

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 10

Bearbeitungszeit: 120 Min

Modalitäten

- Es sind **keine Hilfsmittel** zugelassen.
- Bitte schreiben Sie mit dokumentenechtem Schreibgerät (Tinte oder Kugelschreiber).
- Zur Lösung der Aufgaben ist der freie Platz¹ nach den jeweiligen Aufgaben vorgesehen; bei Bedarf werden Ihnen weitere Lösungsblätter ausgehändigt.
- Für alle Berechnungen sind die **Lösungswege** darzustellen. Die alleinige Angabe eines Ergebnisses wird als Lösung nicht bewertet.

Aufgabe 1

10 Punkte

Gegeben ist die nichtlineare Differentialgleichung

$$\ddot{y}(t) + 2\sqrt{\dot{y}(t) + 1} + y(t) = \ddot{u}^2(t) - e^{\dot{u}(t)} + u(t)$$

- Bestimmen Sie die stationären Lösungen (u^*, y^*) der Differentialgleichung!
- Linearisieren Sie das System am Betriebspunkt $(u^*, y^*) = (3, 0)$!
- Geben Sie die Übertragungsfunktion der linearisierten Ein-/Ausgangsdarstellung an!

Aufgabe 2

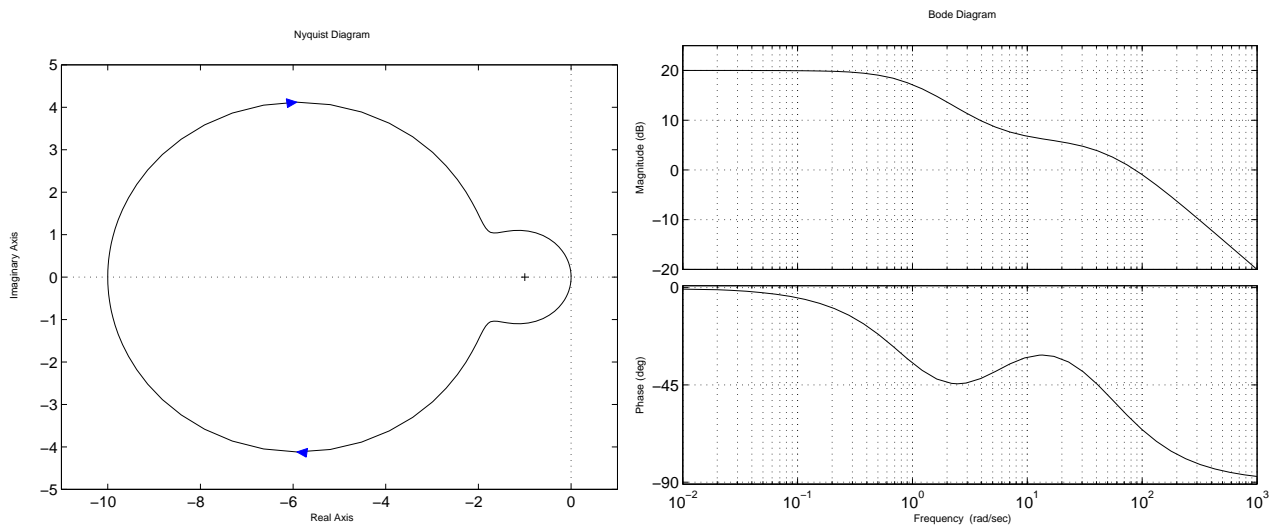
21 Punkte

Abbildung 1 auf Seite 2 enthält die Darstellung der Ortskurve $G(j\omega)$ der Regelstrecke $G(s)$ und mehrere Bode-Diagramme. Der Pfeil an der Ortskurve zeigt in Richtung wachsender Frequenz.

- Wählen Sie das zur Ortskurve in Abb. 1(a) korrespondierende Bode-Diagramm aus und begründen Sie Ihre Auswahl!
- Betrachten Sie das von Ihnen gewählte Bode-Diagramm! Zeichnen Sie die Asymptoten und Knickfrequenzen des Betragsfrequenzgangs ein und geben Sie an, in welcher Halbebene die Pol- und Nullstellen liegen!
Hinweis: Sie brauchen die Werte der Knickfrequenzen nicht zu bestimmen.
- Warum ist die offene Kette mit dem Regler $C(s) = K$, $K > 0$ nicht vom einfachen Typ?
- Die Regelstrecke $G(s)$ werde mit dem Regler $C(s) = K$ im Standardregelkreis betrieben. Welche stetige Winkeländerung hat die Ortskurve $1 + L(j\omega)$ für $\omega = -\infty$ bis $\omega = \infty$, wenn $K = 1$ ist und $L(s)$ die Übertragungsfunktion der offenen Kette bezeichnet?
Für welche $K > 0$ ist das Führungsverhalten BIBO-stabil?

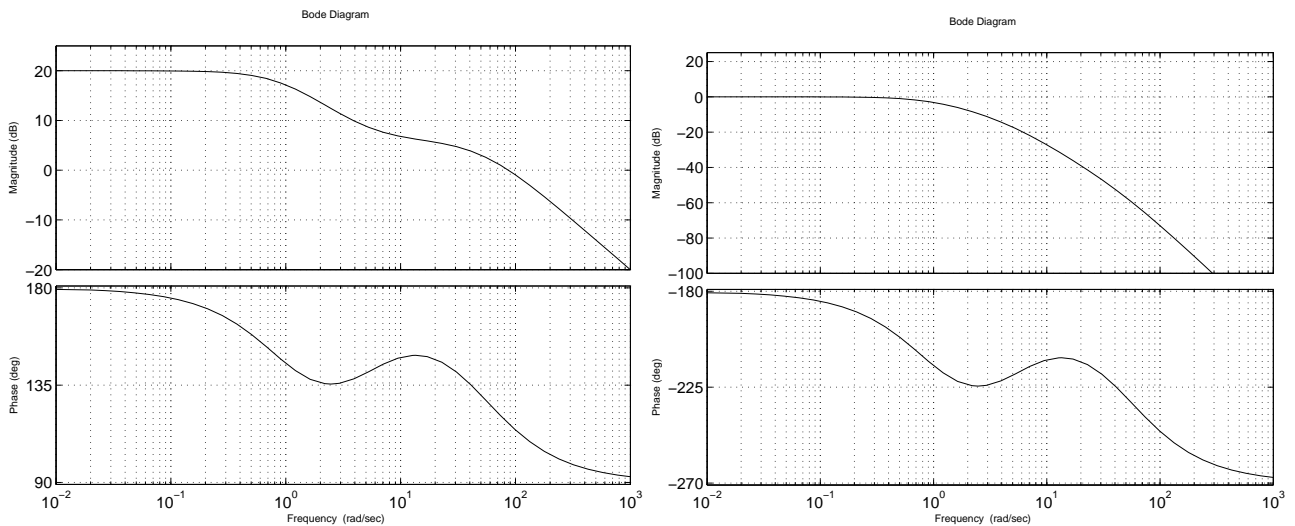
¹In dieser Übungsklausur ist der freie Platz nicht enthalten.

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 10



(a) Nyquist-Ortskurve einer Regelstrecke $G(s)$

(b) Bode-Diagramm 1



(c) Bode-Diagramm 2

(d) Bode-Diagramm 3

Abbildung 1: Nyquist-Ortskurve und Bode-Diagramme zur Aufgabe 2

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 10

Aufgabe 3

22 Punkte

Gegeben ist der Regelkreis in Abbildung 2 mit Regler $C(s)$ und den Teilübertragungsfunktionen $G_1(s), G_2(s)$ der Strecke mit:

$$G_1(s) = \frac{1}{s+3}, \quad G_2(s) = \frac{1}{s} \quad \text{und} \quad C(s) = \frac{3s+1}{s}.$$

dargestellt. Zwischen den Streckenteilen $G_1(s)$ und $G_2(s)$ wirkt die Störung $D(s)$.

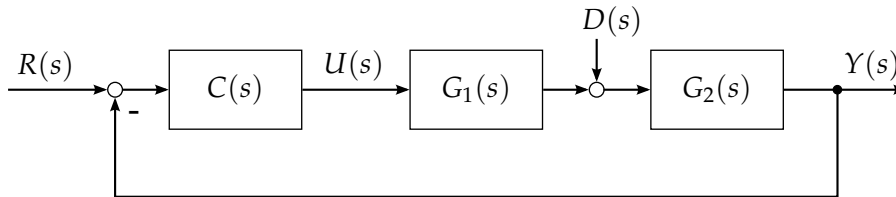


Abbildung 2: Regelkreisstruktur

- Bestimmen Sie das Störverhalten $\frac{Y(s)}{D(s)}$ und prüfen Sie es auf BIBO-Stabilität!
- Welcher stationäre Regelfehler ergibt sich aufgrund einer sprungförmigen Störung $D(s)$? Nehmen Sie hierbei an, dass gilt: $R(s) = 0$.
- Der Regler sei nun allgemein mit $\tilde{C}(s) = \frac{P(s)}{s^\rho Q(s)}$ mit $P(0), Q(0) \neq 0, \rho \in \mathbb{Z}$ angesetzt.

Wie groß muss ρ mindestens gewählt werden, damit eine rampenförmige Störung $D(s) = \frac{1}{s^2}$ für $t \rightarrow \infty$ vollständig unterdrückt wird?

Nehmen Sie dabei an, dass der geschlossene Kreis intern stabil ist!

Aufgabe 4

30 Punkte

Gegeben ist der Standardregelkreis mit der Regelstrecke mit Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(s+4)}.$$

- Skizzieren Sie das Bode-Diagramm der offenen Kette mit einem PI-Regler $C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{K_i}{s}\right)$ mit $K_i = 20, K_p = 6$!
- Zeigen Sie, dass die offene Kette für den PI-Regler mit $K_p K_i > 0$ vom einfachen Typ ist!
- Entwerfen Sie einen PI-Regler in Zeitkonstantenform, so dass die Führungssprungantwort des geschlossenen Kreises eine Anstiegszeit von $t_r = 1,5$ s, eine Überschwingweite von $M_p = 10\%$ und einen stationären Regelfehler von $e_\infty = 0$ aufweist!

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 10

$\phi [^\circ]$	$\phi [rad]$	$\tan(\phi)$
$\approx 14^\circ$		$\frac{1}{4}$
$\approx 20^\circ$		$\frac{1}{3}$
$\approx 25^\circ$		$\frac{1}{2}$
30°	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
45°	$\frac{\pi}{4}$	1
60°	$\frac{\pi}{3}$	$\sqrt{3} \approx \frac{5}{3}$

Tabelle 1: Wertetabelle der Tangensfunktion

Aufgabe 5

20 Punkte

Für die Strecke mit der Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{1}{(s-1)^2}$$

im Standardregelkreis soll ein Polvorgaberegler der Form $C(s) = \frac{P(s)}{Q(s)}$ so entworfen werden, daß

$$Q_T(s) = (s + \alpha)^3 \quad \text{mit } \alpha > 0$$

das Nennerpolynom der Führungsübertragungsfunktion ist.

- Geben Sie die minimal nötige Reglerordnung n_C an, die zur Lösung des Problems notwendig ist!
- Bestimmen Sie für diesen Fall die Reglerpolynome $P(s)$ und $Q(s)$ in Abhängigkeit des Parameters α !
- Wie lautet das Zählerpolynom $P_T(s)$ der resultierenden Führungsübertragungsfunktion $T(s)$?
- Bestimmen Sie die Nullstellen von $P_T(s)$ für den Fall $\alpha = 1$ und $\alpha = 3$. Welcher Unterschied ist bei der Führungssprungantwort zu erwarten?

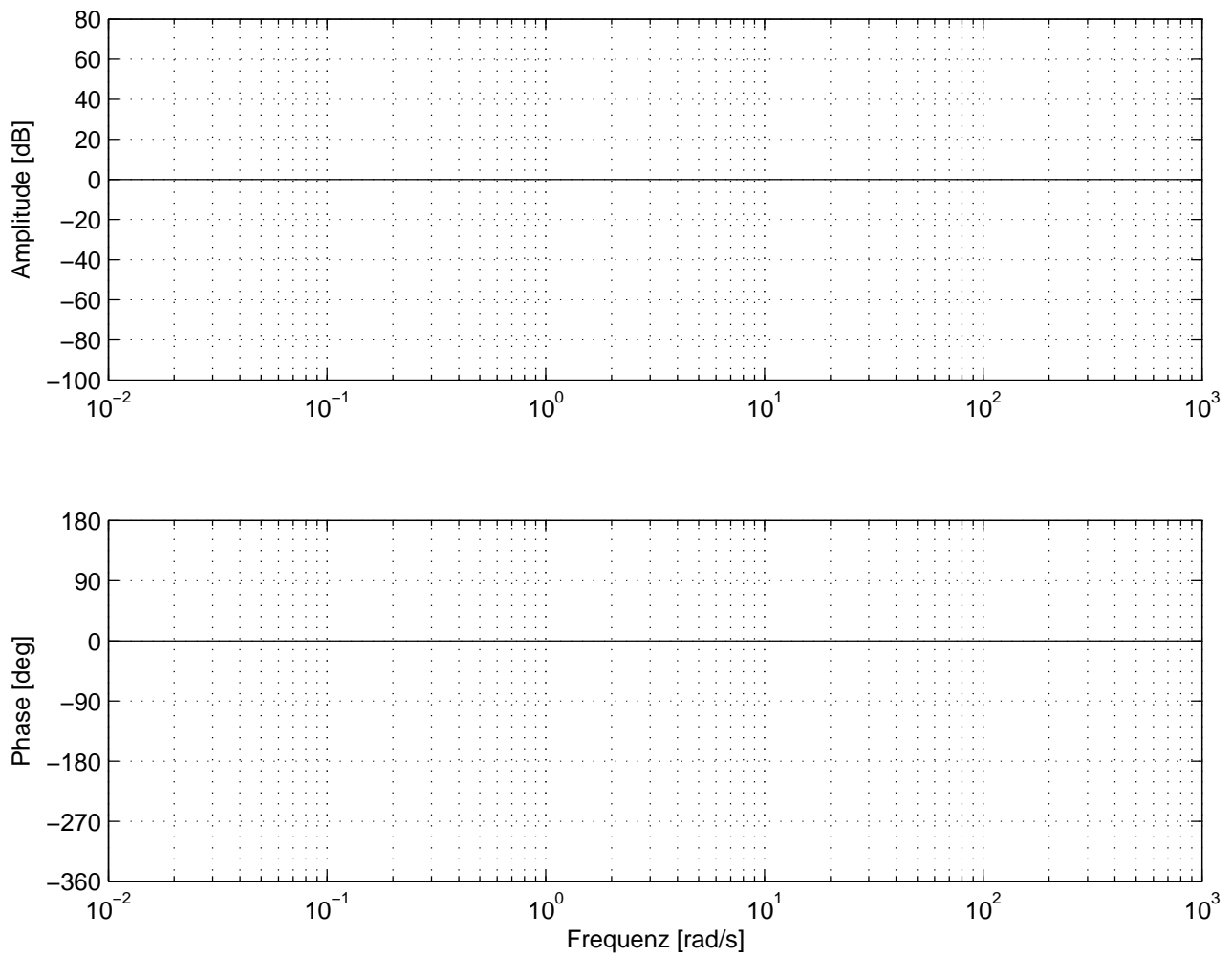


Abbildung 3: Bode-Raster