Schriftliche Prüfung aus **Regelungstechnik II** am 10.05.2019

Name / Vorname(n):

Matrikel-Nummer:

Aufgabe	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Summe
erreichbare Punkte	3	4	4	3	4	3	21
erreichte Punkte							

Aufgabe 1:

Gegeben sei die Übertragungsfunktion

$$P(s) = \frac{1}{s^3 + s + 1}$$

einer Regelstrecke. Es soll nun ein Standardregelkreis so ausgelegt werden, dass seine Führungsübertragungsfunktion

$$T(s) = \frac{\mu_T(s)}{\nu_T(s)} = \frac{R(s)P(s)}{1 + R(s)P(s)}.$$

das vorgegebene Nennerpolynom

$$\nu_T(s) = (s+1)^4(s+2) = s^5 + 6s^4 + 14s^3 + 16s^2 + 9s + 2.$$

besitzt.

a) Ermitteln Sie die Parameter des Reglers

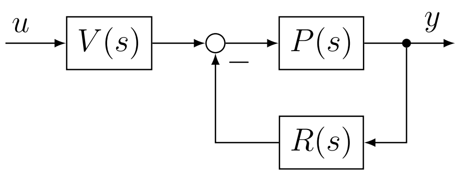
$$R(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

über die Methode der Polvorgabe.

b) Welches Zählerpolynom $\mu_T(s)$ ergibt sich mit diesem Regler?

Aufgabe 2:

Betrachtet wird die erweiterte Regelkreisstruktur



mit der Regelstrecke

$$P(s) = \frac{s+1}{s^2 - 2} = \frac{\mu(s)}{\nu(s)}$$

und den beiden Reglerübertragungsfunktionen

$$R(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}, \qquad V(s) = \frac{c_2 s^2 + c_1 s + c_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}.$$

Bestimmen Sie die Polynome $a(s)$, $b(s)$ und $c(s)$ so, dass

$$T(s) = \frac{V(s)P(s)}{1 + R(s)P(s)} = \frac{1}{s+1} = \frac{\mu_T(s)}{\nu_T(s)}$$

gilt und der Regler integrierendes Verhalten aufweist.

Hinweis: Erweitern Sie, sofern nötig, Zähler und Nenner von $T(s)$ um das Polynom

$$w(s) = (s+1)^k$$

mit einem geeigneten ganzzahligen Wert für k.

Aufgabe 3:

Die Übertragungsfunktion eines *offenen* Regelkreises

$$L(s) = R(s)P(s) = \frac{400}{(s+0.2)(s+20)}$$

sei gegeben. Hierbei ist $R(s)$ die Reglerübertragungsfunktion und $P(s)$ die Übertragungsfunktion der Strecke.

a) Stellen Sie den Frequenzgang $L(j\omega)$ in Form von Bode-Diagrammen dar.

b) Ermitteln Sie näherungsweise die zu erwartende Anstiegszeit t_r und die Überschwingweite M_p der Sprungantwort des *geschlossenen* Kreises.

c) Wird mit dieser Konfiguration stationäre Genauigkeit für konstante Führungsgrößen erreicht?

Begründen Sie Ihre Antworten!

Aufgabe 4:

Für eine Regelstrecke

$$P(s) = \frac{\mu(s)}{\nu(s)}$$

soll eine Führungsübertragungsfunktion $T(s)$ so bestimmt werden, dass für sprungförmige Führungsgröße $r(t)$ das Gütekriterium

$$J = \int_0^\infty \left[r(t) - y(t)\right]^2 + \delta \left[u(t) - u_\infty\right]^2 \mathrm{d}t$$

minimiert wird. Dabei bezeichnet u_∞ den Grenzwert von $u(t)$ für $t \to \infty$. Leider gehen durch einen Festplattendefekt die Daten des Entwurfs verloren. Im Zuge einer Datenrettung kann lediglich rekonstruiert werden, dass

$$\Delta(s) = \nu(s)\nu(-s) + \frac{1}{\delta}\mu(s)\mu(-s) = s^4 - 20s^2 + 64$$

und

$$\mu(s) = s - 4$$

gilt. Rekonstruieren Sie aus diesen Informationen die optimale Führungsübertragungsfunktion. (*Hinweis:* Es ist nicht notwendig und auch nicht möglich, $\nu(s)$ bzw. δ zu ermitteln.)

Aufgabe 5:

Gegeben sei die Übertragungsfunktion einer Regelstrecke mit Eingangsgröße u und Ausgangsgröße y:

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

Die Trajektorie des Streckenausgangs soll in der Transitzeit $T_T = 2$ von einem Anfangszustand $y_A = 1$ in einen Endzustand $y_E = 4$ gebracht werden. Dazu wird eine flachheitsbasierte Vorsteuerung entworfen.

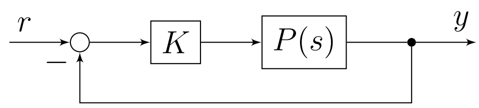
a) Ermitteln Sie die erforderliche Solltrajektorie $z^\star(t)$. (*Hinweis:* Verwenden Sie die Tabelle auf Seite 5!)

b) Ermitteln Sie das Stellsignal $u_V(t)$ so, dass die Größe $z(t)$ ihrem Wunschverlauf $z^\star(t)$ entspricht.

c) Ermitteln Sie die dazupassende Referenzgröße $r(t)$.

Aufgabe 6:

Gegeben sei folgender Standardregelkreis mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



Die Übertragungsfunktion der Strecke lautet

$$P(s) = \frac{1}{s(s+10)^2}$$

und K ist ein reeller Parameter.

a) Zeichnen Sie die Bode-Diagramme des Frequenzgangs $P(j\omega)$.

b) Zeichnen Sie mit Hilfe der Bode-Diagramme die Frequenzgangsortskurve.

c) Bestimmen Sie mit Hilfe des Nyquist-Kriteriums nachvollziehbar (d.h. mit Fallunterscheidung und Ermittlung der stetigen Winkeländerung für jeden Fall) den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K, für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

Formeln und Tabellen

Koeffizienten einer Solltrajektorie der Ordnung $p = 2n + 1$

n	$\tilde{\gamma}_{n+1}$	$\tilde{\gamma}_{n+2}$	$\tilde{\gamma}_{n+3}$	$\tilde{\gamma}_{n+4}$	$\tilde{\gamma}_{n+5}$	$\tilde{\gamma}_{n+6}$
1	3	-2				
2	10	-15	6			
3	35	-84	70	-20		
4	126	-420	540	-315	70	
5	462	-1980	3465	-3080	1386	-252

Schriftliche Prüfung aus **Regelungstechnik II** am 02.07.2019

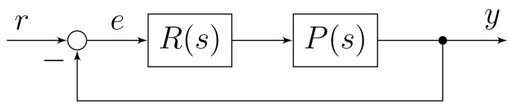
Name / Vorname(n):

Matrikel-Nummer:

Aufgabe	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Summe
erreichbare Punkte	3	4	4	3	4	3	21
erreichte Punkte							

Aufgabe 1:

Gegeben sei ein Standardregelkreis mit der Führungsgröße r, dem Regelfehler e und der Ausgangsgröße y:



Die Übertragungsfunktion der Strecke lautet

$$P(s) = \frac{1}{50} \frac{s + 100}{(s+1)^2}.$$

a) Skizzieren Sie die Bode-Diagramme des Frequenzgangs der Strecke $P(j\omega)$.

b) Als Regler wird zunächst der Proportionalregler $R(s) = 1$ eingesetzt. Bestimmen Sie näherungsweise die zu erwartende Anstiegszeit t_r und Überschwingweite M_p der Sprungantwort des geschlossenen Kreises.

c) Um die bleibende Regelabweichung zu eliminieren ersetzt man den Proportionalregler durch einen PI-Regler

$$R(s) = K \frac{1 + \frac{s}{\omega_0}}{s}$$

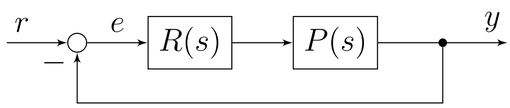
mit den positiven reellen Parametern K und ω_0. Dimensionieren Sie diesen Regler so, dass die Sprungantwort des geschlossenen Kreises näherungsweise eine Anstiegszeit von $t_\mathrm{r} \approx 1{,}5\,\mathrm{s}$ und ein prozentuales Überschwingen von $7\,\%$ aufweist.

x	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9
$\arctan x$	56°	63°	72°	76°	79°	81°	82°	83°	84°
$\lvert x\rvert_\mathrm{dB}$	3,5	6	9,5	12	14	15,5	17	18	19

Hinweis: $\arctan \frac{1}{x} = 90° - \arctan x$ (für $x > 0$)

Aufgabe 2:

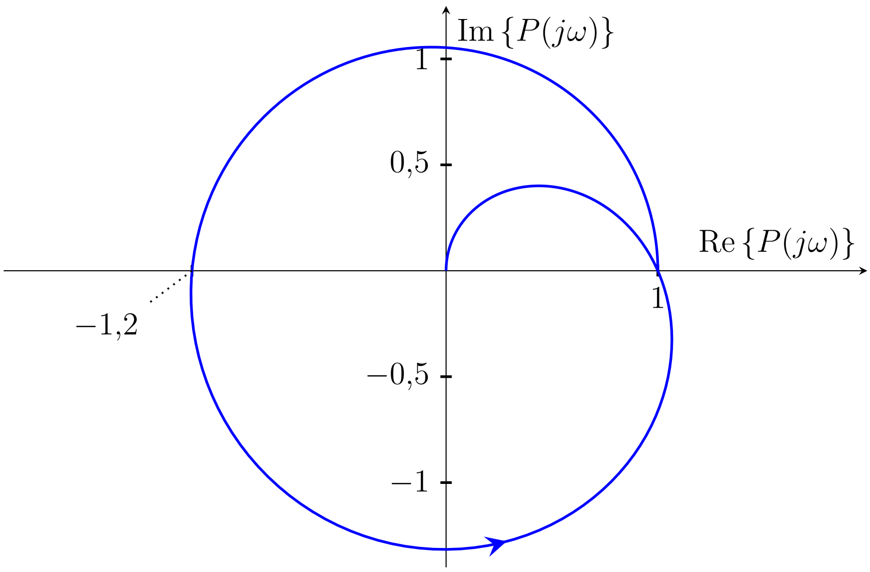
Gegeben sei ein Standardregelkreis mit der Führungsgröße r, dem Regelfehler e und der Ausgangsgröße y:



Als Regler kommt ein Proportionalregler $R(s) = K$ zum Einsatz. Dabei ist K ein (nicht notwendigerweise positiver) reeller Parameter. Die Übertragungsfunktion der Strecke lautet

$$P(s) = \frac{-6(s+1)^2}{(s-1)(s-3)(s+\alpha)}$$

wobei α ein unbekannter reeller Parameter ist. Die Ortskurve des Frequenzgangs $P(j\omega)$ ist gegeben:



a) Ermitteln Sie den Parameter α.

b) Ermitteln Sie mit Hilfe des Nyquist-Kriteriums *nachvollziehbar* (mit Fallunterscheidung und Bestimmung der stetigen Winkeländerung für jeden Fall) den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K, für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

Hinweis: $\Delta \operatorname{arc}\{1 + L(j\omega)\} = (n_\mathrm{a} + 2n_\mathrm{r})\frac{\pi}{2}$
$L(s)$ stellt dabei die Übertragungsfunktion des offenen Kreises dar.

Aufgabe 3:

Gegeben sei das Modell einer Regelstrecke in Form der Übertragungsfunktion

$$P(s) = \frac{s-1}{s(s+1)}$$

Für den zu entwerfenden Regelkreis (erweiterte Regelkreisstruktur) wurde die Führungsübertragungsfunktion

$$T(s) = \frac{\mu_\mathrm{T}(s)}{(s+1)^3}$$

gewählt, wobei $\mu_\mathrm{T}(s)$ das Zählerpolynom repräsentiert.

a) Geben Sie Bedingungen für $\mu_{\mathrm{T}}(s)$ an, sodass $T(s)$ implementierbar ist.

b) Wählen Sie ein Polynom $\mu_{\mathrm{T}}(s)$ *möglichst niedrigen Grades*, das die Bedingungen
   i) $T(s)$ ist implementierbar
   ii) stationäre Genauigkeit, d.h. $\lim_{t\to\infty} y(t) = 1$ für $r(t) = \sigma(t)$

   erfüllt.

Aufgabe 4:

Für eine in Form der Übertragungsfunktion

$$P(s) = \frac{\mu(s)}{\nu(s)}$$

gegebene Regelstrecke *zweiter Ordnung* soll eine Führungsübertragungsfunktion $T(s)$ so bestimmt werden, dass für sprungförmige Führungsgröße $r(t)$ das Gütekriterium

$$J = \int_0^\infty [r(t) - y(t)]^2 + \delta\,[u(t) - u_\infty]^2 \,\mathrm{d}t$$

minimiert wird. Dabei bezeichnet u_∞ den Grenzwert von $u(t)$ für $t \to \infty$. Leider gehen durch einen Festplattendefekt die Daten des Entwurfs verloren. Im Zuge einer Datenrettung kann lediglich rekonstruiert werden, dass

$$\delta\nu(s)\nu(-s) = -\mu(s)\mu(-s) \quad \text{für } s = 1 + j$$

und

$$\mu(s) = s - 2$$

gilt. Rekonstruieren Sie aus diesen Informationen die optimale Führungsübertragungsfunktion. (*Hinweis:* Es ist nicht notwendig und auch nicht möglich, $\nu(s)$ bzw. δ zu ermitteln.)

Aufgabe 5:

Gegeben sei die Übertragungsfunktion einer Regelstrecke.

$$P(s) = \frac{1}{s^3 + 3s}$$

Es soll nun ein Standardregelkreis so ausgelegt werden, dass seine Führungsübertragungsfunktion

$$T(s) = \frac{\mu_T(s)}{\nu_T(s)} = \frac{R(s)P(s)}{1 + R(s)P(s)}.$$

das vorgegebene Nennerpolynom

$$\nu_T(s) = (s + 1)^5 = s^5 + 5s^4 + 10s^3 + 10s^2 + 5s + 1.$$

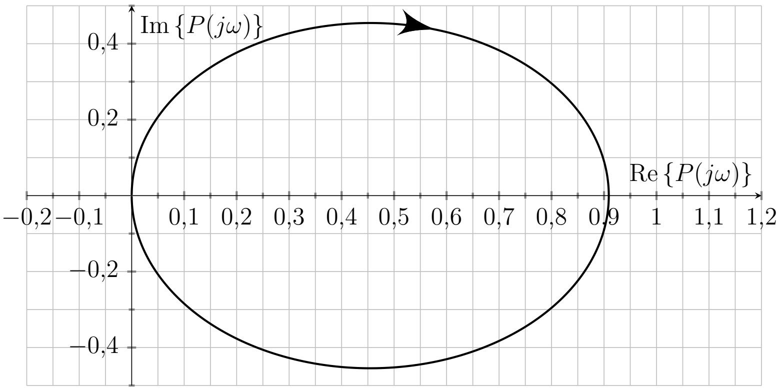
besitzt. Ermitteln Sie die Parameter des Reglers

$$R(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

über die Methode der Polvorgabe.

Aufgabe 6:

Gegeben sei die Ortskurve für $\omega \in [0, \infty)$ eines *LZI*-Systems mit der Übertragungsfunktion $P(s)$:



Leider ist die zugehörige Übertragungsfunktion vergessen worden. Nach einiger Recherchearbeit konnte man die Auswahl auf folgende Übertragungsfunktionen einschränken.

i) $P_1(s) = \dfrac{10s - 2}{(s+1)(s+2)}$, ii) $P_2(s) = \dfrac{-2s}{\left(s + \frac{1}{2}\right)^2}$,

iii) $P_3(s) = \dfrac{10s(s+10)}{(s+10)^2(s+1)}$, iv) $P_4(s) = \dfrac{2 - 2s}{s(s-2)(s+3)}$.

Welche der vier oben genannten Übertragungsfunktionen ist die gesuchte.