Schriftliche Prüfung aus **Regelungstechnik** am 21.10.2004

Name / Vorname(n):

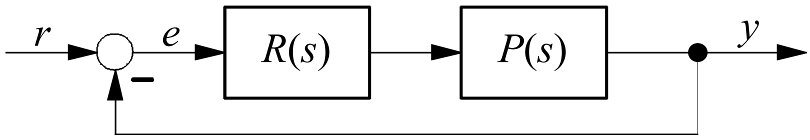
Kenn-Matr.Nr.:

BONUSPUNKTE aus Computerrechenübung SS2003:
BONUSPUNKTE aus Computerrechenübung SS2004:

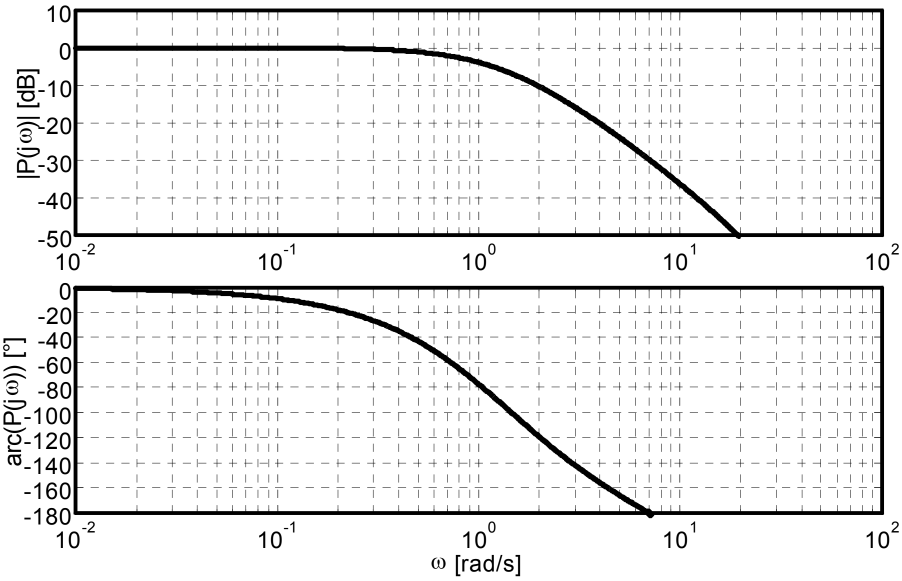
	1	2	3
erreichbare Punkte	6	8	7
erreichte Punkte			

Aufgabe 1:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



Die Regelstrecke mit der Übertragungsfunktion $P(s)$ sei „vom einfachen Typ“, ihr Frequenzgang $P(j\omega)$ liegt in Form eines Bode-Diagramms graphisch vor:



a) Als Regler soll zunächst ein Proportionalregler $R(s) = K$ (K ist hierbei ein reeller Parameter) eingesetzt werden. Dimensionieren Sie mit Hilfe des Frequenzkennlinienverfahrens den Proportionalregler so, dass die Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises ein prozentuales Überschwingen von 10 $[\%]$ aufweist. Wie groß ist die zu erwartende Anstiegszeit t_r ? (*Begründen Sie Ihre Antwort.*)

b) Als Führungsgröße wird $r(t) = 9\cos(7t)$ gewählt. Ermitteln Sie für den unter a) gefundenen Regler im *eingeschwungenen Zustand* den Regelfehler $e(t)$.

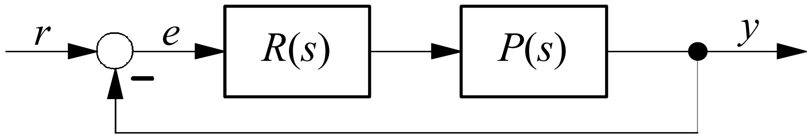
c) Der Regler wird nun mit $R(s) = K \cdot \dfrac{1 + s/\omega_Z}{1 + s/\omega_N}$ mit $\omega_N = m\omega_Z$

angesetzt (K, ω_Z und ω_N sind hierbei reelle Parameter). Dimensionieren Sie mit Hilfe der folgenden Tabelle (näherungsweise) die Parameter ω_Z und ω_N so, dass gegenüber a) bei gleichem Überschwingen die Anstiegszeit t_r halbiert wird.

m:	2	3	4	5	6
$\Delta\varphi_{\max} = \arcsin\left(\dfrac{m-1}{m+1}\right)$:	19°	30°	37°	42°	46°

Aufgabe 2:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



Als Regler soll ein Proportionalregler $R(s) = K$ (K ist hierbei ein reeller Parameter) verwendet werden, die Übertragungsfunktion der Regelstrecke lautet:

$$P(s) = \frac{10}{(s+1)^2(s+4)} .$$

a) Skizzieren Sie den Frequenzgang $P(j\omega)$ der Regelstrecke zunächst in Form eines Bode-Diagramms. Skizzieren Sie anschließend mit Hilfe des Bode-Diagramms die zugehörige Ortskurve. Ermitteln Sie anhand dieser qualitativen Skizze die Anzahl der Schnittpunkte der Ortskurve mit der reellen Achse.

b) Berechnen Sie die exakten Werte aller ermittelten Schnittpunkte der Ortskurve mit der reellen Achse.

c) Ermitteln Sie mit Hilfe des Nyquistkriteriums den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K (mit $K > 0$), für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

d) Als Führungsgröße wird nun die Sprungfunktion $r(t) = \sigma(t)$ gewählt. Ermitteln Sie den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K (mit $K > 0$), für den für die bleibende Regelabweichung gilt:

$$e_\infty = \lim_{t\to\infty} e(t) < \frac{1}{6} .$$

e) Berechnen Sie die Führungsübertragungsfunktion $T(s)$ und bestimmen Sie den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K (mit $-\infty < K < \infty$), für den das Nennerpolynom der Führungsübertragungsfunktion ein Hurwitz-Polynom ist.

Hinweis: $\Delta\text{arc}\left\{1 + L(j\omega)\right\} = (n_a + 2n_r)\pi / 2$

$L(s)$ stellt hierbei die Übertragungsfunktion des offenen Kreises dar.

Aufgabe 3:

Gegeben sei folgendes mathematische Modell einer Regelstrecke mit der Eingangsgröße u, dem Zustandsvektor $\mathbf{x}$ und der Ausgangsgröße y:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} u$$
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}\mathbf{x}$$

a) Ermitteln Sie ein Regelgesetz der Form

$$u = -\begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix}\mathbf{x} + Vr = -\mathbf{h}^T\mathbf{x} + Vr$$

so, dass die Eigenwerte des geregelten Systems bei $s_{1,2} = -2 \pm j2$ liegen und für einen Einheitssprung $r(t) = \sigma(t)$ gilt: $y_\infty = \lim_{t\to\infty} y(t) = 1$.

Da der Zustandsvektor $\mathbf{x}$ *nicht* messbar ist, wird für die praktische Realisierung obiger Regelung ein Schätzwert $\hat{\mathbf{x}}$ herangezogen, d.h.: $u = -\mathbf{h}^T\hat{\mathbf{x}} + Vr$.
Dafür wird ein Zustandsbeobachter der Form

$$\frac{d\hat{\mathbf{x}}}{dt} = \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{b}u + \hat{\mathbf{b}}y$$

verwendet. Die Zusammenschaltung von Regelstrecke, Zustandsregler und Zustandsbeobachter ergibt ein Gesamtsystem der Form

$$\frac{d\mathbf{z}}{dt} = \overline{\mathbf{A}}\mathbf{z} + \overline{\mathbf{b}}r \qquad \text{mit} \qquad \mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \hat{\mathbf{x}} \end{bmatrix} \qquad \text{und} \qquad \overline{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} . & 2 & . & -1 \\ . & 1 & . & -2 \\ . & 1 & -4 & 0 \\ . & 7 & -12 & -8 \end{bmatrix},$$
$$y = \overline{\mathbf{c}}^T\mathbf{z}$$

wobei durch einen Übertragungsfehler leider einige Elemente der Dynamikmatrix $\overline{\mathbf{A}}$ nicht richtig übermittelt werden konnten.

b) Bestimmen Sie die fehlenden Elemente der Dynamikmatrix $\overline{\mathbf{A}}$ sowie die Systemgrößen $\overline{\mathbf{b}}$ und $\overline{\mathbf{c}}^T$ (zahlenmäßig).

c) Berechnen Sie *alle* Lösungen der charakteristischen Gleichung $\det\left(s\mathbf{E} - \overline{\mathbf{A}}\right) = 0$.

d) Ermitteln Sie die Determinante der Matrix $\mathbf{S}_r := \begin{bmatrix} \overline{\mathbf{b}} & \overline{\mathbf{A}}\overline{\mathbf{b}} & \overline{\mathbf{A}}^2\overline{\mathbf{b}} & \overline{\mathbf{A}}^3\overline{\mathbf{b}} \end{bmatrix}$. (*Hinweis:* Die Berechnung der Determinante einer (4×4)-Matrix kann hier umgangen werden!)

Schriftliche Prüfung aus **Regelungstechnik** am 7.2.2005

Name / Vorname(n):

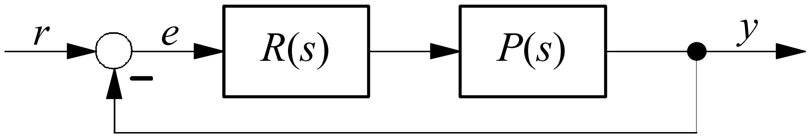
Kenn-Matr.Nr.:

BONUSPUNKTE aus Computerrechenübung SS2003:
BONUSPUNKTE aus Computerrechenübung SS2004:

	1	2	3
erreichbare Punkte	7	7	7
erreichte Punkte			

Aufgabe 1:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



Der Frequenzgang $P(j\omega)$ der *BIBO-stabilen* Übertragungsfunktion $P(s)$ liegt in Form von logarithmischen Frequenzkennlinien vor (siehe Beiblatt). Daraus können z.B. die folgenden (möglicherweise wichtigen) Werte abgelesen werden:

$$\begin{aligned} |P(0)| &= 6\,dB & arc\{P(j0)\} &= 0° \\ |P(j3)| &= -6\,dB & arc\{P(j3)\} &= -120° \\ |P(j8)| &= -20\,dB & arc\{P(j8)\} &= -180° \end{aligned}$$

a) Skizzieren Sie den Verlauf der zu $P(s)$ gehörigen Ortskurve $P(j\omega)$.

Als Regler soll ein so genannter Proportionalregler eingesetzt werden, d.h. $R(s) = K$, wobei K ein reeller Parameter ist.

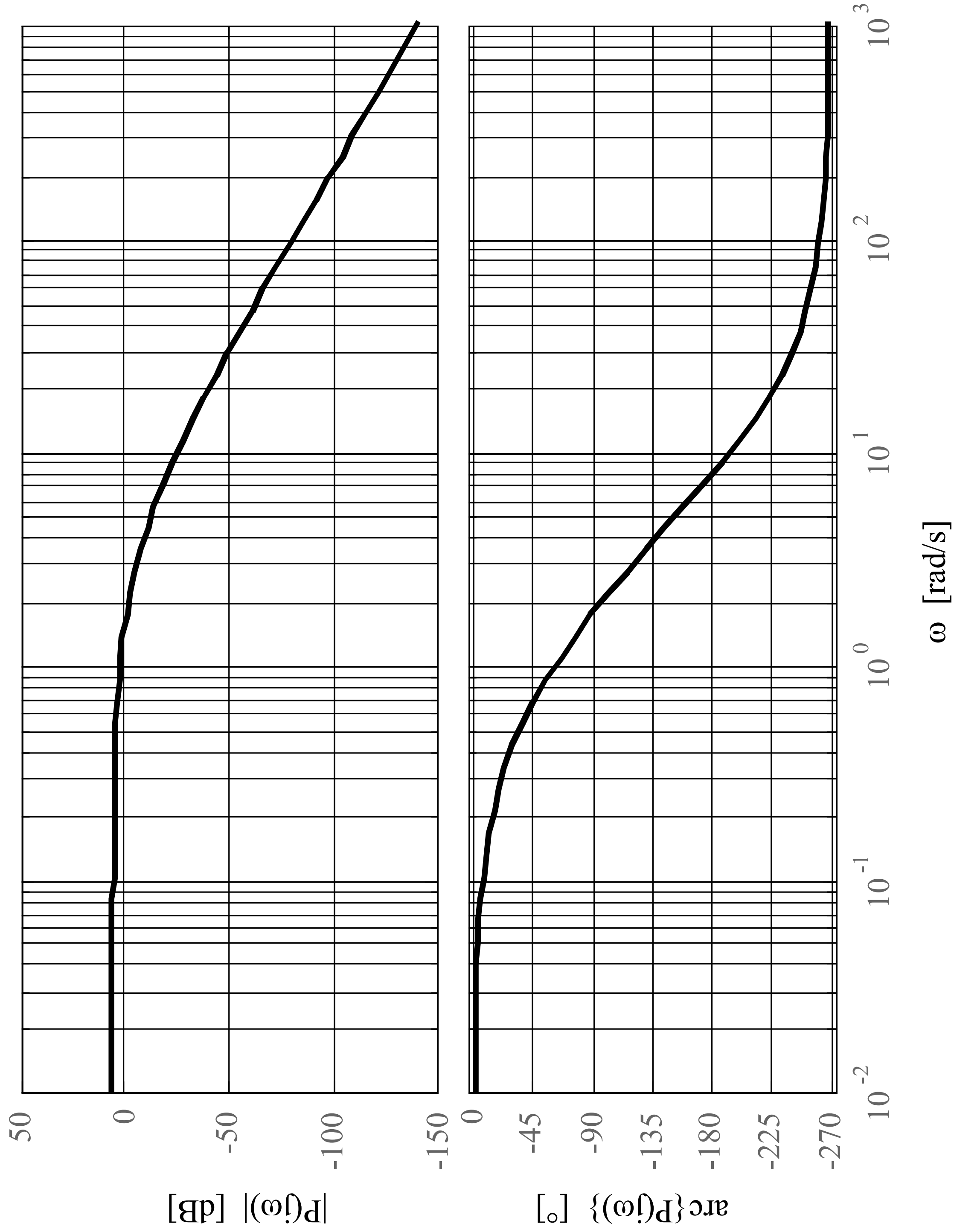
b) Bestimmen Sie mit Hilfe des Nyquist-Kriteriums den größtmöglichen Bereich des Parameters K, für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

c) Dimensionieren Sie den Proportionalregler so, dass die Phasenreserve ϕ_r des Regelkreises 60° beträgt. Wie groß ist bei Verwendung des ermittelten Reglers die bleibende Regelabweichung $e_\infty = \lim_{t\to\infty}(r(t) - y(t))$, wenn als Führungsgröße die Sprungfunktion $r(t) = \sigma(t)$ gewählt wird?

Hinweise: $\Delta\text{arc}\{1 + L(j\omega)\} = (n_a + 2n_r)\pi / 2$

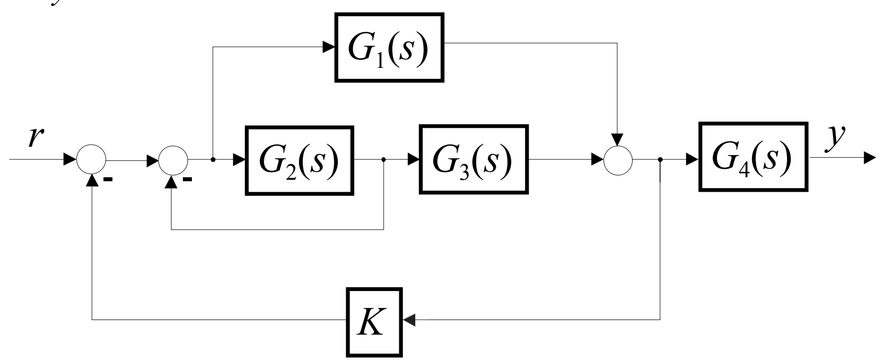
$L(s)$ stellt hierbei die Übertragungsfunktion des offenen Kreises dar.

$20\log(2) \approx 6$


50
0
-50
-100
-150
|P(jω)| [dB]
0
-45
-90
-135
-180
-225
-270
arc{P(jω)} [°]
10^-2
10^-1
10^0
10^1
10^2
10^3
ω [rad/s]

Aufgabe 2:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



a) Bestimmen Sie die Führungsübertragungsfunktion $T(s)$ als Funktion der Übertragungsfunktionen $G_1(s), G_2(s), G_3(s), G_4(s)$ und des reellen Parameters K.

Für die Übertragungsfunktionen $G_1(s), G_2(s), G_3(s), G_4(s)$ soll nun gelten:

$$G_1(s) = \frac{1}{s+2}, \quad G_2(s) = \frac{4}{s+2}, \quad G_3(s) = \frac{-1}{s+3}, \quad G_4(s) = \frac{-1}{s+1}$$

b) Ermitteln Sie den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K, für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

c) Als Führungsgröße wird die Sprungfunktion $r(t) = \sigma(t)$ gewählt. Ermitteln Sie den Wert $y_\infty = \lim\limits_{t\to\infty} y(t)$ in Abhängigkeit des Parameters K. Skizzieren Sie den Verlauf der Funktion $y_\infty = f(K)$ in einem Diagramm.

Aufgabe 3:

Gegeben sei folgendes mathematische Modell einer Regelstrecke mit der Eingangsgröße u, dem Zustandsvektor $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix}^T$ und der Ausgangsgröße y:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}u \qquad y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}\mathbf{x}$$

a) Ermitteln Sie ein Regelgesetz der Form $u = -\begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix}\mathbf{x} + Vr = -\mathbf{h}^T\mathbf{x} + Vr$
so, dass die Eigenwerte des geregelten Systems bei $s_1 = -2, \quad s_2 = -4$ liegen und für einen Einheitssprung $r(t) = \sigma(t)$ gilt:

$$y_\infty = \lim_{t\to\infty} y(t) = 1\,.$$

Da die Zustandsvariable x_1 *nicht* messbar ist, wird für die praktische Realisierung obiger Regelung ein Schätzwert $\hat{\mathbf{x}}$ herangezogen, d.h.: $u = -\mathbf{h}^T\hat{\mathbf{x}} + Vr$. Dafür wird ein Zustandsbeobachter der Form

$$\frac{d\hat{\mathbf{x}}}{dt} = \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{b}u + \hat{\mathbf{b}}y$$

verwendet. Die Zusammenschaltung von Regelstrecke, Zustandsregler und Zustandsbeobachter ergibt ein Gesamtsystem der Form

$$\frac{d\mathbf{z}}{dt} = \bar{\mathbf{A}}\mathbf{z} + \bar{\mathbf{b}}r \qquad \text{mit} \qquad \mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix}.$$
$$y = \bar{\mathbf{c}}^T\mathbf{z}$$

b) Bestimmen Sie die Systemgrößen $\bar{\mathbf{A}}$, $\bar{\mathbf{b}}$ und $\bar{\mathbf{c}}^T$ so, dass die Eigenwerte der Dynamikmatrix des Schätzfehlers $\mathbf{e} = \mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}$ bei $s_1 = s_2 = -6$ liegen.

c) Geben Sie die Übertragungsfunktion $T(s) = \left.\dfrac{y(s)}{r(s)}\right|_{\mathbf{z}_0=\mathbf{0}}$ an.

Schriftliche Prüfung aus **Regelungstechnik** am 18.3.2005

Name / Vorname(n):

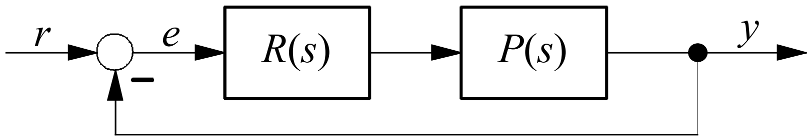
Kenn-Matr.Nr.:

BONUSPUNKTE aus Computerrechenübung SS2003:
BONUSPUNKTE aus Computerrechenübung SS2004:

	1	2	3	4
erreichbare Punkte	7	6	4	4
erreichte Punkte				

Aufgabe 1:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



Für die Übertragungsfunktion der Strecke gilt:

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

a) Skizzieren Sie in der komplexen Ebene den Verlauf der Ortskurve $P(j\omega)$. Wo liegen die Schnittpunkte der Ortskurve mit der reellen bzw. mit der imaginären Achse?

Als Regler soll ein so genannter Proportionalregler eingesetzt werden, d.h. $R(s) = K$. Dabei kann der reelle Parameter K positive und negative Werte annehmen.

b) Bestimmen Sie mit Hilfe des Nyquist-Kriteriums den größtmöglichen Bereich des Parameters *K*, für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

c) Als Führungsgröße wird nun die Sprungfunktion gewählt, d.h. $r(t) = \sigma(t)$. Ermitteln Sie die bleibende Regelabweichung $e_\infty = \lim\limits_{t\to\infty}[r(t) - y(t)]$ in Abhängigkeit des Parameters *K*. Skizzieren Sie den Verlauf der Funktion $e_\infty = f(K)$ in einem Diagramm.

d) Als Führungsgröße wird nun $r(t) = \sin t$ gewählt, für den Regler gilt $R(s) = 0.5$. Geben Sie den Verlauf des Regelfehlers $e(t) = r(t) - y(t)$ für sehr große Werte von t an.

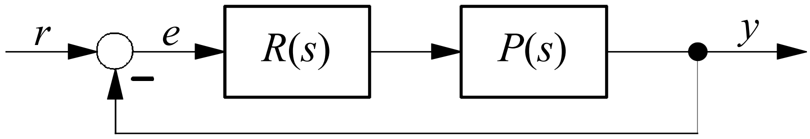
Hinweise: $\Delta\text{arc}\{1 + L(j\omega)\} = (n_a + 2n_r)\pi / 2$

$L(s)$ stellt hierbei die Übertragungsfunktion des offenen Kreises dar.

$\tan(26°) \approx 0.5$

Aufgabe 2:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



Für die Übertragungsfunktion der Strecke gilt:

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

Überprüfen Sie mit welchem der folgenden Reglertypen es möglich ist, der Sprungantwort des Regelkreises folgende Eigenschaften näherungsweise zu verleihen:

$$\ddot{u} = 25\% \qquad t_r = 1.5 \qquad e_\infty = 0 \quad \text{für} \quad r(t) = \sigma(t)$$

Bestimmen Sie gegebenenfalls die Parameter des gesuchten Reglers.

a) Proportional-Regler: $R(s) = K$

b) Proportional-Integral-Regler: $R(s) = K\dfrac{1+sT}{sT}$

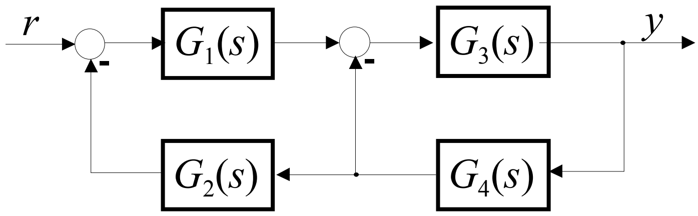
c) Lead-Lag-Glied: $R(s) = K\dfrac{1+sT_1}{1+sT_2}$

d) Integrierglied: $R(s) = \dfrac{K}{s}$

Begründen Sie Ihre Antworten!

Aufgabe 3:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



a) Bestimmen Sie die Führungsübertragungsfunktion $T(s)$ als Funktion der Übertragungsfunktionen $G_1(s), G_2(s), G_3(s)$ und $G_4(s)$.

Für obige Übertragungsfunktionen soll nun gelten:

$$G_1(s) = \frac{1}{s+3}, \quad G_2(s) = \frac{s+K}{s+1}, \quad G_3(s) = \frac{s+1}{s+3}, \quad G_4(s) = \frac{s+3}{s+2}$$

Hierbei ist K ein reeller Parameter

b) Ermitteln Sie den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K, für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

Aufgabe 4:

Gegeben sei folgendes mathematische Modell einer Regelstrecke mit der Eingangsgröße u, dem Zustandsvektor $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix}^T$ und der Ausgangsgröße y:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}u \qquad y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}\mathbf{x}$$

Zur Schätzung der Zustandsvariablen wird ein asymptotischer Zustandsbeobachter herangezogen. Die Zusammenschaltung von Regelstrecke und Zustandsbeobachter ergibt ein Gesamtsystem der Form

$$\frac{d\mathbf{z}}{dt} = \overline{\mathbf{A}}\mathbf{z} + \overline{\mathbf{b}}u \qquad \text{mit} \qquad \mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix}.$$
$$y = \overline{\mathbf{c}}^T\mathbf{z}$$

a) Bestimmen Sie die Systemgrößen $\overline{\mathbf{A}}$, $\overline{\mathbf{b}}$ und $\overline{\mathbf{c}}^T$ so, dass die Eigenwerte der Dynamikmatrix des Schätzfehlers $\mathbf{e} = \mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}$ bei $s_1 = s_2 = -2$ liegen.

b) Geben Sie die Übertragungsfunktion $T(s) = \left.\frac{y(s)}{u(s)}\right|_{\mathbf{z}_0 = \mathbf{0}}$ an.

Schriftliche Prüfung aus **Regelungstechnik** am 01. 07. 2005

Name / Vorname(n):

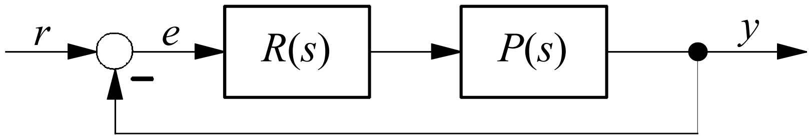
Kenn-Matr.Nr.:

Bonuspunkte:

	1	2	3	4
erreichbare Punkte	5	4	5	4
erreichte Punkte				

Aufgabe1:

Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



Für die Übertragungsfunktion der Strecke gilt:

$$P(s) = \frac{100}{(s+1)(s+10)}$$

a) Dimensionieren Sie einen PI-Regler

$$R(s) = \frac{(1 + s/\omega_1)}{s}$$

so, dass die Sprungantwort des Regelkreises näherungsweise eine Anstiegszeit von 0.15 s und ein prozentuales Überschwingen von 25 % aufweist. Wie groß ist die zu erwartende bleibende Regelabweichung $e_\infty = \lim_{t\to\infty} e(t)$?

b) Erweitern Sie den in a) entworfenen Regler so, dass die Überschwingweite bei gleichbleibender Anstiegszeit nur noch ungefähr 5 % beträgt.

Hinweis: Für Lead- bzw. Lag-Glieder

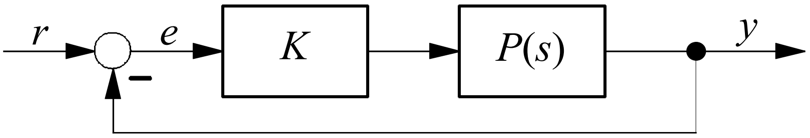
$$R(s) = \frac{1 + s/\omega_z}{1 + s/\omega_n}$$

mit $\omega_n = m\omega_z$ gilt:

m	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.25
$\Delta\varphi_{\max} = \arcsin\frac{m-1}{m+1}$	-37°	-19°	-8°	0°	6°	12°	19°	23°

Aufgabe 2:

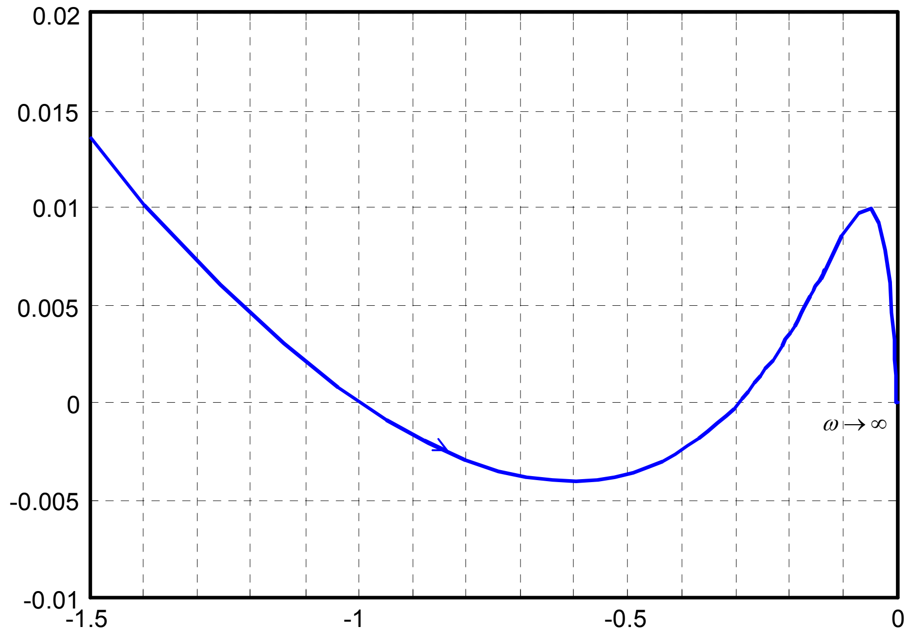
Gegeben sei das Blockschaltbild eines Regelkreises mit der Führungsgröße r und der Ausgangsgröße y:



(K ist hierbei ein reeller Parameter)
Die Übertragungsfunktion der Strecke lautet:

$$P(s) = \frac{0.049(s+0.02)(s+0.99)(s+10)}{s^2(s+0.01)(s+2)^2}$$

Zusätzlich liegt der Frequenzgang $P(j\omega)$ der Strecke graphisch vor:



a) Ermitteln Sie mit Hilfe des Nyquist-Kriteriums den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K, für den obiger Regelkreis die BIBO-Eigenschaft besitzt.

b) Es wird nun als Führungsgröße die Sprungfunktion $r(t) = \sigma(t)$ gewählt. Bestimmen Sie den größtmöglichen Wertebereich des Parameters K, für den die bleibende Regelabweichung $\lim_{t \to \infty} e(t) = 0$ gilt.

Hinweis: $\Delta arc(1 + L(j\omega)) = (n_a + 2n_r)\frac{\pi}{2}$

$L(s)$ stellt hierbei die Übertragungsfunktion des offenen Kreises dar.

Aufgabe 3:

Gegeben sei das mathematische Modell der Regelstrecke mit der Eingangsgröße u und der Ausgangsgröße y

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 3 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$
$$y = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

Es soll nun ein Regelgesetz der Form

$$u = -\begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

eingesetzt werden so, dass der Regelkreis ein charakteristisches Polynom

$$\Delta(s) = s^3 + (\alpha + 1)s^2 + \alpha s + 10 - 2\alpha$$

besitzt. (α ist hierbei ein reeller Parameter)

a) Bestimmen Sie den größtmöglichen Wertebereich des Parameters α so, dass obiges charakteristische Polynom $\Delta(s)$ eine sinnvolle Wahl darstellt.

b) Für die folgenden Betrachtungen sei nun $\alpha = 3$. Berechnen Sie für das entsprechende charakteristische Polynom die Parameter (h_1, h_2, h_3) des Zustandsreglers.

c) Nehmen Sie an, dass die Zustandsgrößen nicht direkt messbar sind. Ist es möglich, für obiges System einen Beobachter der Form

$$\frac{d\hat{\mathbf{x}}}{dt} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{b}u + \hat{\mathbf{b}}(y - \hat{y})$$
$$\hat{y} = \mathbf{c}^T \hat{\mathbf{x}}$$

so zu entwerfen, dass die Dynamikmatrix des Beobachterfehlers $\mathbf{e} := \mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}$ drei Eigenwerte bei $s_{1,2,3} = -5$ besitzt? (Begründen Sie Ihre Antwort)

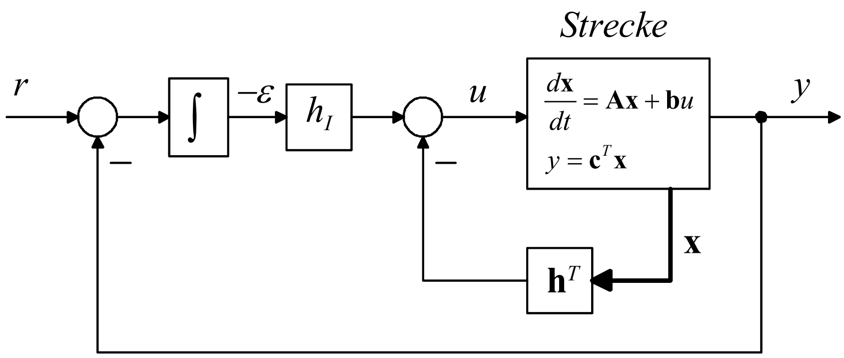
Aufgabe 4:

Gegeben sei das mathematische Modell einer Regelstrecke mit der Eingangsgröße u und der Ausgangsgröße y

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}u$$
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x}$$

Entwerfen Sie einen Zustandsregler mit Integrierer (vgl. Skizze)

$$u = -\mathbf{h}^T\mathbf{x} - h_I\varepsilon$$



so, dass die Eigenwerte des geregelten System mit dem Zustandsvektor

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \varepsilon \end{bmatrix}$$

bei $s_{1,2,3} = -1$ liegen.