Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Regelungstechnik
Prof. Dr.-Ing. G. Roppenecker

Schriftliche Prüfung in

„Regelungstechnik"

am 13.02.2002

Bitte ausfüllen:

Name: ....

Matrikel-Nummer: ....

Unterschrift: ....

Anzahl der Aufgabenblätter (einschl. Deckblatt): 5

Anzahl der Leerblätter: 5

Anzahl der abgegebenen Lösungsblätter: ....

Aufgabe 1:

Gegeben sei ein nichtlineares System mit der Ausgangsgröße y(t) und der Eingangsgröße u(t), das durch die Differentialgleichung

$$\dot{y}(t) - 4y(t) - y^2(t) = 4u(t)$$

beschrieben wird.

a) Erstellen Sie ein Strukturbild dieses nichtlinearen Systems.

b) Geben Sie den Wert y_B der Ausgangsgröße im Betriebspunkt (d.h. im stationären Zustand) an, wenn für die Eingangsgröße

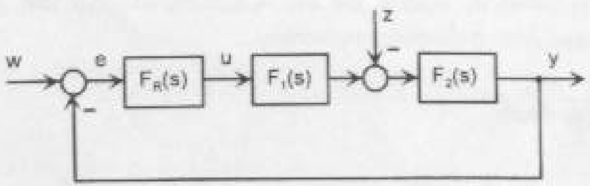
$u(t) = u_B = 1 = const$

gilt.

c) Linearisieren Sie das Strukturbild aus Teilaufgabe a) um den Betriebspunkt (y_B, u_B) und geben Sie ein möglichst einfaches Strukturbild des linearisierten Systems an.

Aufgabe 2:

Gegeben sei der nachfolgende Regelkreis



mit den Streckenübertragungsfunktionen

$$F_1(s)=\frac{K}{1+Ts} \quad \text{und} \quad F_2(s)=\frac{1}{s}.$$

Als Regler wird ein P-Regler mit der Übertragungsfunktion

$$F_R(s)=K_R$$

eingesetzt.

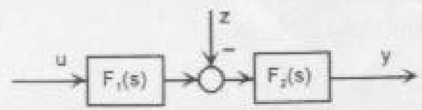
a) Dimensionieren den P-Regler so, daß sich eine Phasenreserve von $\varphi_R = 45°$ für den Regelkreis ergibt.
Hinweis: $\tan 45° = 1$.

b) Ist diese Wahl der Phasenreserve für gutes Führungsverhalten geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort.

c) Bestimmen Sie die bleibende Regeldifferenz e_∞ im Führungs- und im Störverhalten. Legen Sie als Systemanregung jeweils einen Einheitssprung zugrunde.
Hinweis: Falls Sie Teilaufgabe a) nicht gelöst haben, verwenden Sie für die Rechnung die allgemeine Reglerübertragungsfunktion $F_R(s) = K_R$.

Aufgabe 3:

Gegeben sei die nachfolgende Regelstrecke



mit den Streckenübertragungsfunktionen

$$F_1(s)=\frac{1-Ts}{1+Ts} \quad \text{und} \quad F_2(s)=\frac{1}{s},$$

wobei $T > 0$ gilt.

a) Welche Voraussetzung muß erfüllt sein, damit eine Störgrößenaufschaltung möglich wird?

b) Erweitern Sie die obige Regelstrecke um eine Störgrößenaufschaltung mit allgemeinem Steuerglied $F_{AZ}(s)$ und um eine Regelung der Ausgangsgröße y mit P-Regler.

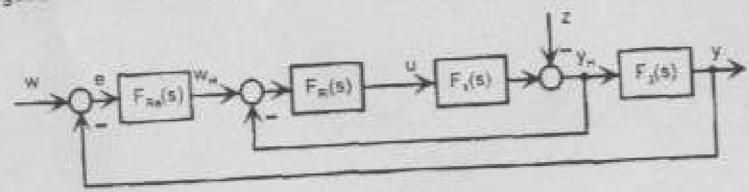
c) Wie muß das Steuerglied $F_{AZ}(s)$ der Störgrößenaufschaltung für exakte Störkompensation gewählt werden? Ist die so bestimmte Störgrößenaufschaltung praktisch einsetzbar? Begründen Sie Ihre Antwort.

d) Wie muß das Steuerglied $F_{AZ}(s)$ der Störgrößenaufschaltung für stationäre Störkompensation gewählt werden?

e) Bestimmen Sie die Führungsübertragungsfunktion des Regelkreises mit P-Regler und geben Sie an, für welche Reglerverstärkung $K_R > 0$ die Regelung stabil ist.

Aufgabe 4:

Gegeben sei die nachfolgende Kaskadenregelung



mit den Streckenübertragungsfunktionen

$$F_1(s) = \frac{1}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)} \qquad \text{und} \qquad F_2(s) = \frac{1}{s},$$

sowie mit den Reglerübertragungsfunktionen

$$F_{Ri}(s) = K_{Ri}\frac{1+T_{Ri}s}{s} \qquad \text{und} \qquad F_{Ra}(s) = K_{Ra}.$$

a) Um welche Reglertypen handelt es sich bei den verwendeten Reglern?

b) Nennen Sie zwei Vorteile der Kaskadenregelung.

c) Bestimmen Sie die Reglerverstärkung K_{Ri} und die Zählerzeitkonstante T_{Ri} des inneren Reglers $F_{Ri}(s)$ so, daß der unterlagerte Regelkreis die Führungsübertragungsfunktion

$$F_{wi}(s) = \frac{Y_H(s)}{W_H(s)} = \frac{1}{1+4T_2 s+4T_2^2 s^2}$$

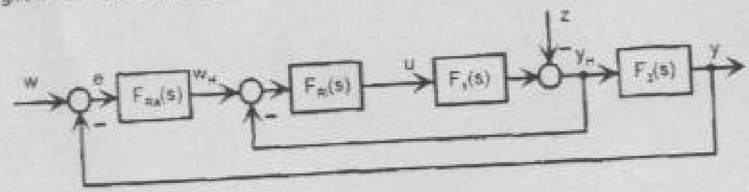
besitzt. Kann die Führungssprungantwort des unterlagerten Regelkreises überschwingen? Begründen Sie Ihre Antwort.

d) Skizzieren Sie die Ortskurve des offenen äußeren Kreises unter Verwendung von $F_{wi}(s)$ für den geschlossenen inneren Regelkreis nach Teilaufgabe c). Kann der geschlossene äußere Regelkreis instabil werden? Begründen Sie kurz Ihre Antwort. Falls ja, ermitteln Sie, für welche Werte von $K_{Ra} > 0$ der äußere geschlossene Regelkreis stabil arbeitet?

e) Ist die Kaskadenregelung im Führungs- und im Störverhalten stationär genau, wenn für w und z jeweils Einheitssprünge angenommen werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

Aufgabe 4:

Gegeben sei die nachfolgende Kaskadenregelung



mit den Streckenübertragungsfunktionen

$$F_1(s) = \frac{1}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)} \qquad \text{und} \qquad F_2(s) = \frac{1}{s}.$$

sowie mit den Reglerübertragungsfunktionen

$$F_{Ri}(s) = K_{Ri}\frac{1+T_{Ri}s}{s} \qquad \text{und} \qquad F_{Ra}(s) = K_{Ra}.$$

a) Um welche Reglertypen handelt es sich bei den verwendeten Reglern?

b) Nennen Sie zwei Vorteile der Kaskadenregelung.

c) Bestimmen Sie die Reglerverstärkung K_{Ri} und die Zählerzeitkonstante T_{Ri} des inneren Reglers $F_{Ri}(s)$ so, daß der unterlagerte Regelkreis die Führungsübertragungsfunktion

$$F_w(s) = \frac{Y_H(s)}{W_H(s)} = \frac{1}{1+4T_2 s+4T_2^2 s^2}$$

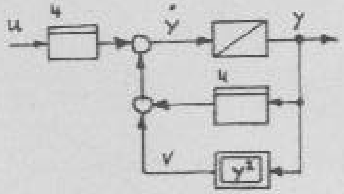
besitzt. Kann die Führungssprungantwort des unterlagerten Regelkreises überschwingen? Begründen Sie Ihre Antwort.

d) Skizzieren Sie die Ortskurve des offenen äußeren Kreises unter Verwendung von $F_w(s)$ für den geschlossenen inneren Regelkreis nach Teilaufgabe c). Kann der geschlossene äußere Regelkreis instabil werden? Begründen Sie kurz Ihre Antwort. Falls ja, ermitteln Sie, für welche Werte von $K_{Ra} > 0$ der äußere geschlossene Regelkreis stabil arbeitet?

e) Ist die Kaskadenregelung im Führungs- und im Störverhalten stationär genau, wenn für w und z jeweils Einheitssprünge angenommen werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

Aufgabe 1

a)



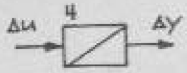
b) $u_B = 1$ und $\dot{y} = 0 \curvearrowright 4y_B + y_B^2 + 4 = (y_B+2)^2 = 0 \curvearrowright y_B = \underline{\underline{-2}}$

c) Nichtlin. Kennlinienglied linearisieren

$$v = y^2 \approx y_B^2 + \frac{d}{dy}\, y^2\Big|_{y=y_B} \underbrace{(y-y_B)}_{=\Delta y} \quad \text{für kleine } \Delta y$$

$$\curvearrowright \Delta v = v - y_B^2 = 2y_B\, \Delta y = -4\, \Delta y$$

vereinfachtes Strukturbild des linearisierten Systems



Aufgabe 2

a) · Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ω_D aus Phasenbedingung

$$\arg\{F_o(j\omega_D)\} \overset{!}{=} -180° + \varphi_R = -180° + 45° = -135°$$

$$\arg\left\{\frac{K_R K}{j\omega_D(1+jT\omega_D)}\right\} = -135°$$

$$-90° - \arctan T\omega_D = -135°$$

$$\arctan T\omega_D = 45° \curvearrowright T\omega_D = 1 \curvearrowright \omega_D = \frac{1}{T}$$

· Bestimmung der Reglerverstärkung K_R aus Betragsbedingung

$$|F_o(j\omega_D)| \overset{!}{=} 1$$

$$\frac{K_R K}{\omega_D \sqrt{1+\underbrace{T^2\omega_D^2}_{=1}}} = 1 \quad \curvearrowright K_R K = \sqrt{2}\,\omega_D = \frac{\sqrt{2}}{T} \curvearrowright K_R = \underline{\underline{\frac{\sqrt{2}}{KT}}}$$

b) $\varphi_R = 45°$: Führungsverhalten schwach gedämpft
$\curvearrowright$ nicht für gutes Führungsverhalten geeignet

c) · Führungsverhalten stationär genau, da offener Kreis I-Anteil enthält

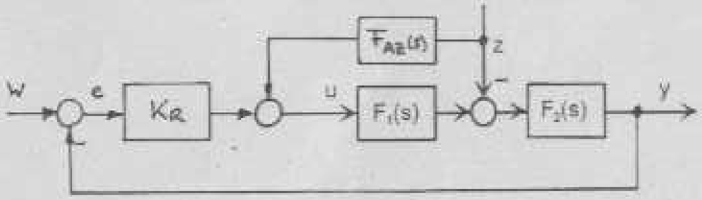
· Störverhalten: Eingang des Integrierers Null setzen und stationären Fall betrachten

$$\curvearrowright \quad K_R K e_\infty - 1 \overset{!}{=} 0 \quad \curvearrowright e_\infty = \frac{1}{K_R K} = \underline{\underline{\frac{T}{\sqrt{2}}}}$$

Aufgabe 3

a) z muß meßbar sein

b)



c) exakte Störkompensation: $F_{Az}(s)\,F_1(s) - 1 \overset{!}{=} 0$

$\curvearrowright\; F_{Az}(s) = \frac{1}{F_1(s)} = \underline{\frac{1+Ts}{1-Ts}}$ praktisch nicht einsetzbar, da Steuerglied instabil

d) stationäre Störkompensation: $F_{Az}(s) = \frac{1}{F_1(0)} = \underline{1}$

e) $F_w(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{F_0(s)}{1+F_0(s)} = \frac{\frac{K_R(1-Ts)}{s(1+Ts)}}{1+\frac{K_R(1-Ts)}{s(1+Ts)}} = \frac{K_R(1-Ts)}{K_R(1-Ts)+s(1+Ts)}$

$= \frac{K_R(1-Ts)}{K_R+(1-K_RT)s+Ts^2} = \underline{\underline{\frac{1-Ts}{1+\frac{1-K_RT}{K_R}s+\frac{T}{K_R}s^2}}}$

Hurwitzkriterium: $\frac{T}{K_R} > 0$, da $T>0$ und $K_R>0$

$\frac{1-K_RT}{K_R} > 0$ für $1-K_RT>0$, da $K_R>0$

$\curvearrowright\; \underline{\underline{0 < K_R < \frac{1}{T}}}$

Aufgabe 4

a) $F_{Ri}(s)$: <u>PI-Regler</u> und $F_{Ra}(s)$: <u>P-Regler</u>

b) • bessere Dynamik als nur mit einem Regler
• bessere Störgrößenausregelung als beim einschleifigen Rk
oder • Schutz vor Überlast der Hilfsregelgröße y_H

c) $F_{wi}(s) = \frac{1}{1+\frac{1}{F_{0i}(s)}} = \frac{1}{1+\frac{s}{K_{Ri}\cancel{(1+T_{Ri}s)}}\cancel{(1+T_1s)}(1+T_2s)}$ $\curvearrowright\; T_{Ri} = \underline{\underline{T_1}}$

$= \frac{1}{1+\frac{1}{K_{Ri}}s+\frac{T_2}{K_{Ri}}s^2} \overset{!}{=} \frac{1}{1+4T_2s+4T_2^2s^2}$

$\curvearrowright\; K_{Ri} = \underline{\underline{\frac{1}{4T_2}}}$ und $\frac{T_2}{K_{Ri}} = 4T_2^2$ (ok)

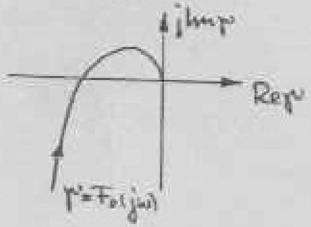
Bestimmung der Dämpfung

$F_{wi}(s) = \frac{1}{1+4T_2s+4T_2^2s^2} = \frac{1}{1+2DTs+T^2s^2}$

$\curvearrowright\; 4D^2T^2 = 4D^2\,4T_2^2 = 16T_2^2 \;\curvearrowright\; D = 1$

d.h. aperiodischer Grenzfall $\curvearrowright$ <u>kein</u> Überschwingen

d) $F_0(s) = \dfrac{K_{RA}}{1 + 4T_2 s + 4T_2^2 s^2} \dfrac{1}{s}$



↝ geschlossener äußerer Rk kann instabil werden, wenn K_{RA} so groß gewählt wird, daß Schnittpunkt der OK links von "−1" liegt

Bestimmung der krit. Reglerverstärkung

$F_0(j\omega_{krit}) = -1 = \dfrac{Z_0(j\omega_{krit})}{N_0(j\omega_{krit})}$

↝ $Z_0(j\omega_{krit}) + N_0(j\omega_{krit}) = 0$

$K_{RA,krit} + j\omega_{krit}\left(1 - 4T_2^2\omega_{krit}^2 + j4T_2\omega_{krit}\right) = 0$

$\underbrace{K_{RA,krit} - 4T_2\omega_{krit}^2}_{=0 \;\leadsto\; K_{RA,krit} = 4T_2\omega_{krit}^2 = \frac{1}{T_2}} + j\omega_{krit}\underbrace{\left(1 - 4T_2^2\omega_{krit}^2\right)}_{=0 \;\leadsto\; \omega_{krit}^2 = \frac{1}{4T_2^2}} = 0$

äußerer Rk stabil für $\underline{0 < K_{RA} < K_{RA,krit} = \frac{1}{T_2}}$

e)
- Führungsverhalten stationär genau, da I-Anteil im offenen Kreis
- Störverhalten: unterlagerter Rk stationär genau, da F_{RI} PI-Regler und Störung z nach I-Anteil eingreift
  ↝ $y_{H,\infty} = w_{H,\infty}$ und $y_{H,\infty} = 0$ wegen I-Anteil in $F_2(s)$
  mit $w_{H,\infty} = K_{RA}\, e_\infty$ ↝ $e_\infty = \underline{0}$, d.h. stationär genau