

Probeklausur für das Modul
Schneller Regler Prototypenentwurf

im ersten Prüfungszeitraum des Jahres

2023

bei Frau Dipl. Ing. Natalia Zent

Die unten stehenden Fragen sind der Klausur vom 26.09.2022 im Modul *Schneller Regler Prototypenentwurf* entnommen. Alle Angaben ohne Gewähr.

1. (10 Punkte) Welche Regler gibt es? Geben Sie die Übertragungsfunktion und das Bode-Diagramm des jeweiligen Reglers an. (Leere Bode-Diagramme sind auf den folgenden Seiten zu finden)

Lösung:

Es gibt P-, PI-, PD- und PID Regler.

P Regler Partialbruchform: $G_P(s) = V_R$

P Regler V-Normalform: $G_P(s) = V$

PI Regler Partialbruchform: $G_{PI}(s) = V_R * \left(1 + \frac{1}{T_N \cdot s} \right)$

PI Regler V-Normalform: $G_{PI}(s) = V \cdot \frac{1 + T \cdot s}{s}$

PD Regler Partialbruchform: $G_{PD}(s) = V_R * \left(1 + \frac{T_v \cdot s}{1 + T_r \cdot s} \right)$

PD Regler V-Normalform: $G_{PD}(s) = V \cdot \frac{1 + T \cdot s}{1 + T_r \cdot s}$

PID Regler Partialbruchform: $G_{PID}(s) = V_R * \left(1 + \frac{1}{T_N \cdot s} + \frac{T_v \cdot s}{1 + T_r \cdot s} \right)$

PID Regler V-Normalform: $G_{PID}(s) = V \cdot \frac{(1 + T_1 \cdot s)(1 + T_2 \cdot s)}{s(1 + T_r \cdot s)}$

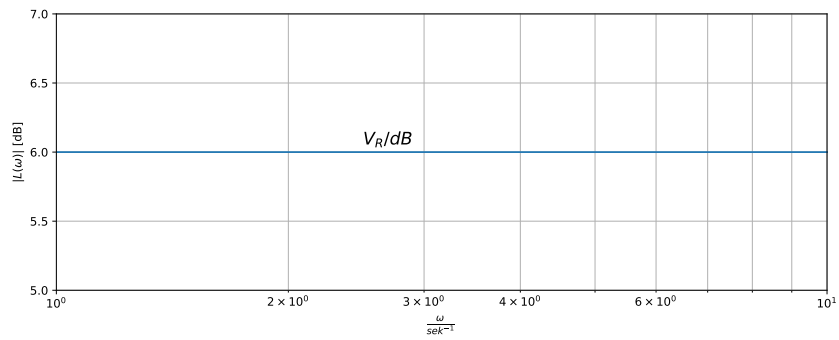


Abbildung 1: Amplitudengang für P-Regler

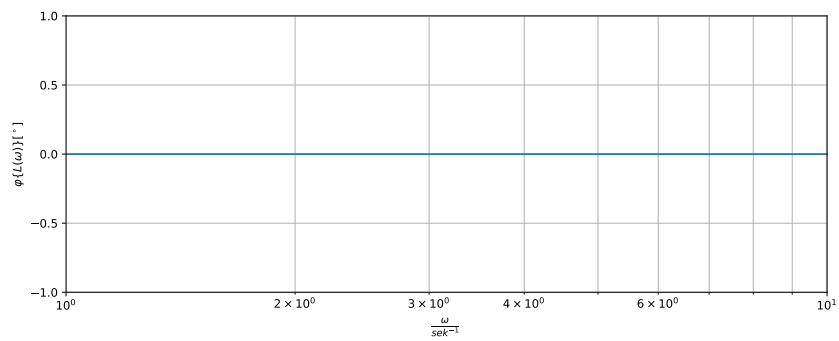


Abbildung 2: Phasengang für P-Regler

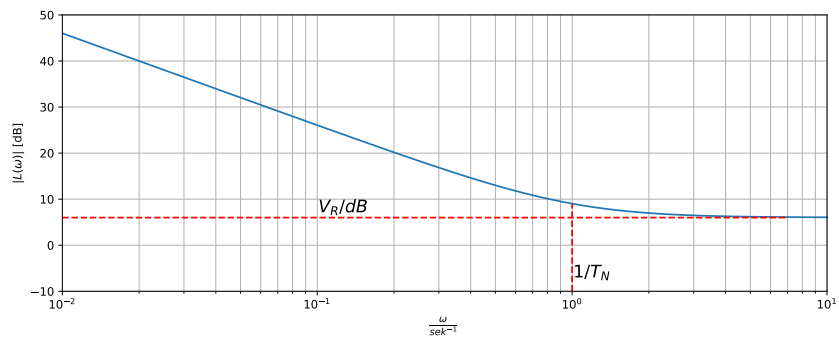


Abbildung 3: Amplitudengang für PI-Regler

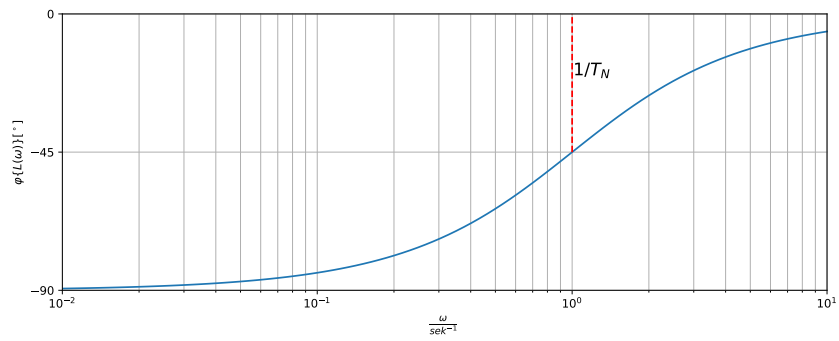


Abbildung 4: Phasengang für PI-Regler

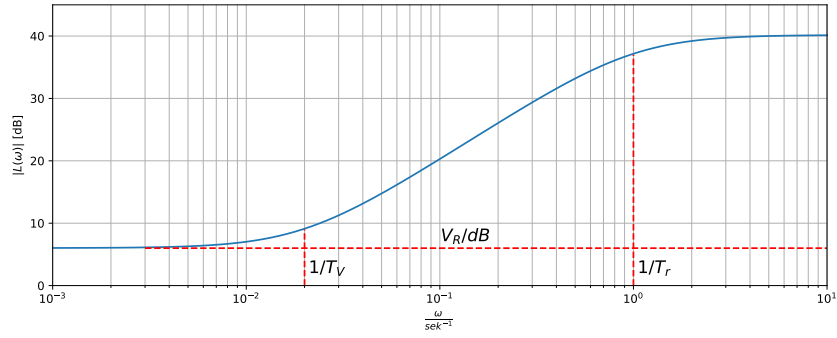


Abbildung 5: Amplitudengang für PD-Regler

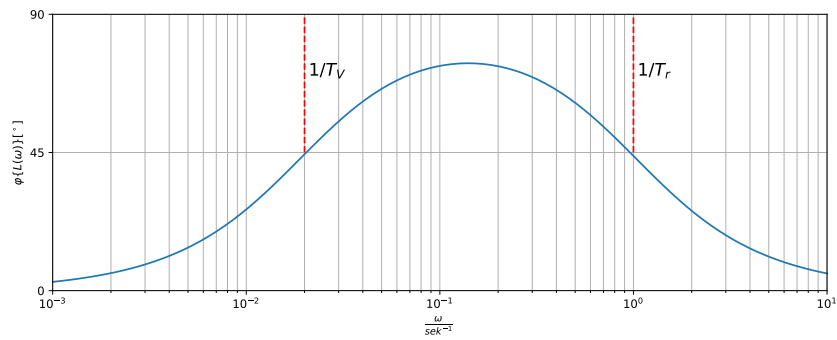


Abbildung 6: Phasengang für PD-Regler

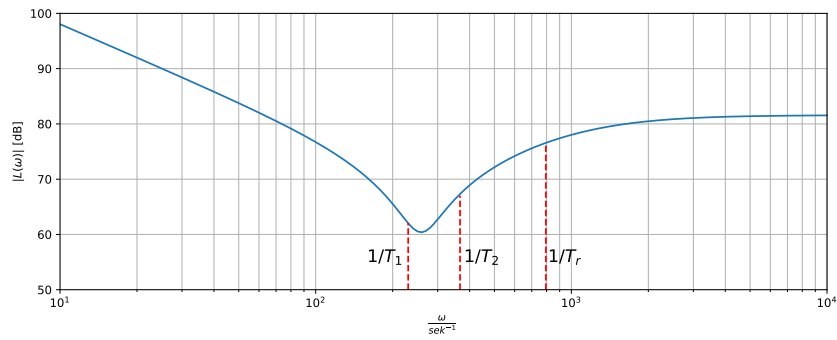


Abbildung 7: Amplitudengang für PID-Regler

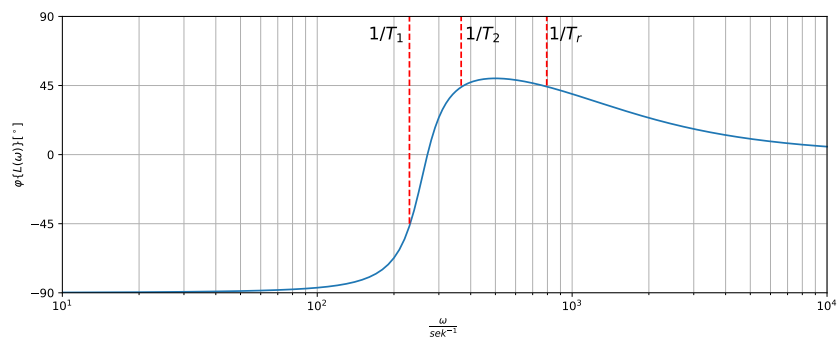


Abbildung 8: Phasengang für PID-Regler

2. (5 Punkte) Was sind eigentlich die Regelgütekriterien?

Lösung:

Die Regelgütekriterien geben die Regelgüte eines Reglers an. Dabei existieren verschiedene Kriterien:

- Anstiegszeit t_r
 - In der Anstiegsgeschwindigkeit t_r schlägt sich die Regelgeschwindigkeit nieder.
- Überschwingweite M_P
 - M_P ist ein Maß für das Dämpfungs- bzw. das Stabilitätsverhalten.
 - * $M_P = 0$: Aperiodische Sprungantwort
 - * $M_P = 1$: Sprungantwort mit Dauerschwingen
- Regelabweichung $e(\infty)$
 - $e(\infty)$ ist ein Maß für die stationäre Genauigkeit.

3. (5 Punkte) Welche Regler-Entwurf-Verfahren kennen Sie?

Lösung:

- Frequenzkennlinienverfahren
- Polstellenkompensation
- Ausprobieren, numerische Parameteroptimierung
- Chien, Hrones und Reswick (CHR verfahren)

4. (5 Punkte) Beschreiben Sie kurz den Ablauf eines Regler-Entwurfes.

Lösung:

1. Vorbereitung
2. Statische Kennlinie (Aussteuerung)
3. Steuerverhalten (dynamisches Verhalten)
4. Störverhalten
5. Simulation Strecke
6. Reglerentwurf
7. Simulation Regelkreis
8. Reale Strecke regeln ("Go Live")
9. Ergebnis prüfen:
 - (a) Freigeben?
 - (b) Nachbessern?
 - (c) Struktur verändern?
10. Ende

5. (5 Punkte) Skizzieren Sie bitte eine Standard-Regler-Struktur, geben Sie alle Größen an.

Lösung:

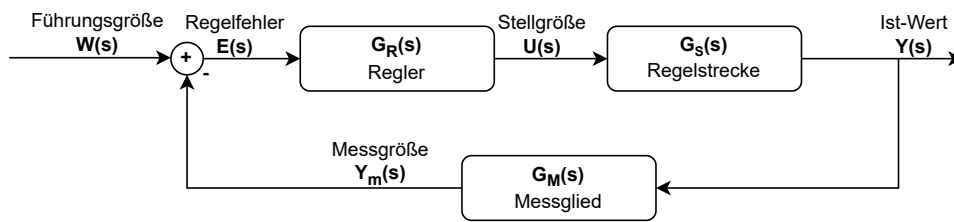


Abbildung 9: Standard Regelkreis

6. (5 Punkte) Gibt es Erweiterungen der Standard-Regler-Struktur?

Lösung:

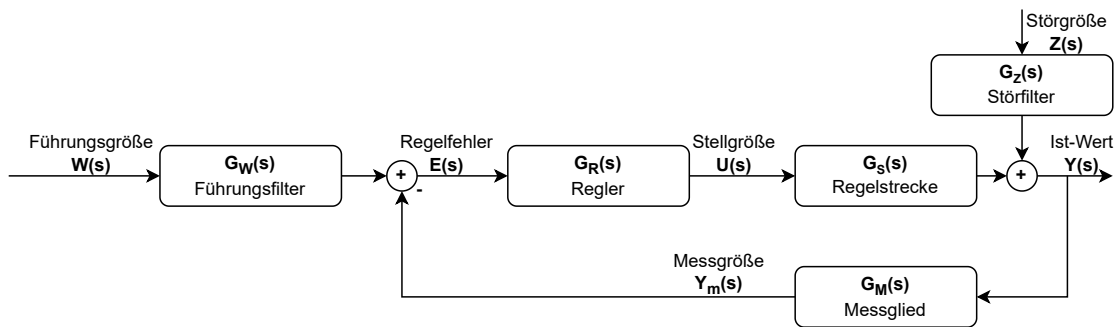


Abbildung 10: Erweiterter Regelkreis

7. (5 Punkte) Was ist eine Durchtrittsfrequenz?

Lösung:

Die Durchtrittsfrequenz ω_c ist die Frequenz, bei der der Betrag die 0dB Linie schneidet.

8. (5 Punkte) Wo finde ich M_p ? Was ist t_r ?

Lösung:

- M_p ist die maximale Überschwingweite in %: $M_p = y_p - 1 = e^{-\frac{\pi \cdot d}{\sqrt{1-d^2}}}$
- t_r ist die Anstiegszeit des Reglers: $t_r \approx \frac{1,44}{\omega_c}$

9. (5 Punkte) Wie wird ein Phasenrand definiert?

Lösung:

Der Phasenrand φ_r ist die Differenz zwischen dem Phasenwert und -180° an dem Punkt, an dem der Amplitudenwert 0dB kreuzt ω_c : $\varphi_r = 180 - |\varphi(\omega_c)|$

10. (50 Punkte) Für eine Strecke $G_S(s)$ muss eine Regelung erarbeitet werden. Erreicht werden soll bei einem Führungssprung ein Überschwingen von maximal 25% und der Ausgleichsvorgang soll im Wesentlichen in 0.288 Sekunden ausgeregelt sein. Ein Regelfehler soll im stationären Zustand nicht auftreten.

Diese Strecke wurde durch eine Messung identifiziert, das Bodediagramm auf der folgenden Seite zeigt die asymptotische Näherung der Übertragungsfunktion des offenen Kreises ohne Regler, d.h. $L(\omega)$.

Nehmen Sie an, dass die Übertragungsfunktion des Messgliedes $G_{\text{mess}}(s) = 1$ ist.

- (a) Begründen Sie, welche Regler in Frage kommen.
- (b) Bestimmen Sie die zur Erreichung des geforderten Verhaltens im Zeitbereich notwendigen Werte im Frequenzbereich für den Phasenrand φ_n und die Durchtrittsfrequenz ω_c .
- (c) Treffen und begründen Sie unter Berücksichtigung der Vorauswahl aus a) nun eine abschließende Reglerauswahl.
- (d) Welchen Wert muss die Phase des Reglers bei ω_c haben? Dimensionieren Sie daraus die Zeitkonstante / Zeitkonstanten des ausgewählten Reglers.
- (e) Geben Sie die Übertragungsfunktion $G_R(s)$ des Reglers in der faktorisierten V-Normalform an (V ist noch unbestimmt)
- (f) Konstruieren Sie nun den Betragsgang der Übertragungsfunktion des offenen Kreises $|L(\omega)|$ für $V = 1$ im Amplitudendiagramm des Bode-Diagramms.
- (g) Bestimmen Sie mit dem Ergebnis aus c) die notwendige Verstärkung V des Reglers

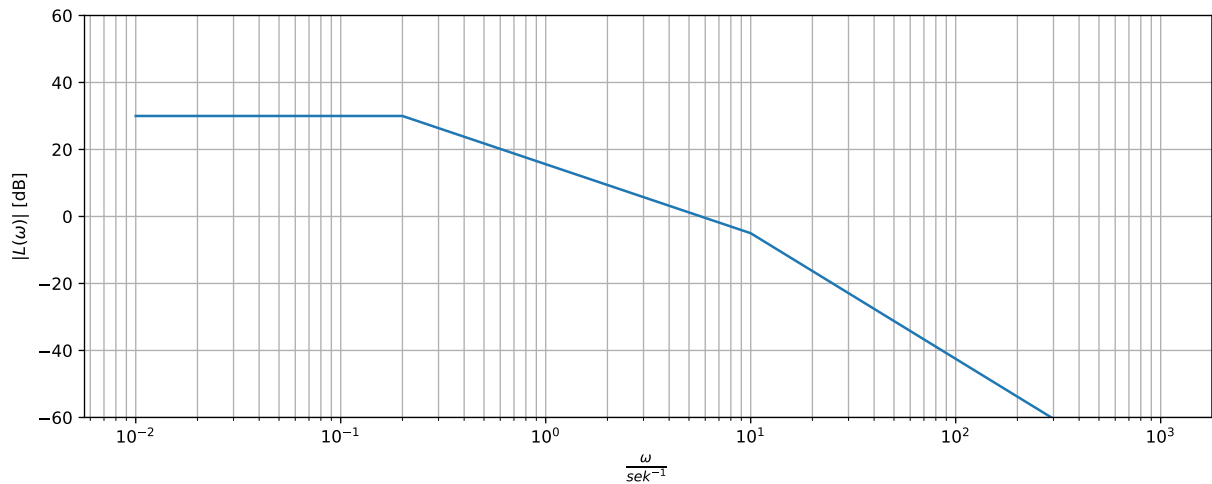


Abbildung 11: Gemessener Amplitudengang der Strecke $G_S(s)$. **Nicht das Original aus Klausur 09.22, sondern aus Klausur WiSe 2020**

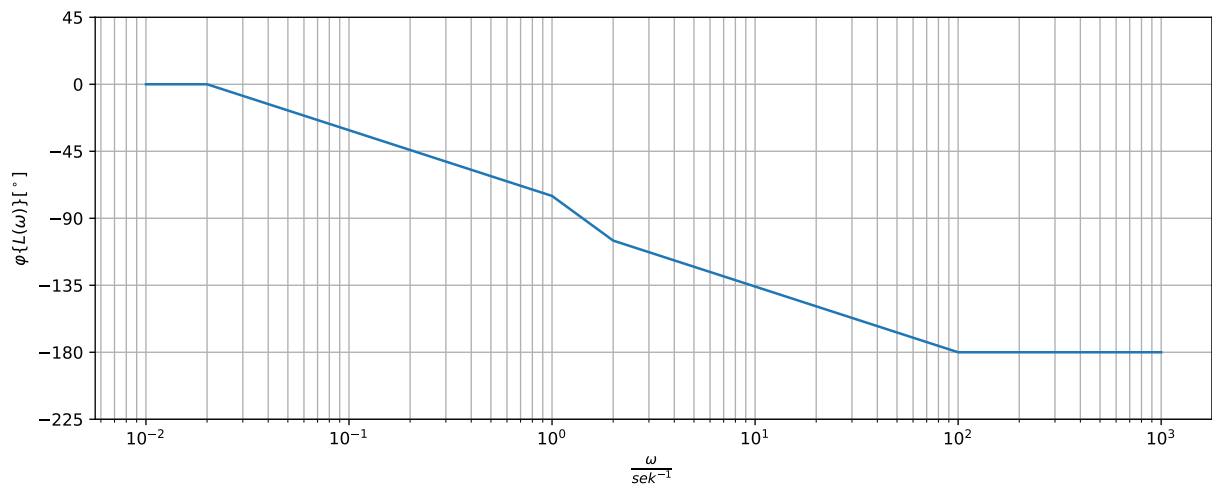


Abbildung 12: Gemessener Phasengang der Strecke $G_S(s)$. **Nicht das Original aus Klausur 09.22, sondern aus Klausur WiSe 2020**

Lösung:

(a)

Da keine Regelabweichung auftreten darf, muss die Regelstrecke einen Integralanteil haben. Aus dem Bodediagramm ist abzulesen, dass die Strecke keinen Integralanteil beinhaltet. Daher kommt entweder ein PI oder PID Regler in Frage.

(b)

Da ein maximales Überschwingen von 25% gefordert ist, ist $M_p = 0,25$. Damit ist der Phasenrand für das geforderte Überschwingverhalten

$$\varphi_r \approx 69 - 106 \cdot M_p = 69^\circ - 106 \cdot 0,25 = 42,5^\circ$$

Der Ausgleichsvorgang soll nach 0,288 Sekunden ausgeregelt sein. Somit ist die Anstiegszeit $t_r = 0,288$ Sekunden. Somit ist die benötigte Durchtrittsfrequenz

$$\omega_c = \frac{1,44}{0,288\text{sek}} = 5 \frac{\omega}{\text{sek}}$$

(c)

Um herauszufinden, ob ein PI oder PID Regler benötigt wird, muss $\varphi_{r,ist}$ mit $\varphi_{r,soll}$ verglichen werden. Wenn $\varphi_{r,ist} \geq \varphi_{r,soll}$, ist ein PI-Regler ausreichend. Wenn $\varphi_{r,ist} < \varphi_{r,soll}$, muss ein PID-Regler verwendet werden.

$$\varphi_{r,ist} = 180^\circ - 125^\circ = 55^\circ > \varphi_{r,soll} = 42,5^\circ$$

⇒ PI-Regler ausreichend

(d)

Aus den Vorlesungsfolien:

$$\varphi_{Strecke} = \text{ablesen}$$

$$\varphi_{R,soll} = 180^\circ - |\varphi_{Strecke} + \varphi_{PI}| \Rightarrow \varphi_{PI} = \varphi_{R,soll} - 180^\circ - \varphi_{Strecke}$$

$$\varphi_{PI} = -90^\circ + \arctan(\omega_{soll} \cdot T) \Rightarrow T = \tan(\varphi_{pi} + 90^\circ) \cdot \frac{1}{\omega_c}$$

Berechnung:

$$\varphi_{Strecke} = -125^\circ$$

$$\varphi_{PI} = \varphi_{R,soll} - 180 - \varphi_{Strecke} = 42,5^\circ - 180^\circ - (-125^\circ) = -12,5^\circ$$

$$T = \tan(\varphi_{pi} + 90) \cdot \frac{1}{\omega_c} = \tan(-12,5^\circ + 90^\circ) \cdot \frac{1}{5} = 0,9021$$

(e)

$$G_R(s) = V \cdot \frac{1 + 0,9021 \cdot s}{s}$$

(f)

$$V_R[dB] = 0$$

$$\frac{1}{T} = 1,1085$$

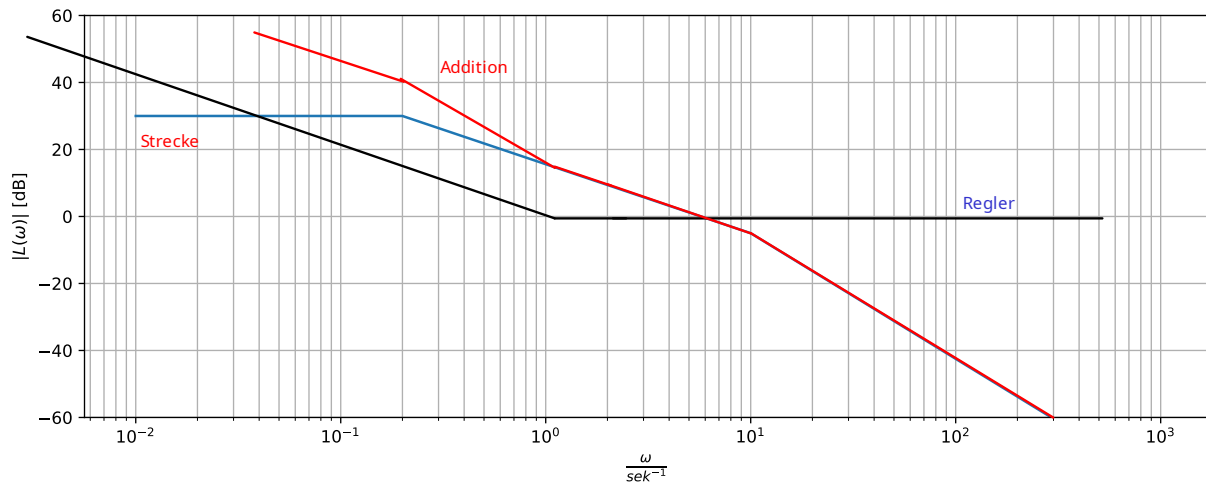


Abbildung 13: Amplitudengang der Strecke $G_S(s)$ mit Regler

(g)

Der neue Verstärkungsfaktor V ist die Differenz der Addition der Übertragungsfunktionen der gesamten Strecke zu 0 dB bei ω_c und wird folgendermaßen berechnet:

$$V = 10^{\frac{V_{diff}}{20}}$$

Für die hier dargestellte Strecke ist der Nulldurchgang bei ω_c , der Verstärkungsfaktor kann somit bei $V = 1$ bleiben.