


Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 1 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

Name	Matrikelnummer	Datum	Unterschrift
		2024-07-18	
Erreichte Punktzahl:		47	/ 60
Note:		2,3	

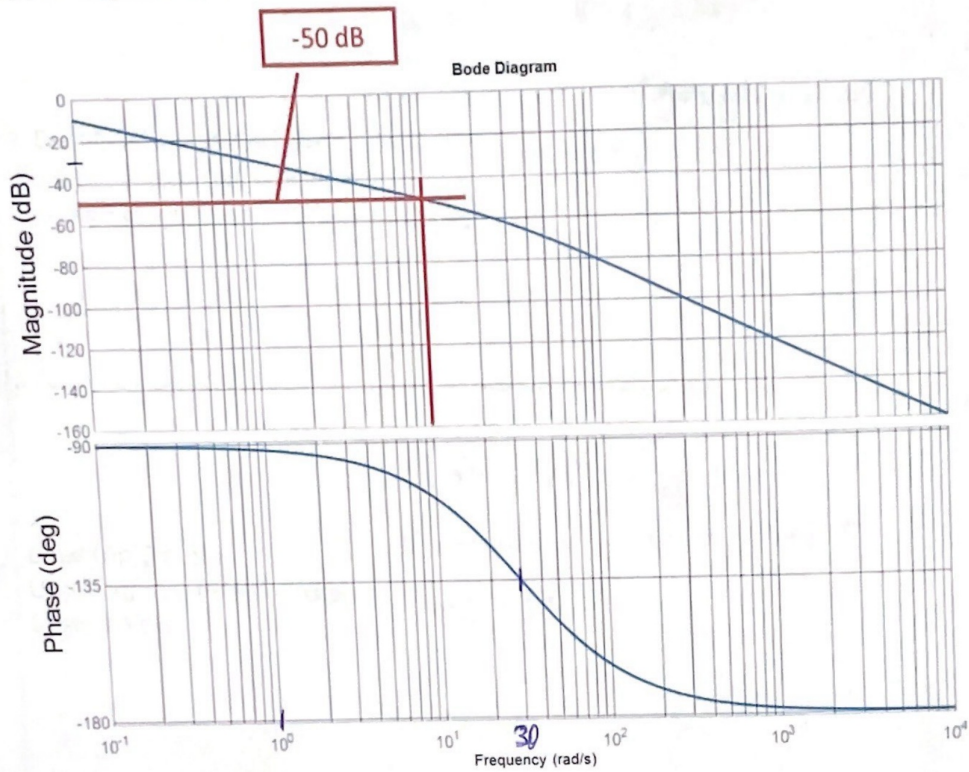
### Lesen Sie zuerst diese Hinweise:

- Erlaubte Hilfsmittel: Nichtprogrammierbarer Taschenrechner, ein selbstgeschriebenes A4-Blatt, Foliensatz, keine alten Klausuren.
- Die Bearbeitungszeit beträgt 120 Minuten.
- Bitte benutzen Sie den für die Lösung der Aufgabe vorgesehenen Kasten: Nur die Ergebnisse in den Kästen wird für die Note verwendet.
- Beschriften Sie alle extra abgegebenen Blätter mit Ihrem Namen und Matrikelnummer: Sie werden selbst alle Blätter zusammen mit dieser Klausur zusammenheften.
- Sie müssen bei jeder Aufgabe ebenfalls den mathematischen Weg Schritt für Schritt zur Lösung, d.h. Formeln, Gleichungen, usw. aufschreiben: Die Richtigkeit der numerischen Lösung zählt genauso viel wie die Herleitung!

 <b>BHT</b> <small>Berlin Hochschule für Technik</small>	Fachbereich VI	Labor für Automatisierungstechnik
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	--------------------------------------

### 1. Aufgabe

Von einem alten - noch - funktionierenden System existiert nur noch ein Bode-Diagramm:



Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 3 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

Bei allen Teilaufgaben gehen Sie davon aus, dass  $G_m(s) = 1$ .


Aufgabe	Ihre Antwort
<p>✓ a. Beschreiben <b>ausführlich</b> Sie das System mit Wörtern aus dem Bode-Diagramm.</p>	<p>Phase von <math>-90^\circ</math> bis <math>-180^\circ</math></p> <p><math>\Rightarrow</math> 1 Integrator + 1 Verzögerungsglied mit Knickfrequenz bei <math>30 \frac{\text{rad}}{\text{s}}</math></p>
<p>✓ b. Leiten Sie die Übertragungsfunktion des Systems her.</p>	<p><math>G_s(s) = V \cdot \left( \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{30}} \right)</math></p> <p>V ablesen bei <math>\omega=10 \Rightarrow V = 10 \cdot \frac{-30}{20}</math></p> <p><math>V \approx 0,0316</math></p>
<p>✓ c. Berechnen Sie den Endwert der Sprungantwort vom System!</p>	<p>Da System Integrator besitzt</p> <p><del><math>\lim_{t \rightarrow \infty} g(t) = 0</math></del> <math>\rightarrow</math> kein Regelfehler</p> <p><math>\lim_{t \rightarrow \infty} g(t) = \infty</math></p> <p><u>Instabil!</u></p>

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 4 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

<p>d. Ist das System stabil? Begründen Sie Ihre Antwort <b>ausführlich!</b></p>	<p>Das System ist nicht stabil, da es einen Integrator besitzt.</p>
<p>e. Ist das System stabil im geschlossenen Regelkreis? Begründen Sie Ihre Antwort <b>ausführlich!</b></p>	<p><math>V &gt; 0</math> ✓  <math>k \in \{0, 1, 2\}</math> ✓          kausal ✓          0dB nur einmal durch ✓          (Ist, zwar nicht auf dem Bode, aber verlängert          man das Bode nach hinten <math>\omega &lt; 10^{-1}</math>          würde man es sehen.          Das System ist im geschlossenen Kreis          stabil, da Phasenrand <math>\neq 0</math>          Phase ist ca. <math>90^\circ \rightarrow</math> Phasenrand <math>= 90^\circ</math></p>
<p>f. Als geschlossener Regelkreis soll keine Regelabweichung verbleiben, wenn das System ein Sprungsignal als Führungsgröße bekommt: Welche Reglertypen kommen in Frage? Begründen Sie Ihre Antwort <b>ausführlich!</b></p>	<p>Die Strecke hat schon einen Integrator also kommen P-Regler und PD-Regler in Frage. PD-Regler, falls der Phasenrand angehoben werden soll.</p>

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 5 / 16
Schriftliche Klausur	1. Termin	Prof. Dr.-Ing.
Raum: B554		FJ Morales Serrano

<p>g. Dimensionieren Sie alle Parameter des von Ihnen ausgewählten Reglers, damit eine maximale Überschwingung von 10% entsteht und der Regelvorgang im Wesentlichen in 7,2 ms abgeschlossen ist.</p>	$M_p = 0,1 \quad t_r = 0,0072s$ $\omega_{c\text{soll}} = \frac{1,44}{0,0072s} = 200 \frac{\text{rad}}{s}$ $\varphi_{DP} = \varphi_{R\text{soll}} - \varphi_{R\text{stracke}} - \pi$ $\varphi_{R\text{soll}} = 69^\circ - 106^\circ \cdot 0,1 = 58,4^\circ$ $\varphi_{\text{stracke}} = -90^\circ - \arctan\left(\frac{200}{30}\right) = -171,46^\circ$ $\varphi_{DP} = 58,4^\circ - (-171,46^\circ) - 180^\circ = 49,86^\circ$ <p><del>PD</del> <math>\varphi_{R\text{ist}} &lt; \varphi_{R\text{soll}} \Rightarrow</math> PD-Regler um Phase anzuheben.</p> $m = \left( \tan\left(\frac{\varphi_{DP} + \frac{\pi}{2}}{2}\right) \right)^2 = 7,49$ $\omega_1 = \frac{\omega_{c\text{soll}}}{\sqrt{m}} = \frac{200}{2,73} = 73,07 \frac{\text{rad}}{s}$ $T_1 = 0,0136s$ $\omega_2 = \omega_{c\text{soll}} \cdot \sqrt{m} = 200 \cdot 2,73 = 547,41 \frac{\text{rad}}{s}$ $T_2 = 0,001826s$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	Fachbereich VI	Labor für Automatisierungstechnik
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	--------------------------------------

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 6 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

## 2. Aufgabe

Ein System hat die folgende Übertragungsfunktion:

$$G_S(s) = \frac{10 \cdot (s+1)}{(s/5+1) \cdot (s/50+1)}. \text{ Bei allen Teilaufgaben gilt } G_m(s) = 1.$$

Aufgabe	Ihre Antwort
a. Zeichnen Sie das Bode-Diagramm auf dem beigefügten Blatt.	Auf dem Blatt!
b. Ist das System stabil? Begründen Sie Ihre Antwort <b>ausführlich!</b>	Ja das System ist stabil, da alle Polstellen negativ sind $P_1 = -5 \quad P_2 = -50$
c. Bestimmen Sie die Sprungantwort <b>analytisch!</b>	

1/2


✓

X

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 7 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

<p>d. Als geschlossener Regelkreis soll keine Regelabweichung verbleiben: Welche Reglertypen kommen in Frage? Begründen Sie Ihre Antwort <b>ausführlich!</b></p>	<p>Da noch kein Integrator vorhanden und kein Regelfehler bleiben soll, kommen PI- und PID-Regler in Frage</p>
<p>e. Welcher Reglertyp soll eingesetzt werden, damit eine maximale Überschwingung von 20% entsteht und der Regelvorgang im Wesentlichen in 2.88 ms abgeschlossen ist? Begründen Sie Ihre Antwort <b>ausführlich!</b></p>	<p> <math>M_p = 0,2 \quad t_r = 0,00288 \text{ s}</math>  <math>\varphi_{R, \text{soll}} = 69^\circ - 106^\circ \cdot 0,2 = 47,8^\circ</math>  <math>\omega_{c, \text{soll}} = \frac{1,44}{0,00288} = 500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}</math>  <math>\omega_{c, \text{ist}} = 370 \frac{\text{rad}}{\text{s}}</math> abgelesen  <math>\varphi_{R, \text{ist}} = \varphi_{R, \text{strecke}} + 180^\circ</math>  <math>\varphi_{R, \text{strecke}} = \tan^{-1}\left(\frac{370}{1}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{370}{5}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{370}{50}\right)</math>  <math>= -87,68^\circ</math>  <math>\varphi_{R, \text{ist}} = 92,32^\circ</math>  <math>\varphi_{R, \text{ist}} &gt; \varphi_{R, \text{soll}} \rightarrow</math> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">PI-Regler</span>  <math>\varphi_{PI} = \varphi_{R, \text{soll}} - \varphi_{R, \text{strecke}} - \pi = -50,54^\circ</math>  <math>T_{PI} = \frac{1}{\omega_{c, \text{soll}}} \cdot \tan\left(\varphi_{PI} + \frac{\pi}{2}\right) = 1,753 \cdot 10^{-3}</math> </p>

$$G_s(s) = \frac{10 \cdot (s+1)}{\left(\frac{s}{5}+1\right)\left(\frac{s}{50}+1\right)}$$

	Fachbereich VI	Labor für Automatisierungstechnik
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	--------------------------------------

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 8 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

f. Dimensionieren Sie alle Parameter des von Ihnen ausgewählten Reglers mit Hilfe Ihres Bode-Diagramms! (markieren Sie dabei alle wichtige Punkte, die zur Lösung notwendig sind)

$$\cancel{\varphi_{PI} = \varphi_{R\text{soll}} - \varphi_{R\text{strecke}} - T_I} = -50,515$$

$$\varphi_{PI} = \varphi_{R\text{soll}} - \varphi_{R\text{strecke}} - T_I = -50,51^\circ$$

$$\cancel{\varphi_{R\text{strecke}} = \arctan\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)}$$

$$T_{PI} = \frac{1}{\omega_{c\text{soll}}} \cdot \tan\left(\varphi_{PI} + \frac{T_I}{2}\right) = 1,6480 \cdot 10^{-3}$$

$$V = \frac{1}{|L(\omega_c)|}$$

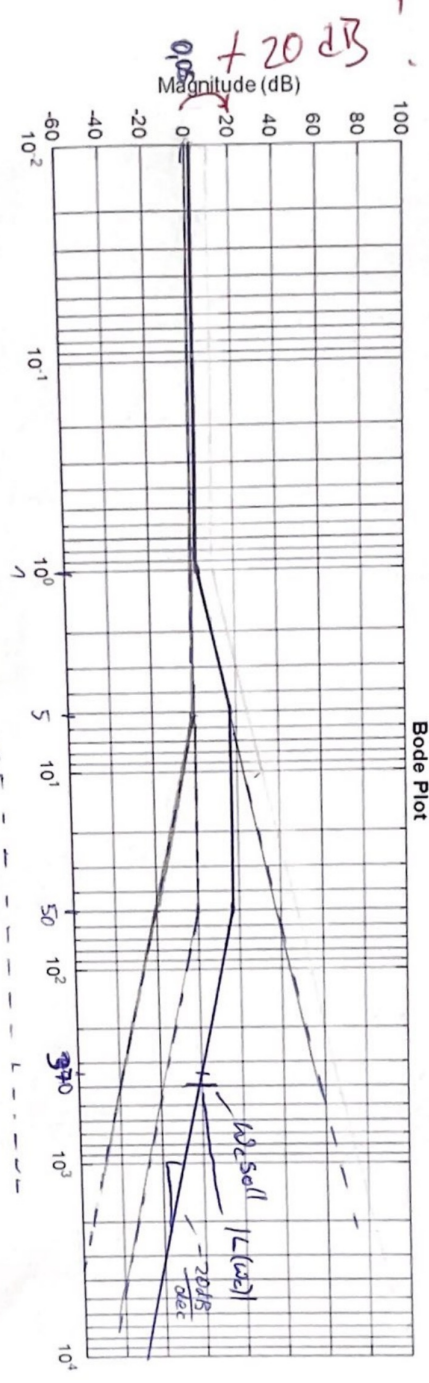
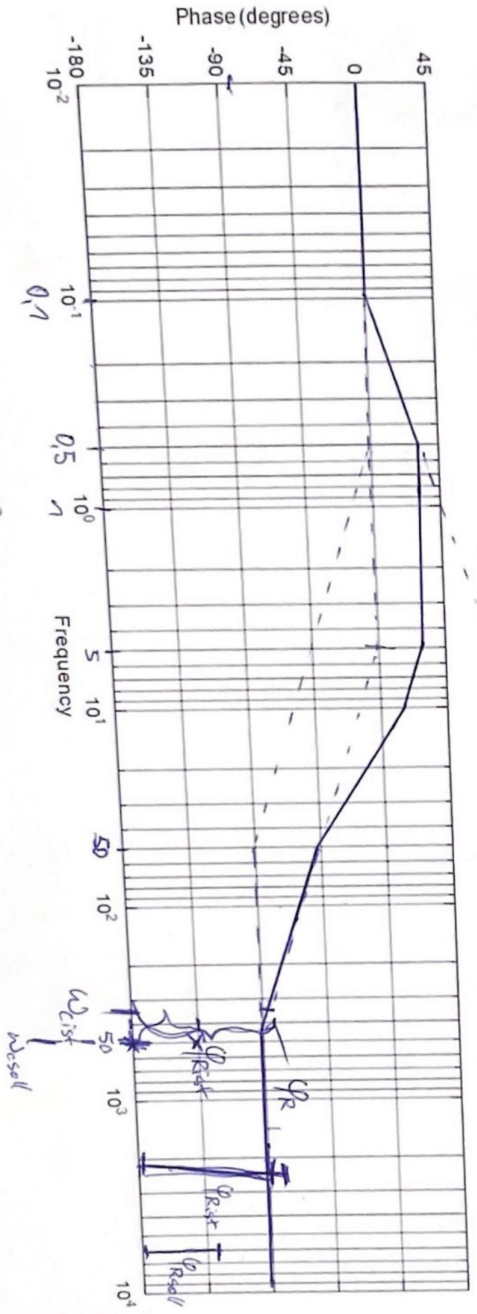
$|L(\omega_c)| \Rightarrow 0\text{dB} \Rightarrow \text{abgelesen}$

$$V = 1$$

1/2

Aufgabe 2, Bode-Diagramm

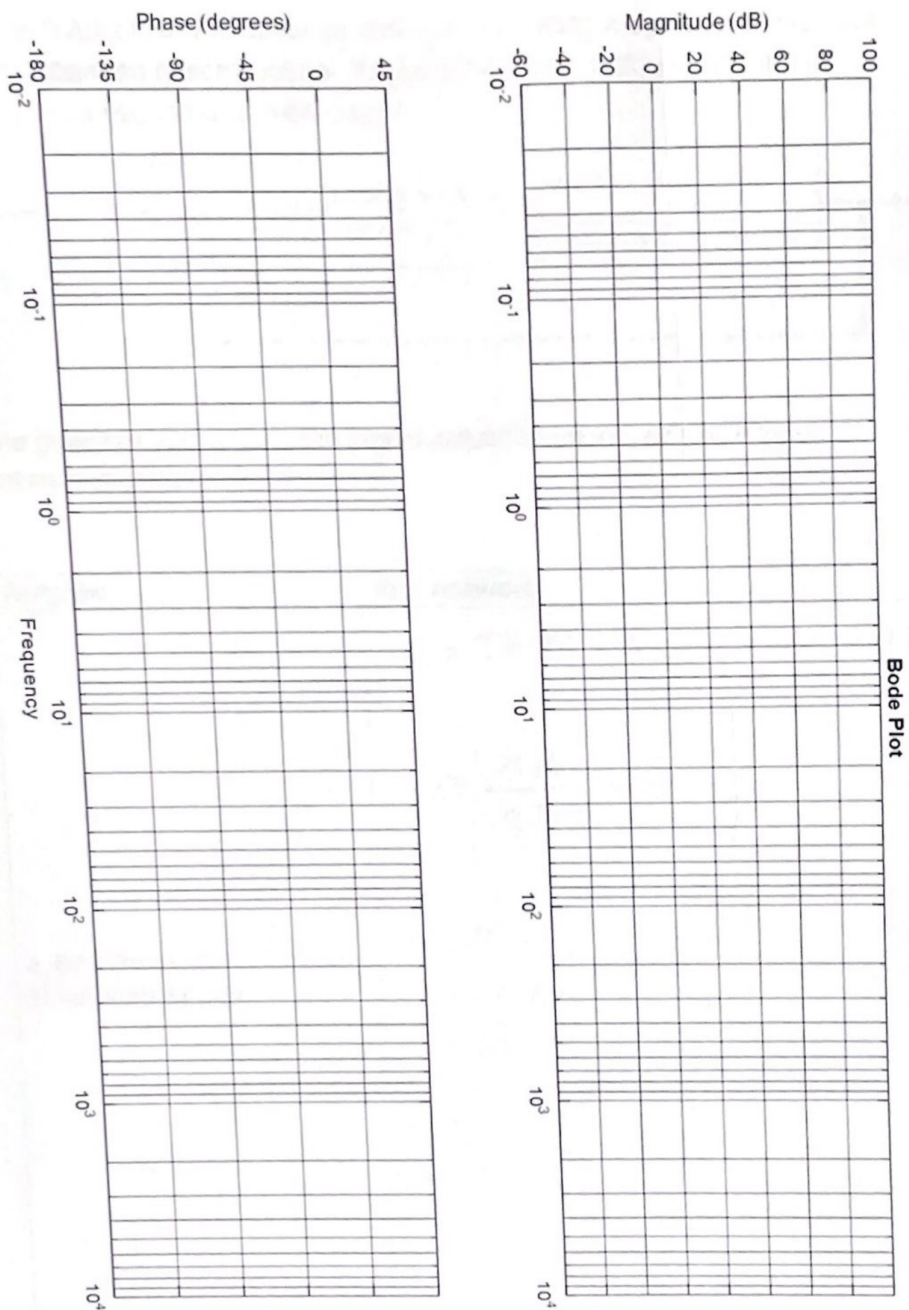
$\frac{d\phi}{d\omega} = \frac{1}{\omega}$



$$G_1(s) = \frac{10 \cdot s + 1}{\left(\frac{s}{5} + 1\right) \left(\frac{s}{50} + 1\right)}$$

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 10 / 16
Schriftliche Klausur	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano
Raum: B554		

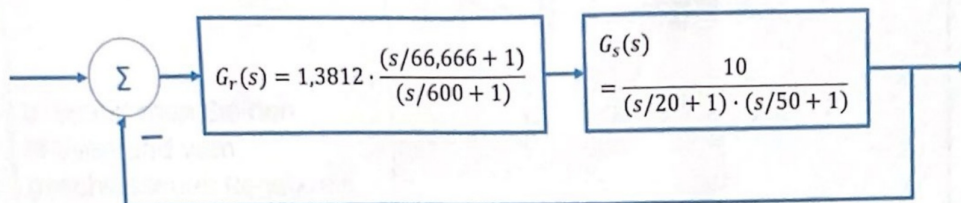
Aufgabe 2, Bode-Diagramm (extra)



Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 11 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

### 3. Aufgabe

Eine B-TI Absolventin fing an zu arbeiten. Ihre erste Aufgabe war, sich mit dem folgenden geschlossenen Regelkreis zu beschäftigen und ihn in seinen Eigenschaften zu verbessern.



Wie gewöhnt von schlechten Ingenieurern\*innen gab es leider keine Entwicklungsdokumentation.

Aufgabe	Ihre Antwort
a. Bestimmen Sie die „Rise Time“ vom System.	$\omega_c = 27 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ (aus Bode abgelesen)  $t_r = \frac{1,44}{27 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,053 \text{s}$
	Fachbereich VI
Labor für Automatisierungstechnik	

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 12 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

<p>b. Bestimmen Sie den Phasenrand vom geschlossenen Regelkreis</p>	$\varphi_{Rist} = -55^\circ + 180^\circ = 125^\circ$ <p>Aus Bode abgelesen</p>
<p>c. Bestimmen Sie den Regelfehler vom geschlossenen Regelkreis</p>	



Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 13 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

<p>d. Der Regelkreis soll in seinen Eigenschaften verbessert werden, d.h. der jetzige Regler soll ersetzt werden. Es soll eine neue maximale Überschwingung von 10% entstehen und der Regelvorgang soll im Wesentlichen in 1,8 ms abgeschlossen sein. Das System darf keinen Regelfehler haben. Was ist Ihre Empfehlung für den neuen Regler? Begründen Sie Ihre Empfehlung numerisch!</p>	<p> <math>M_p = 0,1 \quad t_r = 0,0018 \text{ s} \quad \omega_{c \text{ soll}} = \frac{104}{0,0018}</math>  <math>\varphi_{R \text{ soll}} = 69^\circ - 106^\circ \cdot 0,1 = 58,4^\circ \quad \omega_{c \text{ soll}} =</math>  <math>\varphi_{R \text{ ist}} \approx 100^\circ \Rightarrow \text{abgelesen}</math>   <math>\varphi_{R \text{ soll}} &lt; \varphi_{R \text{ ist}}</math>  Phase soll <del>herabgesetzt</del> angehoben werden und ein Integrator wird benötigt, damit kein Regelfehler bleibt.   Empfehlung <math>\Rightarrow</math> PID </p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 14 / 16
Schriftliche Klausur Raum: B554	1. Termin	Prof. Dr.-Ing. FJ Morales Serrano

$$\varphi_{PD} = \varphi_{R_{soll}} - \varphi_{Strecke} - \pi + 5^\circ$$

Aus Bode

$$= 58,4^\circ + 180^\circ - 180^\circ + 5^\circ$$

$$= 63,4^\circ$$

$$m = \left( \tan \left( \frac{\varphi_{PD} + \frac{\pi}{2}}{2} \right) \right)^2 = 4,230$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_{c,soll}}{\sqrt{m}} = \frac{800}{4,23} = 0,19$$

$$\omega_{c,soll} = \frac{1,44}{0,0018} = 800$$

d. Berechnen Sie die Parameter von dem von Ihnen empfohlenen Regler!

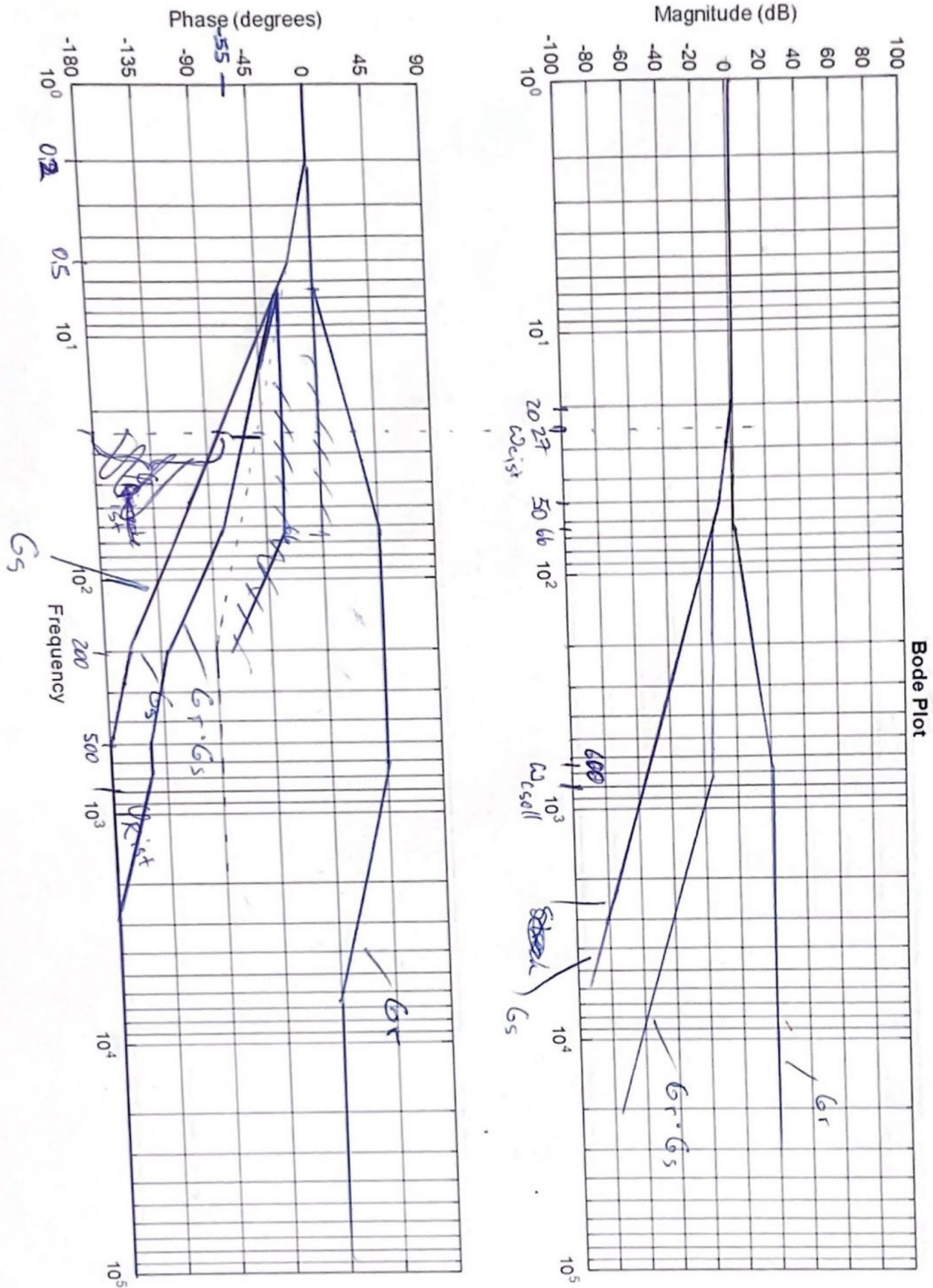
$$\omega_2 = \omega_{c,soll} \cdot \sqrt{m} = 3384,28$$

$$\omega_3 = ?$$

$$V = ?$$

A/2

Aufgabe 3, Bode-Diagramm



Regelungstechnik	Sommersemester 2024	Seite 16 / 16
Schriftliche Klausur	1. Termin	Prof. Dr.-Ing.
Raum: B554		FJ Morales Serrano

Aufgabe 3, Bode-Diagramm (extra)

