

Diplomhauptprüfung / Bachelorprüfung

"Systemdynamik und Regelungstechnik"

29. Februar 2016

Aufgabenblätter

Die Lösungen sowie der vollständige und nachvollziehbare Lösungsweg sind in die dafür vorgesehenen Lösungsblätter einzutragen. Nur diese werden bewertet. Bitte verwenden Sie nur dokumentenechtes Schreibgerät.

Bitte tragen Sie Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer auf dem ersten Lösungsblatt ein, und geben Sie am Ende der Prüfung alle Lösungsblätter ab.

Aufgabe 1

(ca. 30%)

a) Gegeben sei das Signalflussbild eines Systems in **Abbildung 1**:

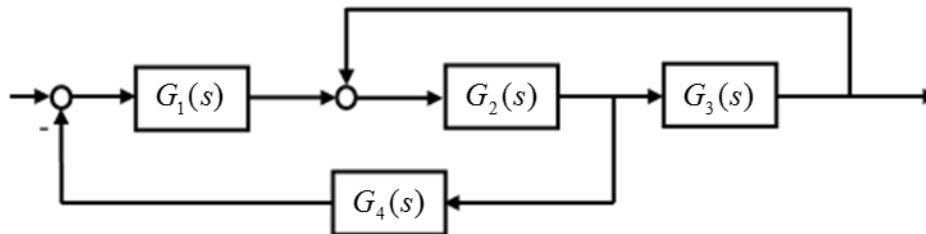


Abbildung 1

- Vereinfachen Sie es so weit, dass keine Rückführung mehr vorliegt.
 - Von welchen der Teilübertragungsfunktionen $G_1(s)$ bis $G_4(s)$ ist die Stabilität des Gesamtsystems abhängig?
- b) In **Abbildung 2** sind 6 Sprungantworten von offenen Kreisen (O-1 – O-6) und 6 Sprungantworten der zugehörigen geschlossenen Standard-Regelkreise (G-1 – G-6) dargestellt.
- Geben Sie an, welches Verhalten die Übertragungsfunktionen der offenen Kreise aufweisen (I, I2, PT1, PT2, PD, allpasshaltig, sprungfähig).
 - Ordnen Sie anschließend die Sprungantworten der geschlossenen Kreise den entsprechenden offenen Kreisen zu. Ein Begründung ist hierbei nicht notwendig.
- c) Sind die folgenden Aussagen richtig oder falsch? Korrigieren Sie falsche Aussagen gegebenenfalls!
1. Ein geschlossener Standard-Regelkreis ist stationär genau, wenn im offenen Kreis ein I-Glied enthalten ist.
 2. Zu einer gegebenen Betragskennlinie gibt es nur ein Minimalphasenglied.
 3. Ein Totzeit-Glied ist ein lineares zeitinvariantes Glied.
 4. Der Matlab-Befehl `minreal(sys)` gibt den Realteil des Betragsmäßig kleinsten Pols des Systems `sys` aus.
 5. Ein System heißt Minimalphasensystem, wenn es keine Pole und keine Nullstellen links der imaginären Achse aufweist.
 6. Ein lineares dynamisches System ist genau dann stabil, wenn sein charakteristisches Polynom ein Hurwitz-Polynom ist.
 7. Die Sprungantwort und die Impulsantwort eines differenzierenden Systems sind identisch.

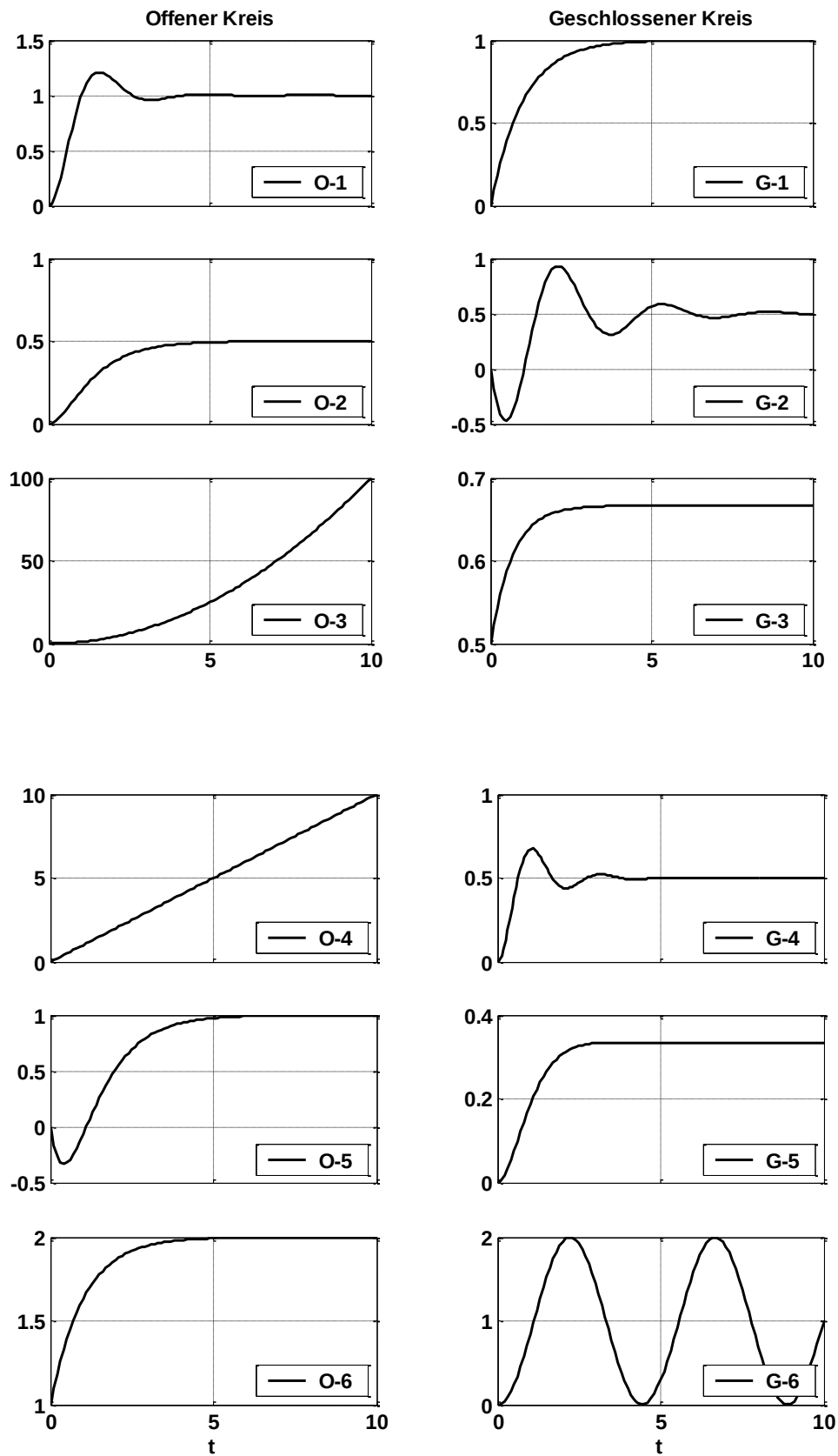


Abbildung 2

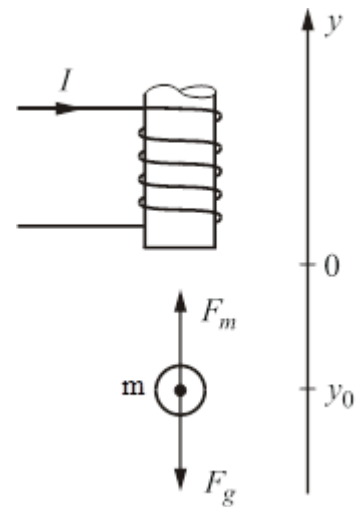
Aufgabe 2

(ca. 20%)

Eine Metallkugel soll von einem Elektromagneten in der Schwebe gehalten werden, wie es in der **Abbildung 3** schematisch dargestellt ist. Für die vom Magneten auf die Kugel mit der Masse m ausgeübte Kraft F_m gelte

$$F_m = \frac{kI}{y^2}.$$

Dabei ist I der elektrische Strom, k ist eine Konstante und F_g die Gravitation.

**Abbildung 3**

a) Zunächst wird das System im Vakuum betrachtet.

- Stellen Sie die Bewegungsgleichung mit $y(t)$ als Ausgangsgröße und $I(t)$ als Eingangsgröße der Kugel auf.
- Welcher Strom I_0 ist notwendig, um die Kugel im Arbeitspunkt y_0 zu halten?
- Linearisieren Sie das System um diesen Arbeitspunkt und geben Sie die Übertragungsfunktion $G(s) = \frac{Y(s)}{I(s)}$ des linearisierten Systems an.

b) Im realen Betrieb des Systems ist die Kugel von Öl umgeben. Dadurch ergibt sich nach dem Stokes'schen Gesetz noch eine weitere Kraft, die auf die Kugel wirkt. Diese Reibungskraft ist proportional zur Geschwindigkeit $\dot{y}$ der Kugel und außerdem zu ihrem Radius r . Da auch die Masse m proportional zu r^3 ist, ergibt sich eine linearisierte Übertragungsfunktion der Form:

$$G(s) = \frac{a_0}{1 + b_1 r s + b_2 r^3 s^2}$$

- Für welchen Radius r ergibt sich eine Dämpfung des Systems von $d = 1/\sqrt{2}$?

Hinweis: Ein konjugiert komplexes Polpaar wird i.Allg. beschrieben durch den Nennerterm $1 + 2dT s + T^2 s^2$.

- Was bedeutet eine Dämpfung $d = 1/\sqrt{2}$ für die Lage der Pole? Berechnen Sie dazu zunächst allgemein die Lage der Pole eines komplexen Polpaares mit $d = 1/\sqrt{2}$.

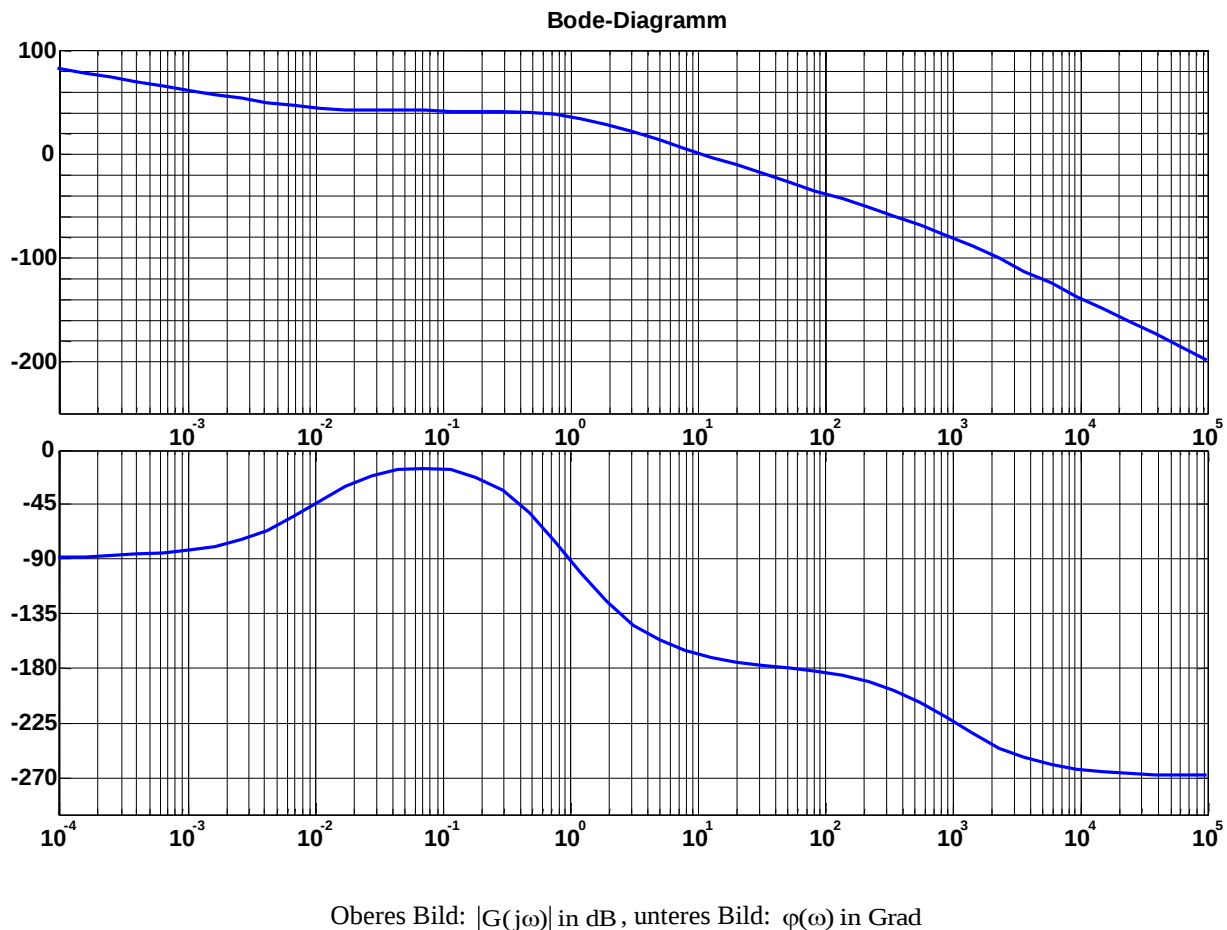
c) Nun soll für die Strecke $G(s)$ aus Aufgabenteil b) ein Regler nach dem Betragsoptimum entworfen werden.

- Welches ideales Wunschübertragungsverhalten wird bei diesem Entwurf für $G_w(j\omega)$ angenommen?
- Entwerfen Sie einen PI-Regler nach dem Betragsoptimum. Vereinfachen Sie so weit wie möglich.

Aufgabe 3

(ca. 25%)

Gegeben sei ein System, von dem nur die Frequenzkennlinien des offenen Kreises in **Abbildung 4** bekannt sind.

**Abbildung 4**

a) Das System soll zunächst genauer analysiert werden.

- Bestimmen Sie anhand des Bode-Diagramms die Übertragungsfunktion des offenen Kreises, einschließlich der stationären Verstärkung.

Hinweis: Die Übertragungsfunktion ist minimalphasig und alle Knickfrequenzen sind ganzzahlige Potenzen von 10.

- Lesen Sie im Bode-Diagramm die Phasenreserve φ_R und die Amplitudenreserve A_R des Systems ab und geben Sie die beiden Werte an.
- Bestimmen Sie die Reglerverstärkung eines P-Reglers so, dass eine Phasenreserve $\varphi_R = 60^\circ$ eingehalten wird.

- b) Skizzieren Sie ausgehend vom Bode-Diagramm in **Abbildung 4** die Nyquist-Ortskurve des Systems in das in den Lösungsblättern vorgegebene Diagramm. Geben Sie an den Schnittpunkten der Nyquist-Ortskurve mit den Koordinatenachsen die jeweiligen Werte von ω näherungsweise an und beschriften Sie die Koordinatenachsen.
- c) Zur Kontrolle der Ergebnisse aus a) und b) soll nun MATLAB genutzt werden. Die Übertragungsfunktion des Systems sei wie folgt gegeben:

$$G(s) = k \frac{(s + a)}{s(sb_1 + 1)(sb_2 + 1)(sb_3 + 1)^2}$$

Geben Sie für die folgenden Schritte den MATLAB-Code an:

- Eingabe der Übertragungsfunktion $G(s)$.
 - Zeichnen der Frequenzkennlinien.
 - Zeichnen der Ortskurve.
- d) Das Übertragungsverhalten eines anderen Systems ist gegeben durch die Kennlinie in **Abbildung 5**.

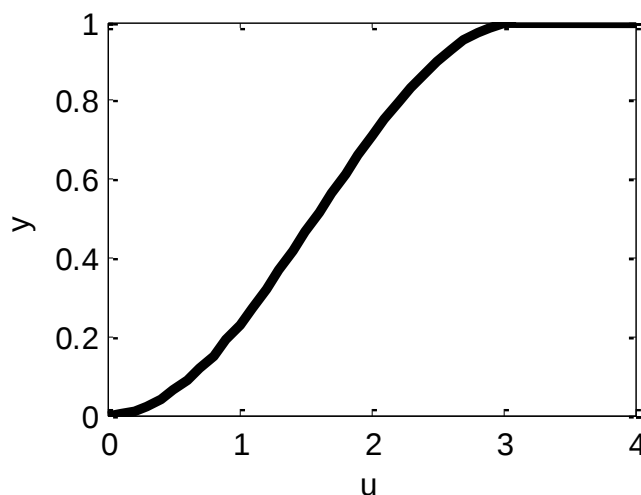


Abbildung 5

Für das System soll ein Regler nach Ziegler-Nichols entworfen werden.

- Beschreiben Sie das allgemeine Vorgehen bei diesem Reglerentwurf.
- Welche Voraussetzungen gibt es für den Reglerentwurf nach Ziegler-Nichols?
- Sind diese Voraussetzungen für das in **Abbildung 5** beschriebene System gegeben?

Aufgabe 4

(ca. 25%)

Gegeben sei ein zeitkontinuierliches System, für das eine zeitdiskrete Regelung entworfen werden soll. Nach der Modellierung des Systems ergibt sich die Übertragungsfunktion $G_s(s)$ zu

$$G_s(s) = \frac{1}{s(s^2 + 4s + 5)},$$

die zunächst genauer untersucht werden soll.

- a) Beschreiben Sie das allgemeine Vorgehen bei der Modellbildung in drei Schritten.
- b) Das System soll nun für den Reglerentwurf mithilfe der Wurzelortskurve analysiert werden.

- Was beschreibt eine Wurzelortskurve allgemein?
- Zeichnen Sie die Wurzelortskurve für das gegebene System in das vorbereitete Diagramm. Geben Sie außerdem den Wurzelschwerpunkt, die Anstiegswinkel der Asymptoten, die Verzweigungspunkte und die Polaustrittswinkel an.

Hinweis:

- Die Verzweigungspunkte stellen im geschlossenen Regelkreis doppelte Polstellen dar.
- $\arctan 0,5 \approx 26,6^\circ$

- c) Nach dem kontinuierlichen Reglerentwurf ist die zeitkontinuierliche Übertragungsfunktion des Reglers:

$$G_R(s) = 10 \frac{(1 + 0,8s)}{(1 + 0,004s)}$$

Dieser Regler soll im Folgenden diskretisiert werden.

- Wie nennt man dieses Vorgehen, um einen zeitdiskreten Regler zu entwerfen?
 - Um was für einen Reglertyp handelt es sich?
 - Diskretisieren Sie den Regler nun mithilfe der Tustin-Aproximation.
- d) Da die Ergebnisse des wie in c) bestimmten Reglers die Anforderungen an die Regelgüte nicht erfüllen konnten, soll nun die kontinuierliche Strecke zunächst diskretisiert werden und dann ein zeitdiskreter Regler entworfen werden.
- Wie nennt man dieses Vorgehen, um einen zeitdiskreten Regler zu entwerfen?
 - Geben Sie den MATLAB-Code zum Diskretisieren der Strecke G mit einer Abtastzeit T_a mithilfe der Tustin-Aproximation an.
 - Wie groß sollte die Abtastzeit T_a dabei gewählt werden?
 - Nennen Sie zwei mögliche Entwurfsverfahren für einen zeitdiskreten Regler.