

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 2

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

4 Punkte

Gegeben sei die nichtlineare Ein-/Ausgangs-Differentialgleichung

$$\ddot{y} + 2y\dot{y} + 2 \cos y = u + e^{-y}\dot{u}. \quad (1)$$

- Geben Sie die stationäre Lösung (u^*, y^*) der Differentialgleichung (1) an!
- Linearisieren Sie die Differentialgleichung (1) um den Betriebspunkt $(u^*, y^*) = (-2, \pi)$!

Aufgabe 2

7 Punkte

Gegeben sei die lineare Ein-/Ausgangs-Differentialgleichung

$$\ddot{y} + 2\dot{y} + 3y - y = u. \quad (2)$$

- Ist die Ein-/Ausgangs-Differentialgleichung für beschränkten Eingang u BIBO-stabil? Begründen Sie ihre Aussage!
- Gegeben sei nun das Regelgesetz $u = K(r - y)$ mit der Konstanten $K \in \mathbb{R}$, dem Ausgangssignal y und dem Referenzsignal r . Setzen Sie das Regelgesetz in (2) ein und geben Sie an, für welche Werte $K \in \mathbb{R}$ das Führungsverhalten BIBO-stabil ist!
- K sei so gewählt, dass der geschlossene Regelkreis BIBO-stabil ist. Geben Sie die Übertragungsfunktion des Führungsverhaltens an! Welche stationäre Verstärkung ergibt sich?

¹In dieser Übungsklausur ist der freie Platz nicht enthalten.

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 2

Aufgabe 3

8 Punkte

Gegeben sei die BIBO-stabile Übertragungsfunktion $G(s)$ mit dem in Abbildung 1 (auf Seite 3) dargestellten Frequenzgang.

- a) Welchen Relativgrad r hat $G(s)$? Begründen Sie ihre Aussage!
- b) Zeichnen Sie entsprechend der vermuteten Struktur von $G(s)$ die Asymptoten an den Amplitudengang in Abbildung 1 ein und bestimmen Sie die Knickfrequenzen!
- c) Bestimmen Sie die stationäre Verstärkung und geben Sie $G(s)$ gemäß Ihrer ermittelten Werte in **Zeitkonstantenform** an!
- d) Ist $G(s)$ minimalphasig? Begründen Sie ihre Aussage!

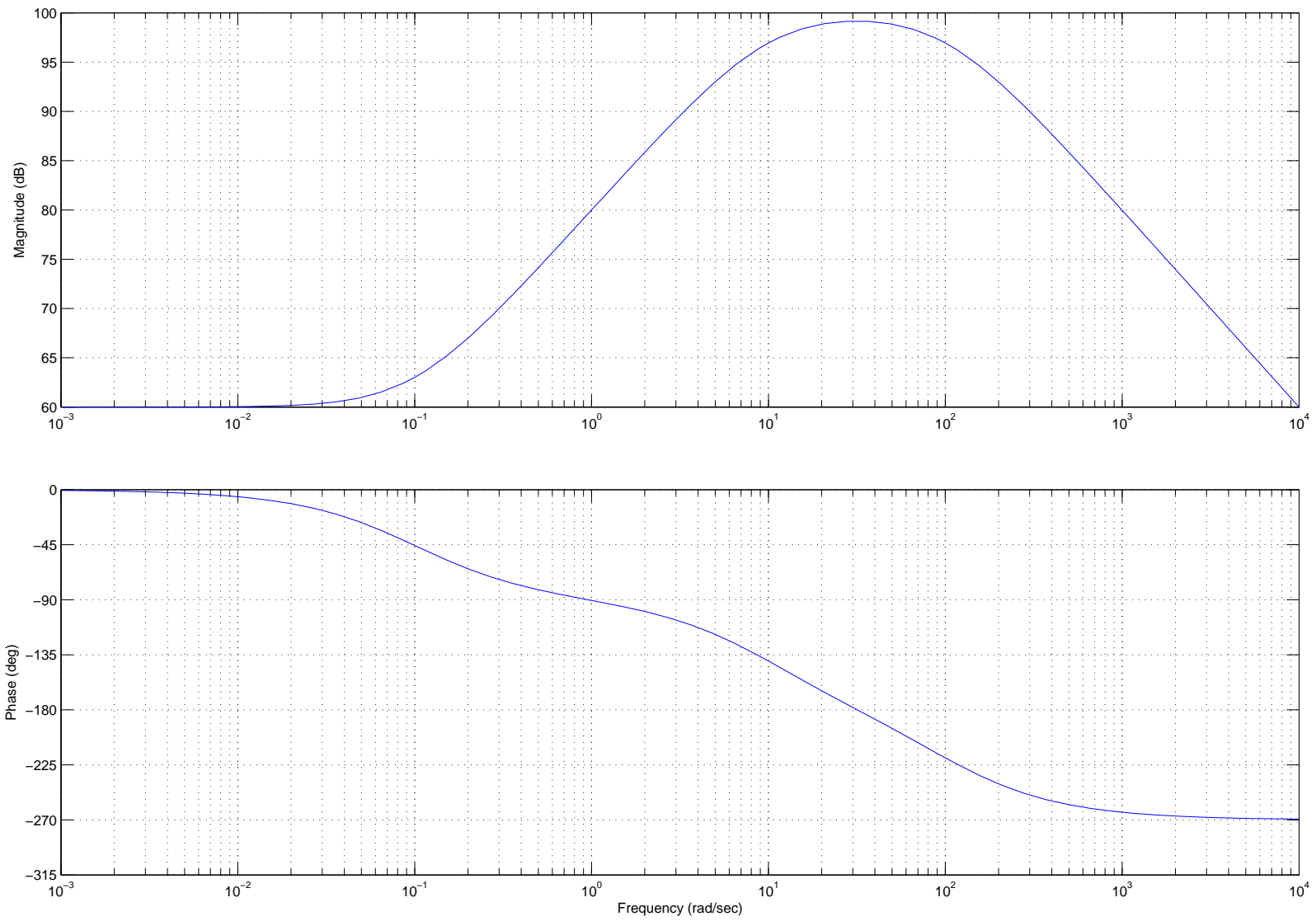


Abbildung 1: Frequenzgang der Strecke $G(s)$ in Aufgabe 3.

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 2

Aufgabe 4

10 Punkte

Für eine unbekannte Regelstrecke dritter Ordnung mit Übertragungsfunktion $G(s)$ sind die Ortskurve des Frequenzganges (Abb. 2) und die Sprungantwort (Abb. 3) gegeben. Nehmen Sie an, dass die Regelstrecke BIBO-stabil ist.

- Zeichnen Sie den Ast der negativen Frequenzen ω der Ortskurve in Abb. 2 ein und kennzeichnen Sie die Richtung anwachsender Frequenzen mit einer Pfeilspitze!
- Geben Sie $\arg(G(j\omega))$ und $|G(j\omega)|$ für $\omega \rightarrow \infty$ an!
- Geben Sie den Funktionswert der Sprungantwort $h(t)$ für $t = 0$ und $t \rightarrow +\infty$ an! Begründen Sie Ihre Aussage!

Betrachten Sie nun den Standardregelkreis mit Strecke $G(s)$ und Regler mit Übertragungsfunktion $C(s)$.

- Ist das Führungsverhalten des geschlossenen Regelkreises mit $C(s) = 1$ stabil? Begründen Sie Ihre Aussage!
- Sei $C(s) = K_P$. Geben Sie denjenigen Wertebereich von $K_P > 0$ an, für den der geschlossene Regelkreis BIBO-stabiles Führungsverhalten besitzt!
- Nehmen Sie an, daß K_P in dem von Ihnen bestimmten Wertebereich liegt. Geben Sie die stationäre Verstärkung V des Führungsverhaltens mit $C(s) = K_P$ in Abhängigkeit des Reglerparameters K_P an!

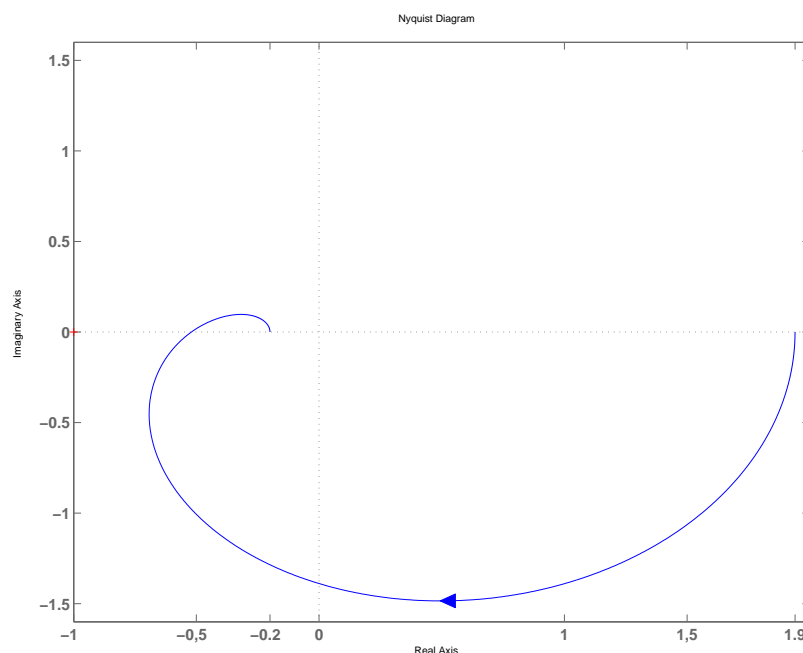


Abbildung 2: Ortskurve $G(j\omega)$ für Frequenzen $\omega \geq 0$.

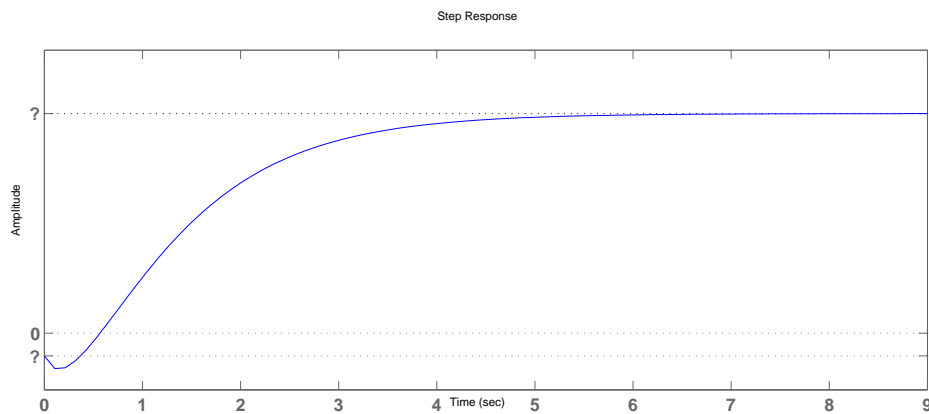


Abbildung 3: Sprungantwort der Regelstrecke.

Aufgabe 5

11 Punkte

Gegeben ist ein Standardregelkreis und die Übertragungsfunktion der Regelstrecke

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

- Ist $G(s)$ vom einfachen Typ? Begründen Sie Ihre Aussage!
- Zeigen Sie anhand des charakteristischen Polynoms des Regelkreises, daß der Regelkreis weder mit einem beliebigen P-Regler noch mit einem beliebigen PI-Regler intern stabil ist!
- Entwerfen Sie einen realen PID-Regler $C(s)$ durch Kompensation der Streckenträgheiten, so dass die offene Kette eine Schnittfrequenz $\omega_s = 5$ aufweist und die größte Knickfrequenz der offenen Kette eine Dekade nach der Schnittfrequenz liegt!
- Skizzieren Sie das Bode-Diagramm der offenen Kette $L(s) = G(s)C(s)$ in das Raster in Abbildung 4!
Hinweis: Falls Sie Aufgabenteil c) nicht gelöst haben, skizzieren Sie die offene Kette für $C(s) = 100$! (Die volle Punktzahl ist dann nicht erreichbar.)

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 2

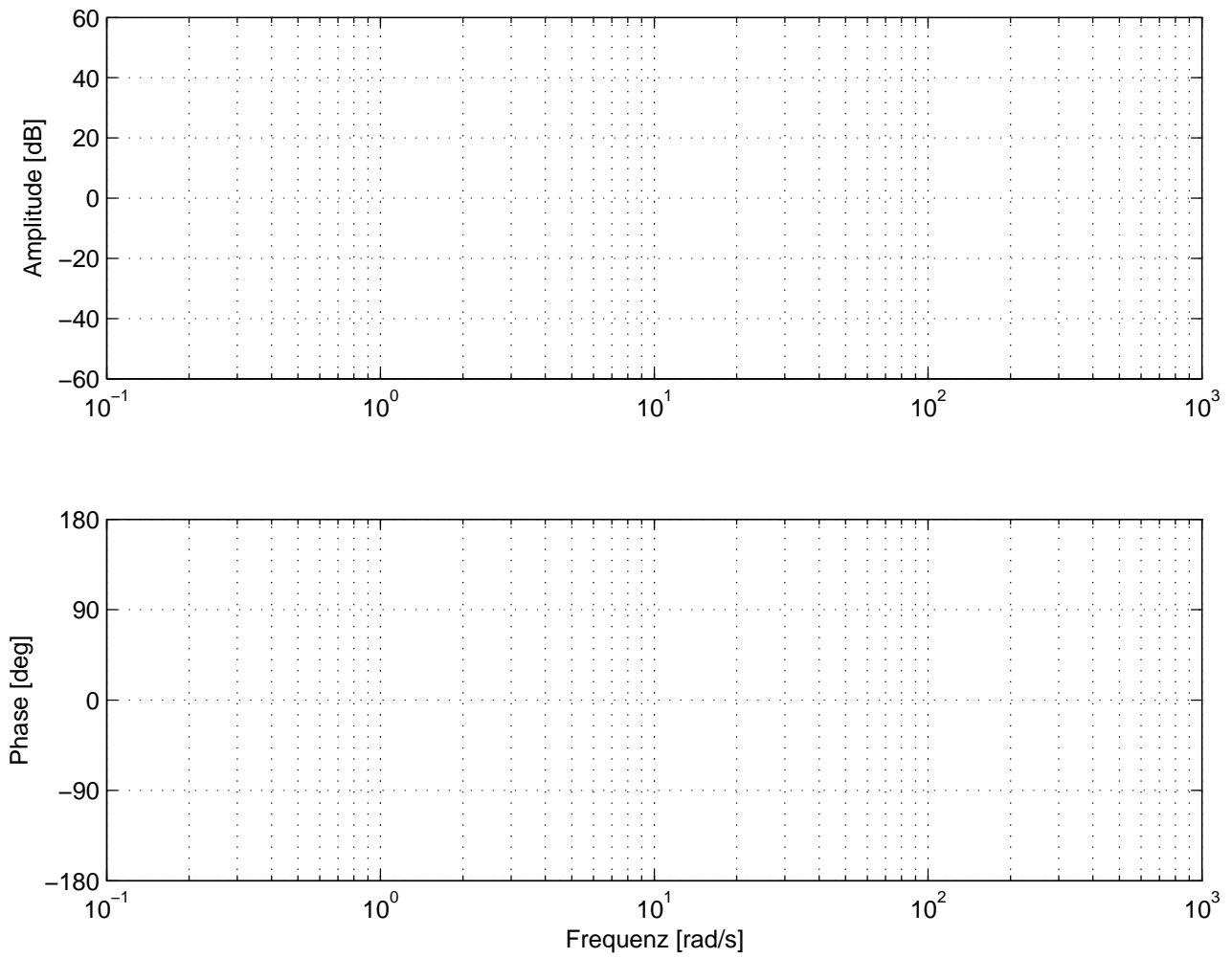


Abbildung 4: Zeichenraster für das Bode-Diagramm von $L(s)$

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 2

Aufgabe 6

10 Punkte

Gegeben ist ein Standardregelkreis und die Übertragungsfunktion der Regelstrecke

$$G(s) = \frac{s + 2}{s^2 + 0.4s + 4.04}.$$

Für den Regelkreis soll ein Regler minimaler Ordnung mittels Polvorgabeverfahren entworfen werden. Die Vorgabepole sollen sich aus einem P-T2-Glied mit Dämpfung $\zeta = \frac{\pi}{\sqrt{\pi^2 + 1}}$ und Knickfrequenz $\omega_0 = \sqrt{\pi^2 + 1}$ ergeben.

- Welche Ordnung benötigt der zu entwerfende Regler mindestens? Welche Ordnung besitzt das Entwurfspolynom Q_T für den geschlossenen Regelkreis dann?
- Bestimmen Sie die Lage des Polpaars aus der Spezifikation und geben Sie das Entwurfspolynom Q_T an!
Hinweis: Zusätzliche Pole (falls notwendig) sollen so gewählt werden, dass sie das vorgegebene P-T2-Verhalten möglichst wenig beeinflussen.
- Geben Sie die Übertragungsfunktion des Reglers mit den zu bestimmenden Parametern an und stellen Sie das lineare Gleichungssystem zur Ermittlung der Reglerparameter auf!
Hinweis: Das Gleichungssystem soll nicht gelöst werden.
- Es soll nun zusätzlich gefordert werden, dass der Regelfehler für sprungförmige Eingangsstörungen für $t \rightarrow \infty$ verschwindet. Welche Eigenschaft muss der Regler aufweisen, so dass diese Forderung erfüllt wird? Geben Sie die mindestens benötigte Ordnung des Reglers und die Übertragungsfunktion des Reglers mit den zu bestimmenden Parametern an! Geben Sie ein Entwurfspolynom \tilde{Q}_T an, das die Spezifikation erfüllt!
Hinweis: Zusätzliche Pole (falls notwendig) sollen so gewählt werden, dass sie das vorgegebene P-T2-Verhalten möglichst wenig beeinflussen. \tilde{Q}_T braucht nicht ausmultipliziert zu werden.
- Ist der geschlossene Regelkreis intern stabil, wenn \tilde{Q}_T ein Hurwitzpolynom ist? Begründen Sie Ihre Aussage!