

Klausur Regelungstechnik
Studiengang Technische Informatik
 Prof. Dr.-Ing. W. Kessler

Montag, 19. März 2018, 10.00 Uhr, Raum B 045L

- Zugelassene Hilfsmittel: Alles, jedoch keine Altklausuren mit Musterlösungen, keine Kommunikationsgeräte und keine Laptops etc.
- Versehen Sie bitte jedes Lösungsblatt mit Ihrem Namen und jede Seite mit einer fortlaufenden Seitennummer.
- Falls Teillösungen über mehrere Seiten verteilt sind, versehen Sie diese bitte mit entsprechenden Querverweisen.
- Nicht gekennzeichnete oder nicht eindeutig zugeordnete Lösungsfragmente werden nicht gewertet!
- Lösungen ohne erkennbare Begründung werden nicht gewertet.
- Reklamationen der Korrektur und Bewertung nur bei Klausurrückgabe!

Name: 

Vorname: 

Matrikel-Nr. 

Unterschrift: 

Aushändigen der korrigierten Klausur (zutreffendes bitte ankreuzen):

- Nur an mich persönlich oder an Kommilitonen/innen mit schriftlicher Vollmacht.
- An Frau / Herrn:
- An alle, die danach fragen.

Dritter (letzter zulässiger) Versuch:

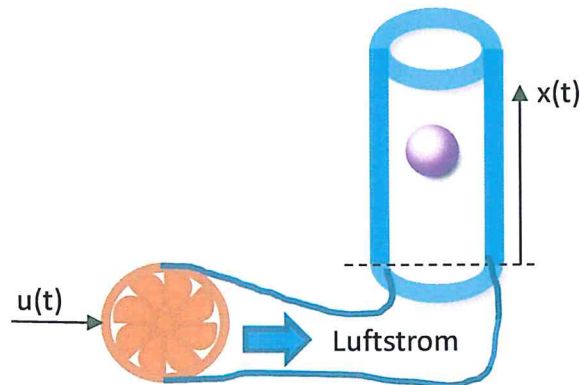
- Nein.
- Ja.

Frage	Max. Punkte	Erreichte Punkte
Aufgabe 1	20	9
Aufgabe 2	21 23	12
Aufgabe 3	19 18	11
SUMME	60 61	32

NOTE: 3,0 *Ker*

Aufgabe 1:

Für eine von einem Luftstrom in einer Glasröhre balancierten Styroporkugel mit der Höhe $x(t)$ und der Eingangsspannung des Ventilators $u(t)$ gemäß der folgenden Abbildung



ergibt sich für die Übertragungsfunktion in stark vereinfachter Form

$$G_S(s) = \frac{X(s)}{U(s)} \approx 3,1623 \frac{1}{s^2}$$

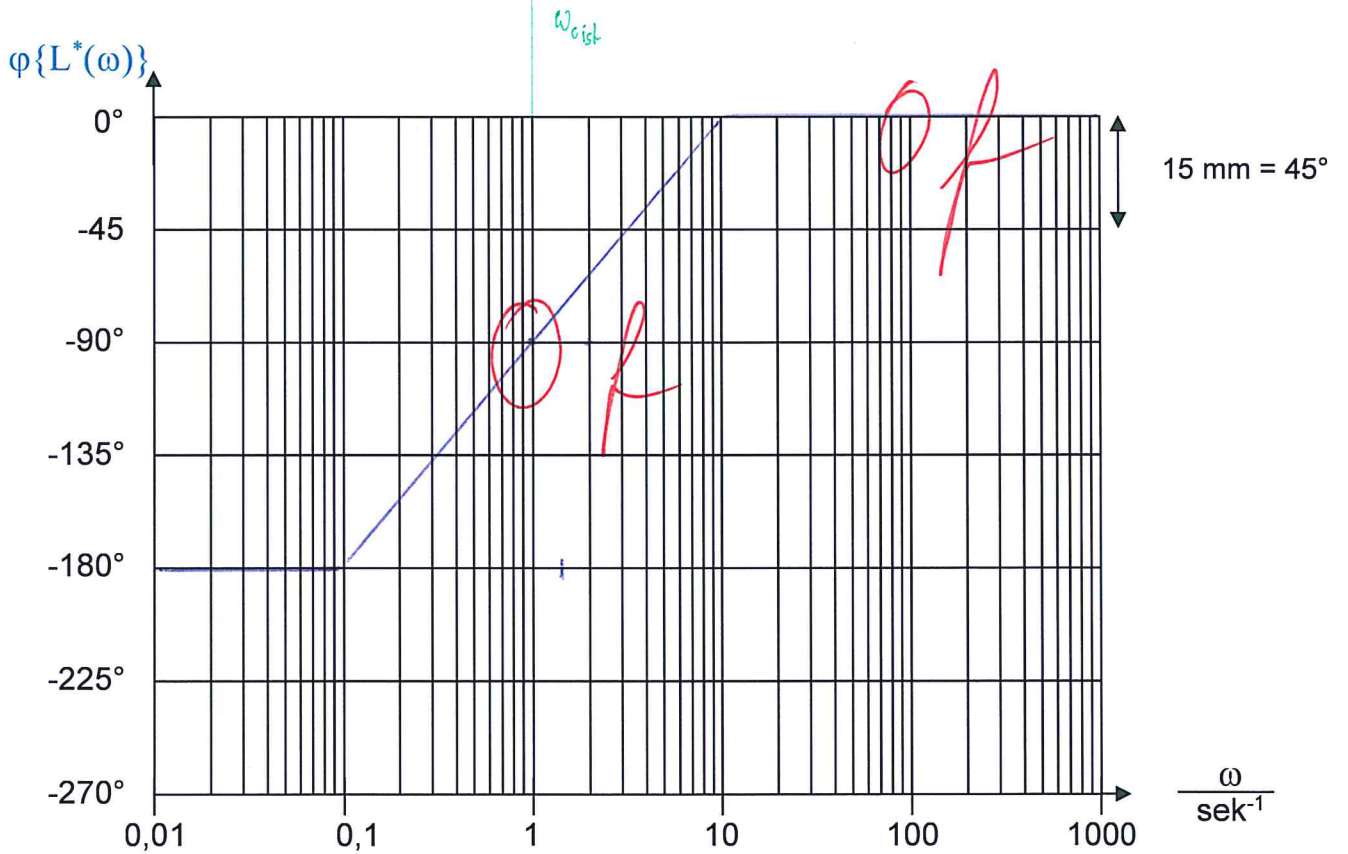
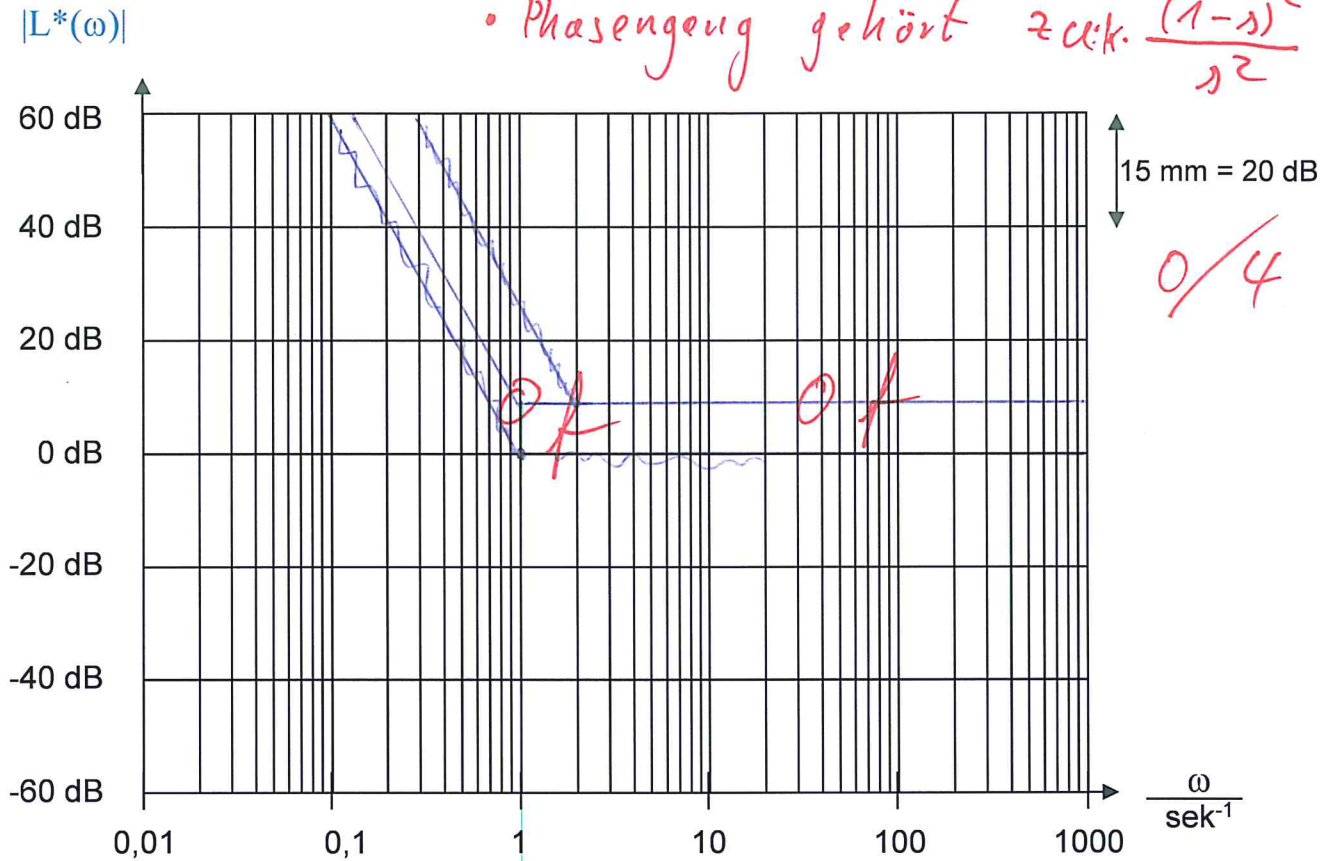
Das Messsystem wird mit $G_M(s)=1$ angenommen. Für diese Anordnung soll ein Regler entworfen werden.

Die Kugel soll zu Demonstrationszwecken innerhalb von 1 Sek. zwischen zwei Positionen hin springen können, mit einem maximalen Überschwingen von 15 %. Ein Regelfehler ist unerheblich.

- Begründen Sie (ohne Rechnung), welche Regler in Frage kommen.
- Bestimmen Sie die zur Erreichung des geforderten Verhaltens im Zeitbereich notwendigen Werte im Frequenzbereich für den Phasenrand Φ_R und die Durchtrittsfrequenz ω_c .
- Zeichnen Sie im Bode-Diagramm den asymptotischen Betrags- und Phasengang der Übertragungsfunktion des offenen Kreises ohne Regler $L^*(\omega)=G_S(\omega) \cdot G_M(\omega)$.
- Treffen und begründen Sie unter Berücksichtigung der Vorauswahl aus a) nun eine abschließende Reglerauswahl.
- Dimensionieren Sie die Zeitkonstante / die Zeitkonstanten des ausgewählten Reglers.
- Ergänzen Sie im Betragsgang des Bode-Diagramms den Betragsgang für den ausgewählten Regler für $V=1$.
- Bestimmen Sie die notwendige Reglerverstärkung V .

- c)
- Betrags- passt nicht zum Phasengang
 - Betragsgang gehört zu $3,162 \frac{(1+s)^2}{s^2}$
 - Phasengang gehört zu $z.B. \frac{(1-s)^2}{s^2}$

Bode-Diagramm zu Aufgabe 1:



Aufgabe 2:

Für den Antrieb eines DVD-Players wird folgende Übertragungsfunktion bestimmt (Motor-Eingangsspannung zu Drehgeschwindigkeit):

$$G_S(s) = 100 \frac{1}{(1+0.02s)(1+0.01s)}$$

Das Messglied hat eine Übertragungsfunktion von $G_M(s) = 10 \frac{1}{1+0.00333s}$

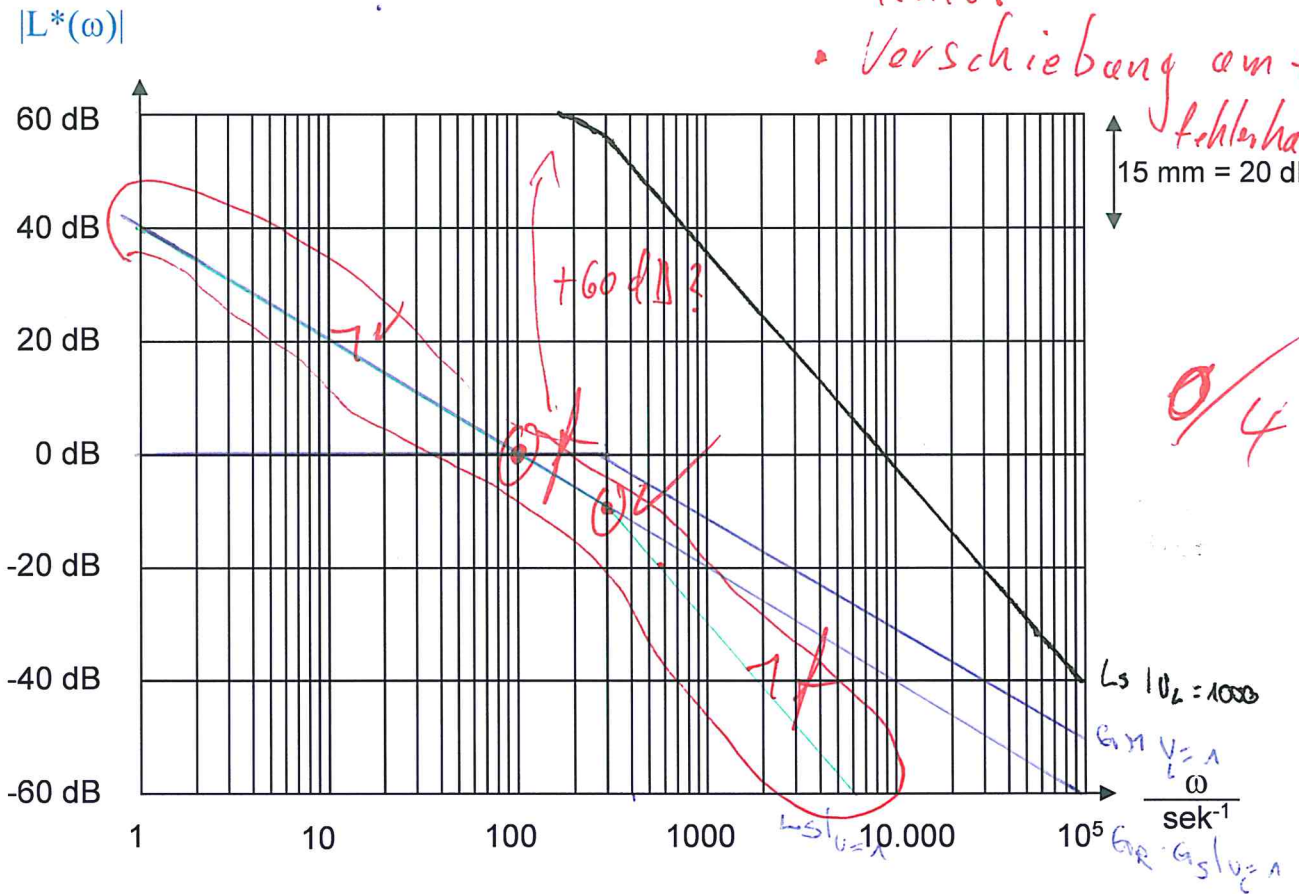
Das System soll gegen Störung so ausgeregelt werden, dass keine Regelabweichung verbleibt. Die Reaktion soll schnellstmöglich erfolgen.

~~Für das Messsystem nehmen Sie $G_M(s)=1$ an.~~

- Begründen Sie (ohne Rechnung), welche Regler in Frage kommen.
- Welche Entwurfsverfahren sind Ihnen aus dem Unterricht bekannt? Welches Entwurfsverfahren kommt zur Anwendung und warum?
- Wählen Sie unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus a) nun einen Regler aus, der die maximal mögliche Durchtrittsfrequenz ω_c verspricht. Begründen Sie ihre Wahl.
- Dimensionieren Sie nun die Zeitkonstante / die Zeitkonstanten des ausgewählten Reglers (Begründung).
- Wie lautet die entstehende Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises $L(s)$?
- Erstellen Sie das Bode-Diagramm des offenen Regelkreises $L(s)$ mit Hilfe asymptotischer Näherungen.
- Bestimmen Sie die notwendige Verstärkung V des Reglers, wenn die einem Überschwingen von 10 % entsprechende Phasenreserve von 58° gefordert wird.

~~f) Aus c) fehlerhaft entwickeltes $L(s)$ für $V_{ges} = 1$ korrekt gezeichnet~~
 • Verschiebung auf • Knick bei 100 sek^{-1} fehlt.
 • Verschiebung um $+60 \text{ dB}$ fehlerhaft

Bode-Diagramm zu **Aufgabe 2:**



Aufgabe 3:

Ein analoger Regler-Entwurf mit Polkompensation für die Strecke

$$G_S(s) = 5 \frac{1}{(1 + 0.1s)(1 + 0.2s)(1 + 0.33s)}$$

mündet in einem Regler mit der Übertragungsfunktion

$$G_R(s) = 0,5 \cdot \frac{(1 + 0.2s)(1 + 0.33s)}{s(1 + 0.033s)}$$

Dieser Regler soll digital auf einem Mikrocontroller implementiert werden.

- a. Zeigen Sie durch geeignete Näherung, ohne Bode-Diagramm, dass für die Durchtrittsfrequenz der Übertragungsfunktion des offenen Kreises $L(s)$ gilt: $\omega_c = 3 \text{ Sek}^{-1}$.

Hinweis: Definition von ω_c : $20 \log_{10} |L(s = j\omega_c)| = 0 \Leftrightarrow |L(j\omega_c)| = 1$

- b. Wie groß ist nach einer bekannten regelungstechnischen Abschätzung die minimal erforderliche Abtastfrequenz f_a für den quasikontinuierlichen Betrieb des äquivalenten digitalen Reglers?
- c. Ermitteln Sie nun die Konstanten der z-Transformierten der Übertragungsfunktion des äquivalenten digitalen Reglers und geben sie die Übertragungsfunktion in der z^{-1} -Form an

Vorgehen:

- I. Ermitteln sie aus der V-Normalform des Regler die Darstellung in Partialbruchform
 - II. Ermitteln sie die Koeffizienten b_0 , b_1 und b_2 der diskreten Realisierung des Reglers. Die zugehörige Differenzgleichung lautet:
 $u(k) = u(k - 1) + b_2 e(k) + b_1 e(k - 1) + b_0 e(k - 2)$.
- d. Sie stellen fest, dass die diskrete Realisierung ein zu hohes Überschwingen erzeugt. Welche Gegenmaßnahmen gibt es und warum? Welche würden Sie bevorzugen?

1) $M_p = 15\%$

a) Regelfehler unmerklich \Rightarrow P- oder PD-Regler \checkmark

2/2

b) $t_r = 1 \text{ sek}$

$\Rightarrow \omega_c = \frac{1,44}{t_r} = 1,44 \checkmark$
 $\varphi_r = 69^\circ - 106^\circ \cdot M_p \approx 50^\circ$
 ~~$\varphi_r = 69^\circ$~~ \downarrow 53°

2/2

c) $V_{dB} = 20 \log 3,1623 \approx 10 \text{ dB}$ Punkte im Bode-Diagramm

d) $\Delta\varphi = \varphi_{ist} - \varphi_{soll} = -90^\circ - (-130^\circ) = 40^\circ$
 ~~$\Delta\varphi = -90^\circ - (-130^\circ) = 40^\circ$~~ \uparrow 55° (✓)

och 2/4 $\Delta\varphi > 0 \rightarrow$ SPD-Regler benötigt (✓)

abgelesen bei 1 sek^{-1}
 nicht bei $\omega_c = 1,44 \text{ sek}^{-1}$

e) $m = \tan\left(\frac{\Delta\varphi + 90^\circ}{2}\right) = 10,059$ (✓)

$T = \frac{T_m}{\omega_c} \approx 2,26$ (✓) $\rightarrow \omega_{k1} \approx 0,44$ (✓)

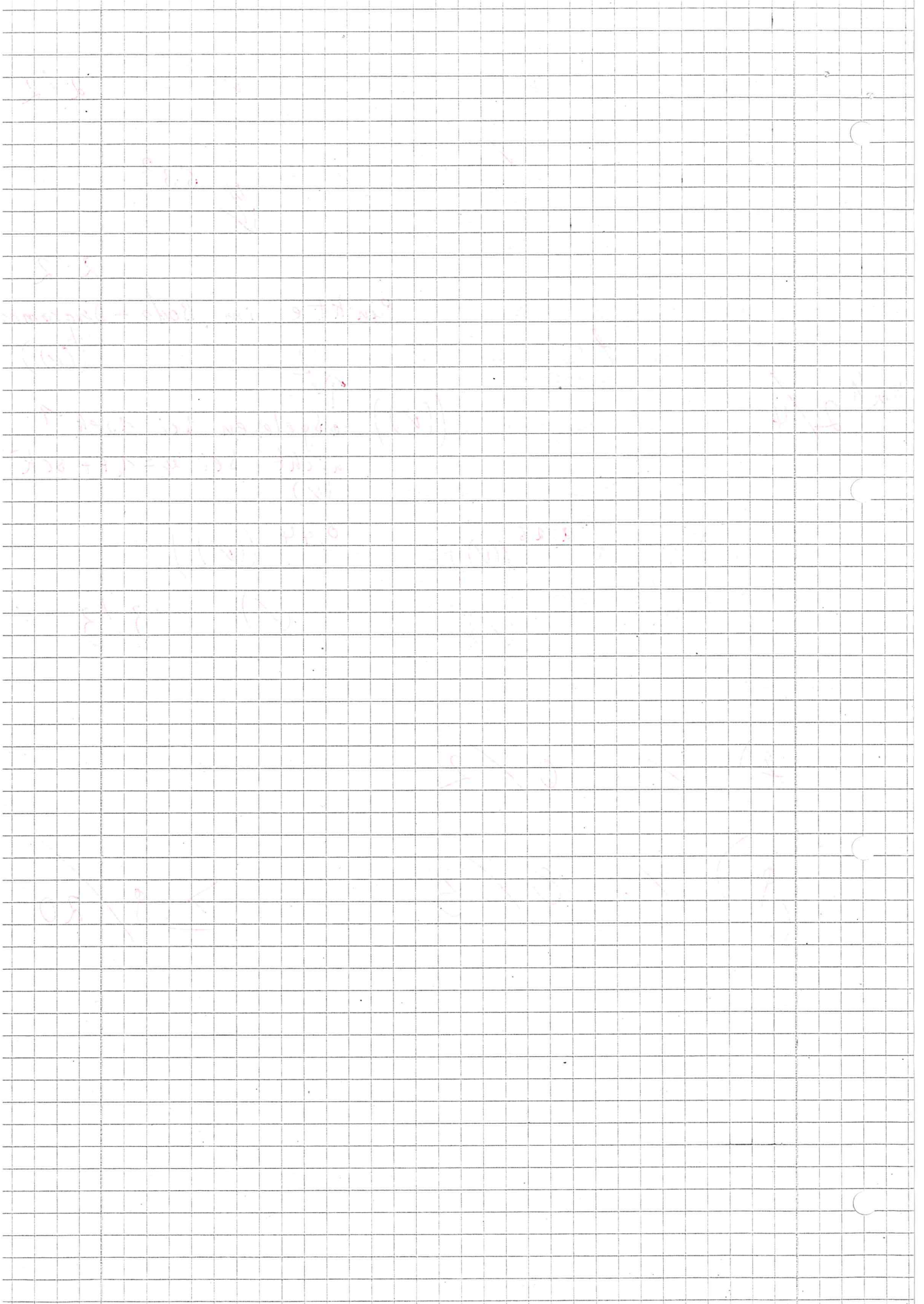
$T_r = \frac{1}{\omega_c \cdot T_m} \approx 0,219$ (✓) $\Rightarrow \omega_{k2} \approx 4,5$ (✓) 3/3

\Rightarrow

f) i. 0/2

g) i. 0/3

$\Sigma 9/20$



2.)

a.) keine Regelabweichung ✓ und kein I-Anteil in $G(s)$ ✓

⇒ PI- oder PID-Regler ✓

2/2

b.) Frequenzkennliniendiagramm ✓, Polkompensation ✓

schnellstmögliche Reaktion ⇒ Polkompensation ✓

3/3

① c.) ~~PID-Regler, da mehr Polstellen kompensiert werden können~~

d.) $T_1 =$
 $T_2 =$
 $T_3 =$

c.) PI-Regler ~~von~~ T_{max} der von G_S zu kompensieren. ~~f~~ 0/2

d.) $T = 0,02 \text{ sek}$, da $T = T_{max}$ von G_S zu einfach, 1 statt

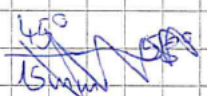
e.) $L(s) = G_S \cdot G_R \cdot G_M$ ✓

4 zeitkonstanten ⇒ 1/4

$$= 100 \cdot \frac{1}{(1+0,02s)(1+0,01s)} \cdot V \cdot \frac{(1+0,02s)}{s} \cdot 10 \frac{1}{(1+0,00333s)}$$

$$= 1000V \cdot \frac{1}{s(1+0,01s)(1+0,00333s)} \quad (\checkmark)$$

2/2

g.) $\frac{15 \text{ mm}}{45}$  $V_{dB} = -44 \text{ dB}$ (abgelesen) na ja...

$$V = 10^{\frac{-44}{20}} = 0,008$$

Vorgehen entlang des völlig fehlerhaft konstruierten $|L(s)|$ korrekt ⇒

4/4

Σ 12/23

③

$$a) L(s) = 5 \cdot \frac{1}{(1+0,1s)(1+0,2s)(1+0,33s)} \cdot 0,5 \frac{(1+0,2s)(1+0,33s)}{s(1+0,33s)}$$

$$= 2,5 \frac{1}{s(1+0,1s)(1+0,33s)}$$

$$\Rightarrow L(3) = 2,5 \frac{1}{3(1+0,1 \cdot 3)(1+0,33 \cdot 3)} = 0,320 \quad \text{nicht zielführend}$$

$$20 \log_{10} |L(\omega_c)| = -9,8$$

1/4

$$b) f_0 \approx 10 \cdot \omega_c / 2\pi \approx 47,124 \text{ sek}^{-1}$$

$$\frac{10 \omega_c}{2\pi} \quad \text{nicht} \quad \frac{10 \cdot \omega_c}{2} \cdot \pi = 0$$

0/1

c)

$$V_R = V(T_1 + T_2 - T_R) = 0,5 \cdot (0,2 + 0,33 - 0,033) = 0,2485$$

$$T_R = 0,033 = 0,497$$

$$T_{AV} = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2 - T_R} - T_R \approx 0,108$$

$\approx 0,0998$ Rundungsfehler? ne gutt

$$G_{R, \text{partialbruch}}(s) = 0,2485 \left(1 + \frac{1}{0,497s} + \frac{s \cdot 0,108}{1+0,033s} \right)$$

(✓) 4/4

$$T = \frac{1}{f_0} \approx 0,021 \text{ s} \quad \text{(Fehler aus b)}$$

$$b_0 = V_R \cdot \frac{T_R}{T} = 0,2485 \cdot \frac{0,108}{0,021} = 1,278$$

$$b_1 = -V_R \left(1 + 2 \frac{T_R}{T} - \frac{T}{T_R} \right) = -2,794$$

$$b_2 = V_R \cdot \left(1 + \frac{T_R}{T} \right) = 1,5265$$

$$\Rightarrow G_R(z) = \frac{1,5265 + (-2,794)z^{-1} + 1,278z^{-2}}{1 - z^{-1}}$$

(✓)

6/6

e) 0/3

$\Sigma 11/18$