

Diplomhauptprüfung / Bachelorprüfung

"Systemdynamik und Regelungstechnik"

29. Februar 2016

Lösungsblätter

Name:

Vorname:

Matrikelnummer:

E-Mail:

Bitte tragen Sie gleich zu Beginn der Prüfung Ihren Namen, Ihre Matrikelnummer und Ihre E-Mail-Adresse auf diesem Deckblatt ein.

Die Lösungen sowie der **vollständige** und **nachvollziehbare Lösungsweg** sind in die dafür vorgesehenen Lösungsblätter einzutragen. Nur diese werden bewertet. Bitte verwenden Sie nur dokumentenechtes Schreibzeug.

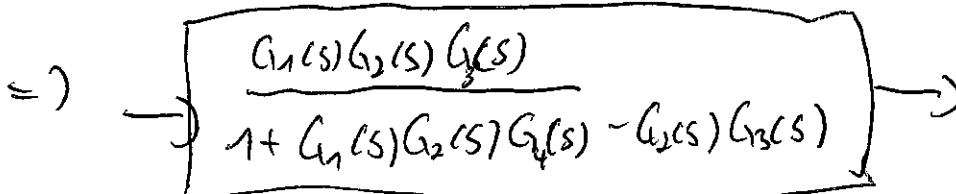
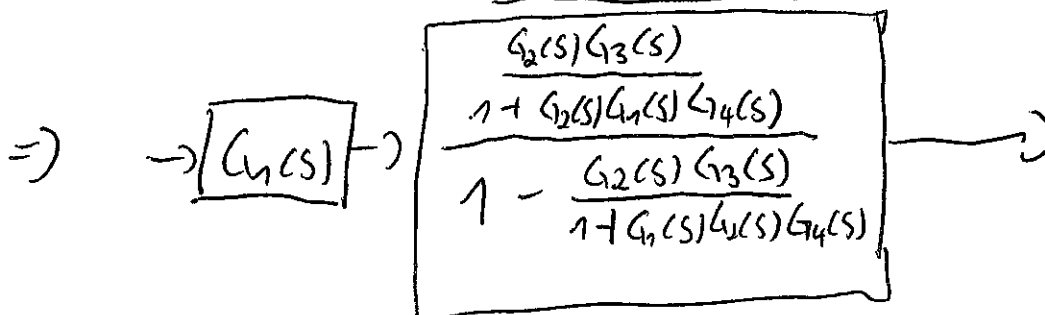
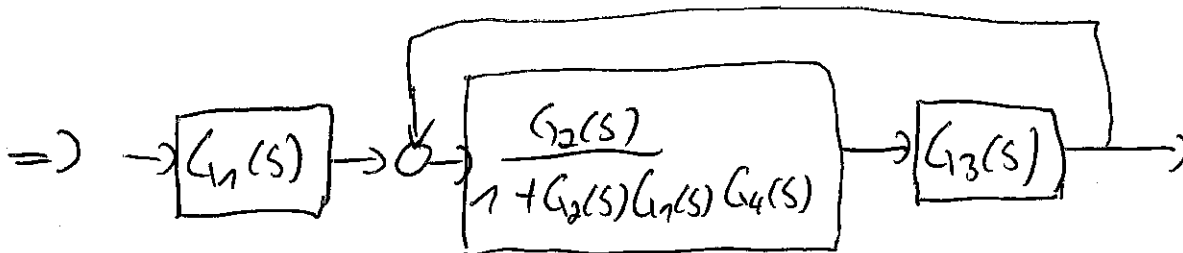
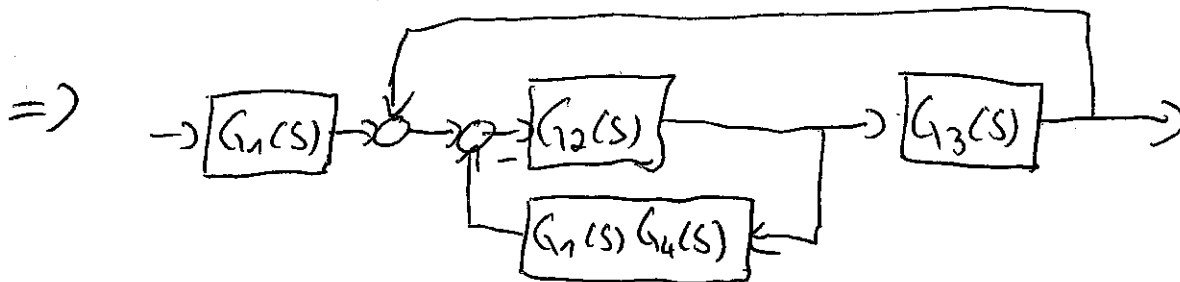
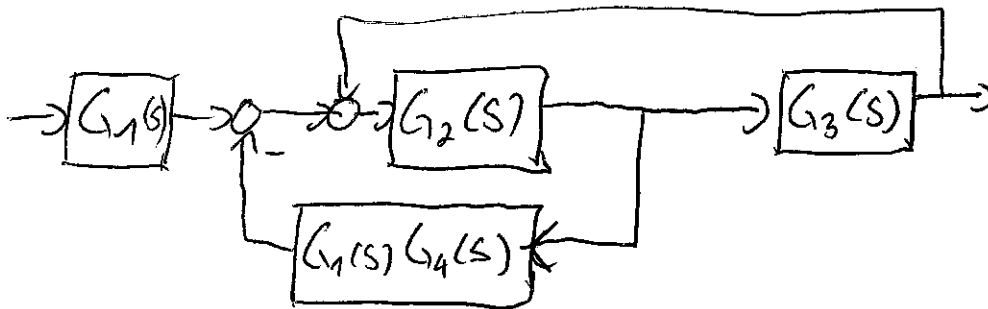
Bei Platzproblemen können die Rückseiten der Lösungsblätter benutzt oder zusätzliche Lösungsblätter angefordert werden. Eigenes Konzeptpapier ist nicht zugelassen und wird als unzulässiges Hilfsmittel bewertet.

Geben Sie am Ende der Prüfung alle zur Verfügung gestellten Lösungsblätter ab.

Aufgabe	Punkte
1	
2	
3	
4	
Σ	

1. Aufgabe

1a)



- von allen, da alle ÜF in der Gesamtübertragungsfunktion enthalten sind und somit die Lage der Pole beeinflussen

1b)

- $O_1 : PT_2 \rightarrow G_4$
- $O_2 : PT_2 \rightarrow G_5$
- $O_3 : I^2 \rightarrow G_6$
- $O_4 : I \rightarrow G_1$
- $O_5 : \text{allpasshaltig} \rightarrow G_2$
- $O_6 : \text{sprungfähig} \rightarrow G_3$

1c) 1. falsch:

Ein geschlossener Standard-Regelkreis ist stationär genau, wenn im offenen Kreis ein I -Glied enthalten ist und der geschlossene Kreis stabil ist.

2. richtig

3. richtig

4. falsch: Der Matlab-Befehl `minreal(sys)` gibt eine Minimalrealisierung des Systems `sys` aus.

5. falsch: Ein System heißt Minimalphasensystem, wenn es keine Pole und Nullstellen rechts der imaginären Achse aufweist.

6. richtig

7. falsch: Die Sprungantwort und die Impulsantwort eines differenzierenden Systems sind nicht identisch.

2. Aufgabe

2a) • $F_{\text{beschl}} = F_m - F_g$

$$m \cdot \ddot{y}(t) = \frac{k I(t)}{y^3(t)} - m \cdot g$$

$$\ddot{y}(t) = \frac{k I(t)}{y^3(t) m} - g \quad \Rightarrow \quad \ddot{y}(t) - \frac{k I(t)}{y^3(t) m} + g = 0$$

• Ruhelage: $\ddot{y}(t) = 0$

$$\frac{k I_0}{y_0^3 m} = g \quad \Rightarrow \quad I_0 = \frac{m \cdot g \cdot y_0^3}{k}$$

• $\left. \frac{\partial f}{\partial \ddot{y}} \right|_{AP} \cdot \Delta \ddot{y} + \left. \frac{\partial f}{\partial \dot{y}} \right|_{AP} \cdot \Delta \dot{y} + \left. \frac{\partial f}{\partial y} \right|_{AP} \cdot \Delta y + \left. \frac{\partial f}{\partial I} \right|_{AP} \cdot \Delta I = 0$

$$1 \cdot \Delta \ddot{y} + 0 \cdot \Delta \dot{y} + \frac{2k I_0}{m y_0^3} \Delta y - \frac{k}{m y_0^2} \Delta I = 0$$

$$\Rightarrow \Delta \ddot{y} + \frac{2k I_0}{m y_0^3} \Delta y - \frac{k}{m y_0^2} \Delta I = 0$$

?

$$s^2 Y(s) + \frac{2k I_0}{m y_0^3} Y(s) = \frac{k}{m y_0^2} I(s)$$

$$G(s) = \frac{\frac{k}{m y_0^2}}{s^2 + \frac{2k I_0}{m y_0^3}}$$

$$2b) \bullet 1 + 2dT_s + T^2 s^2 \stackrel{!}{=} 1 + b_1 r s + b_2 r^3 s^2$$

Koeffizienten-Vergleich:

$$T^2 = b_2 r^3 \Rightarrow T = \sqrt{b_2 r^3}$$

$$2dT = b_1 r \Rightarrow 2d\sqrt{b_2 r^3} = b_1 r$$

$$\Rightarrow d = \frac{b_1}{2\sqrt{b_2 r}} \stackrel{!}{=} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\sqrt{2} b_1 = 2\sqrt{b_2 r}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} b_1 = \sqrt{b_2 r}$$

$$\frac{b_1^2}{2} = b_2 r \Rightarrow r = \frac{b_1^2}{2b_2}$$

• Lage der Pole:

$$T^2 s^2 + 2dT s + 1 = 0$$

$$\lambda_{1/2} = \frac{-2dT \pm \sqrt{4d^2 T^2 - 4T^2}}{2T^2} = -\frac{d}{T} \pm \frac{1}{T} \sqrt{d^2 - 1}$$

$$\text{mit } d = \frac{1}{\sqrt{2}}: \quad \lambda_{1/2} = -\frac{1}{\sqrt{2}T} \pm \frac{1}{T} \sqrt{-\frac{1}{2}}$$

$$= -\frac{1}{\sqrt{2}T} \pm j \frac{1}{\sqrt{2}T}$$

$\Rightarrow$ Pole haben den gleichen Real- und Imaginärteil
(bzw. 45° Winkel zu den Achsen)

2c) • $G_w(j\omega) \stackrel{!}{=} 1 \quad \forall \omega$

$$G(s) = \frac{a_0}{1 + b_1 r s + b_2 r^3 s^2} = \frac{1}{\frac{1}{a_0} + \frac{b_1 r}{a_0} s + \frac{b_2 r^3}{a_0} s^2}$$

$$R(s) = \frac{r_0 + r_1 s}{2s} \quad \text{mit}$$

$$r_0 = \frac{1}{a_0} \frac{\left(\frac{b_1 r}{a_0}\right)^2 - \frac{b_2 r^3}{a_0^2}}{\frac{b_1 b_2 r^4}{a_0^2}} = \frac{b_1^2 r^2 - b_2 r^3}{a_0 b_1 b_2 r^4} = \frac{b_1^2 - b_2 r}{a_0 b_1 b_2 r^2}$$

$$r_1 = \frac{b_1 r}{a_0} \frac{b_1^2 r^2 - b_2 r^3}{b_1 b_2 r^4} - \frac{1}{a_0} = \frac{b_1^3 - b_1 b_2 r}{a_0 b_1 b_2 r} - \frac{1}{a_0}$$

$$= \frac{b_1^2 - b_2 r}{a_0 b_2 r} - \frac{1}{a_0} = \frac{b_1^2 - b_2 r - b_2 r}{a_0 b_2 r}$$

$$= \frac{b_1^2 - 2 b_2 r}{a_0 b_2 r}$$

$$R(s) = \frac{\frac{b_1^2 - b_2 r}{a_0 b_1 b_2 r^2} + \frac{b_1^2 - 2 b_2 r}{a_0 b_2 r} s}{2s} = \frac{(b_1^2 - b_2 r) + b_1 r (b_1^2 - 2 b_2 r) s}{2 a_0 b_1 b_2 r^2 s}$$

3. Aufgabe

- 3a) • -20 dB/Dek ganz links und Phase sei -90°
 $\Rightarrow$ I-Anteil

Nullstelle mit Knick bei $\omega_1 = 10^{-2} \Rightarrow T_1 = 100$

Polstellen : 2 bei $\omega_2 = 10^0 \quad T_2 = 1$
 und bei $\omega_3 = 10^3 \quad T_3 = 0,001$

Verstärkung von 80 dB bei $\omega = 10^{-4}$ durch I-Anteil
 $\Rightarrow k=1$

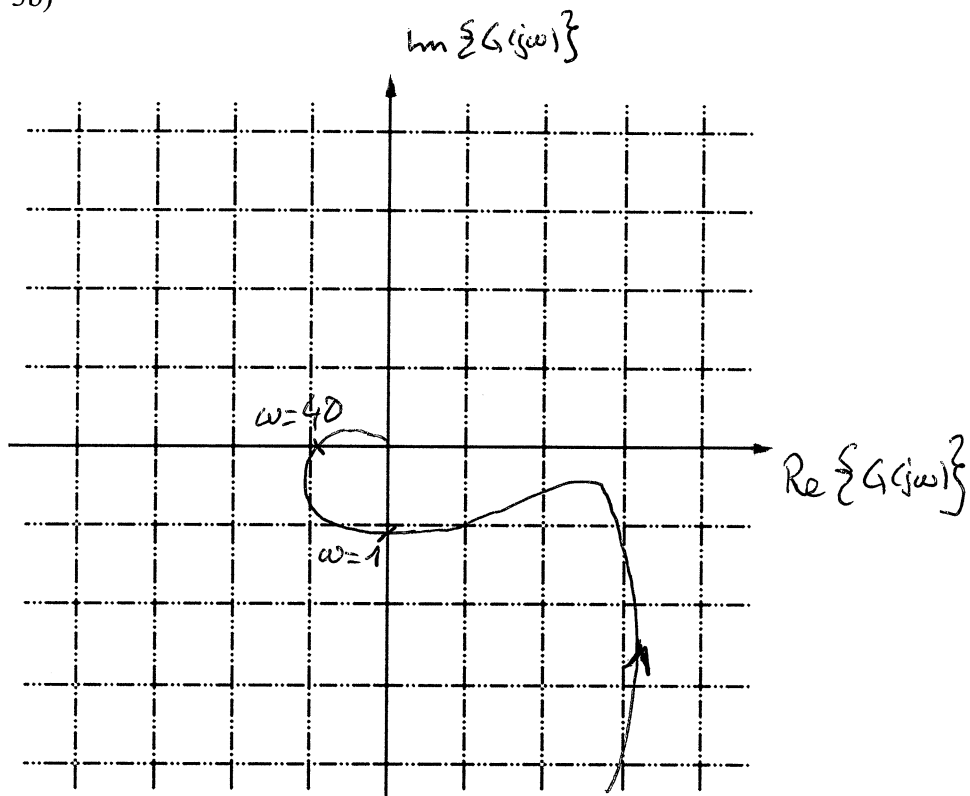
$$\Rightarrow G(s) = \frac{(1+100s)}{s(1+s)^2(1+0,001s)}$$

• $\varphi_R = 10^\circ$

$A_R = 25 \text{ dB}$

- $\varphi_R = 60^\circ$ bei $1,8 \text{ rad/s} \Rightarrow$ Verstärkung bei $1,8 \text{ rad/s} = 30 \text{ dB}$
 $K_r = -30 \text{ dB} = 10^{-\frac{30}{20}} \approx 0,03$

3b)



3c) • $G(s) = \text{zpk}([-a], [-\frac{1}{b_1}, -\frac{1}{b_2}, -\frac{1}{b_3}, 0], \frac{k}{b_1 b_2 b_3^2})$

• $\text{bode}(G(s))$

• $\text{nyquist}(G(s))$

- 3d) • - System mit P-Regler geregelt betreiben / simulieren
- K_R erhöhen bis sich bei K_R mit Dauerschwingung einstellt
 - Periodendauer der Schwingung T_R ablesen
 - Einstellung der Reglerparameter gemäß T_a Tabelle
- - Strecke stark verzögernd
- s-förmige Sprungantwort
- Nein, das System ist statisch und nichtlinear und damit nicht stark verzögernd wodurch die Voraussetzungen nicht erfüllt sind

4. Aufgabe

4a) - Abgrenzung

- Festlegung des Abstraktionsgrades
- Aufstellen der Modellbeschreibung

4b) • Die WOK beschreibt die Lage der Pole des geschlossenen Kreises in Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors

• Wurzel Schwerpunkt:

$$\sigma_w = \frac{\sum_{v=1}^3 \operatorname{Re}\{p_v\} - \sum_{n=1}^0 \operatorname{Re}\{n_n\}}{3} = -\frac{4}{3}$$

Anstiegswinkel der Asymptoten:

$$\varphi_0 = 1 \cdot \frac{\pi}{3}, \quad \varphi_1 = 3 \cdot \frac{\pi}{3} = \pi, \quad \varphi_2 = 5 \cdot \frac{\pi}{3}$$

Verzweigungspunkte:

$$-\sum_{v=1}^3 \frac{1}{s-p_v} = -\frac{1}{s-0} - \frac{1}{s+2+j} - \frac{1}{s+2-j} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow (s^2 + 4s + 5) + (s^2 + 2s + js) + (s^2 + 2s - js) = 3s^2 + 8s + 5 \stackrel{!}{=} 0$$

$$s_{1,2} = \frac{-8 \pm \sqrt{64 - 60}}{6} = -\frac{4}{3} \pm \frac{1}{3}$$

$$s_1 = -1 \quad s_2 = -\frac{5}{3}$$

Fortsetzung 4b)

Polaustrittswinkel

$$\varphi_{10} = -180^\circ$$

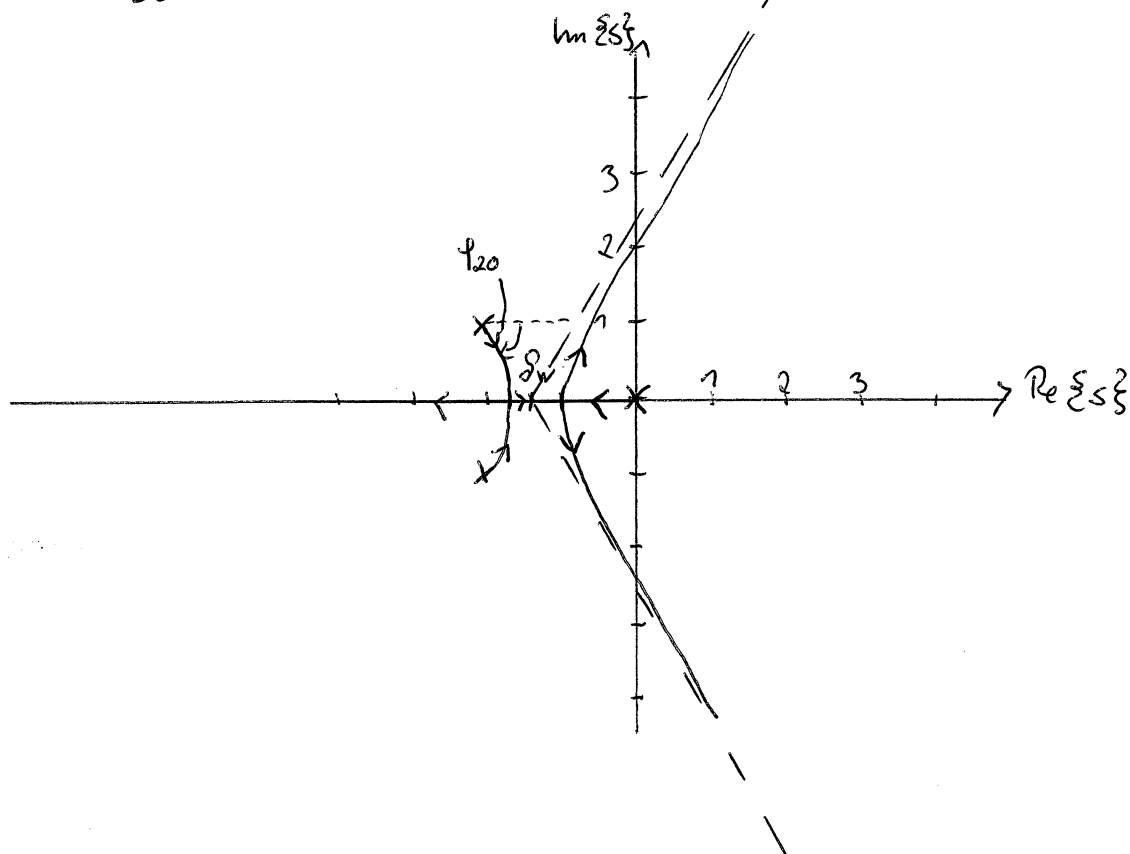
$$\varphi_{20} = -\frac{1}{\varepsilon_2 r_2} \sum_{\substack{\lambda=1 \\ s_\lambda \neq s_2}}^3 \varepsilon_\lambda \angle s_2 - s_\lambda + (2 \cdot 0 + 1) \frac{\pi}{\varepsilon_2 r_2} \quad \begin{array}{l} \varepsilon_2 = -1 \\ r_2 = 1 \end{array}$$

$$= -\frac{1}{-1} \left[\varepsilon_1 (s_2 - s_1) + \varepsilon_3 (s_2 - s_3) \right] + \frac{\pi}{-1}$$

$$= -\left(\pi - \arctan\left(\frac{1}{2}\right) - \pi \right) = -2\pi - \frac{\pi}{2} + \arctan\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$= -360^\circ - 90^\circ + 26,6^\circ = -63,4^\circ$$

$$\varphi_{30} = 63,4^\circ \quad \text{aus Symmetrie}$$



4c) • FSD: fast sampling design

• realer PD-Regler

• $s \rightarrow \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1}$

$$G_{R,z}(z) = 10 \frac{\left(1 + \frac{1,6}{T} \frac{z-1}{z+1}\right)}{\left(1 + \frac{0,008}{T} \frac{z-1}{z+1}\right)} = 10 \frac{(\bar{T} + 1,6)z + (\bar{T} - 1,6)}{(\bar{T} + 0,008)z + (\bar{T} - 0,008)}$$

4d) • (echt) zeitdiskreter Entwurf

• $G_z = \text{c2d}(G, T_a, 'tustin')$

• $T_a < \frac{\pi}{|s_{\max}| \cdot 4}$

Pole: $\lambda_1 = 0$ $\lambda_{2,3} = -2 \pm j$

$|s_{\max}| = |-2 + j| = \sqrt{5} \approx 2,25$

$T_a < \frac{\pi}{3} \approx 0,35$

• Kompensationsregler

Deadbeat

WOK-Verfahren