

Diplomhauptprüfung / Bachelorprüfung

"Systemdynamik und Regelungstechnik"

20. Juli 2015

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%)

Gegeben sei ein technisches System mit der Übertragungsfunktion:

$$G(s) = 0,1 \frac{(s+10)}{s(s+0,1)^2}$$

- a)
- Zeichnen Sie die Geradennäherung der Frequenzkennlinien des offenen Kreises in das vorbereitete Diagramm in den Lösungsblättern!
 - Das System soll mit einem P-Regler mit der Verstärkung $k_R = 1$ geregelt werden. Bestimmen Sie die Phasenreserve und die Amplitudenreserve des geschlossenen Regelkreises!
 - Für welche Werte von k_R ist der geschlossene Regelkreis stabil?
 - Für welche Werte von k_R ist der geschlossene Regelkreis stationär genau?
 - Was für einen Regler würden Sie verwenden, wenn das mit einem P-Regler geregelte System zu langsam ist?
- b)
- Skizzieren Sie die Nyquist-Ortskurve des gegebenen Systems! Eine Skalierung der Achsen ist hier nicht notwendig, eine allgemeine Beschriftung ist ausreichend.
 - Ist das System stationär genau?
- c)
- Wie groß sollte die Phasenreserve für ausreichende Dämpfung der Sprungantwort laut Faustregel aus der Vorlesung für das Führungs- und das Störübertragungsverhalten sein?
 - Geben Sie den Matlab-Code an, mit dem das System $G(s)$ im Workspace gespeichert wird und die Frequenzkennlinie und die Nyquist-Ortskurve gezeichnet werden.
- d)
- Zeigen Sie, dass die Tangente im Ursprung bei der Sprungantwort eines PT2 Glieds immer waagrecht verläuft.
 - Welche Eigenschaft hat die Abbildungsvorschrift $S : D_S \rightarrow D_y$ eines linearen Systems?
 - Überprüfen Sie, ob die folgenden Systeme linear sind:

$$\dot{y}(t) = u(t) + 4$$

$$\mathcal{L}^{-1}\{Y(s)\} = \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s^2} U(s)\right\}$$

Aufgabe 2

(ca. 25%)

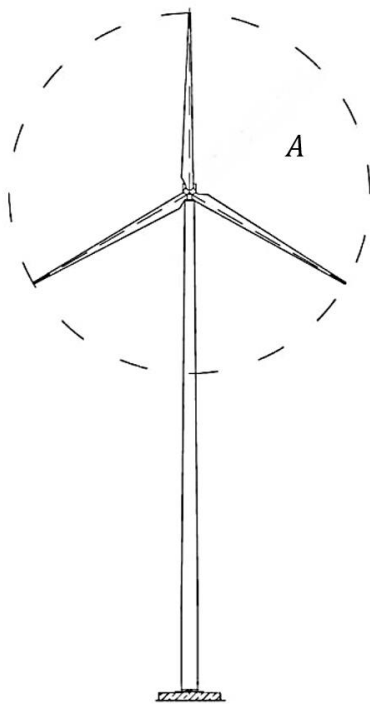
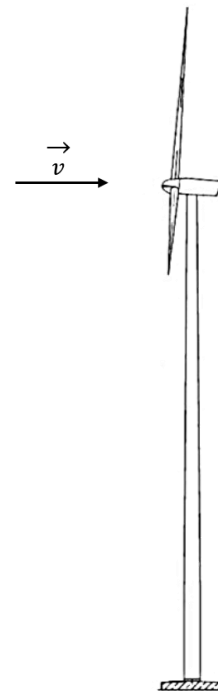
Jeden Sommer veranstaltet das IRS ein großes Grillfest. Da es am Grillplatz keinen Strom gibt, wurde der Strom für die Beleuchtung bisher mithilfe eines Strom-Aggregats mit Benzinmotor erzeugt. Um auch hier die Energiewende einzuleiten, soll der Strom für die Beleuchtung zukünftig aus Windkraft erzeugt werden. Hierfür soll eine kleine Windkraftanlage, bestehend aus einem Rotor und einem Generator, eingesetzt werden, die im Folgenden modelliert werden soll.

Alle folgenden angegebenen Gleichungen und Werte sind bereits normiert und daher einheitenlos!

Die mechanische Leistung P_{mech} , die eine Windkraftanlage maximal aus der im Wind enthaltenen kinetischen Energie nutzen kann, ergibt sich aus dem Betz'schen Gesetz:

$$P_{mech} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \frac{16}{27}$$

Der genutzte Rotor hat dabei eine Rotorfläche $A = 2,7$ (siehe Abbildung 2) und die Dichte der Luft ergibt sich zu $\rho = 1$. v ist die Windgeschwindigkeit vor dem Rotor (siehe Abbildung 1).

**Abbildung 2****Abbildung 1**

Die elektrische Leistung am Generatorausgang wird vereinfacht als proportional zur mechanischen Leistung am Eingang mit einem Wirkungsgrad $\eta = 0,5$ angenommen:

$$P_{el} = P_{mech}\eta$$

Am Generator befindet sich eine Lichterkette mit 10 Glühlampen, die in Reihe geschaltet sind. Es soll nur der ohmsche Widerstand $R=1000$ je Glühlampe betrachtet werden. Der Lichtstrom Φ gibt an, welche Lichtmenge von einer Lichtquelle in der Zeiteinheit erzeugt wird. Der Lichtstrom jeder Glühlampe ist proportional zur anliegenden Spannung U .

$$\Phi = kU$$

Der gesamte Lichtstrom aller Glühlampen ist die Summe der einzelnen Lichtströme.

a) Im Folgenden soll das Eingrößensystem mit der Windgeschwindigkeit v als Eingangsgröße und dem gesamten Lichtstrom Φ_{Ges} als Ausgangsgröße genauer untersucht werden.

- Zeichnen Sie das Signalflussbild des Systems!
- Nun soll das System zur Analyse linearisiert werden. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit am Grillabend beträgt 10. Berechnen Sie zunächst den Lichtstrom am Arbeitspunkt und linearisieren Sie dann das System um diesen Arbeitspunkt.
- Ist das linearisierte System stabil?
- Ist das linearisierte System minimalphasig?

b) Das Wetter am Grillabend ist leider wechselhaft und der Wind böig. Es treten dabei Windgeschwindigkeiten bis zu 40 auf.

- Ist das linearisierte System zur Beschreibung des Lichtstroms bei starken Windböen geeignet? Berechnen Sie zur Begründung ihrer Antwort den Lichtstrom des linearisierten und des nichtlinearen Systems bei einer konstanten Windgeschwindigkeit von 30.

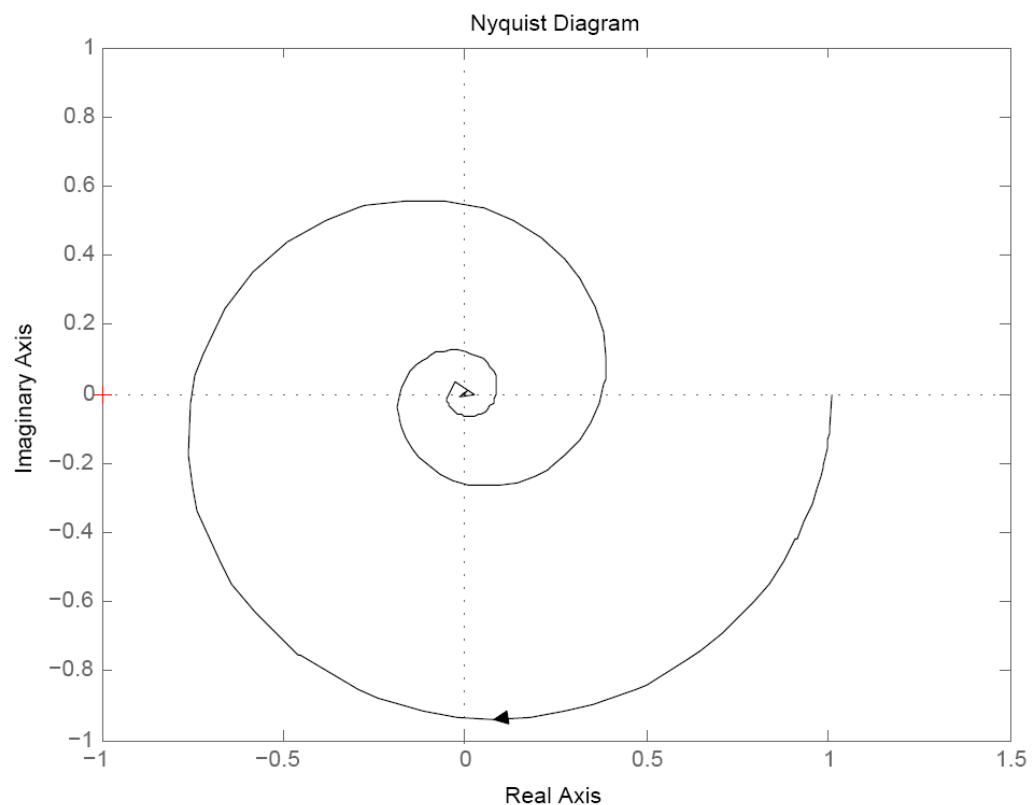
c) Im Laufe des Abends werden die Gäste zunehmend von dem stark flackernden Licht genervt. Für das nächste Grillfest soll daher eine Regelung der Beleuchtung entwickelt werden. Die Windgeschwindigkeit kann jedoch natürlich nicht verändert werden!

- Wie müsste das System allgemein verändert werden, um die Lichtstärke in einem Regelkreis zu regeln?
- Überlegen Sie sich eine Möglichkeit, wie diese Änderung technisch umgesetzt werden könnte.
- Was für eine Größe im regelungstechnischen Sinne ist die Windgeschwindigkeit bei diesem System?
- Skizzieren Sie grob ein Signalflussbild für diese Regelung.

Aufgabe 3

(ca. 25%)

- a) Ein zeitkontinuierliches System mit unbekannter Verstärkung k , zwei Polen bei $\alpha_1 = -1$ und $\alpha_2 = -3$ und einer Nullstelle $\beta_1 = -1,5$ soll mit einem zeitdiskreten Regler geregelt werden.
- Welche beiden Möglichkeiten gibt es für ein zeitkontinuierliches System einen zeitdiskreten Regler zu entwerfen?
 - Das System soll nun mithilfe der Tustin Approximation diskretisiert werden. Geben Sie sowohl die zeitkontinuierliche Übertragungsfunktion $G_s(s)$ als auch die zeitdiskretisierte Übertragungsfunktion $G_z(z)$ für $T = 1$ an.
 - Nennen Sie zwei Entwurfsverfahren mit denen für die zeitdiskretisierte Strecke direkt ein zeitdiskreter Regler entworfen werden kann!
- b) Gegeben sei die mit Matlab erstellte Nyquist-Ortskurve des stabilen offenen Kreises eines Systems, bestehend aus Regler und Strecke (siehe Abbildung 3). Die Reglerverstärkung beträgt $k = 1$.

**Abbildung 3**

- Bestimmen Sie mithilfe des speziellen Nyquistkriteriums die Verstärkung k_{krit} , bei der das System grenzstabil ist.
- Die Frequenz der Dauerschwingung am grenzstabilen Punkt beträgt $\omega = 2 \frac{rad}{s}$. Entwerfen Sie einen PID-Regler mithilfe der Einstellregeln nach Ziegler-Nichols. Geben Sie die Reglerparameter und die Übertragungsfunktion $R(s)$ des Reglers an.

c) Für ein System mit der Übertragungsfunktion F_o ist in Abbildung 4 der Verlauf von $\left| \frac{1}{1+F_o} \right|$ gegeben.

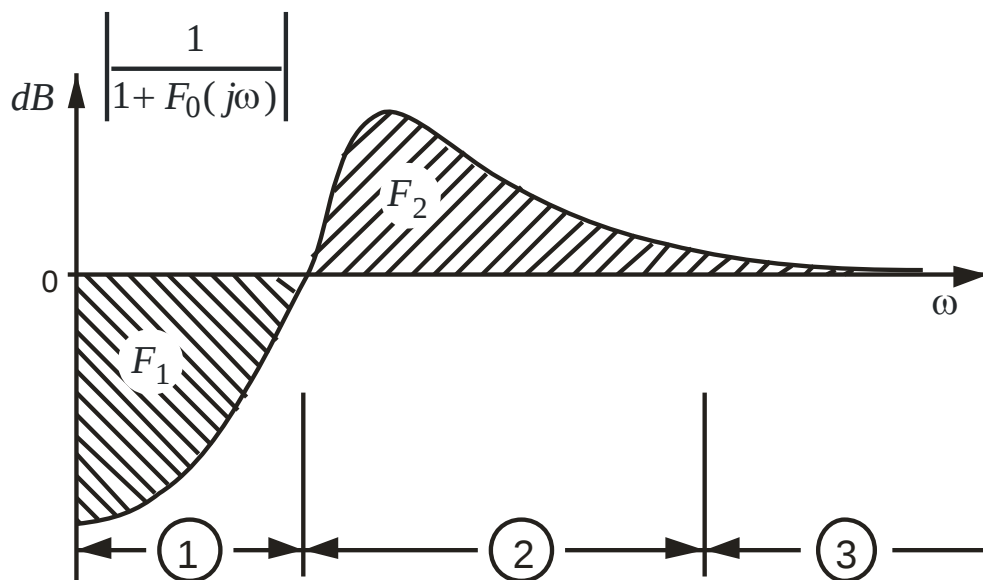


Abbildung 4

- Was beschreibt $\left| \frac{1}{1+F_o} \right|$?
- Welche Aussagen können in den Bereichen 1, 2 und 3 bezüglich der Güte der Steuerung im Vergleich zu der Regelung getroffen werden?
- Welche Aussage kann mithilfe des Gleichgewichtstheorems bezüglich der Flächen F_1 und F_2 getroffen werden?

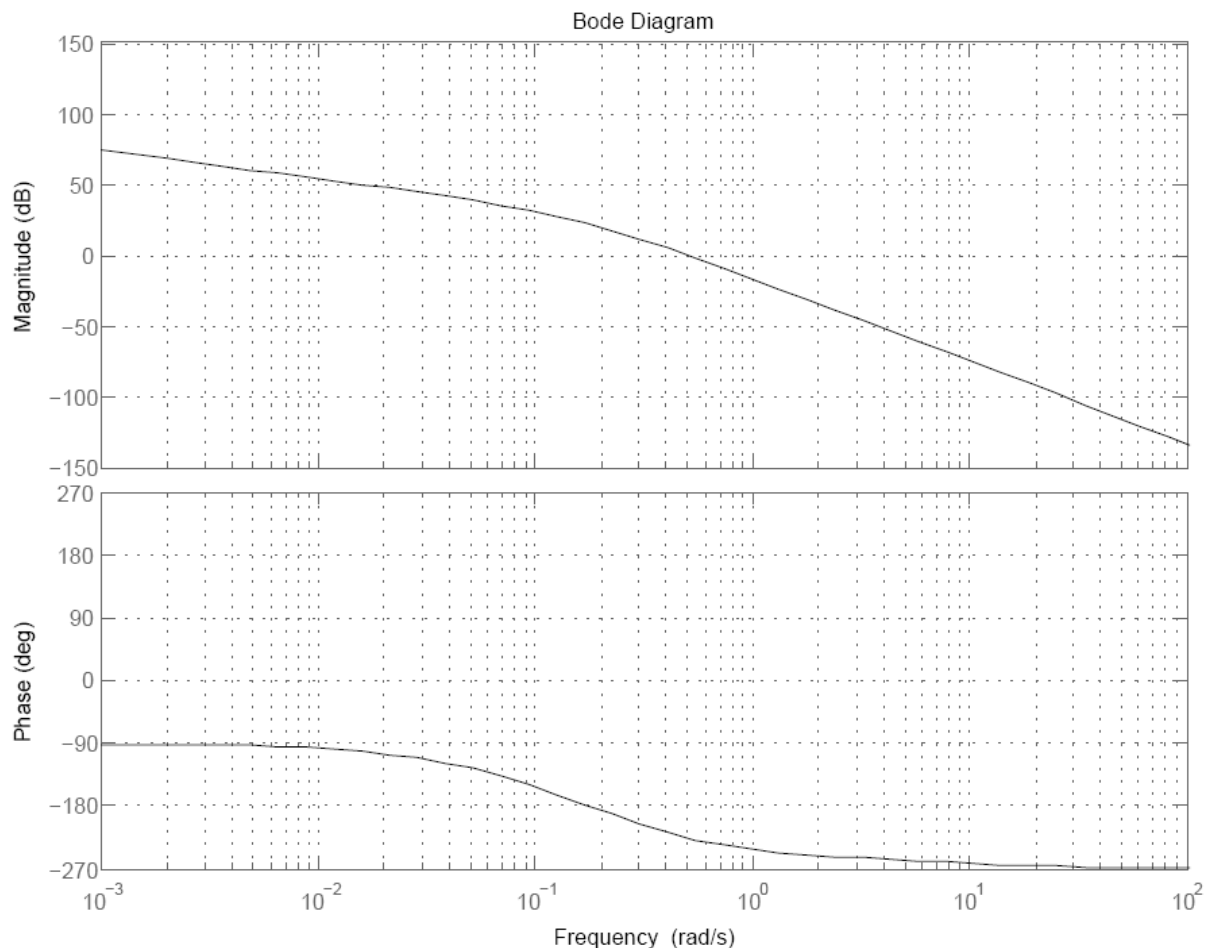
d) Im Folgenden soll das allgemeine Nyquistkriterium genauer betrachtet werden.

- Wie lautet die Grundidee von Nyquist?
- Was ist der Nyquist-Pfad? Erklären Sie diesen mithilfe einer Skizze.
- Wie wird der Radius des Nyquist-Pfads bei der Herleitung des allgemeinen Nyquistkriteriums gewählt?
- Warum kann $\Delta\Phi_{ist}$ nie größer sein als $\Delta\Phi_{stabil}$? Begründen Sie diese Aussage mithilfe des allgemeinen Nyquistkriteriums!

Aufgabe 4

(ca. 20%)

Gegeben sei die mit Matlab erstellten Frequenzkennlinien eines Systems in Abbildung 5. Für dieses System soll ein Kompensationsregler mit der Wunschübertragungsfunktion $G_{wM} = 0,5$ entworfen werden.

**Abbildung 5**

- a) • Zeichnen Sie die Frequenzkennlinien des Kompensationsreglers in das gegebene Diagramm in den Lösungsblättern!

Hinweis: Eine Berechnung des Reglers ist hier nicht notwendig, eine Begründung ist ausreichend.

- Welche Probleme können bei der technischen Umsetzung und praktischen Nutzung eines solchen Reglers auftreten?
- b) • Bestimmen Sie die Anzahl der Polstellen des gegebenen Systems auf der imaginären Achse und in der linken Halbebene unter der Annahme, dass das System eine Nullstelle bei -3 besitzt.
- Geben Sie den Matlab-Code zur Bestimmung der Pol- und Nullstellen an. Das System befindet sich als transfer function (tf) im Workspace als Variable Gs.

c) Gegeben sei ein System mit der Übertragungsfunktion

$$F_o(s) = k_r \frac{s^2 + 5s + 6}{s^3 + s^2 + s + 1}$$

des offenen Kreises.

- Was beschreibt eine Wurzelortskurve allgemein?
- Zeichnen Sie die Pole des **offenen Kreises** in Abhängigkeit von der Verstärkung k_r in das vorgegebene Diagramm in den Lösungsblättern ein.

d) Gegeben sei ein allgemeines System mit PT3-Verhalten mit der Übertragungsfunktion:

$$G(s) = \frac{1}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)}$$

Die mit einem PI-Regler nach den einfachen Einstellregeln eingestellte Übertragungsfunktion des offenen Kreises sei:

$$F_o(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_3s + 1)s}$$

- Welche Aussage können Sie damit über die Zeitkonstanten T_1 , T_2 und T_3 machen?
- Die Reglerverstärkung k soll nun mithilfe der minimalen quadratischen Regelfläche bestimmt werden. Wie lautet das allgemeine Gütekriterium bei dieser Methode?
- Geben Sie die Regelabweichung der Sprungantwort $E(s) = \frac{C(s)}{D(s)}$ für das System $F_o(s)$ an!
- Welche Koeffizienten c_i und d_i können durch die Reglerverstärkung beeinflusst und damit zur Minimierung des Gütemaßes genutzt werden?