

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 13

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

11 Punkte

Gegeben ist die Regelstrecke mit der in Abbildung 1 dargestellten Struktur.

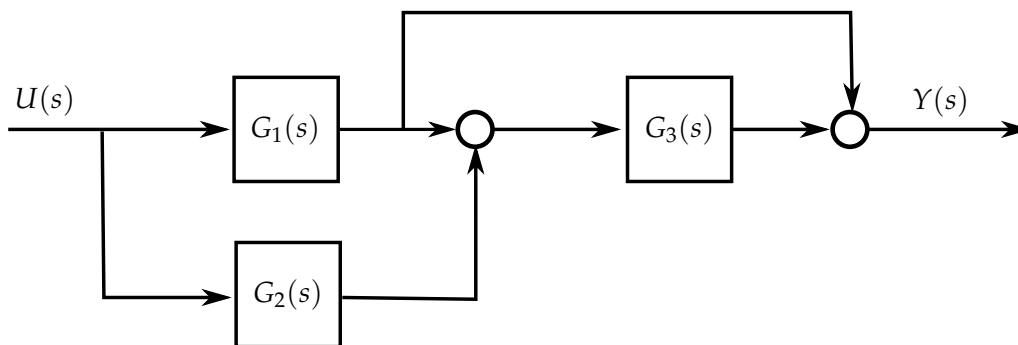


Abbildung 1: Blockschaltbild zur Regelstrecke in Aufgabe 1

- Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$ der Regelstrecke in Zeitkonstantenform, wenn $G_1(s) = \frac{1}{s}$, $G_2(s) = K$, $G_3(s) = \frac{10}{s+1}$ gegeben ist!
- Für welche Werte $K \in \mathbb{R}$ hat die Strecke nicht-minimalphasige Nullstellen?
- Geben Sie die allgemeinen Bedingungen für die Implementierbarkeit einer Führungsübertragungsfunktion $T(s)$ für eine Regelstrecke $G(s)$ an!
- Geben Sie eine Führungsübertragungsfunktion in Zeitkonstantenform an, die für die oben bestimmte Strecke $G(s)$ mit nicht-minimalphasigen Nullstellen implementierbar ist, und eine stationäre Verstärkung von 1 besitzt!

¹In dieser Übungsklausur ist der freie Platz nicht enthalten.

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 13

Aufgabe 2

18 Punkte

Betrachten Sie den Standardregelkreis mit Regelstrecke $G(s)$ und Regler $C(s)$ deren Übertragungsfunktionen mit

$$G(s) = \frac{1}{s+1} \quad \text{und} \quad C(s) = \frac{2s^3 + 20s^2 + 40s + 60}{s^2(s+1)}$$

gegeben sind!

- Skizzieren Sie den Standardregelkreis mit allen Störgrößen als Blockschaltbild!
- Zeigen Sie, dass der geschlossene Regelkreis intern stabil ist!
- Geben Sie die Führungsübertragungsfunktion, die Stellsensitivität sowie die eingangs- und ausgangsseitige Störsensitivität in allgemeiner Form an!
- Berechnen Sie die eingangsseitige Störsensitivität explizit für die oben angegebenen Übertragungsfunktionen!
Hinweis: Es können keine Terme gekürzt werden.
- Zeigen Sie, dass Störsignale am Eingang der Regelstrecke mit der Laplace-Transformierten

$$D_i(s) = \frac{s^2 + s + 1}{s^2(s+1)}$$

im geschlossenen Regelkreis für $t \rightarrow \infty$ keine Wirkung auf den Ausgang besitzen!

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 13

Aufgabe 3

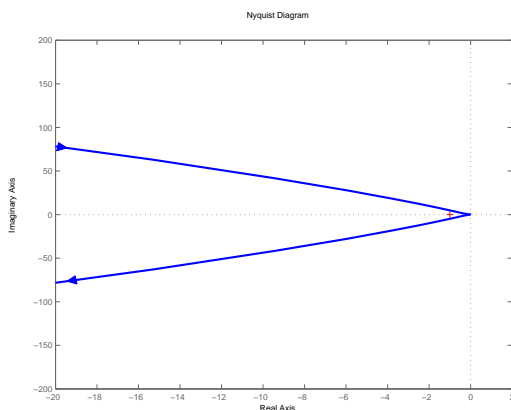
13 Punkte

Gegeben ist die Übertragungsfunktion einer offenen Kette im Standardregelkreis

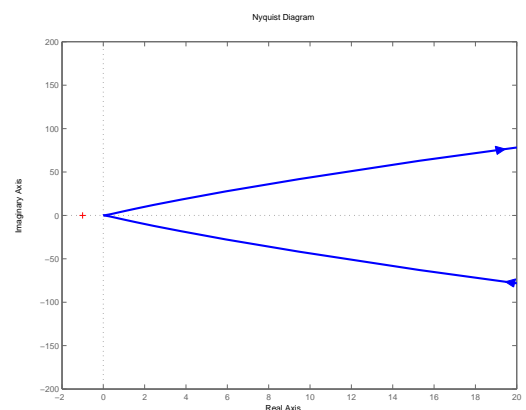
$$L(s) = \frac{s + a}{s^2(s + 0.1)} \quad (1)$$

mit $a > 0$, sowie die Ortskurven unbekannter offener Ketten in Abbildung 2 für einige $\omega \in (-\infty, \infty)$.

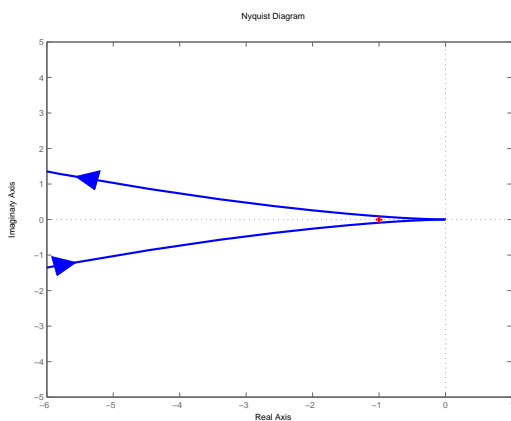
- Bringen Sie $L(s)$ auf Zeitkonstantenform und skizzieren Sie die Phasengänge von $L(j\omega)$ jeweils für $a = 10^{-3}$ und $a = 10$!
- Welche der Ortskurven aus Abbildung 2 gehören zu einer offenen Kette der Form (1) mit $a > 0$? (Begründen Sie jeweils Ihre Aussage!)
Hinweis: Betrachten Sie neben dem Phasengang auch die Amplitude für $\omega \rightarrow 0$ und $\omega \rightarrow \infty$!
- Markieren Sie in Ihren ausgewählten Ortskurven jeweils den Ast positiver Frequenzen und ordnen Sie sie den Fällen $a > 0.1$ und $0 < a < 0.1$ zu! (Begründen Sie Ihre Aussage!)
- Sei $a > 0.1$. Ist die Führungsübertragungsfunktion des zu $L(s)$ gehörenden Regelkreises BIBO-stabil? Belegen Sie Ihre Aussage anhand des Nyquist-Kriteriums!



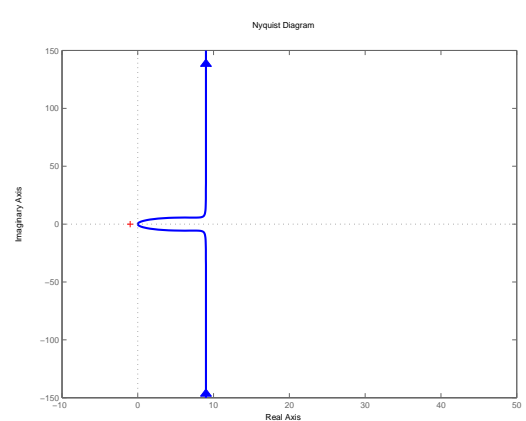
(a) Ortskurve von $L_1(j\omega)$



(b) Ortskurve von $L_2(j\omega)$



(c) Ortskurve von $L_3(j\omega)$



(d) Ortskurve von $L_4(j\omega)$

Abbildung 2: Ortskurven zu Aufgabe 3

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 13

Aufgabe 4

17 Punkte

Gegeben ist der Standardregelkreis mit Regelstrecke der Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{1}{(35s + 1)(s + 1)}.$$

- a) Entwerfen Sie mit dem Kompensationsverfahren einen PI-Regler mit Verstärkung $K > 0$, so dass die Anstiegszeit der Führungssprungantwort $t_r = 1,5[\text{Sek}]$ beträgt!

Hinweis: Nehmen Sie bei Ihrem Entwurf an, dass die offene Kette vom einfachen Typ ist!

- b) Zeigen Sie, dass die offene Kette $L(s) = G(s)C(s)$ mit dem von Ihnen entworfenen Regler vom einfachen Typ ist!

Hinweis: Falls es für Ihre Lösung hilfreich ist, verwenden Sie die Abbildung der Ortskurve von $L(j\omega)$ in Abbildung 3!

- c) Bestimmen Sie den Phasenrand ϕ_r sowie die Überschwingweite $M_p[\%]$ der Führungssprungantwort!

- d) Für mehr Robustheit im System wird der offenen Kette *zusätzlich* ein Lead-Glied in der Form

$$G_{lead}(s) = \tilde{K} \frac{\tau_1 s + 1}{\tau_2 s + 1}$$

hinzugefügt. Bestimmen Sie $\tau_1, \tau_2, \tilde{K} \in \mathbb{R}$ so, dass der Phasenrand $\phi_r = 75^\circ$ beträgt.

Hinweis: Für die maximale Phasenhebung des Lead-Glieds gilt $\phi_{max} = \arctan\left(\frac{1}{2} \frac{\tau_1 - \tau_2}{\sqrt{\tau_1 \tau_2}}\right)$ bei $\omega_{max} = \frac{1}{\sqrt{\tau_1 \tau_2}}$.

$\phi [^\circ]$	$\tan(\phi)$
15	$\approx \frac{1}{4}$
30	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
45	1
60	$\sqrt{3}$

Tabelle 1: Wertetabelle der Tangensfunktion

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 13

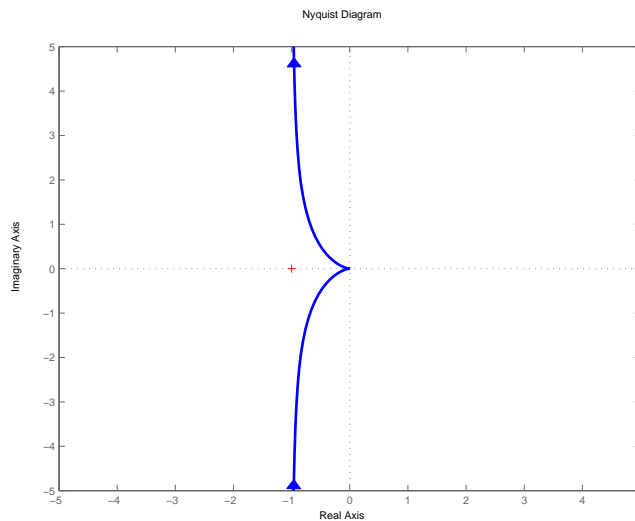


Abbildung 3: Ortskuve der offenen Kette

Aufgabe 5

21 Punkte

Die Firma *Viel-und-Günstig* hat sich für eines ihrer Vorjahresprodukte einen Regler, den die Firma *Schnell-und-Findig* entwickelt hat, eingekauft. Dieser Regler soll nun in einem neuen System eingesetzt werden. Doch leider ist der verantwortliche Mitarbeiter der Firma *Schnell-und-Findig* in Rente gegangen und eine Dokumentation ist nicht aufzufinden.

In den Entwurfsunterlagen fand sich jedoch der Frequenzgang der offenen Kette $L_1(s)$ wie in Abbildung 4 dargestellt. Der Regler $C(s)$ soll nun anhand der bekannten Strecke

$$G_1(s) = \frac{2(s + 0.01)}{(s - 0.1)(s + 20)}$$

identifiziert werden.

- Bestimmen Sie die Zeitkonstantenform der Strecke $G_1(s)$!
- Bestimmen Sie die Knickfrequenzen von $G_1(s)$ und skizzieren Sie den Amplituden- und Phasengang von $G_1(s)$ in das Bodediagramm in Abb. 4!

Hinweis: Verwenden Sie für den Amplitudengang die Asymptoten.

- Bestimmen Sie anhand des Bodediagramms in Abb. 4 die Zeitkonstantenform der offenen Kette $L_1(s)$ und berechnen Sie die Zeitkonstantenform des Reglers $C_1(s)$!
- Die neue Regelstrecke $G_2(s)$ ist mit

$$G_2(s) = \frac{s + 1}{(s + 0.1)(s - 30)}$$

gegeben. Stabilisiert der von Ihnen identifizierte Regler $C_1(s)$ die neue Regelstrecke $G_2(s)$?

Hinweis: Falls Sie Teilaufgabe c) nicht lösen konnten, nutzen Sie stattdessen: $C_1(s) = \frac{(s + 20)}{s(s + 2)}$.

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 13

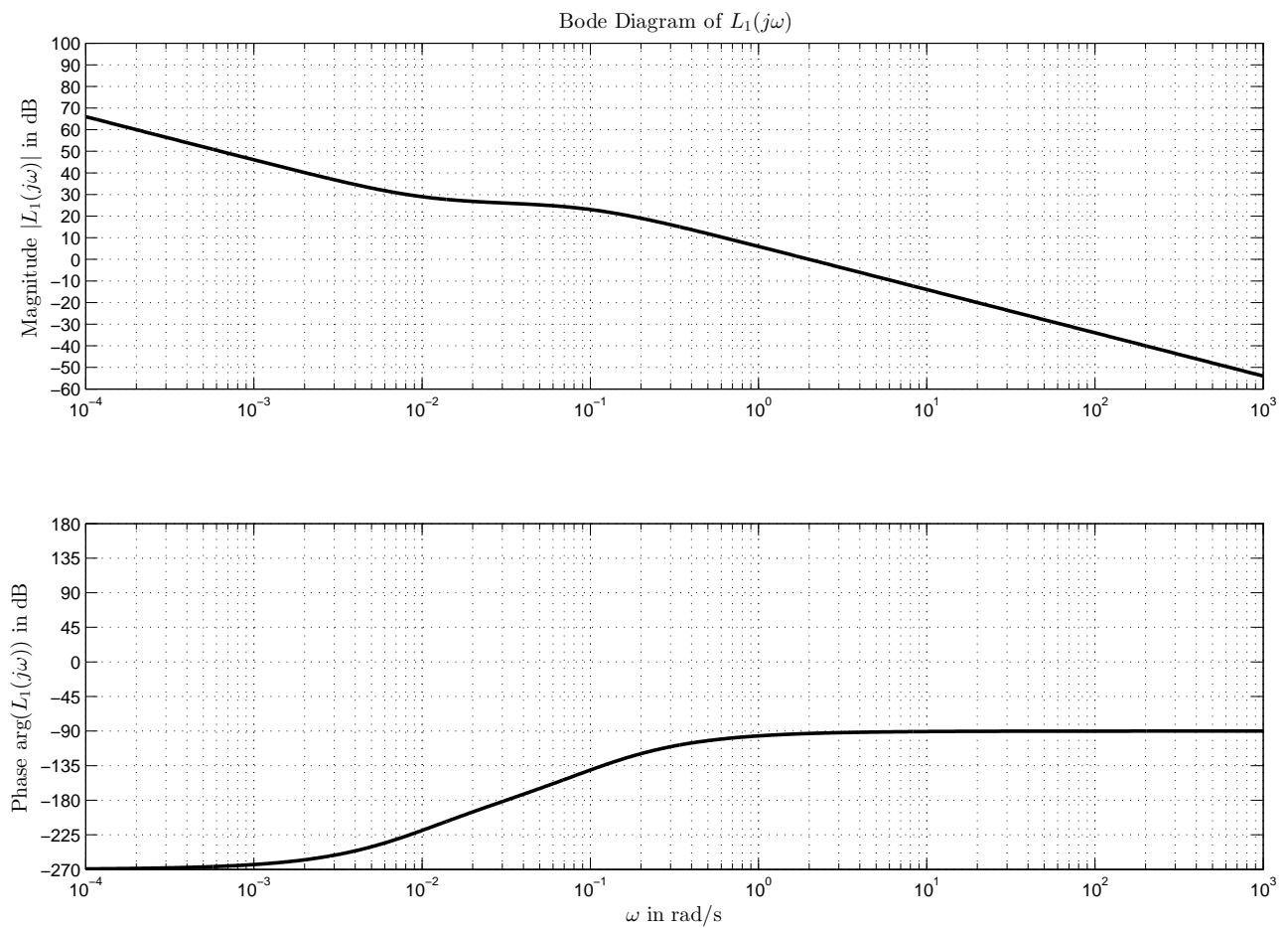


Abbildung 4: Bodediagramm der vermessenen offenen Kette $L_1(s) = C_1(s)G_1(s)$.