Prüfungsklausur Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. O. Nelles
Institut für Mechanik und Regelungstechnik
Universität Siegen

18. August 2018

Name:	Punkte	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Ges.
Mat.-Nr.:	Soll:	24	19	18	15	12	14	18	120
Note:	Ist:								

Dauer der Klausur: 2 Stunden

Zugelassene Hilfsmittel: Taschenrechner und 4-seitige Formelsammlung

Aufgabe 1: Verständnisfragen (24 Punkte)

Bei den nachfolgenden Fragen sind die richtigen Antworten deutlich zu kennzeichnen.
Jede Frage hat entweder eine oder zwei richtige Antworten!
Für jede richtige Antwort gibt es einen Punkt. Wird bei einer Frage eine richtige und eine falsche Antwort angekreuzt, gibt es für diese Frage keinen Punkt.

a) Wann ist ein System nicht phasenminimal?

- ☐ Wenn es eine Nullstelle oder Pol bei $s = 0$ aufweist.
- ☐ Wenn es eine Totzeit besitzt.
- ☐ Wenn eine Nullstelle in der rechten s-Halbebene liegt.

b) Welches Hilfsmittel kann betrachtet werden, um eine Aussage zur Stabilität eines Systems zu machen, wenn die Regelstrecke eine Totzeit besitzt?

- ☐ Das Hurwitzkriterium.
- ☐ Der Amplituden- und Phasenrand.
- ☐ Das Nyquistkriterium.

c) Wodurch ist sichergestellt, dass die Regelgröße $y(t)$ der Führungsgröße $w(t)$ möglichst gut folgt?

- ☐ Die Führungsübertragungsfunktion sollte möglichst einen I-Anteil aufweisen.
- ☐ Die Führungsübertragungsfunktion sollte möglichst gleich Eins sein.
- ☐ Die Führungsübertragungsfunktion sollte möglichst einen D-Anteil aufweisen.

d) Woran erkennt man, ob ein System globales P-, I- oder D-Verhalten hat?

- ☐ Am Verlauf des Frequenzgangs für $\omega \to \infty$.
- ☐ Am Verlauf der Sprungantwort für $t \to 0$.
- ☐ Am Verlauf des Frequenzgangs für $\omega \to 0$.

e) Ein System besitzt die Übertragungsfunktion $G(s) = \frac{1}{s+1}$ und wird durch ein sinusförmiges Signal angeregt. Wie verhalten sich Amplitude und Phase des Ausgangssignals?

- ☐ Für Frequenzen $\omega \ll 1$ ist die Amplitude abgeschwächt.
- ☐ Für Frequenzen $\omega \gg 1$ ist die Amplitude abgeschwächt.
- ☐ Für Frequenzen $\omega \gg 1$ ist die nach unten Phase verschoben.

f) Woran erkennt man einen stabilen Regelkreis?

- ☐ Nach einer endlichen Erregung durch eine Führungsgröße klingt die Regelgröße auf Null ab.
- ☐ Nach einer impulsartigen Erregung durch eine Führungsgröße klingt die Regelgröße auf Null ab.
- ☐ Nach einer endlichen Erregung durch eine Führungsgröße nimmt die Regelgröße ebenfalls einen endlichen Endwert ein.

g) Das vereinfachte Nyquistkriterium darf angewendet werden, auch wenn der offene Regelkreis ...

- ☐ instabilen Pole aufweisen.
- ☐ eine Totzeit aufweisen.
- ☐ einen Pol bei $s = 0$ aufweist.

h) Was gilt für die Empfindlichkeitsfunktion eines Regelkreises?

- ☐ Die Empfindlichkeitsfunktion wird **nicht** durch den Regler beeinflusst.
- ☐ Sie ist identisch mit der Übertragungsfunktion von Führungsgröße zu Regelfehler ($w \to e$).
- ☐ Sie ist identisch mit der Störübertragungsfunktion ($d \to y$).

i) Wozu kann eine Vorsteuerung verwendet werden?

- ☐ Zur Entfernung von Störeinflüssen.
- ☐ Zur Verbesserung des Führungsverhaltens z.B. durch Kürzen unerwünschter Nullstellen in der Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises.
- ☐ Zur Kompensation von Allpassverhalten (positive Nullstellen) und Totzeiten.

j) Welche Aussagen sind für einen Zweipunktregler richtig?

- ☐ Ein Regelkreis mit Zweipunktregler ist nichtlinear.
- ☐ Im Regelkreis kann ein sogenanntes Chattering auftreten (Rattern, andauerndes hochfrequentes Springen zwischen maximaler und minimaler Stellgröße).
- ☐ Das Problem des Chatterings kann auch durch Verwendung eines Zweipunktreglers mit Hysterese nicht beeinflusst werden.

k) Welches Reglerverhalten kann bei Verwendung eines Zweipunktreglers mit Hysterese beobachtet werden?

- ☐ Bei einem Führungssprung nähert sich die Regelgröße stets asymptotisch dem Sollwert an.
- ☐ Es tritt eine Dauerschwingung auf, deren Amplitude von der Hysteresebreite abhängt.
- ☐ Die Stellgröße oszilliert

l) Wozu dient ein Smith-Prädiktor?

- ☐ Verbesserung der Regelung eines Systems mit Totzeit.
- ☐ Zur Vorhersage des Auftretens einer Störgröße.
- ☐ Die Länge der Totzeit einer Regelstrecke zu bestimmen.

m) Ein instabiler Regelkreis zeichnet sich aus durch:

- ☐ Die Regelgröße geht gegen unendlich.
- ☐ Die Regelgröße schwingt um den Sollwert.
- ☐ Der offene Regelkreis ist instabil.

n) Nichtlineare Systeme haben folgende Eigenschaften:

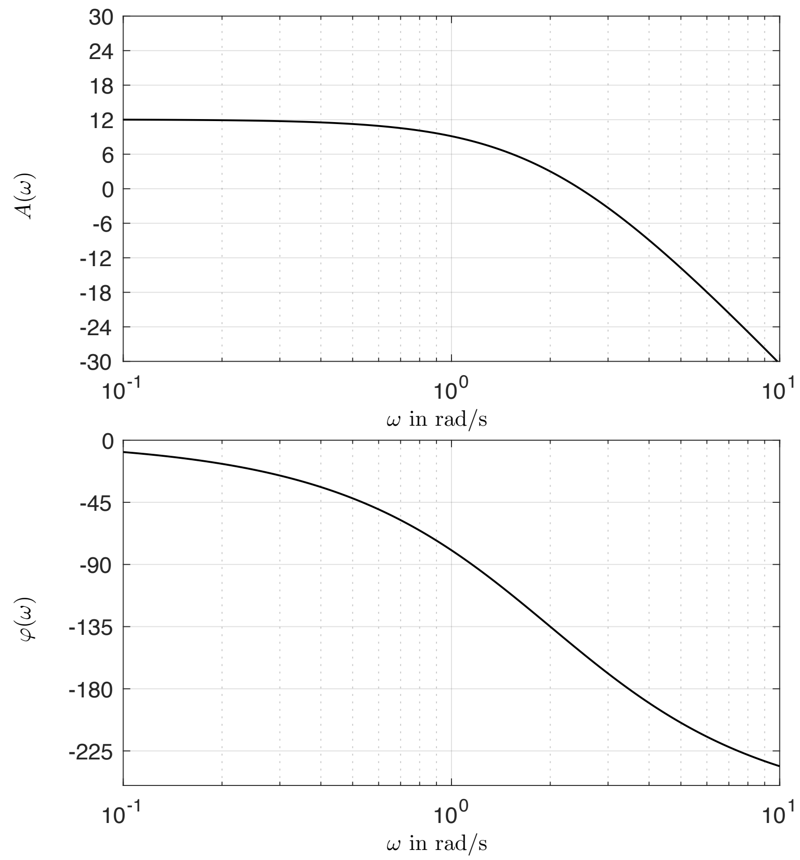
- ☐ Sie können genauso wie lineare Systeme zum einfacheren Reglerentwurf mit der Laplace-Transformation in den Frequenzbereich übertragen werden.
- ☐ Die Stabilität kann **nicht** vom Eingangssignal abhängen.
- ☐ In einer Reihenschaltung von nichtlinearen Systemen hat die Reihenfolge der Systeme in der Regel einen Einfluss auf das Gesamtübertragungsverhalten.

o) Was versteht man bei Reglern unter *Anti-Windup*?

- ☐ Verbesserung des Verhaltens eines Reglers mit I-Anteil bei Auftreten von Stellgrößenschränkungen (z.B. starkes Überschwingen vermeiden).
- ☐ Bei Auftreten einer Stellgrößenbeschränkung werden der P- und D-Anteils eines Reglers begrenzt.
- ☐ Bei Auftreten einer Stellgrößenbeschränkung wird der I-Anteils eines Reglers begrenzt.

Aufgabe 2: Nyquist (19 Punkte)

Gegeben ist ein System $G_S(s) = 4/(s+1)^3$ das zugehörige Bode-Diagramm ist unten gegeben. $G_S(s)$ soll im Folgenden mit einem P-Regler $G_R(s) = K$ geregelt werden.



a) Bestimmen Sie den Amplitudenrand für $K = 1$.

b) Im Folgenden wird $K = 4$ gewählt. Wie verändert sich hierdurch der Phasengang des offenen Regelkreises $G_0(s)$ verglichen mit dem hier dargestellten Phasengang?

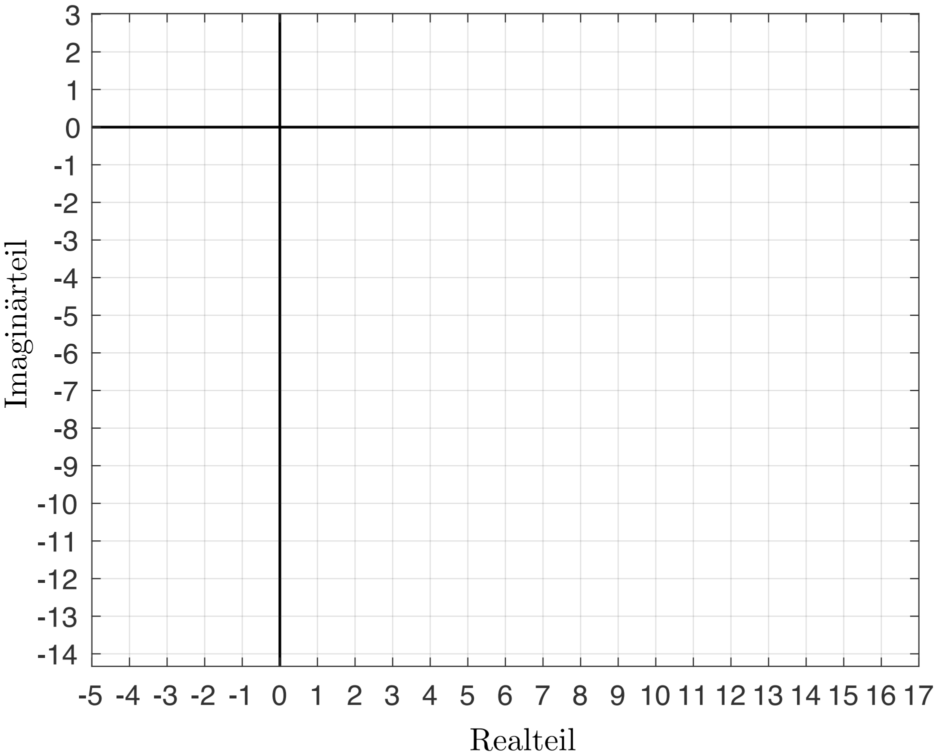
c) Zeichnen Sie qualitativ den Amplitudengang von $G_0(s)$ für $K = 4$ in oben stehendes Diagramm?

d) Wie groß ist der Amplitudenrand für $K = 4$?

e) Ermitteln Sie für $K = 4$ die Werte des Amplituden- und Phasengangs für folgende ω und tragen diese in die Tabelle ein.

ω	0.5 rad/sec	1 rad/sec	4 rad/sec
$A(\omega)$			
$\varphi(\omega)$			

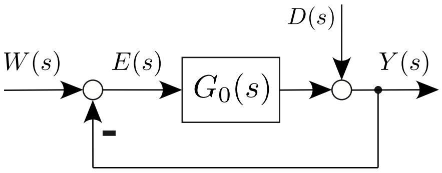
f) Skizzieren Sie die Frequenzgangsortskurve aus den ermittelten Werten und erläutern kurz anhand der Frequenzgangsortskurve, ob das geregelte System stabil ist.



In der Abbildung entspricht ein Zentimeter 2 Längeneinheiten!

Aufgabe 3: Empfindlichkeitsfunktion (18 Punkte)

Gegeben ist ein Regelkreis mit einer sinusförmigen Störung $d(t)$ am Ausgang. Die Amplitude der Störung beträgt eins.

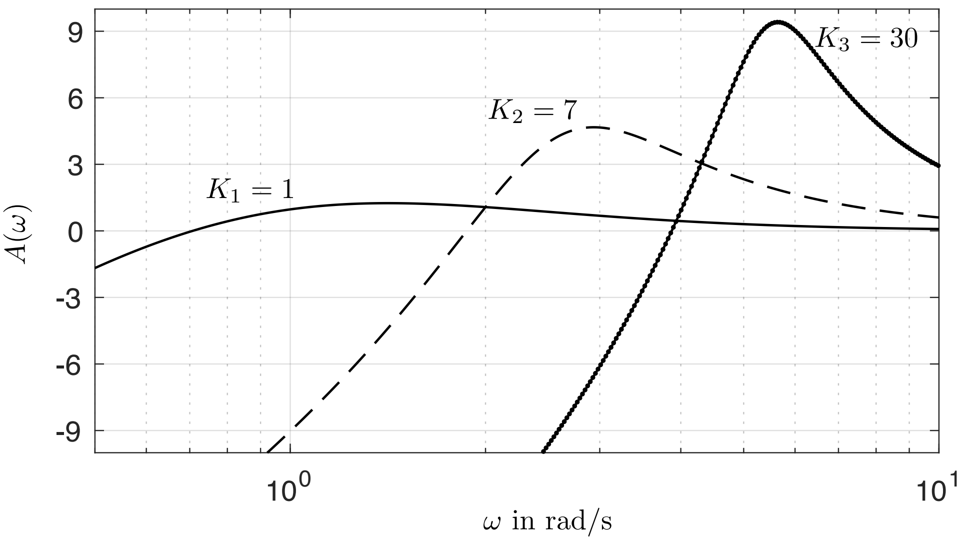


a) Die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises lautet $G_0(s) = \frac{K_i}{s(s+2)}$. Berechnen Sie die Führungs- $G_W(s)$ und Störübertragungsfunktion $G_D(s)$ des geschlossenen Regelkreises und geben Sie die Empfindlichkeitsfunktion $S(s)$ an.

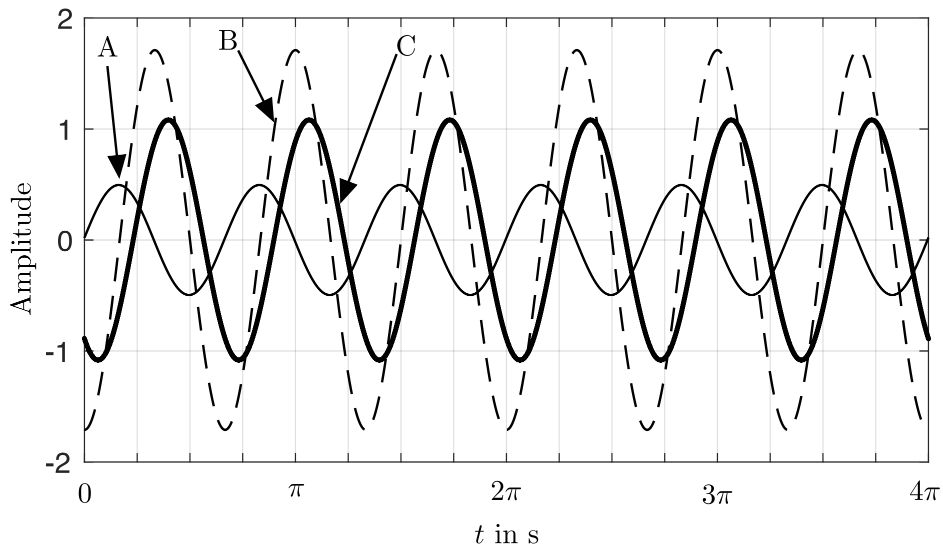
b) Wie lautet im Allgemeinen die ideale Führungsübertragungsfunktion $G_W(s)$ und mit welchem Wert für K_i kann dies hier erreicht werden?

c) Welchen Wert nimmt die Empfindlichkeitsfunktion $S(s)$ in diesem Fall an?

d) Unten sind die Amplitudengänge von $S(s)$ für drei verschiedene K_i dargestellt. Geben Sie die Bandbreiten der Regelkreise für K_2 und K_3 an.
Hinweis: Die Bandbreite entspricht der Frequenz, wo die Wirksamkeit des Regelkreises auf $1/\sqrt{2}$ abfällt.



e) Nachfolgend sind Antworten des Regelkreises auf die oben genannte Störung $d(t)$ gegeben. Ordnen Sie die drei Antworten (A, B und C) den drei Werten von K_i (K_1, K_2 und K_3) zu (**kurze Begründung**). Benennen Sie die Bereiche in denen die Störung wirkt (eine Bezeichnung je K_i).



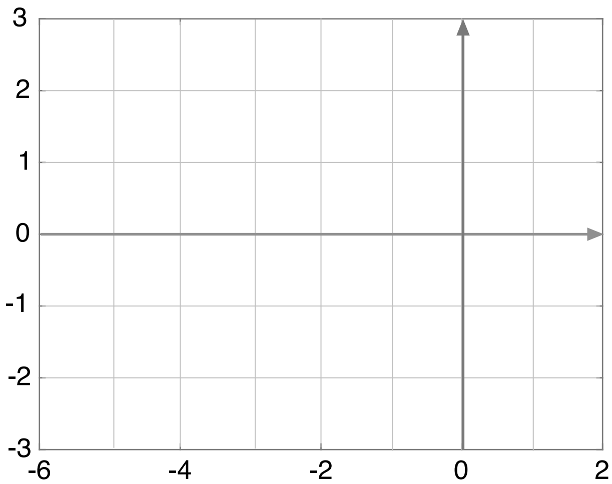
Aufgabe 4: Wurzelortskurve (15 Punkte)

Gegeben sei die Regelstrecke

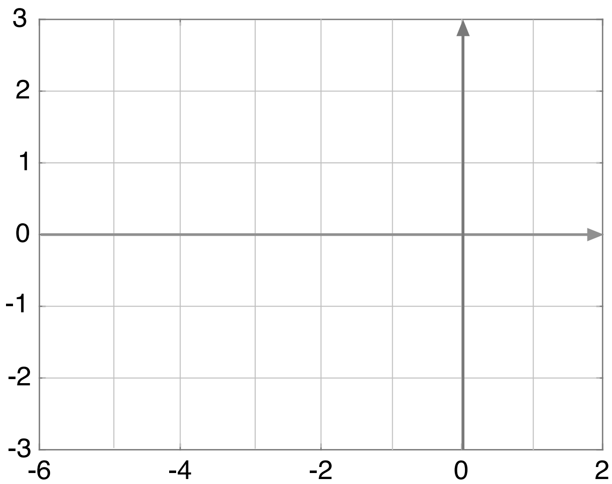
$$G_S = \frac{0.5 - 0.5s}{5s + 5}$$

a) Zeichnen Sie Pole und Nullstellen in die unten angegebenen Diagramme ein und benennen Sie das System.

b) Das System soll mit einem I-Regler $G_R = \frac{K_I}{s}$ geregelt werden. Skizzieren Sie die Wurzelortskurve in das Diagram. Warum ist ein reiner I-Regler ungeeignet?

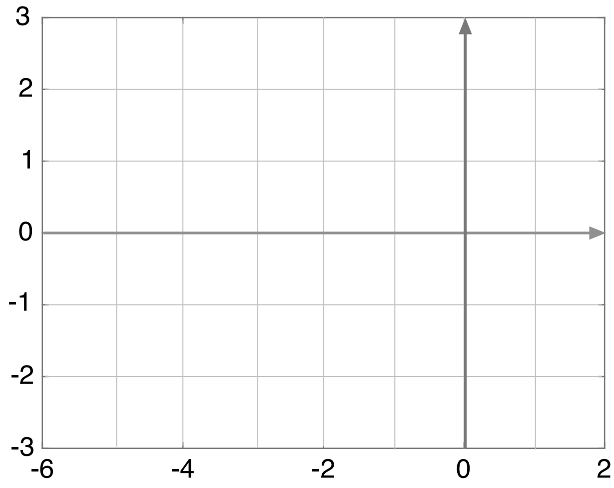


c) Das System soll stattdessen mit einem P-Regler $G_R = K_P$ geregelt werden. Skizzieren Sie auch hier die Wurzelortskurve.



d) Kann K_P so gewählt werden, dass das System schwingungsfähig und stabil ist? Markieren Sie, wenn dies möglich ist, mögliche Pole für diesen Fall in der Wurzelortskurve.

e) Nun soll das System mit einem realen D-Regler $G_R = \frac{K_D s}{1+0.2s}$ geregelt werden. Skizzieren Sie auch hier die Wurzelortskurve.

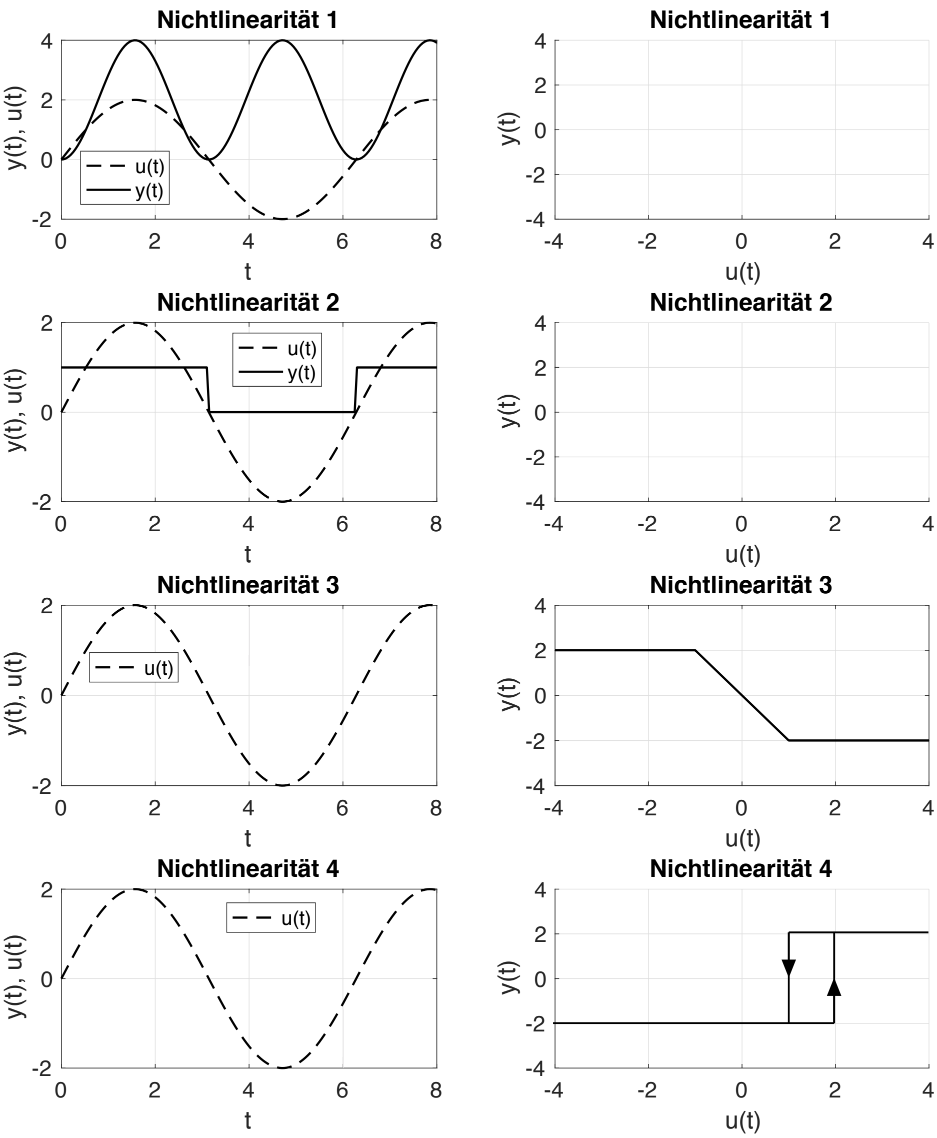


f) Kann nun K_D so gewählt werden, dass der geschlossene Regelkreis stabil und schwingungsfähig ist? Markieren Sie, wenn dies möglich ist, mögliche Pole für diesen Fall in der Wurzelortskurve.

Aufgabe 5: Nichtlineare Systeme (12 Punkte)

Gegeben ist folgendes nichtlineares System:

Es werden nun vier verschiedene Nichtlinearitäten für den nichtlinearen Block verwendet. Ergänzen Sie in den dargestellten Diagrammen für jede dieser Nichtlinearitäten die fehlende Größe (nichtlineare Kennlinie für a) und b) und Ausgang für c) und d)).



Aufgabe 6: Laplace-Transformation (14 Punkte)

Gegeben ist die Differenzialgleichung $\dot{y}(t) + 3y(t) = 3u(t)$.

a) Transformieren Sie die Differenzialgleichung in den Laplace-Bereich und stellen Sie die Übertragungsfunktion auf.

b) Berechnen Sie die Sprungantwort $h(t)$.

c) Berechnen Sie die Impulsantwort $g(t)$ ausgehend von der Sprungantwort $h(t)$ im Zeitbereich.

Aufgabe 7: Steuerung nicht phasenminimaler Systeme (18 Punkte)

Gegeben ist das nicht phasenminimale System

$$G(s) = \frac{1-s}{s+b}. \tag{1}$$

a) Legen Sie eine optimale Steuerung für das vorliegende System aus und stellen Sie die Übertragungsfunktion $G_w(s)$ für das gesteuerte System auf. Instabile Nullstellen des Systems sollen dabei ignoriert werden.

b) Eine weitere Möglichkeit zur Auslegung der Steuerung nicht phasenminimaler Systeme beruht darauf, die bestmögliche Amplitudenwiedergabe zu erreichen. Legen Sie die Steuerung nach diesem Kriterium aus und stellen Sie die Übertragungsfunktion auf.

c) Beschreiben Sie, wie die instabile Nullstelle bei dieser Vorgehensweise kompensiert werden muss, um die bestmögliche Amplitudenwiedergabe zu erreichen.

d) Alternativ kann für die Steuerung die bestmögliche Phasenwiedergabe als Auslegungskriterium verwendet werden. Legen Sie die Steuerung nach diesem Kriterium aus und stellen Sie die Übertragungsfunktion auf.

e) Beschreiben Sie, wie die instabile Nullstelle bei dieser Vorgehensweise kompensiert werden muss, um die bestmögliche Phasenwiedergabe zu erreichen.

Hinweis: Achten Sie bei der Auslegung der Steuerungen darauf, dass diese realisierbar sind.

Lösungen:

Aufgabe 1: Verständnisfragen (24 Punkte)

a) Wann ist ein System nicht phasenminimal?

- ☐ Wenn es eine Nullstelle oder Pol bei $s = 0$ aufweist.
- ■ Wenn es eine Totzeit besitzt.
- ■ Wenn eine Nullstelle in der rechten s-Halbebene liegt.

b) Welches Hilfsmittel kann betrachtet werden, um eine Aussage zur Stabilität eines Systems zu machen, wenn die Regelstrecke eine Totzeit besitzt?

- ☐ Das Hurwitzkriterium.
- ■ Der Amplituden- und Phasenrand.
- ■ Das Nyquistkriterium.

c) Wodurch ist sichergestellt, dass die Regelgröße $y(t)$ der Führungsgröße $w(t)$ möglichst gut folgt?

- ☐ Die Führungsübertragungsfunktion sollte möglichst einen I-Anteil aufweisen.
- ■ Die Führungsübertragungsfunktion sollte möglichst gleich Eins sein.
- ☐ Die Führungsübertragungsfunktion sollte möglichst einen D-Anteil aufweisen.

d) Woran erkennt man, ob ein System globales P-, I- oder D-Verhalten hat?

- ☐ Am Verlauf des Frequenzgangs für $\omega \to \infty$.
- ☐ Am Verlauf der Sprungantwort für $t \to 0$.
- ■ Am Verlauf des Frequenzgangs für $\omega \to 0$.

e) Ein System besitzt die Übertragungsfunktion $G(s) = \frac{1}{s+1}$ und wird durch ein Sinusförmiges Signal angeregt. Wie verhalten sich Amplitude und Phase des Ausgangssignals?

- ☐ Für Frequenzen $\omega \ll 1$ ist die Amplitude abgeschwächt.
- ■ Für Frequenzen $\omega \gg 1$ ist die Amplitude abgeschwächt.
- ■ Für Frequenzen $\omega \gg 1$ ist die Phase verschoben.

f) Woran erkennt man einen stabilen Regelkreis?

- ☐ Nach einer endlichen Erregung durch eine Führungsgröße klingt die Regelgröße auf Null ab.
- ■ Nach einer impulsartigen Erregung durch eine Führungsgröße klingt die Regelgröße auf Null ab.
- ■ Nach einer endlichen Erregung durch eine Führungsgröße nimmt die Regelgröße ebenfalls einen endlichen Endwert ein.

g) Das vereinfachte Nyquistkriterium darf angewendet werden, auch wenn der offene Regelkreis ...

- [ ] instabilen Pole aufweisen.
- [x] eine Totzeit aufweisen.
- [x] einen Pol bei $s = 0$ aufweist.

h) Was gilt für die Empfindlichkeitsfunktion eines Regelkreises?

- [ ] Die Empfindlichkeitsfunktion wird **nicht** durch den Regler beeinflusst.
- [x] Sie ist identisch mit der Übertragungsfunktion von Führungsgröße zu Regelfehler ($w \to e$).
- [x] Sie ist identisch mit der Störübertragungsfunktion ($d \to y$).

i) Wozu kann eine Vorsteuerung verwendet werden?

- [ ] Zur Entfernung von Störeinflüssen.
- [x] Zur Verbesserung des Führungsverhaltens z.B. durch Kürzen unerwünschter Nullstellen in der Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises.
- [ ] Zur Kompensation von Allpassverhalten (positive Nullstellen) und Totzeiten.

j) Welche Aussagen sind für einen Zweipunktregler richtig?

- [x] Ein Regelkreis mit Zweipunktregler ist nichtlinear.
- [x] Im Regelkreis kann ein sogenanntes Chattering auftreten (Rattern, andauerndes hochfrequentes Springen zwischen maximaler und minimaler Stellgröße).
- [ ] Das Problem des Chatterings kann auch durch Verwendung eines Zweipunktreglers mit Hysterese nicht beeinflusst werden.

k) Welches Reglerhalten kann bei Verwendung eines Zweipunktreglers mit Hysterese beobachtet werden?

- [ ] Bei einem Führungssprung nähert sich die Regelgröße stets asymptotisch dem Sollwert an.
- [x] Es tritt eine Dauerschwingung auf, deren Amplitude von der Hysteresebreite abhängt.
- [x] Die Stellgröße oszilliert.

l) Wozu dient ein Smith-Prädiktor?

- [x] Verbesserung der Regelung eines Systems mit Totzeit.
- [ ] Zur Vorhersage des Auftretens einer Störgröße.
- [ ] Die Länge der Totzeit einer Regelstrecke zu bestimmen.

m) Ein instabiler Regelkreis zeichnet sich aus durch:

- ■ Die Regelgröße geht gegen unendlich.
- □ Die Regelgröße schwingt um den Sollwert.
- □ Der offene Regelkreis ist instabil.

n) Nichtlineare Systeme haben folgende Eigenschaften:

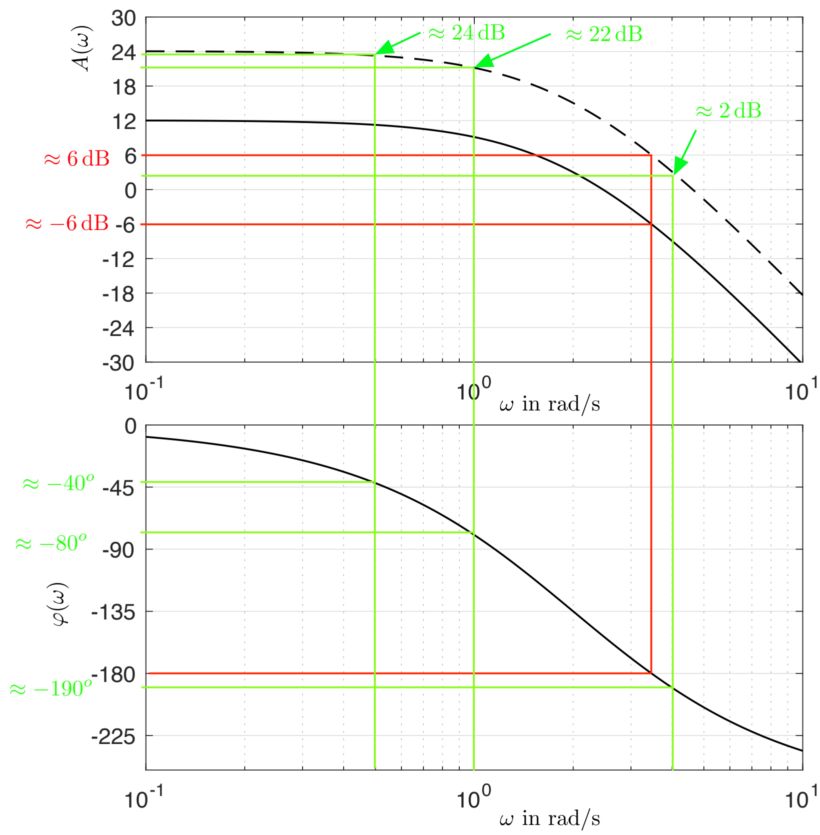
- □ Sie können genauso wie lineare Systeme zum einfacheren Reglerentwurf mit der Laplace-Transformation in den Frequenzbereich übertragen werden.
- □ Die Stabilität kann **nicht** vom Eingangssignal abhängen.
- ■ In einer Reihenschaltung von nichtlinearen Systemen hat die Reihenfolge der Systeme in der Regel einen Einfluss auf das Gesamtübertragungsverhalten.

o) Was versteht man bei Reglern unter *Anti-Windup*?

- ■ Verbesserung des Verhaltens eines Reglers mit I-Anteil bei Auftreten von Stellgrößenschränkungen (z.B. starkes Überschwingen vermeiden).
- □ Bei Auftreten einer Stellgrößenbeschränkung werden der P- und D-Anteils eines Reglers begrenzt.
- ■ Bei Auftreten einer Stellgrößenbeschränkung wird der I-Anteils eines Reglers begrenzt.

Aufgabe 2: Nyquist (19 Punkte)

Gegeben ist ein System $G_S(s) = 4/(s+1)^3$ das zugehörige Bode-Diagramm ist unten gegeben. $G_S(s)$ soll im Folgenden mit einem P-Regler $G_R(s) = K$ geregelt werden.



a) Bestimmen Sie den Amplitudenrand für $K = 1$.
$k_R = 1/\left|G_0(i\omega_{180^o})\right| = 1/\left|10^{-6\,\mathrm{dB}/20}\right| \approx 2$ 2

b) Im Folgenden wird $K = 4$ gewählt. Wie verändert sich hierdurch der Phasengang des offenen Regelkreises $G_0(s)$?
Der Phasengang verändert sich nicht! 1

c) Zeichnen Sie qualitativ den Amplitudengang von $G_0(s)$ für $K = 4$?
Der Amplitudengang hebt sich um $\approx 12\,\mathrm{dB}$ an (siehe Abbildung). 3

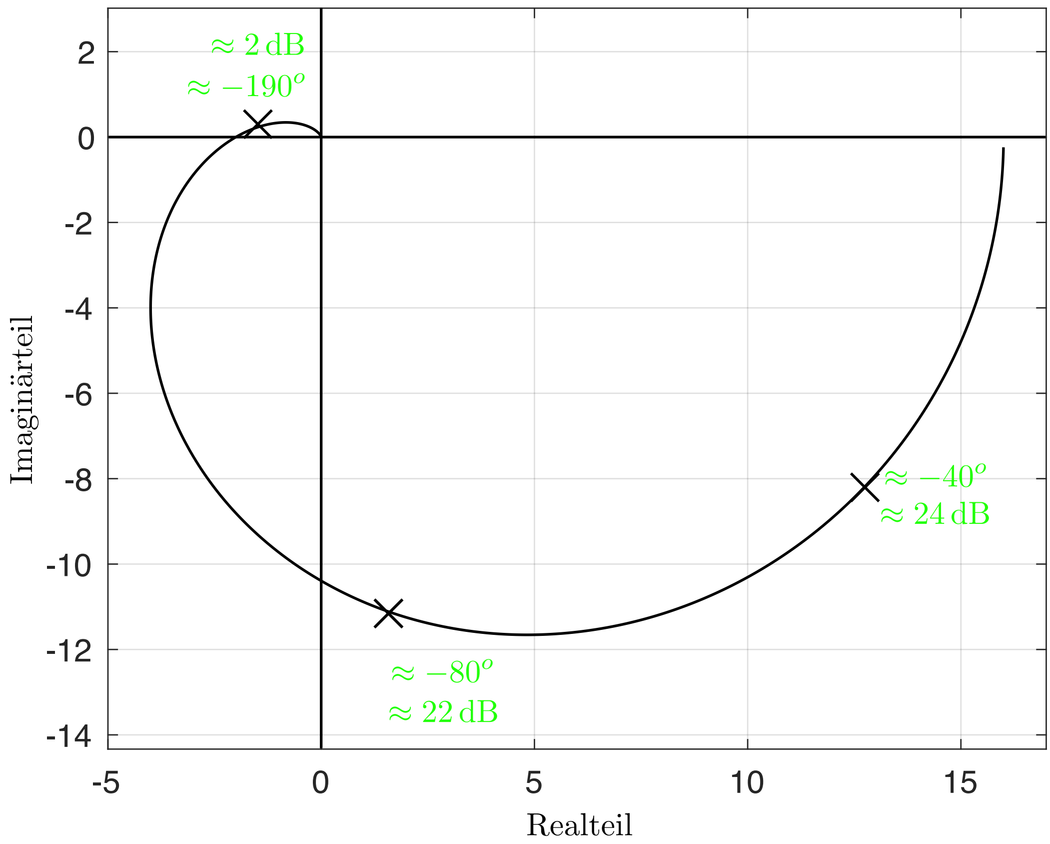
d) Wie groß ist der Amplitudenrand für $K = 4$?
$k_R = 1/\left|G_0(i\omega_{180^o})\right| = 1/\left|10^{6\,\mathrm{dB}/20}\right| \approx 0.5$ 3

e) Ermitteln Sie für $K = 4$ die Werte des Amplituden und Phasengangs für folgenden ω und tragen diese in die Tabelle ein.

ω	0.5 rad/sec	1 rad/sec	4 rad/sec
$A(\omega)$	24 dB	22 dB	2 dB
$\varphi(\omega)$	-40^o	-80^o	-190^o

6

f) Skizzieren Sie die Frequenzgangsortskurve aus den ermittelten Werten und erläutern kurz, ob das geregelte System stabil ist.

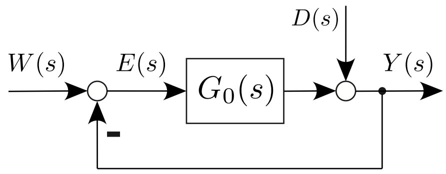


Der Punkt $(-1, 0)$ wird umschlungen $\Rightarrow$ Der geschlossene Regelkreis ist instabil. $\boxed{4}$

$\boxed{\sum 19}$

Aufgabe 3: Empfindlichkeitsfunktion (18 Punkte)

Gegeben ist ein Regelkreis mit einer sinusförmigen Störung $d(t)$ am Ausgang. Die Amplitude der Störung beträgt eins.



a) Die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises lautet $G_0(s) = \frac{K_i}{s(s+2)}$. Berechnen Sie die Führungs- $G_W(s)$ und Störübertragungsfunktion $G_D(s)$ des geschlossenen Regelkreises und geben Sie die Empfindlichkeitsfunktion $S(s)$ an.

$$(W - Y) \cdot \frac{K_i}{s(s+2)} + D = Y \Leftrightarrow \frac{K_i}{s(s+2)} \cdot W + D = \left(1 + \frac{K_i}{s(s+2)}\right) Y$$

$$\Leftrightarrow K_i W + s(s+2)D = (s(s+2) + K_i)\, Y$$

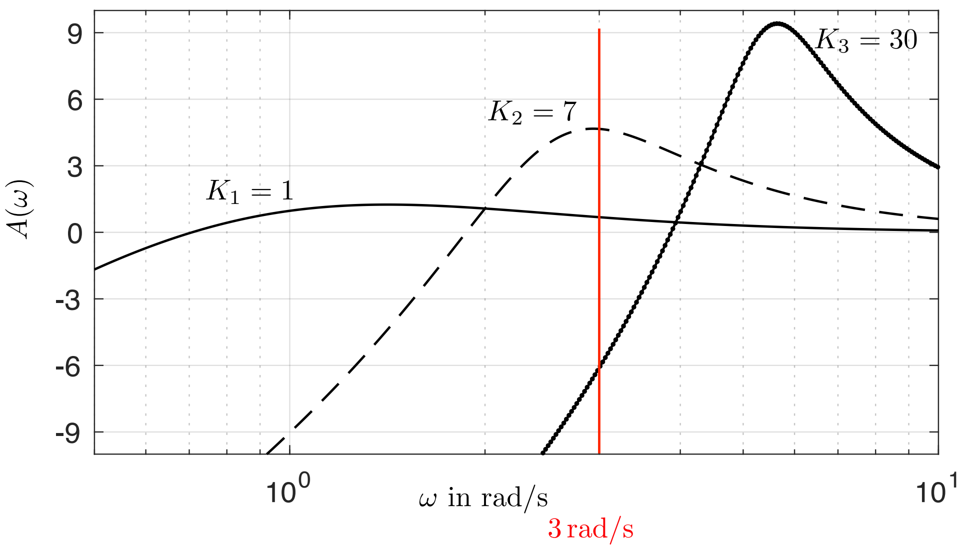
$$\Leftrightarrow Y = \underbrace{\frac{K_i}{(s(s+2) + K_i)}}_{G_W(s)} \cdot W + \underbrace{\frac{s(s+2)}{(s(s+2) + K_i)}}_{G_D(s)=S(s)} \cdot D$$

6

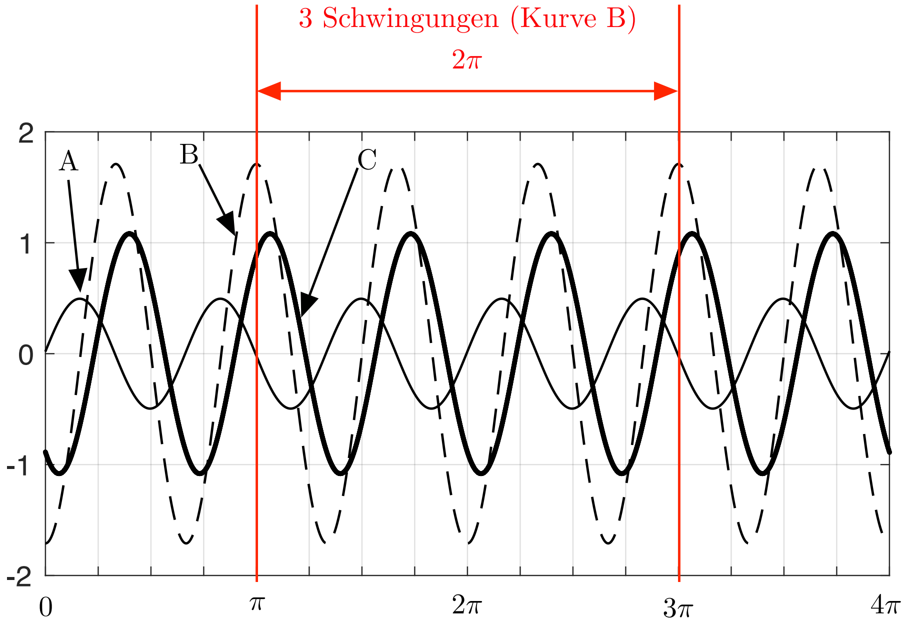
b) Wie lautet im allgemeinen die ideale Führungsübertragungsfunktion $G_W(s)$ und mit welchem Wert für K_i kann dies hier erreicht werden?
Ideal: $G_W(s) = 1$ kann hier nur asymptotisch erreicht werden mit $K_i \to \infty$ 2

c) Welchen Wert nimmt die Störungsübertragungsfunktion $S(s)$ in diesem Fall an?
Für den Fall $K_i \to \infty$ ergibt sich $S(s) \to 0$. 2

d) Unten sind die Amplitudengänge von $S(s)$ für drei verschiedene K_i dargestellt. Geben Sie die Bandbreiten der Regelkreise für K_2 und K_3 an.
Die Bandbreite ist definiert als die Frequenz, bei der die Signalleistung halbiert wird. D.h. das Amplitudenverhältnis beträgt dort $1/\sqrt{2}$ was $-3\,\text{dB}$ entspricht.
$\Rightarrow K_2 \approx 1.5\,\text{rad/s}$, $K_3 \approx 3.5\,\text{rad/s}$ 3



e) Nachfolgend sind Antworten des Regelkreises auf die oben genannte Störung $d(t)$ gegeben. Ordnen Sie die drei Antworten (A, B und C) den drei Werten von K_i (K_1, K_2 und K_3) zu (**kurze Begründung**). Benennen Sie die Bereiche in denen die Störung wirkt (eine Bezeichnung je K_i).



Die Periodendauer der Störung beträgt $T = \frac{2\pi}{3}$. Die Frequenz der Störung folgt mit $\omega = 2\pi \frac{1}{T} = 2\pi \frac{3}{2\pi} = 3\,\mathrm{rad/s}$.
Für diese Frequenz hat K_2 die größte Amplitude und K_3 die kleinste. Dies kann eindeutig den Signalen zugeordnet werden:
$A \Rightarrow K_3$ Amplitude $< 0\,\mathrm{dB} \Rightarrow$ Gegenkopplungsbereich,
$B \Rightarrow K_2$ Amplitude $> 0\,\mathrm{dB} \Rightarrow$ Mitkopplungsbereich und
$C \Rightarrow K_1$ Amplitude $\approx 0\,\mathrm{dB} \Rightarrow$ Unempfindlichkeitsbereich. $\boxed{5}$

$\boxed{\sum 18}$

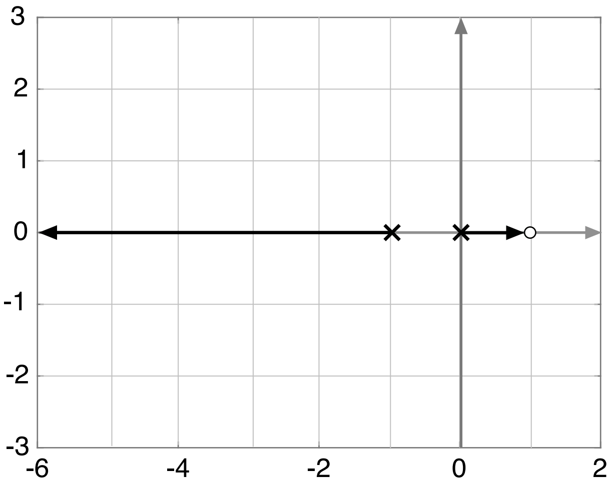
Aufgabe 4: Wurzelortskurve (15 Punkte)

Gegeben sei die Regelstrecke

$$G_S = \frac{0.5 - 0.5s}{5s + 5}$$

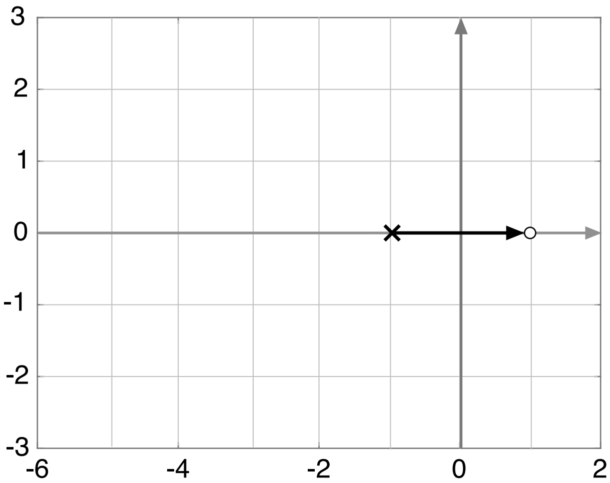
a) Zeichnen Sie Pole und Nullstellen in die unten angegebenen Diagramme und bennen Sie das System.
Pol: -1
Nullstelle: 1.
Das System ist ein Allpass. 2

b) Das System soll mit einem I-Regler $G_R = \frac{K_I}{s}$ geregelt werden. Skizzieren Sie die Wurzelortskurve in das Diagram. Warum ist ein reiner I-Regler ungeeignet?



Der Pol des I-Anteils wird in jedem Fall instabil, sobald $K_I > 0$ gewählt wird. 4

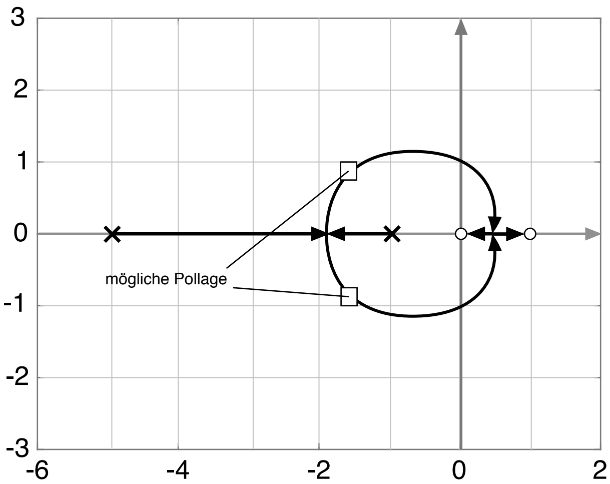
c) Das System soll stattdessen mit einem P-Regler $G_R = K_P$ geregelt werden. Skizzieren Sie auch hier die Wurzelortskurve.



3

d) Kann K_p so gewählt werden, dass das System schwingungsfähig und stabil ist? Markieren Sie, wenn dies möglich ist, mögliche Pole für diesen Fall in der Wurzelortskurve.
Dies ist nicht möglich, da alle Äste der WOK auf der reelen Achse liegen. 1

e) Nun soll das System mit einem realen D-Regler $G_R = \frac{K_D s}{1+0.2s}$ geregelt werden. Skizzieren Sie auch hier die Wurzelortskurve.



4

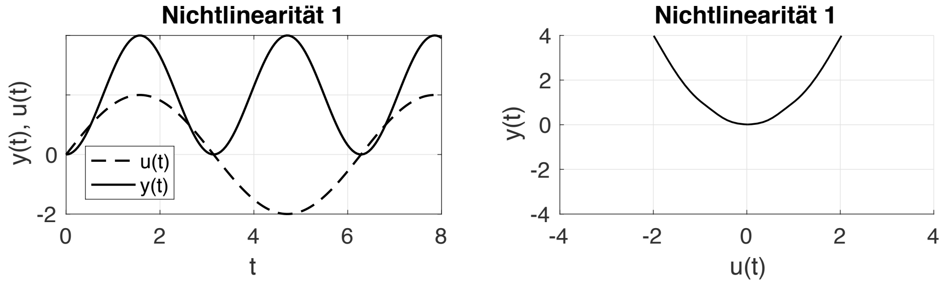
f) Kann nun K_D so gewählt werden, dass der geschlossene Regelkreis stabil und schwingungsfähig ist? Markieren Sie, wenn dies möglich ist, mögliche Pole für diesen Fall in der Wurzelortskurve.
Das ist möglich und durch die Vierecke in der Abbildung der WOK gekennzeichnet.

1

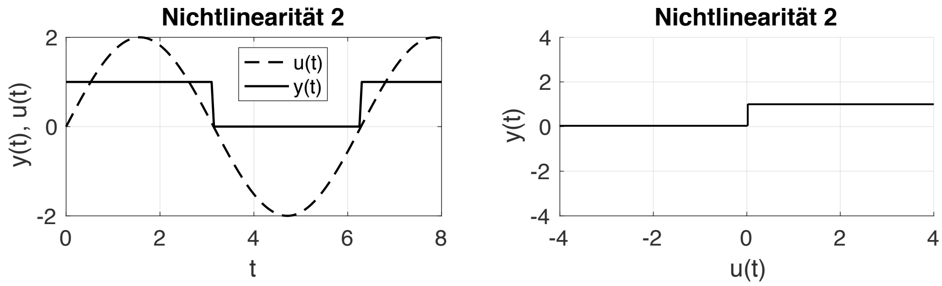
$\sum 15$

Aufgabe 5: Nichtlineare Kennlinien (12 Punkte)

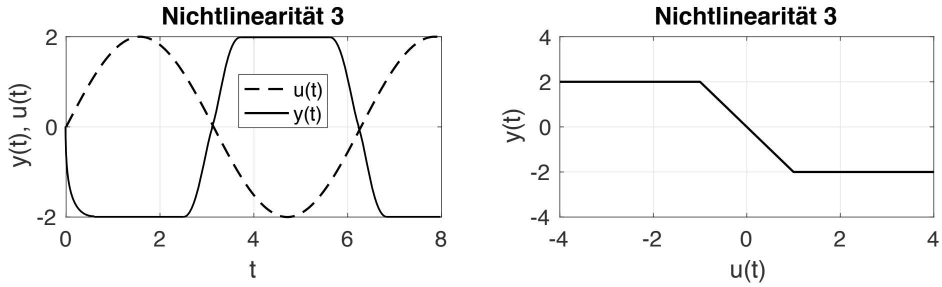
Die folgenden Kennlinien sind richtig



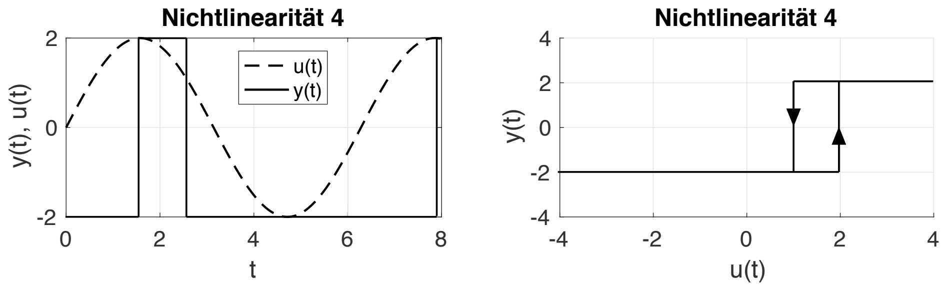
3



3



3



3

$\sum$ 12

Aufgabe 6: Laplace-Transformation (14 Punkte)

Gegeben ist die Differenzialgleichung $\dot{y}(t) + 3y(t) = 3u(t)$.

a) Transformieren Sie die Differenzialgleichung in den Laplace-Bereich und stellen Sie die Übertragungsfunktion auf.

$$\dot{y}(t) + 3y(t) = 3u(t) \quad \circ\!\!-\!\!\bullet \quad s\,Y(s) + 3Y(s) = 3\,U(s)$$

$$(s+3)\,Y(s) = 3\,U(s)$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{3}{s+3}$$

$\boxed{5}$

b) Berechnen Sie die Sprungantwort $h(t)$.

$$H(s) = \frac{1}{s}\frac{3}{s+3} = \frac{3}{s^2+3s}$$

$$H(s) = \frac{B_1}{s}\frac{B_2}{s+3}$$

Daraus folgt:

$$3 = B_1(s+3) + B_2 s$$

$$3 = (B_1 + B_2)s + B_1 3$$

Aus dem Koeffizientenvergleich ergibt sich:

$$B_1 = 1$$

$$B_1 + B_2 = 0 \rightarrow B_2 = -1$$

Daraus folgt:

$$H(s) = \frac{1}{s} + \frac{-1}{s+3} \quad \bullet\!\!-\!\!\circ \quad h(t) = 1 - e^{-3t}$$

$\boxed{6}$

c) Berechnen Sie die Impulsantwort $g(t)$.

$$g(t) = \frac{d}{dt}h(t)dt$$

$$\frac{d}{dt}(1 - e^{-3t})dt = 3e^{-3t}$$

$\boxed{3}$

$\boxed{\sum 14}$

Aufgabe 7: Steuerung nicht phasenminimaler Systeme (18 Punkte)

Gegeben ist das nicht phasenminimale System

$$G(z) = \frac{1-s}{s+b}. \tag{2}$$

a) Legen Sie eine optimale Steuerung für das vorliegende System aus und stellen Sie die Übertragungsfunktion $G_w(s)$ für das gesteuerte System auf. Instabile Nullstellen des Systems sollen dabei ignoriert werden.

$$G_w(s) = G_R(s)G_S(s)$$

Ideale Steuerung:

$$G_{R,ideal}(s) = G_S(s)^{-1} = \frac{s+b}{1-s}$$

Reale Steuerung:

$$G_{R,real}(s) = \frac{s+b}{1+Ts}$$

$$G_w(s) = \frac{s+b}{1+Ts}\frac{1-s}{s+b} = \frac{1-s}{1+Ts}$$

$\boxed{4}$

b) Eine weitere Möglichkeit zur Auslegung der Steuerung nicht phasenminimaler Systeme beruht darauf, die bestmögliche Amplitudenwiedergabe erreichen zu wollen. Legen Sie die Steuerung nach diesem Kriterium aus und stellen Sie die Übertragungsfunktion auf.

$$G_{RA}(s) = \frac{s+b}{s+1}$$

$$G_{wA}(s) = G_{RA}(s)\,G_S(s) = \frac{s+b}{s+1}\,\frac{1-s}{s+b} = \frac{1-s}{s+1}$$

$\boxed{6}$

c) Beschreiben Sie, wie die instabile Nullstelle bei dieser Vorgehensweise kompensiert werden muss, um die bestmögliche Amplitudenwiedergabe zu erreichen. $\boxed{1}$

Um $|G_w(s)| = 1$ zu erreichen, muss jede instabile Nullstelle der Strecke mit ihrem gespiegelten Gegenpart im Nenner der Steuerung kompensiert werden.

d) Alternativ kann die Steuerung für die bestmögliche Phasenwiedergabe ausgelegt werden. Legen Sie die Steuerung nach diesem Kriterium aus und stellen Sie die Übertragungsfunktion auf.

$$G_{RP,ideal}(s) = (s+b)(s+1)$$

$$G_{RP,real}(s) = \frac{(s+b)\,(s+1)}{(1+Ts)^2}$$

$$G_{wP}(s) = G_{RP,real}(s)G_S(s) = \frac{(s+b)\,(s+1)}{(1+Ts)^2}\,\frac{1-s}{s+b} = \frac{1-s^2}{(1+Ts)^2}$$

$\boxed{6}$

e) Beschreiben Sie, wie die instabile Nullstelle bei dieser Vorgehensweise kompensiert werden muss, um die bestmögliche Phasenwiedergabe zu erreichen.

Der ideale Phasengang, d.h. wenn $\angle G_w(i\omega) = 0$ gilt, ergibt sich, wenn jede instabile Nullstelle der Strecke mit ihrem gespiegelten Gegenpart im Zähler der Steuerung kompensiert wird. $\angle G_w(i\omega) = 0$ wird im vorliegenden Fall nicht erreicht. $\boxed{1}$

$\boxed{\sum 18}$