

NAME: \_\_\_\_\_

### LRS FS 2013 – Modulendprüfung – 29. Juni 2013

Dozierende: Prof. Dr. Ch. Eck, Prof. Dr. P. Gruber, K. Schuster, Dr. M. Bächtold, M. Birbaumer, Dr. P. Scheiblechner  
Assistent: BSc C. Zraggen

#### Hinweise:

1. Bitte lesen Sie alle Hinweise durch.
2. Bitte tragen Sie sofort nach Erhalt der Aufgabenstellung Ihren **Namen** ein. Verwenden Sie dieses Blatt als Deckblatt für die Abgabe Ihre Lösungen. Legen Sie bitte alle Blätter zusammen. Schreiben Sie bitte Ihren Namen auf jedes Ihrer Lösungsblätter.
3. **Erlaubte Hilfsmittel:** Skripte, Bücher, Ordner, Taschenrechner. **Nicht erlaubt** sind Laptop, Funksysteme, Handy, Kameras, etc.
4. Die Prüfungsdauer beträgt **240min** (240 Punkte).
5. Schreiben Sie Ihre Antworten und Lösungen deutlich **lesbar**.
6. Die Prüfung ist erst zu Ende, wenn alle Prüfungen eingesammelt sind. Während der gesamten Prüfungsdauer ist das **Reden untersagt**.
7. Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!

#### Aufgabe 1 (20 min = 20 Punkte, Fragen zur Regelungstechnik)

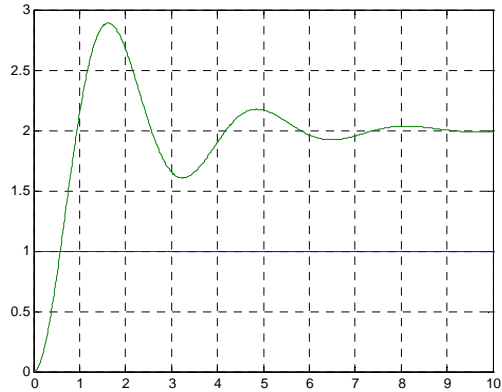
Nr.	Aussage	JA	NEIN
1	Eine Phasenreserve von über 90° ist nicht möglich.		
2	Die Impulsantwort eines Systems erster Ordnung kann schwingen.		
3	Ein System 2. Ordnung, dessen Nennerkoeffizienten alle grösser als Null sind, ist stabil.		
4	Kann eine Nullstelle das Einschwingverhalten beeinflussen?		
5	Ist die Differentialgleichung $5\ddot{y} + 3t \cdot y = 2u$ zeitvariant?		
6	Ist die Differentialgleichung $5\ddot{y} + 3t \cdot y = 2u$ linear?		
7	Ein PD-Regler hat für alle Frequenzen eine Phase grösser oder gleich Null.		
8	Der Amplitudengang einer Totzeit ist abhängig von der Frequenz.		
9	Ein PD-Regler reagiert langsamer als ein PI-Regler.		
10	Impulsantwort und Frequenzgang eines LZI Systems sind direkt miteinander verknüpft.		
11	Ein System ohne Ausgleich kann mit einem I-Regler geregelt werden.		
12	Stör und Führungsverhalten besitzen dieselben Stabilitätseigenschaften. Stabilitätsverhalten.		
13	Konjugiert komplexe Polstellen in der LHE nahe an der imaginären Achse haben einen starken Einfluss auf das Einschwingverhalten.		
14	Ist für eine Übertragungsfunktion der Nennergrad = Zählergrad, dann beginnt die Schrittantwort mit einem endlichen Wert.		
15	Bei einem System 2. Ordnung ist das prozentuale Überschwingen von der Eigenfrequenz abhängig.		
16	Ein System mit grosser Bandbreite hat auch eine grosse Anstiegszeit (Reaktionszeit).		
17	Instabile Pole der Regelstrecke dürfen beim Reglerentwurf mit Pol/Nullstellenkürzung nicht gekürzt werden.		
18	Ein System mit endlicher Phasenreserve und unendlicher Amplitudenreserve ist nicht möglich.		
19	Ein BIBO stabiles System hat eine Impulsantwort die für $t \rightarrow \infty$ gegen Null abklingt.		
20	Das Verhalten eines nichtlinearen Systems ist vom Arbeitspunkt unabhängig.		

NAME: \_\_\_\_\_

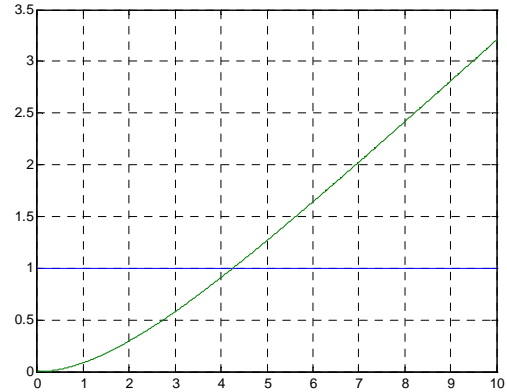
**Aufgabe 2** (18 min = 18 Punkte, Schrittantworten)

Ordnen Sie die folgenden Schrittantworten 1...6 mit jeweiliger Begründung den unten angegebenen Strecken 2.Ordnung a)...f) zu.

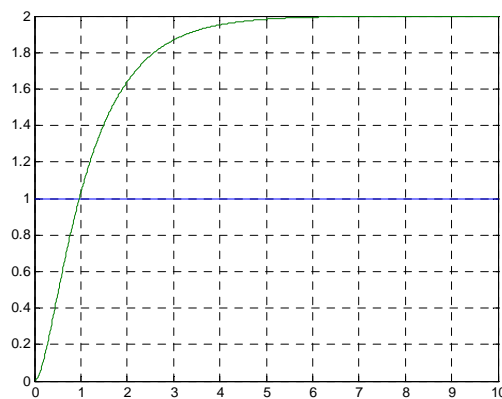
**1**



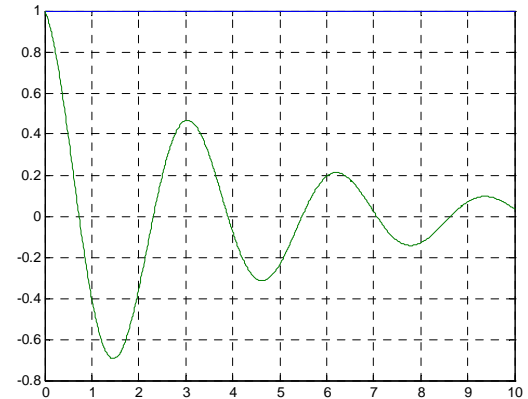
**2**



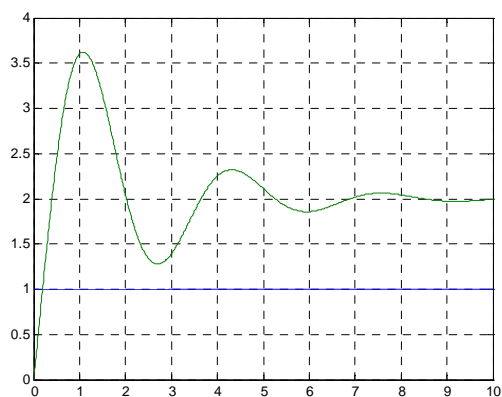
**3**



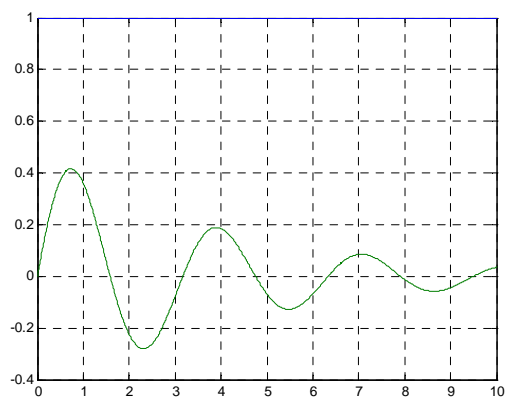
**4**



**5**



**6**



a)  $G(s) = \frac{5s+8}{s^2+s+4}$

b)  $G(s) = \frac{8}{s^2+5s+4}$

c)  $G(s) = \frac{s^2}{s^2+0.5s+4}$

d)  $G(s) = \frac{0.4}{2s^2+s}$

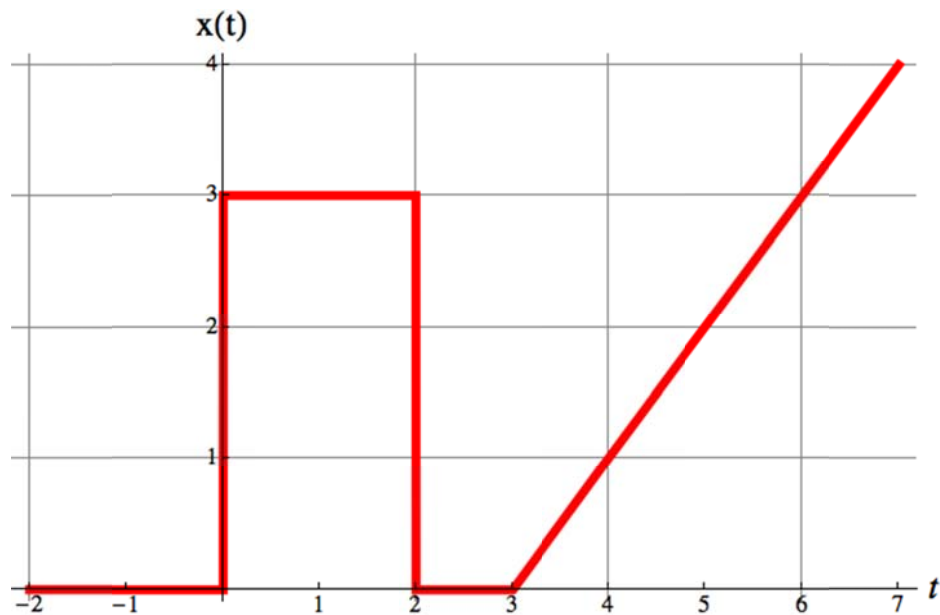
e)  $G(s) = \frac{8}{s^2+s+4}$

f)  $G(s) = \frac{s}{s^2+0.5s+4}$

NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 3** (22 min = 22 Punkte, Laplace-Transformation)

Gegeben sei folgendes Signal  $x(t)$ .

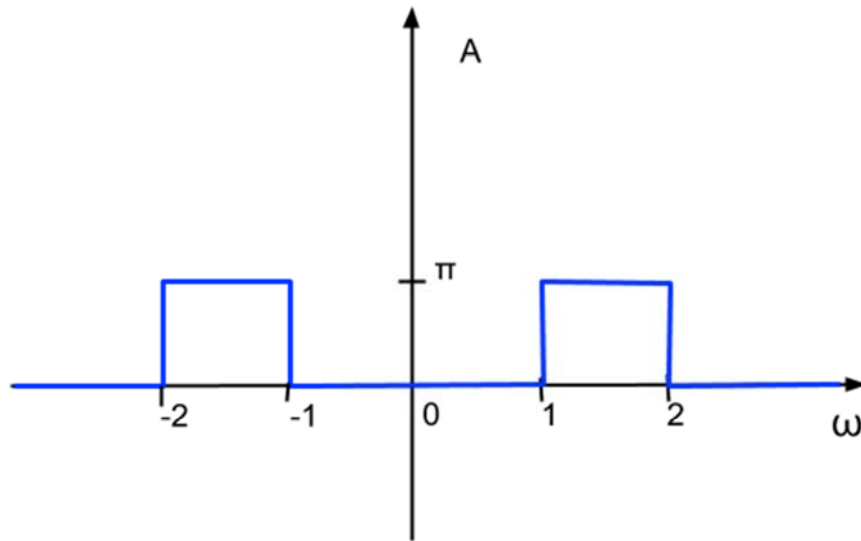


- a) (3 Punkte) Schreiben Sie das Signal  $x(t)$  in Termen der Sprungfunktion  $\varepsilon(t)$ .
- b) (3 Punkte) Bestimmen Sie die einseitige Laplace-Transformation  $L_I\{x(t)\}$ .
- c) (3 Punkte) Bestimmen Sie die verallgemeinerte Ableitung  $\dot{x}(t)$ .
- d) (3 Punkte) Bestimmen Sie die einseitige Laplace-Transformation  $L_I\{\dot{x}(t)\}$ .
- e) (6 Punkte) Lösen Sie das Anfangswertproblem
$$\dot{y} - 2y = \dot{x}, y(0) = 1$$
mit obigem Eingangssignal  $x(t)$ .
- f) (4 Punkte) Skizzieren Sie grob den Verlauf von  $y(t)$ .

NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 4** (22 min = 22 Punkte), Fourier Transformation

Ein Signal  $s(t)$  hat folgendes Amplitudenspektrum  $A(\omega)$



wobei  $\omega$  die Kreisfrequenz ist mit der Einheit [rad/s].  
Das zugehörige Phasenspektrum ist gegeben mit

$$\varphi(\omega) = -\omega.$$

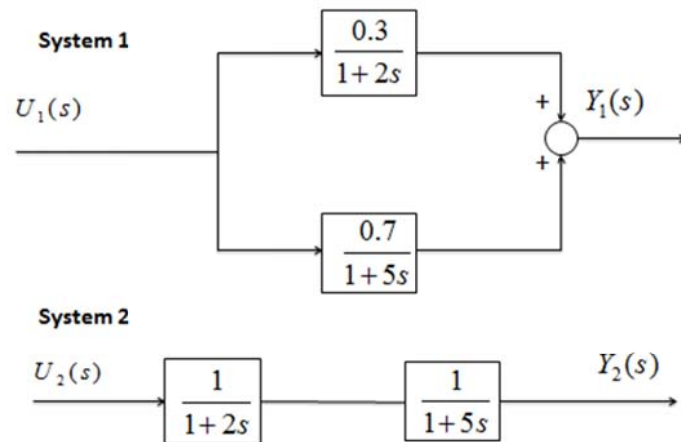
Aufgaben:

- (2 Punkte) Enthält das Signal Frequenzen im Bereich von 0.2 ... 0.3 Hz? Begründen Sie Ihre Antwort.
- (2 Punkte) Wie verhält sich die Phase in Abhängigkeit mit der Kreisfrequenz?
- (2 Punkte) Das Amplitudenspektrum ist Null für  $|\omega| > 2$ . Was können Sie daraus über das Signal  $s(t)$  im Zeitbereich aussagen?
- (8 Punkte) Berechnen Sie das Signal  $s(t)$  anhand des gegebenen Amplituden- und Phasenspektrums.
- (4 Punkte) Skizzieren Sie das Signal  $s(t)$ .
- (4 Punkte) Wie ändern sich die Graphen von  $A(\omega)$  und  $\varphi(\omega)$  wenn das Signal eine Sekunde später übermittelt wird? Begründen Sie Ihre Antwort.

NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 5** (18 min = 18 Punkte, Lineare Systeme)

Gegeben sind die beiden folgenden Systeme 1 und 2:



- (6 Punkte) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktionen der beiden Systeme und geben Sie jeweils deren Pole und Nullstellen an.
- (4 Punkte) Berechnen Sie die Schrittantworten der beiden Systeme im Laplacebereich.
- (6 Punkte) Berechnen Sie die Schrittantworten im Zeitbereich und skizzieren Sie diese zwischen  $0 < t < 10 \text{ sec}$  in derselben Grafik.
- (2 Punkte) Gibt es unterschiedliche Reaktionszeiten der beiden Systeme? Falls ja, begründen Sie diese.

NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 6** (30 min = 30 Punkte, Blockschaltbild und Linearisierung)

Die folgende nichtlineare Differentialgleichung ist gegeben:

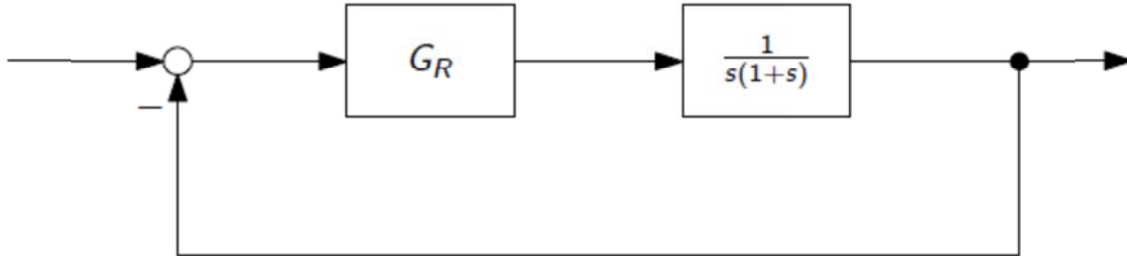
$$\ddot{y} + \dot{y}^2 + u \cdot \sqrt{y} = 8u^2$$

- a) (4 Punkte) Welche Nichtlinearitäten treten auf?
- b) (7 Punkte) Skizzieren Sie den detaillierten Wirkungsplan des Systems für eine Implementierung in Simulink mit dem Eingang  $u(t)$  und dem Ausgang  $y(t)$ .
- c) (2 Punkte) Bestimmen Sie den stationären Arbeitspunkt  $(\bar{u}, \bar{y})$  mit  $\bar{u} \neq 0$ .
- d) (7 Punkte) Linearisieren Sie die Differentialgleichung um die allgemeine Gleichgewichtslage  $(\bar{u}, \bar{y})$ . Wie lautet die linearisierte Differentialgleichung in den  $\Delta$ -Größen?
- e) (4 Punkte) Beschreiben Sie den Typ der vorliegenden linearen Differentialgleichung. Wie ist die Stabilität des linearisierten Systems?
- f) (6 Punkte) Zeichnen Sie den Wirkungsplan des linearisierten Systems aus Teilaufgabe d) und berücksichtigen Sie hierbei den Arbeitspunkt aus Teilaufgabe c).

NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 7** (25 min = 25 Punkte, direkter Reglerentwurf)

Sie wollen die Reglerparameter mit Hilfe der Pollagen des geschlossenen Regelkreises festlegen. Die Regelanordnung sieht wie folgt aus:

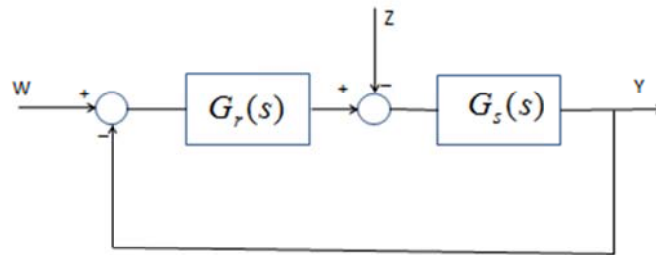


- (2 Punkte) Für den Regler wird ein idealer PD-Regler verwendet. Wie lautet die Übertragungsfunktion des Reglers mit den Parametern  $K_p$  und  $K_D$ ?
- (4 Punkte) Bestimmen Sie die Führungsübertragungsfunktion mit  $K_p$  und  $K_D$  als Parameter.
- (6 Punkte) Für welche Werte von  $K_p$  und  $K_D$  ist der geschlossene Regelkreis stabil? Geben Sie diesen Bereich in der  $K_D, K_p$ -Ebene an.
- (5 Punkte) Für den geschlossenen Kreis wird nun eine Dämpfung  $d = 0.7$  und eine Eigenfrequenz  $\omega_0 = 4$  vorgegeben. Bestimmen Sie die beiden Reglerparameter  $K_p$  und  $K_D$  die hierfür notwendig sind.
- (4 Punkte) Skizzieren Sie den Pol/Nullstellen-Plan für den geschlossenen Regelkreis gemäss der Berechnung in Teilaufgabe d). Achten Sie auf eine korrekte Achsenbeschriftung.
- (4 Punkte) Wie gross wird der stationäre Regelfehler, falls am Führungseingang eine Rampe anliegt?

NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 8** (30 min = 30 Punkte, Bodediagramm)

Gegeben ist der folgende Regelkreis:



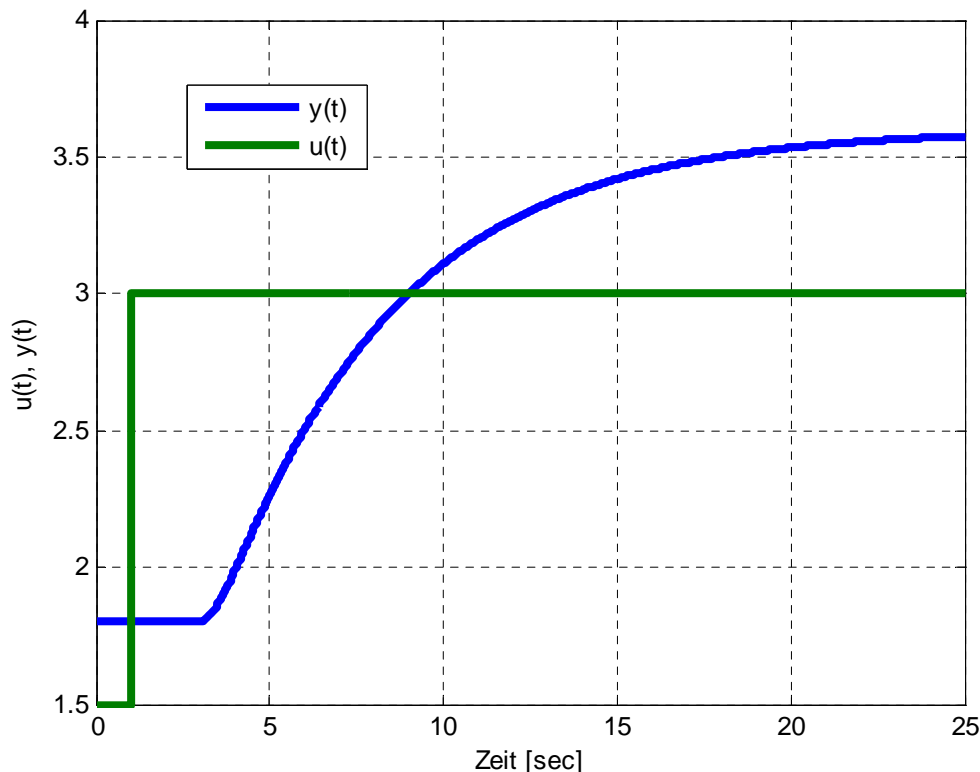
$$G_r(s) = K_p \frac{(1 + sT_n)}{sT_n} \quad G_s(s) = \frac{5}{s(1 + 0.05s)^2}$$

- (2 Punkte) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion  $G_0(s)$  des offenen Regelkreises.
- (10 Punkte) Wählen Sie nun  $T_n = 1 \text{ sec}$  und skizzieren Sie das Bodediagramm des offenen Regelkreises für  $K_p = 1$ . Zeichnen Sie die jeweiligen Asymptoten ein und geben Sie beim Amplitudengang die jeweilige Steigung der Asymptoten in [dB/Dek] an.
- (7 Punkte) Skizzieren Sie das dazugehörige Nyquistdiagramm.
- (6 Punkte) Wie gross müsste  $K_p$  gewählt werden, damit eine Amplitudenreserve  $A_r$  von 6dB erreicht werden kann?
- (5 Punkte) Sie möchten nun als Alternative den Regler mit dem Kürzen von Polen und Nullstellen bestimmen, indem Sie einen der negativen reellen Doppel-Streckenpole verkürzen. Wie gross wird nun  $T_n$ ? Begründen Sie weshalb diese Regelung nicht funktionieren kann.



**Aufgabe 9** (25 min = 25 Punkte, empirischer Entwurf)

Von einer Strecke wurde die folgende Schrittantwort aufgenommen. Dabei befindet sich die Strecke zunächst in einer Ruhelage und der Schritt wird nach 1 Sekunde angelegt.



- a) (2 Punkte) Wie gross sind der Eingang  $u$  und der Ausgang  $y$  in der Ruhelage des Systems vor dem Anlegen des Sprunges. Handelt es sich um ein System mit oder ohne Ausgleich?
- b) (6 Punkte) Bestimmen Sie aus der Sprungantwort ein Ersatzmodell der Art

$$G_s(s) = \frac{K_s e^{-sT_u}}{1 + sT_g}.$$

- c) (4 Punkte) Bestimmen Sie gemäss den Einstellregeln von Ziegler-Nichols für die Stellübergangsfunktion die Reglerparameter für einen PI-Regler.
- d) (7 Punkte) Skizzieren Sie für Ihr Ersatzmodell das zugehörige Bodediagramm und lesen Sie aus Ihrem Bodediagramm die Amplitudenreserve sowie die Phasenschnittkreisfrequenz  $\omega_\pi$  ab.
- e) (6 Punkte) Bestimmen Sie mit den Werten aus der Teilaufgabe d)  $K_{p,krit}$  sowie  $T_{krit}$ . Verwenden Sie diese Werte zum Einstellen eines PI-Reglers gemäss den experimentellen Einstellregeln von Ziegler-Nichols.

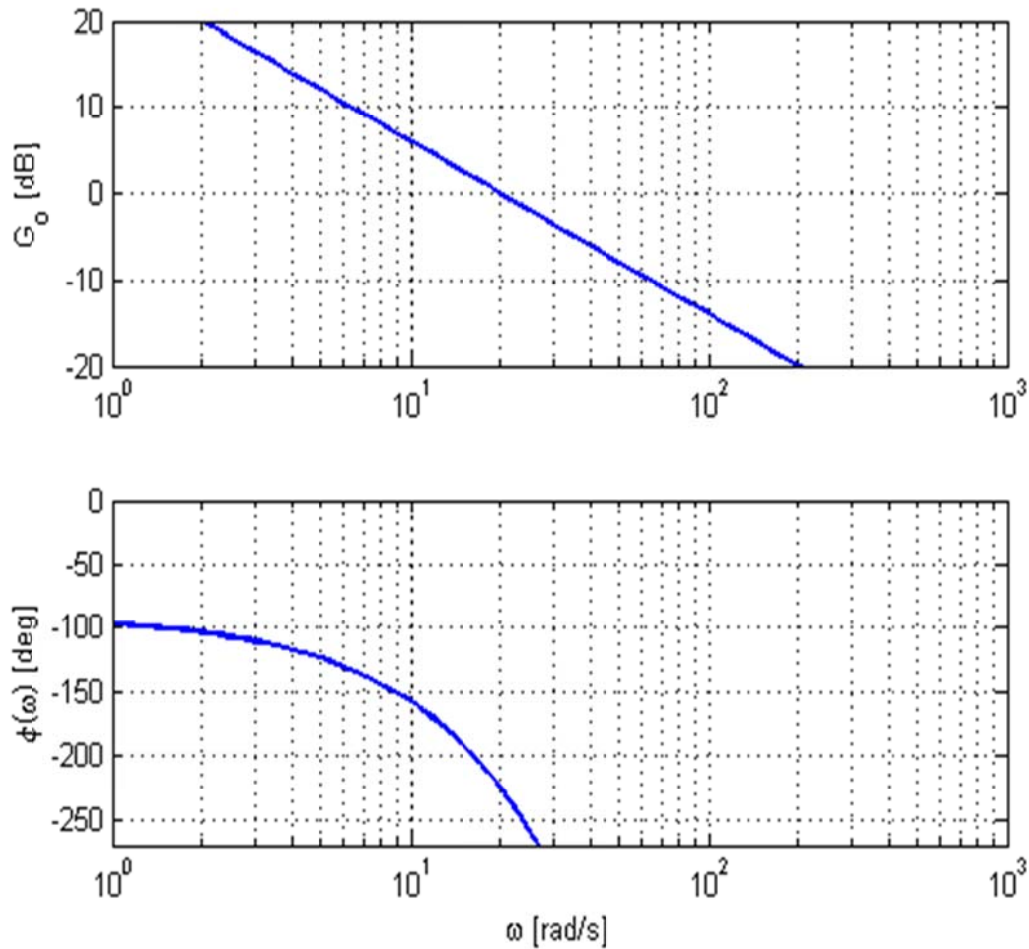
NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 10** (15 min = 15 Punkte, Phasenreserve)

Der Füllstand eines Reaktors wird mit einem P-Regler geregelt. Die Übertragungsfunktion der Regelstrecke ist gegeben:

$$G_S(s) = \frac{K_{IS}}{s} \cdot e^{-sT_t}$$

Das Bodediagramm des aufgeschnittenen Regelkreises mit  $K_p = 1$  ist unten gezeigt:

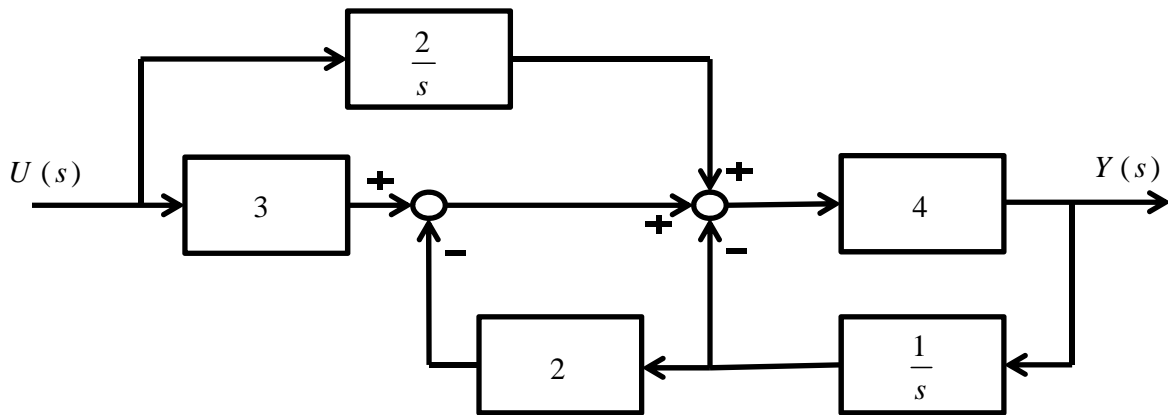


- (3 Punkte) Bestimmen Sie aus dem Bodediagramm die Streckenparameter  $K_{IS}$  und  $T_t$ .
- (4 Punkte) Bestimmen Sie den Proportionalbeiwert  $K_p$  des P-Reglers, bei dem die Phasenreserve  $\varphi_R = 45^\circ$  erreicht wird.
- (3 Punkte) Welche Totzeitreserve ergibt sich für die Reglereinstellung nach Teilaufgabe b)?
- (5 Punkte) Nun wird die Totzeit  $T_t$  der Regelstrecke verdoppelt, d.h.  $T_t^* = 2 \cdot T_t$ . Zeichnen Sie den neuen Phasengang in das obige Diagramm ein. Wie soll der Proportionalbeiwert des P-Reglers geändert werden, um auch in diesem Fall die Phasenreserve  $\varphi_R = 45^\circ$  zu behalten?

NAME: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 11** (15 min = 15 Punkte, Wirkungsplan)

Gegeben ist die nachfolgende Übertragung:



- a) (8 Punkte) Wie lautet die Laplace-Übertragungsfunktion  $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$  ?
- b) (3 Punkte) Welche Ordnung besitzt die unter Teilaufgabe a) berechnete Übertragungsfunktion? Was fällt Ihnen dabei auf? Welcher Typ von Strecke liegt hier vor?
- c) (2 Punkte) Berechnen Sie den Wert  $y(0+)$  falls am Eingang der folgende Sprung anliegt

$$u(t) = 1.5 \cdot \varepsilon(t)$$

- d) (2 Punkte) Bestimmen Sie die Pole und die Nullstellen von  $G(s)$  .