

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 **dann** 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.	

Angaben zum Studiengang

<input type="checkbox"/> MB	<input type="checkbox"/> DPO	<input type="checkbox"/> Einzelprüfung Schiffstechnik <input type="checkbox"/> Einzelprüfung Regelungstechnik <input type="checkbox"/> Fachprüfung Regelungstechnik/Mechatronik
	<input type="checkbox"/> Bachelor	<input type="checkbox"/> PO 04 <input type="checkbox"/> PO 08
<input type="checkbox"/> WI Bachelor	<input type="checkbox"/> PO 04 <input type="checkbox"/> PO 08	
<input type="checkbox"/> Weitere (WI Master; Auflage; Angewandte Materialt.; etc.)		

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.

Duisburg, den _____
(Unterschrift der/des Studierenden)

Falls Klausurunterlagen vorzeitig abgegeben: _____Uhr

Hinweise

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

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

Bewertungstabelle

Aufgabe 1	
Aufgabe 2	
Aufgabe 3	
Aufgabe 4	
Aufgabe 5	
Gesamtpunktzahl	
Angehobene Punktzahl	
%	
Bewertung gem. PO in Ziffern	

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

(Datum und Unterschrift 2. Prüfer, PD Dr.-Ing. Wend)

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

Fachnote gemäß Prüfungsordnung:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
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: _____

Aufgabe 1 (12 Punkte)

a) (3 Punkte)

Was ist ein System? Was ist ein Modell?



b) (3 Punkte)

Wozu dient die theoretische Modellbildung technischer Systeme?



c) (3 Punkte)

Auf der Eingangsseite eines Systems liegt ein harmonisches Eingangssignal mit der Amplitude $A = 1$ und der Frequenz $\omega = 5$ an. Auf der Ausgangsseite wird im stationären Zustand ein harmonisches Ausgangssignal mit der Amplitude $A = 5$ und der Frequenz $\omega = 5$ beobachtet. Warum ist das System stabil?



d) (3 Punkte)

Auf der Eingangsseite eines Systems liegt ein Signal $u(t) = 1(t)$ an. Auf der Ausgangsseite wird im stationären Zustand ein harmonisches Ausgangssignal mit der Amplitude $A = 5$ und der Frequenz $\omega = 5$ beobachtet. Warum ist das System nicht asymptotisch stabil?



Aufgabe 2 (25 Punkte)

Gegeben ist das Blockschaltbild eines Systems, bestehend aus sechs Übertragungselementen, mit u als Eingang und y als Ausgang (siehe Abbildung 2.1).

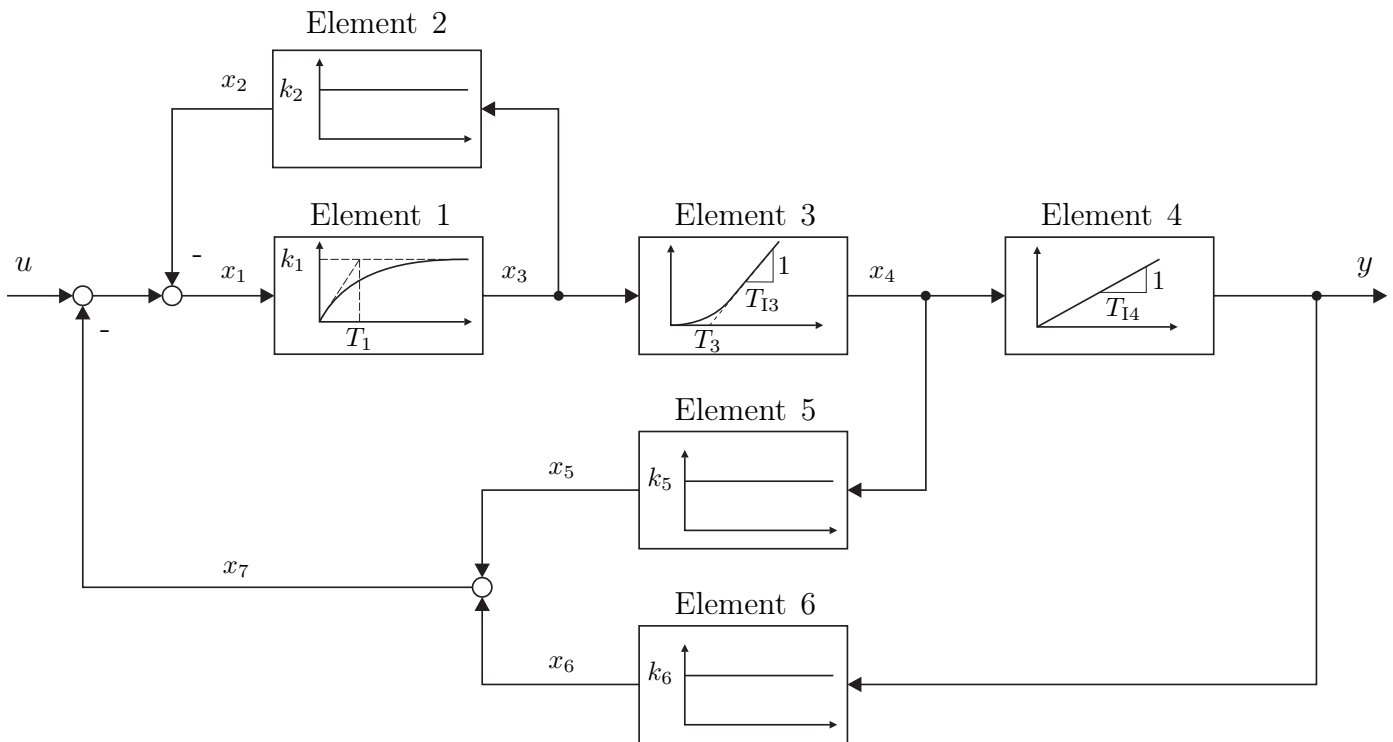


Abbildung 2.1: Blockschaltbild des Systems

a) (4 Punkte)

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





b) (4 Punkte)

Bestimmen Sie für die Parameter $T_1 = T_3 = T_{13} = T_{14} = k_1 = k_2 = k_5 = k_6 = 1$ die Differenzialgleichung des Gesamtsystems mit u als Eingang und y als Ausgang aus Abbildung 2.1.

Welches Übertragungsverhalten weist das Gesamtsystem auf?



Das mathematische Modell eines mechanischen Systems (siehe Abbildung 2.2) wird durch die Gleichungen

$$m\ddot{x}_2 = -F_c - F_d,$$

$$F_c = c(x_2 - x_1) \text{ und}$$

$$F_d = d\dot{x}_2$$

beschrieben, wobei

$x_{1,2}$: Position,

$\dot{x}_{1,2}$: Geschwindigkeit,

F_c : Federkraft,

F_d : Dämpferkraft,

c : Federkonstante,

d : Dämpferkonstante und

m : Masse

bezeichnen.

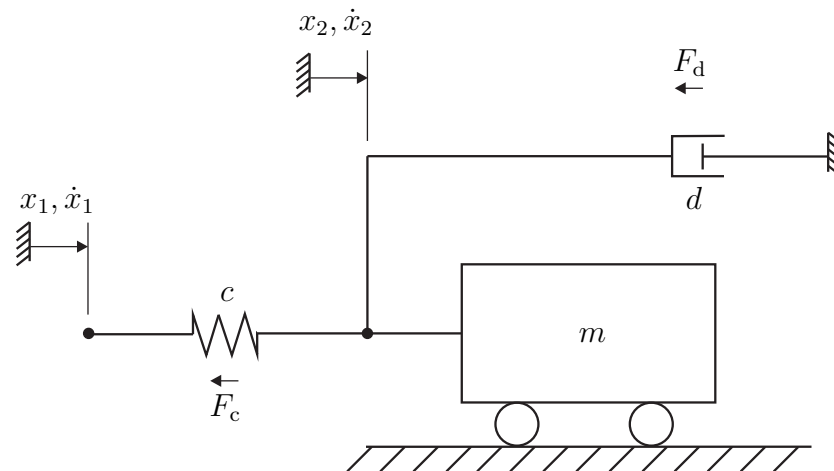


Abbildung 2.2: Modell eines mechanischen Systems

c) (3 Punkte)

Geben Sie die Zustandsraumdarstellung des Systems an, wobei Sie $x = [\dot{x}_2 \quad F_c]^T$ als Zustandsvektor, \dot{x}_1 als Eingangsgröße und \dot{x}_2 als Ausgangsgröße verwenden.



d) (6 Punkte)

Klassifizieren Sie das Übertragungsverhalten zwischen Eingangsgröße x_1 und Ausgangsgröße x_2 . Kann das System Schwingungen aufweisen ($D < \frac{\sqrt{2}}{2}$)? Begründen Sie Ihre Antwort an Hand einer Ungleichung, die nur von den Parametern c , d und m abhängt.



e) (3 Punkte)

Die Systemmatrix eines dynamischen Systems wird durch

$$A = \begin{bmatrix} -2 & k_1 & 3 \\ 0 & k_2 & 2 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

beschrieben.

Bestimmen Sie das charakteristische Polynom $p(\lambda)$ des Systems. Für welche Werte der Parameter k_1 und k_2 ist das System asymptotisch stabil? Verwenden Sie zur Berechnung das Hurwitz-Kriterium.



Aufgabe 3 (15 Punkte)

a) (3 Punkte)

Ein Übertragungssystem weist ein PIT_1 -Übertragungsverhalten mit den Parametern K, T_1, T_I auf. Wie lauten der Anfangs- und der Endwert der Übergangsfunktion?



b) (2 Punkte)

Ein System weist die Pole $-4 \pm j4$ sowie $-2 \pm j1$ auf. Welche Dämpfungen weisen die Polpaare auf (Vereinfachen Sie Ihr Ergebnis soweit wie möglich)?



c) (2 Punkte)

Die in Abbildung 3.1 Wurzelortskurve (mit angegebener Pol-Nullstellenverteilung) eines mit negativer Rückführung gegebenen offenen Regelkreises soll hinsichtlich des resultierenden Regelungsverhaltens des geschlossenen Kreises bewertet werden.

Für welches \tilde{K} der Wurzelortskurvenverstärkung weist der geschlossene Regelkreis das beste Verhalten hinsichtlich Stabilität, Robustheit und größter Dämpfung auf ($\tilde{K} = 0$, kleine \tilde{K} , große \tilde{K})?

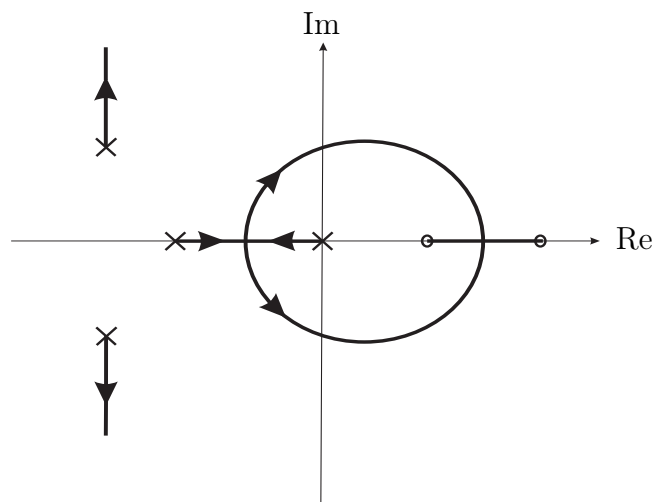


Abbildung 3.1: Wurzelortskurve



d) (3 Punkte)

Zeichnen Sie den Amplituden- sowie den Phasenrand in der durch Abbildung 3.2 gegebenen Ortskurve eines offenen Regelkreises ein. Welche konkreten Zahlenwerte für den Amplituden- und Phasenrand ergeben sich? Ist der geschlossene Regelkreis des in Abbildung 3.2 angegebenen offenen Regelkreises asymptotisch stabil, stabil oder instabil? Begründen Sie Ihre Antwort.

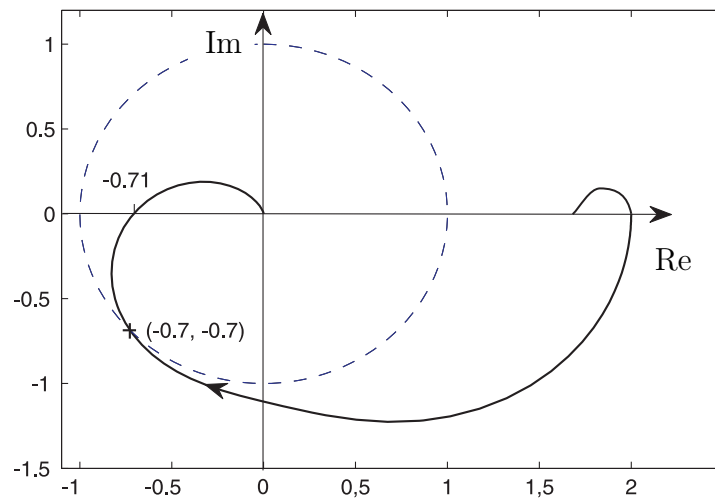


Abbildung 3.2: Ortskurve



Ein Übertragungssystem mit PIT_1 -Verhalten wird mit einem Übertragungselement mit P-Verhalten als Regler in Gegenkopplung geschaltet ($T_1, T_I, K_1, K_p > 0$).

e) (5 Punkte)

Kann das geregelte Gesamtsystem asymptotisch stabiles Verhalten aufweisen? Begründen Sie Ihre Antwort an Hand qualitativ gezeichneter Wurzelortskurven.



Aufgabe 4 (12 Punkte)

Der in Abbildung 4.1 dargestellte Regelkreis besteht aus einem Regler $G_R(s)$, einer Strecke $G_S(s)$ und einem Übertragungselement $G_M(s)$, das die dynamischen Eigenschaften des Messglieds beschreibt.

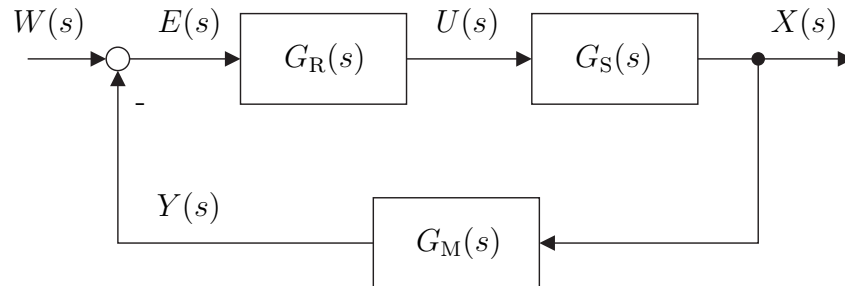


Abbildung 4.1: Blockschaltbild des Systems

Das Übertragungsverhalten der Strecke $G_S(s)$ wird durch die Differentialgleichung

$$\ddot{x}(t) + 2\dot{x}(t) + 3x(t) = 2u(t) \text{ mit } \dot{x}(0) = x(0) = 0$$

beschrieben. Das Übertragungsverhalten des Übertragungselements $G_M(s)$ wird durch die Differentialgleichung

$$y(t) + 2\dot{y}(t) = x(t) \text{ mit } \dot{y}(0) = y(0) = 0$$

beschrieben.

a) (2 Punkte)

Bestimmen Sie die Übertragungsfunktionen für die Strecke $G_S(s) = \frac{X(s)}{U(s)}$ und für das Übertragungselement $G_M(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$.



b) (2 Punkte)

Bestimmen Sie die Führungsübertragungsfunktion $G_W(s) = \frac{X(s)}{W(s)}$ mit

$$G_R(s) = K_P, \quad G_M(s) = \frac{2}{s+2} \quad \text{und} \quad G_S(s) = \frac{1}{s^2 + 3s + 1}.$$



Nehmen Sie für die Teilaufgaben c) und d) die folgende Führungsübertragungsfunktion eines Standardregelkreises

$$G_W(s) = \frac{4K_P(1+s)}{s^3 + 2s^2 + \tilde{T}s + 4 + K_P}$$

mit $\tilde{T} > 0$ an.

c) (4 Punkte)

Bestimmen Sie unter Zuhilfenahme des Hurwitz-Kriteriums den zulässigen Wertebereich der Reglerverstärkung K_P in Abhängigkeit der Zeitkonstanten \tilde{T} , für den der geschlossene Regelkreis asymptotisch stabil ist.



d) (3 Punkte)

Bestimmen Sie den stationären Endwert der Sprungantwort $h(t \rightarrow \infty)$ des geschlossenen Regelkreises und die bleibende Regelabweichung bei einer Reglerverstärkung von $K_P = 1$ und einer Zeitkonstanten $\tilde{T} = 5$.



Für die Teilaufgabe e) gelten

$$G_R(s) = K \text{ und } G_S(s) = \frac{s}{(s-1)(s-4)}.$$

e) (1 Punkt)

Ist der offene Regelkreis $G_O(s)$ stabil? Begründen Sie Ihre Antwort.



Aufgabe 5 (21 Punkte)Eine Regelstrecke $G_S(s)$

$$G_S(s) = \frac{200}{(s+20)(s^2+0,4s+1)} e^{-0,003s}$$

wird mit einem Regler G_{R1}

$$G_{R1}(s) = 10(s-0,1)$$

geregelt.

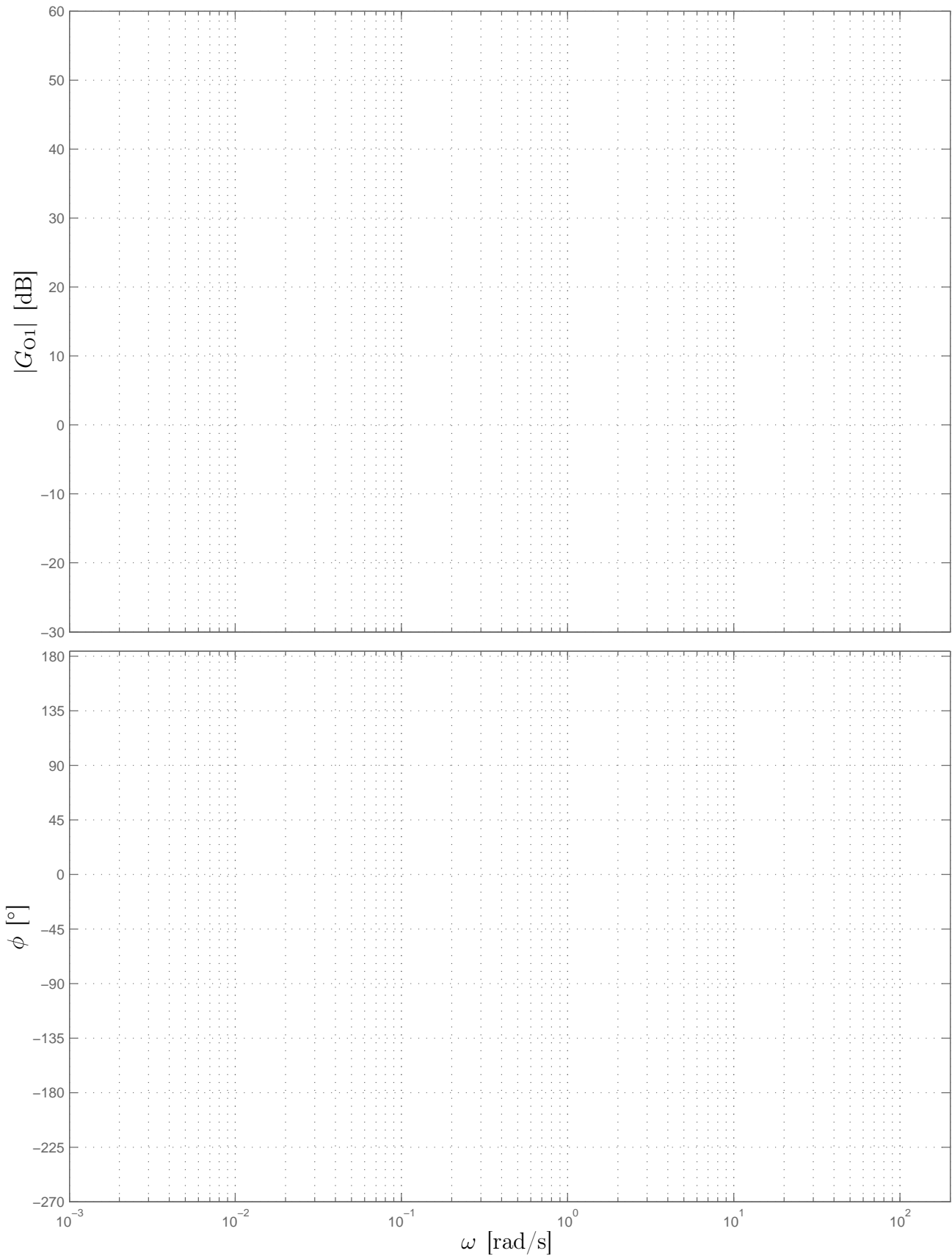
a) (1 Punkt)

Bestimmen Sie die Phasenwerte des Reglers $G_{R1}(j\omega)$ für $\omega = 0$ und $\omega = +\infty$.

b) (6 Punkte)

Zeichnen Sie quantitativ das Bode-Diagramm des offenen Regelkreises $G_{O1}(s)$ und kennzeichnen Sie die Steigungen (dB/Dek.) im Amplitudengang und die Eckfrequenzen.

Bode-Diagramm



Bei Vernachlässigung der Totzeit ergibt sich für die Strecke die Übertragungsfunktion

$$G_{S1}(s) = \frac{200}{(s + 20)(s^2 + 0,4s + 1)}.$$

c) (5 Punkte)

Bestimmen Sie an Hand der entsprechenden Ortskurven, ob der Regler G_{R1} die Regelstrecke mit negativer Rückführung stabilisieren kann. Wenn nicht, bestimmen Sie die Anzahl der instabilen Pole des geschlossenen Regelkreises.



d) (9 Punkte)

Die Übertragungsfunktion eines offenen Regelkreises G_{O3}

$$G_{O3} = \frac{6 - s}{(1 + s)(2 + s)}$$

ist zu betrachten. Bestimmen Sie rechnerisch die Phasendurchtrittsfrequenz ω_c , die Amplitudendurchtrittsfrequenz ω_s sowie den Amplitudenrand A_R .

