der Strecke lässt sich das Schwingungsverhalten des geschlossenen Regelkreises beeinflussen.	⊗	○
4)	Mit dem Reglerparameter T_{D} lässt sich das Schwingungsverhalten des geschlossenen Regelkreises beeinflussen.	⊗	○
5)	Die nachstehende Wurzelortskurve  beschreibt das Stabilitätsverhalten des Systems für $D < 1$.	⊗	○
6)	Für große $\tilde{K} = KT_{\mathrm{D}}$ sinkt die als Stabilitätsreserve definierte Größe $SR = \min \lvert Re\{s_i\}\rvert$ für alle s_i des Systems.	⊗	○

$\sum$

Aufgabe 3 (30 Punkte)
Gegeben sei folgende Pol-/Nullstellenverteilung eines zu regelnden Systems:



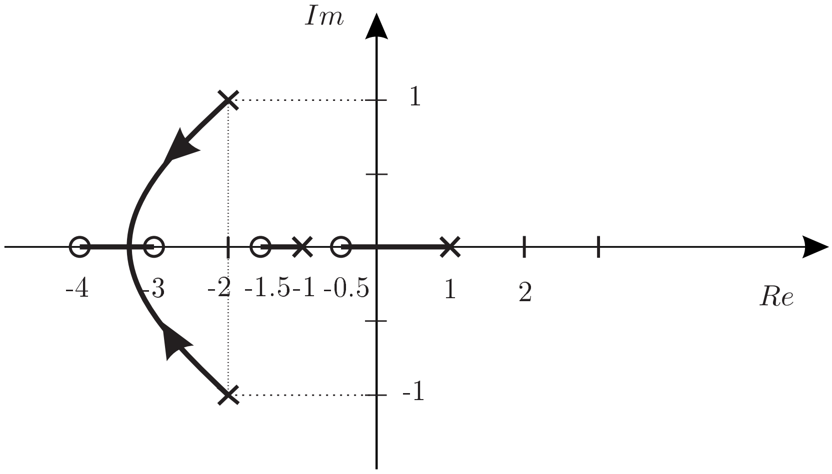
Das System wird zunächst mit einem P-Regler geregelt.

3a) (5 Punkte)

Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das ungeregelte System ist stabil.	○	⊗
2)	Das geregelte System ist für große Reglerverstärkungen instabil.	⊗	○
3)	Ein PD-Regler kann das System für beliebige Verstärkungen stabilisieren.	○	⊗
4)	Ein instabiler PT_1-Regler stabilisiert das System.	○	⊗
5)	Prinzipiell könnte ein Regler der Art $G_R = (s+T)$ mit $T > 0$ das System stabilisieren.	⊗	○

3b) (5 Punkte)

Das System wird durch einen Regler so geregelt, dass sich die folgende Pol-/Nullstellenverteilung des offenen Regelkreis ergibt:

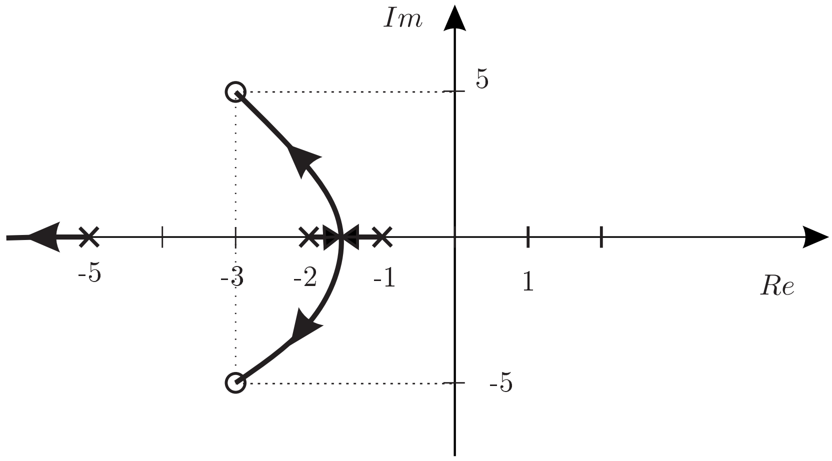


Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Das geregelte System ist für kleine Verstärkungen $\tilde{K}$ asymptotisch stabil.	○	⊗
2)	Das geregelte System weist abhängig von der Verstärkung $\tilde{K}$ keine konjugiert komplexen Pole auf.	⊗	○
3)	Das geregelte System kann asymptotisch stabil sein.	⊗	○
4)	Die für die Regelung verwendete Rückführung besitzt die Struktur $G_{\mathrm{R}} = (s - 0.5)(s - 1.5)(s - 3)$. (Annahme: keine Pol-/Nullstellenkürzung)	○	⊗
5)	Eine Nullstelle bei s_{n} = - 4 verändert grundsätzlich das Gesamtsystemverhalten.	○	⊗

3c) (5 Punkte)

Das System wird durch einen Regler so geregelt, dass sich für den offenen Regelkreis $G_0(s)$

$$G_0 = \frac{(s+3+5j)(s+3-5j)}{(s+1)(s+2)(s+5)} \text{ ergibt.}$$



Nr.	Aufgabe/Frage/Bewertung	Richtig	Falsch
1)	Der offene Regelkreis ist instabil.	○	⊗
2)	Für große $\tilde{K}$ zeigt das geregelte System Schwingungen.	⊗	○
3)	Für große $\tilde{K}$ wird das geregelte System instabil.	○	⊗
4)	Für kleine $\tilde{K}$ sind alle Pole reell.	⊗	○
5)	Es existiert kein kritischer Punkt.	⊗	○

□

3d) (15 Punkte)

Für einen Wahrnehmungstest wird ein Versuch definiert, bei dem die Versuchspersonen mit einer Reaktionzeit T_{t1} physiologisch und mit einer Bedenkzeit T_{t2} kognitiv reagieren. Beide Zeiten zusammen werden als Reaktionzeit T_{t} in einem Totzeitsystem aufgefasst.
Nach erfolgter Wahrnehmung reagiert die Person wie ein PT_1-System als $G_{\mathrm{p}}(s) = \dfrac{K}{1 + T_{\mathrm{p}}s}$.

a) Geben Sie die Übertragungsfunktion für die Reihenschaltung der Gesamtverzögerung mit T_t und des Übertragungssystem $G_{\mathrm{p}}(s)$ an.
Skizzieren Sie die Ortskurve für:

1. $G_{\mathrm{p}}(s)$ mit $K = 5$, $T_{\mathrm{p}} = 0.5$ sec. (einzeln),
2. das Totzeitsystem mit $T_{\mathrm{t}} = 5$ sec. (einzeln) sowie
3. die Reihenschaltung beider Übertragungssysteme.

Geben Sie hierbei jeweils die Werte für $|G(j\omega)|$, $\omega = 0$ sowie $\omega = \infty$ an.

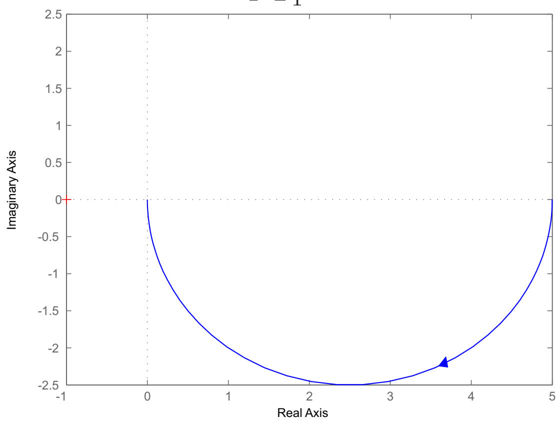
b) Wie lauten die konkreten Bedingungen für die Stabilitätsgrenze nach dem vereinfachten Nyquistkriterium?
Gegeben sind $T_{\mathrm{p}} = 0.5$ sec und $T_{\mathrm{t}} = 5$ sec. Geben Sie die konkreten, parameterisierten Bestimmungsgleichungen an.

Antwort

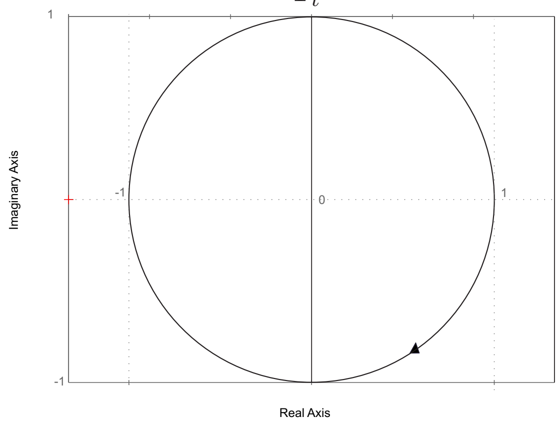
a) die Übertragungsfunktion

$$G(s) = e^{-5s} \frac{5}{1 + 0.5s}$$

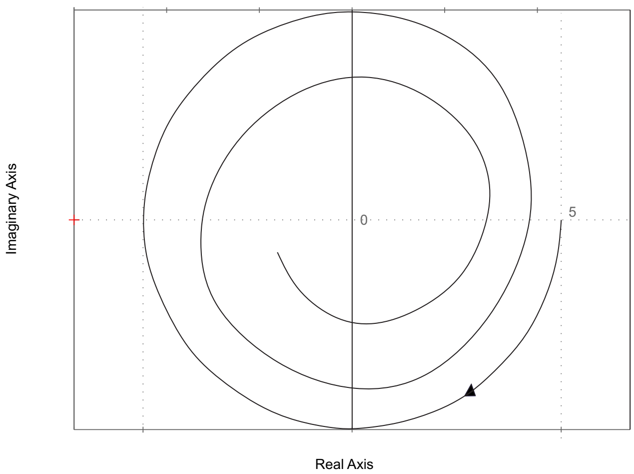
PT_1



T_t



$\mathrm{PT}_1\mathrm{T}_t$



b)

$$|G(j\omega)| = \frac{5}{\sqrt{1 + 0.5^2\omega^2}} = 1$$

$$arg(G(j\omega)) = -\omega 5 - tan^{-1} 0.5\omega = -\Pi$$