

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 18

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

19 Punkte

Gegeben ist die Regelkreisarchitektur mit Blockschaltbild in Abb. 1 mit $K \in \mathbb{R}$ und Übertragungsfunktionen:

$$G_1(s) = \frac{s+2}{s^2+1}, \quad G_2(s) = 1, \quad G_3(s) = \frac{1}{s+3}.$$

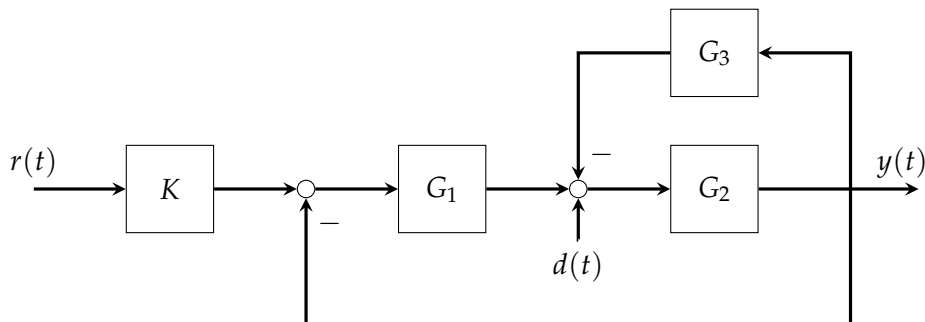


Abbildung 1: Blockschaltbild

- Bestimmen Sie die Übertragungsfunktionen $S_d(s) = \frac{Y(s)}{D(s)}$ und $S_r(s) = \frac{Y(s)}{R(s)}$ allgemein!
Hinweis: Nehmen Sie dabei an, dass das jeweils andere Eingangssignal null ist.
- Bestimmen Sie $S_d(s)$ und $S_r(s)$ für die o.g. Übertragungsfunktionen in Polynomialform!
- Sind die Übertragungsfunktionen $S_d(s)$ und $S_r(s)$ BIBO-stabil?
Begründen Sie Ihre Antwort rechnerisch!
- Bestimmen Sie die stationäre Verstärkung von $S_r(s)$, sofern diese existiert!

¹In der Übungsklausur ist dieser Platz nicht enthalten

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 18

- e) Berechnen Sie jeweils das Ausgangssignal $Y(s)$ für die Referenzsignale $r_1(t) = \frac{1}{K}e^{-3t}$ und $r_2(t) = \frac{1}{K}e^{-2t}$, wenn gleichzeitig jeweils die Störung $d(t) = -\sin(t)$ wirkt und alle Anfangswerte null sind!

Hinweis: Falls es für Ihre Lösung hilfreich ist, verwenden Sie folgende Laplace-Tabelle:

Originalfunktion	Bildfunktion	Konvergenzbereich
$f(t) = 1$	$F(s) = \frac{1}{s}$	$\operatorname{Re}(s) > 0$
$f(t) = e^{-at}$	$F(s) = \frac{1}{s+a}$	$\operatorname{Re}(s) > -a$
$f(t) = \sin(\omega t)$	$F(s) = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\operatorname{Re}(s) > 0$
$f(t) = \cos(\omega t)$	$F(s) = \frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\operatorname{Re}(s) > 0$

Aufgabe 2

18 Punkte

Gegeben ist der Standardregelkreis mit offener Kette

$$L(s) = K \frac{(s+10)(s+2)(s+0.5)}{(s+20)(s-2)(s+1)}$$

und Abb. 2 mit Ortskurven von $L(s)$ für verschiedene $K \in \mathbb{R}$.

- Welche stetige Winkeländerung von $1 + L(j\omega)$ für $\omega = -\infty$ bis $\omega = \infty$ muss sich nach dem Nyquistkriterium für die BIBO-Stabilität der Führungsübertragungsfunktion im geschlossenen Regelkreis ergeben?
- Geben Sie jeweils die stetige Winkeländerung von $1 + L(j\omega)$ für $\omega = -\infty$ bis $\omega = \infty$ an und entscheiden Sie jeweils, ob die Führungsübertragungsfunktion BIBO-stabil ist!
- Bestimmen Sie K der offenen Kette für die jeweilige Darstellung der Ortskurve!
- Geben Sie alle Intervalle für $K \in \mathbb{R}$ an, für die die Führungsübertragungsfunktion im geschlossenen Regelkreis BIBO-stabil ist! Die benötigten Werte dürfen durch Ablesen in der Graphik geschätzt werden.

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 18

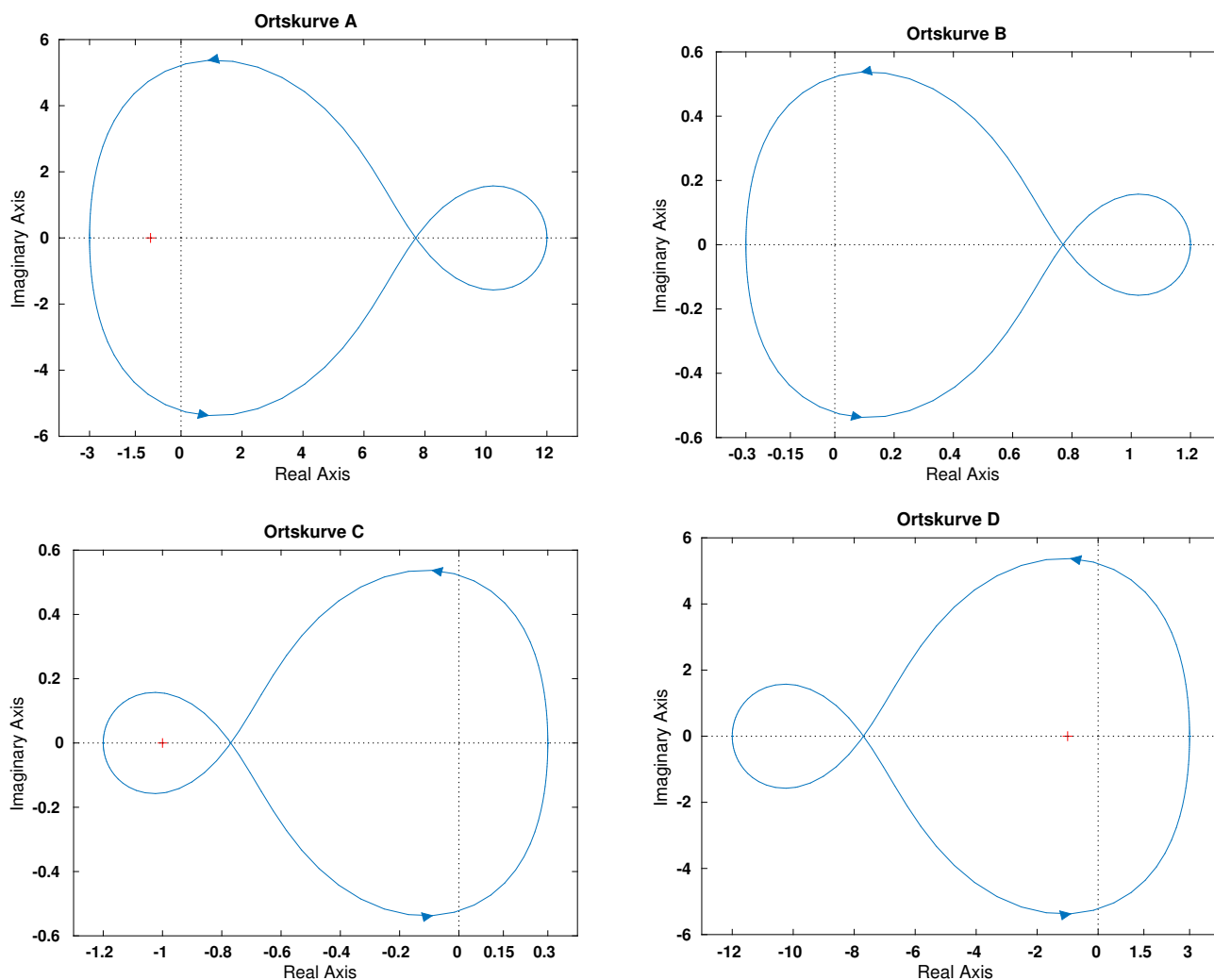


Abbildung 2: Ortskurven von $L(s)$ für verschiedene Verstärkungen $K \in \mathbb{R}$.

Aufgabe 3

22 Punkte

Gegeben ist der Standardregelkreis mit Regelstrecke der Übertragungsfunktion

$$G(s) = -\frac{1}{3} \frac{s-9}{(s+3)(s+0.1)}.$$

- Entwerfen Sie einen PI-Regler mit dem Kompensationsverfahren, so dass die Anstiegszeit der Führungssprungantwort $t_r \approx \frac{1}{2}$ beträgt! Nehmen Sie dabei an, dass die resultierende offene Kette vom einfachen Typ ist! Welches Vorzeichen muss die Reglerverstärkung dann besitzen?
- Geben Sie die offene Kette $L(s) = C(s)G(s)$ in Zeitkonstantenform an und bestimmen Sie deren Verstärkung sowie die Knickfrequenzen der Null- und Polstellen! Skizzieren Sie das Bodediagramm von $L(j\omega)$ in das Raster in Abb. 3 auf Seite 4!

Hinweis: Zeichnen Sie den Betragsfrequenzgang lediglich mit Asymptoten! Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben, verwenden Sie im Folgenden $L(s) = \frac{s-40}{-0.1s(s+20)}$.

- Zeigen Sie, dass $L(s)$ vom einfachen Typ ist!

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 18

- d) Zeichnen Sie die Phasenreserve im Bodediagramm ein und lesen Sie sie ab! Ist die Führungsübertragungsfunktion im geschlossenen Regelkreis BIBO-stabil? (Begründen Sie Ihre Antwort!)
- e) Welche Überschwingweite M_p erwarten Sie für die Führungssprungantwort? Ist ein Unterschwingen der Sprungantwort zu erwarten? (Begründen Sie Ihre Antwort ausführlich!)

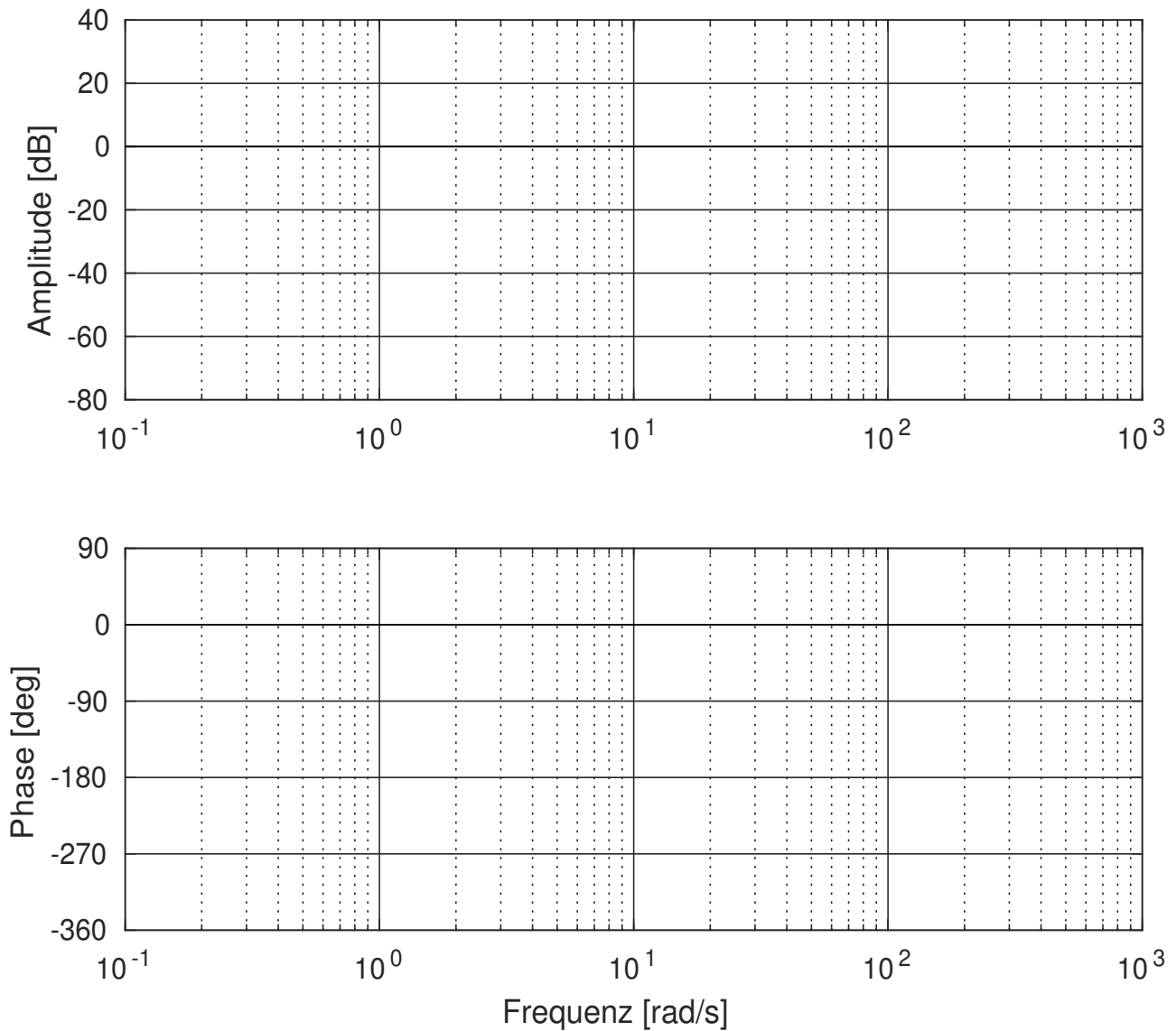


Abbildung 3: Raster für das Bodediagramm in Aufgabe 3

Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 18

Aufgabe 4

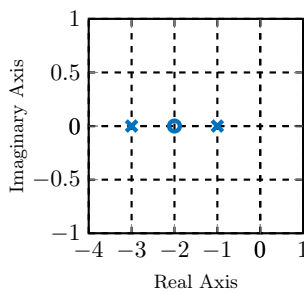
22 Punkte

Gegeben ist die Regelstrecke mit Übertragungsfunktion

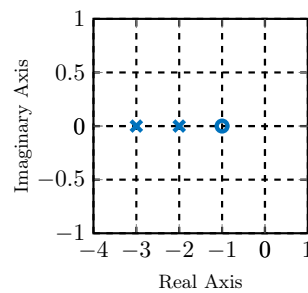
$$G(s) = \frac{10(s+3)}{s^2 + 7s + 49}$$

sowie die Pol-Nullstellenbilder von sechs Übertragungsfunktionen in Abb. 4.

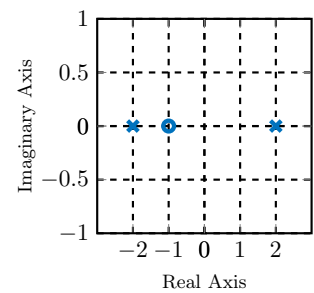
- Ist die Übertragungsfunktion $G(s)$ BIBO-stabil? Ist die Übertragungsfunktion $G(s)$ minimalphasig? Geben Sie den Relativgrad der Übertragungsfunktion $G(s)$ an! Begründen Sie Ihre Aussagen!
- Ist die Übertragungsfunktion in Pol-Nullstellenform? Geben Sie die Knickfrequenzen und gegebenenfalls Dämpfungen an!
- Geben Sie die Bedingungen für die Implementierbarkeit einer Führungsübertragungsfunktion $T(s)$ für eine (beliebige) Regelstrecke allgemein an! Welche der Pol-Nullstellenverteilungen in Abb. 4 ist *nicht* als Führungsübertragungsfunktion mit $G(s)$ implementierbar? Begründen Sie jeweils Ihre Aussage!
- Wählen Sie eine implementierbare Übertragungsfunktionen aus Abb. 4 aus und geben Sie diese in Pol-Nullstellenform an! Wählen Sie dabei die stationäre Verstärkung zu eins!
- Berechnen Sie die Reglerübertragungsfunktion $C(s)$, die Ihre gewählte Führungsübertragungsfunktion mit $G(s)$ implementiert! Geben Sie die Reglerübertragungsfunktion $C(s)$ in Pol-Nullstellenform an!
- In Abb. 5 sind drei Sprungantworten dargestellt. Ordnen Sie den Sprungantworten jeweils eine Pol-Nullstellenverteilung aus Abb. 4 zu und begründen Sie Ihre Zuordnung!



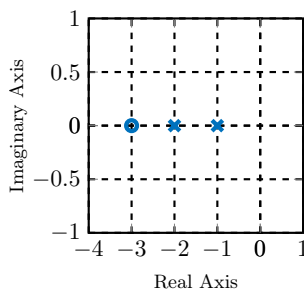
(a) PN1



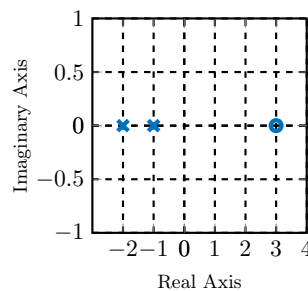
(b) PN2



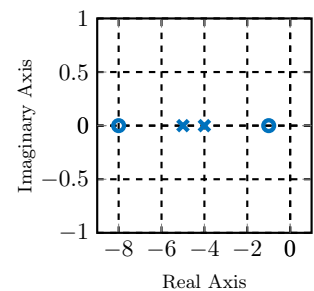
(c) PN3



(d) PN4



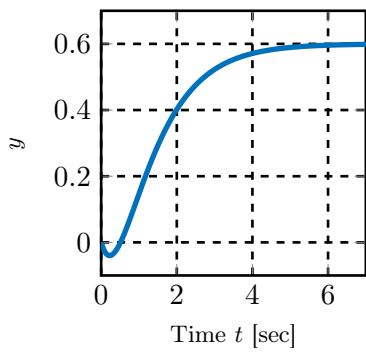
(e) PN5



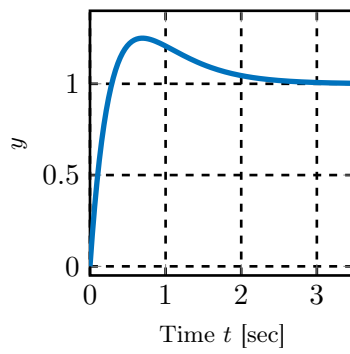
(f) PN6

Abbildung 4: Pol-Nullstellenbilder: x - einfacher Pol, o - einfache Nullstelle

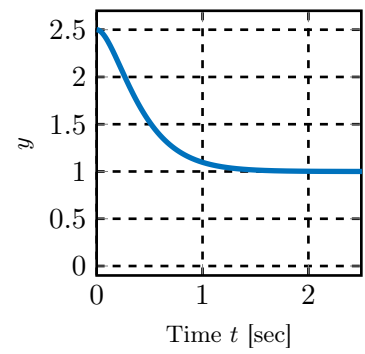
Regelungs- und Systemtechnik 1 - Übungsklausur 18



(a) S1



(b) S2



(c) S3

Abbildung 5: Sprungantworten