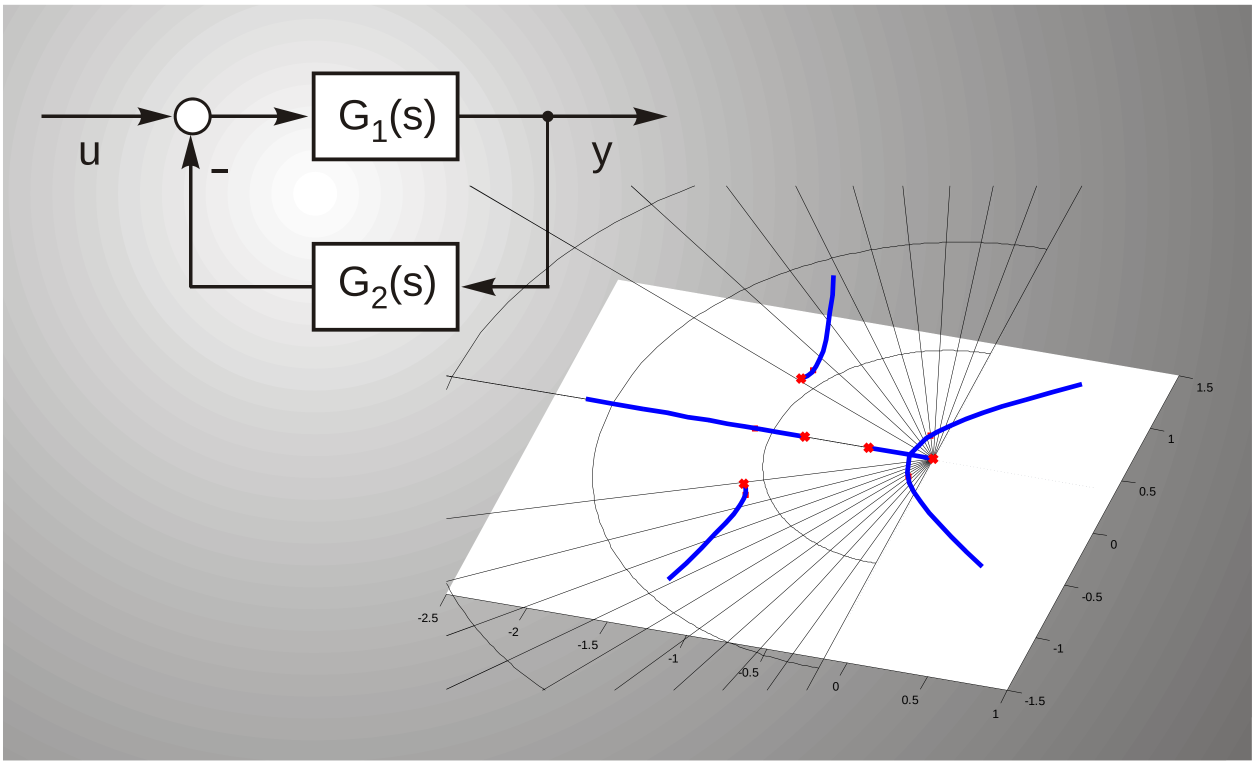
Aufgaben zur Übung 7

Systemdynamik und Regelungstechnik

M. Sc. Patrick Sauter



Sommersemester 2014

http://www.irs.kit.edu/1528.php

KIT Karlsruher Institut für Technologie
IRS Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme
Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Sören Hohmann

Erläuterungen zu den Übungsblättern:

Die Übungsblätter enthalten verschiedene Typen von Aufgaben:

- Anwendungsaufgaben:
  - *Übungsaufgaben* sind mit UE gekennzeichnet und werden in der Übung vorgerechnet. Die Lösungswege sind auf den in der Übung gezeigten Folien enthalten, welche nach der Übung im Internet herausgegeben werden.
  - *Tutoriumsaufgaben* sind mit TU gekennzeichnet und sind ausschließlich zum selbstständigen Bearbeiten vor bzw. im Tutorium gedacht. Diese sind regelmäßig auch in MATLAB/SIMULINK zu bearbeiten. Lösungen zu Tutoriumsaufgaben werden im jeweiligen Tutorium besprochen und ggf. nach der Tutorienwoche bereitgestellt.

- *Trainingsaufgaben* (TR):

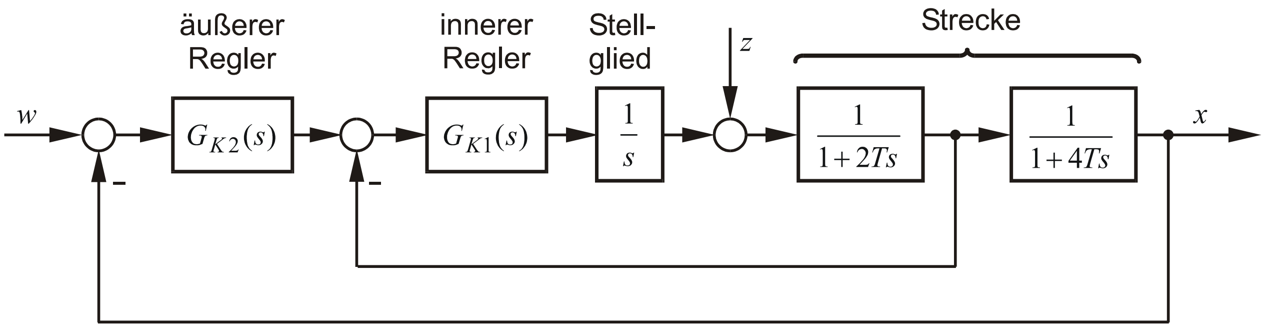
  Diese enthalten mehrere ähnliche Teilaufgaben zum Erlernen und Trainieren (auch im Hinblick auf die Klausur) von elementaren, klar abgegrenzten Methoden. Der Schwierigkeitsgrad innerhalb einer Trainingsaufgabe steigt zunehmend an, beginnend bei der ersten Teilaufgabe.
  In der Übung werden von Trainingsaufgaben lediglich die ersten Teilaufgaben im Rahmen der Wiederholung des Stoffs behandelt. Ggf. werden die anderen Teilaufgaben teilweise oder auf Nachfrage im Tutorium besprochen.
  Es liegt in der Hand jedes einzelnen Studierenden, ob und wie viel er sich mit den restlichen Teilaufgaben beschäftigt. Es wird jedoch dringend empfohlen, auch und gerade diese Methoden selbstständig zu üben, da sie das Handwerkszeug für die SRT darstellen und oft erst in der Anwendung hinreichend verstanden werden.
  Eine Kurzlösung zu den Trainingsaufgaben wird im Anschluss an die Tutorienwoche im Internet herausgegeben.

Der Schwierigkeitsgrad von Aufgaben wird durch Pluszeichen symbolisiert.

+	bedeutet	*leichte Aufgabe*
+++(+)	bedeutet	*Klausurniveau (oder höher)*

Aufgabe 37 (TU) +++

Die nachstehend abgebildete Kaskadenregelung ist zu entwerfen.



a) Bestimmen Sie $G_{K1}(s)$ so, dass der unterlagerte Regelkreis $\mathrm{PT_1}$-Verhalten mit der Übertragungskonstante $K_i = 1$ und der Zeitkonstante $T_i = T$ besitzt. Um welchen Reglertyp handelt es sich dabei?

b) Fassen Sie den inneren Regelkreis mit dem restlichen Teil der Strecke zu einer neuen, fiktiven Strecke zusammen! Wie lautet ihre Übertragungsfunktion?

c) Um stationäre Genauigkeit zu erreichen, soll die Reglerkaskade nun mit einem idealen PI-Regler $G_{K2}(s) = K_{R2}\dfrac{1+4Ts}{s}$ im äußeren Kreis betrieben werden. Berechnen Sie die Führungs-Übertragungsfunktion des gesamten Kaskadenregelkreises!

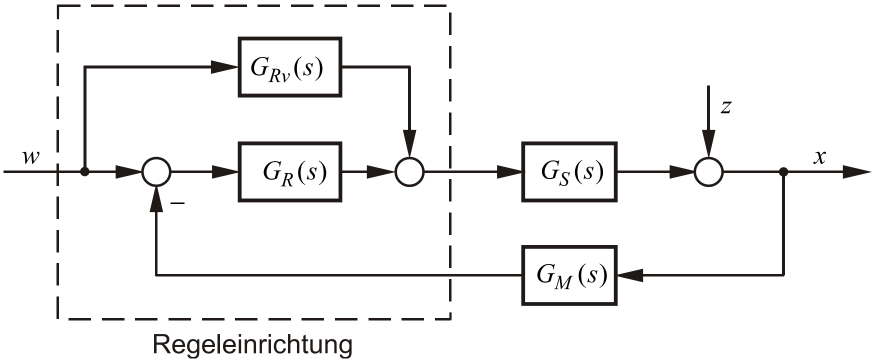
d) Entwerfen Sie zum Vergleich eine einschleifige Regelung für die gesamte Strecke! Wählen Sie dazu einen geeigneten idealen Reglertyp aus und berechnen Sie auch hier die Führungs-Übertragungsfunktion des geschlossenen Kreises!

Hinweis: Sie brauchen den Verstärkungsfaktor des Reglers nicht explizit zu berechnen.

e) Nun sollen die beiden Regelungsstrukturen bezüglich der Regelgüte miteinander verglichen werden. Berechnen Sie dazu jeweils die Zeitkonstante und Dämpfung des geschlossenen Kreises in Abhängigkeit der Reglerverstärkung!

Aufgabe 38 (UE) +++

In der folgenden Abbildung ist die Positionsregelung einer Antenne dargestellt.



Die Strecke besitzt die Übertragungsfunktion $G_S(s) = \frac{0{,}1(s+2)}{(s+0{,}2)\,(s+0{,}01)\,(s+1)^2}$ und die Messeinrichtung die Übertragungsfunktion $G_M(s)=1$. Für ein gutes Störverhalten soll ein PI-Regler eingesetzt werden.

a) Welchen Vorteil liefert eine solche Regelkreisstruktur wie in der Abbildung dargestellt?

b) Bestimmen Sie für die Strecke $G_S(s)$ mit Hilfe des Frequenzkennlinienverfahrens die Reglerparameter dieses PI-Reglers (k_R, T_N) so, dass der Regelkreis möglichst schnell wird und für das Störverhalten eine gute Dämpfung erreicht wird.

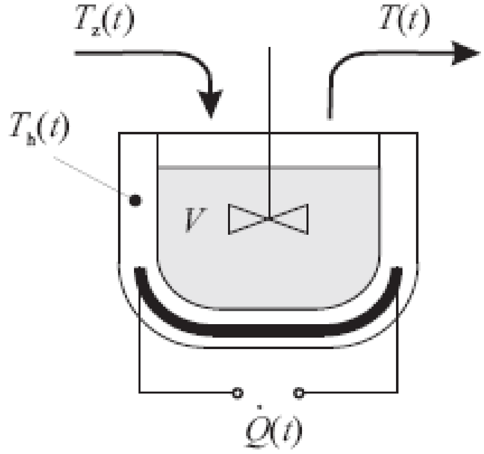
c) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion $G_{Rv}(s)$ so, dass die Führungsübertragungsfunktion ein PT_1-Verhalten aufweist, d.h. für $G_w(s)$ soll gelten:

$$G_w(s) = \frac{1}{(1+100s)}$$

d) Wie müsste die Übertragungsfunktion des Reglers bei einer klassischen Regelkreisstruktur lauten, um das gewünschte Führungsverhalten zu erzeugen? Wäre die Forderung für das Störverhalten des Regelkreises auch hier noch erfüllt?

Aufgabe 39 (TR) ++

Betrachtet wird ein Rührkesselreaktor, wie in der Abbildung dargestellt. Über die Heizwendel kann eine einstellbare Wärmemenge $\dot{Q}(t)$ zugeführt werden, um die gewünschte Reaktionstemperatur $T(t)$ im Kessel zu erzeugen. Die Temperatur $T_z(t)$ des zuströmenden Mediums kann dabei als Störgröße angesehen werden.



a) Welche regelungstechnischen Möglichkeiten gibt es, die Reaktionstemperatur trotz variabler Temperatur $T_z(t)$ konstant zu halten, bzw. wie gewünscht einzustellen? Zeichnen Sie die Blockschaltbilder der jeweiligen Regelkreisstrukturen!

Im Folgenden soll eine Störgrößenaufschaltung realisiert werden. Das Streckenverhalten kann hierzu in zwei Teilen modelliert werden: Der Heizvorgang beschreibt den Wärmeübergang vom Reaktorboden auf die ihn angrenzende Flüssigkeit. Dieser lässt sich als PT1-Glied beschreiben:

$$G_{Heiz}(s) = \frac{5}{1+300s}$$

Im Weiteren folgt ein Mischprozess, welcher die Angleichung der Temperatur im gesamten Rührkessel beschreibt. Zur Vereinfachung sei dieser Mischvorgang als Verzögerungsglied modelliert:

$$G_{Misch}(s) = 0{,}0005\frac{1}{\left(s+\frac{1}{100}\right)\left(s+\frac{1}{20}\right)}$$

b) An welcher Stelle greift die Störgröße $T_z(t)$ an? Ist eine Störgrößenaufschaltung realisierbar? Falls ja, wie lautet diese? Falls nein, wie kann die Störung trotzdem teilweise kompensiert werden?

c) Entwerfen Sie nun für das Führungsverhalten einen idealen PID-Regler mit dem Wurzelortskurvenverfahren! Dieser soll für stationäre Genauigkeit sorgen und den geschlossenen Regelkreis möglichst schnell machen! Stellen Sie den Regler so ein, dass im geschlossenen Kreis ein doppelter Pol im Verzweigungspunkt der WOK vorliegt!

Aufgabe 40 (TR)

a) Es wird der in Abbildung 1.1 dargestellte Regelkreis mit den reellen Parametern α und $k > 0$ betrachtet. In diesem Aufgabenteil gelte $G(s) \bullet\!\!-\!\!\circ\, g(t) = \sigma(t) \cdot t$.

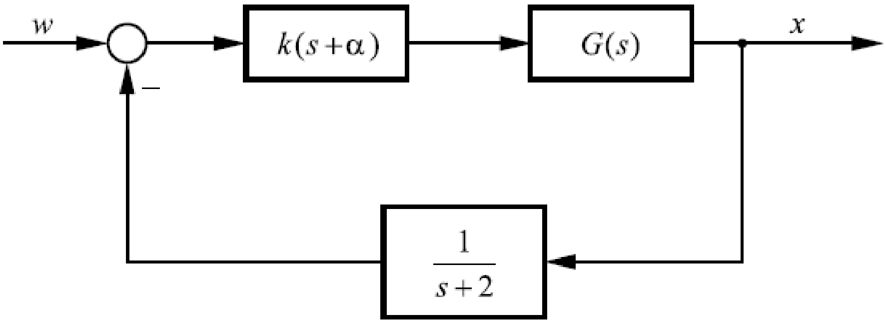


Abbildung 1.1

- Geben Sie die Übertragungsfunktion $G(s)$ an.
- Für welche Werte des Parameters α ist der geschlossene Kreis stabil?
- Gibt es Parameterwerte α, für die der Regelkreis stationär genau ist?

b) In diesem Aufgabenteil wird ein Übertragungsglied betrachtet, das durch $G(s) \bullet\!\!-\!\!\circ\, g(t) = 1 - e^{-\frac{t}{2}}$ beschrieben wird.

- Geben Sie die Übertragungsfunktion $G(s)$ an.
- Skizzieren Sie die Impulsantwort $g(t)$ und geben Sie deren Steigung im Ursprung an.
- Berechnen Sie die Sprungantwort $h(t)$.

c) Gegeben ist die nichtlineare Differentialgleichung

$$\dddot{x}(t) + 2 \cdot \ddot{x}(t) \cdot x(t) - \dot{x}^2(t) + x(t) = u(t) \tag{1.1}$$

- Welche Nichtlinearitäten sind in (1.1) enthalten?
- Bestimmen Sie die Ruhelage der Differentialgleichung (1.1) für eine konstante Eingangsgröße $u = u_R$.
- Linearisieren Sie das System (1.1) um die Ruhelage mit $u_R = 1$ und geben Sie das linearisierte System als Übertragungsfunktion an!

d) Für die Strecke $G_S(s) = \frac{0{,}1}{(1+0{,}1s)\,(1+0{,}2s)\,(0{,}1+s)}$ soll ein PI-Regler $G_R(s) = k_R \frac{1+T_R s}{s}$ mit Hilfe der Frequenzkennlinien entworfen werden.

- Bestimmen Sie dazu die Zeitkonstante des Reglers nach den aus der Vorlesung bekannten Einstellregeln und zeichnen Sie die Geradennäherungen des Amplituden- und Phasengangs des korrigierten offenen Kreises in das vorbereitete Diagramm in den Lösungsblättern.
- Bestimmen Sie die Reglerverstärkung so, dass der Regelkreis möglichst schnell wird und eine Phasenreserve von 60° eingehalten wird.
- Ist die Phasenreserve bei diesem System ein Maß für die Dämpfung?
- Wäre es sinnvoll anstatt des PI-Reglers einen PD-Regler zu verwenden?

e) In Abbildung 1.2 sind 6 Nyquist-Ortskurven von offenen Kreisen (N_1–N_6) gegeben. Weiterhin sind die Übertragungsfunktionen G_1–G_6 gegeben.

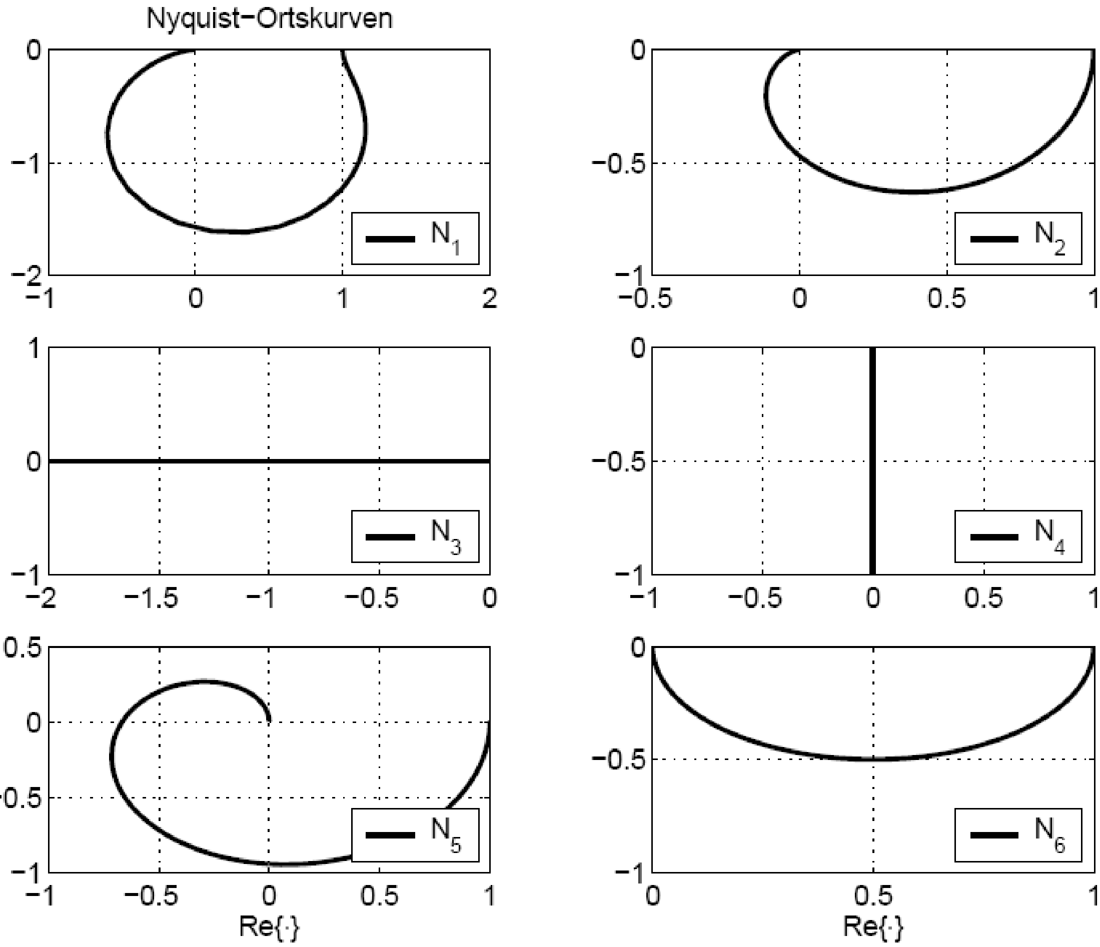


Abbildung 1.2

$G_1(s) = \frac{2}{s^2+3s+2}$; $G_2(s) = \frac{10}{s^2+2s+10}$; $G_3(s) = \frac{1}{s^2}$; $G_4(s) = \frac{1}{s}$; $G_5(s) = \frac{1}{s+1}$; $G_6(s) = \frac{2-2s}{s^2+3s+2}$

- Geben Sie an, welches Verhalten die Übertragungsfunktionen G_1–G_6 aufweisen (I, I2, PT1, PT2, PD, PID, allpasshaltig).
- Ordnen Sie anschließend die Übertragungsfunktionen den entsprechenden Nyquist-Ortskurven zu.
- Nun sollen Standardregelkreise betrachtet werden, bei denen die Übertragungsfunktionen G_1–G_6 als Übertragungsfunktionen des offenen Kreises angenommen werden. Beurteilen Sie die Stabilität der Standardregelkreise und geben Sie an, ob die Standardregelkreise stationär genau sind.

Aufgabe 41 (TR) +++

Der Student Alfons Pilar hat bei seiner Klausur in SRT vergessen, für ein gegebenes System 3. Ordnung, das mit einem P-Regler mit $k \geq 0$ geregelt wird, einen Ast der Wurzelortskurve in die Lösungsblätter einzuzeichnen.

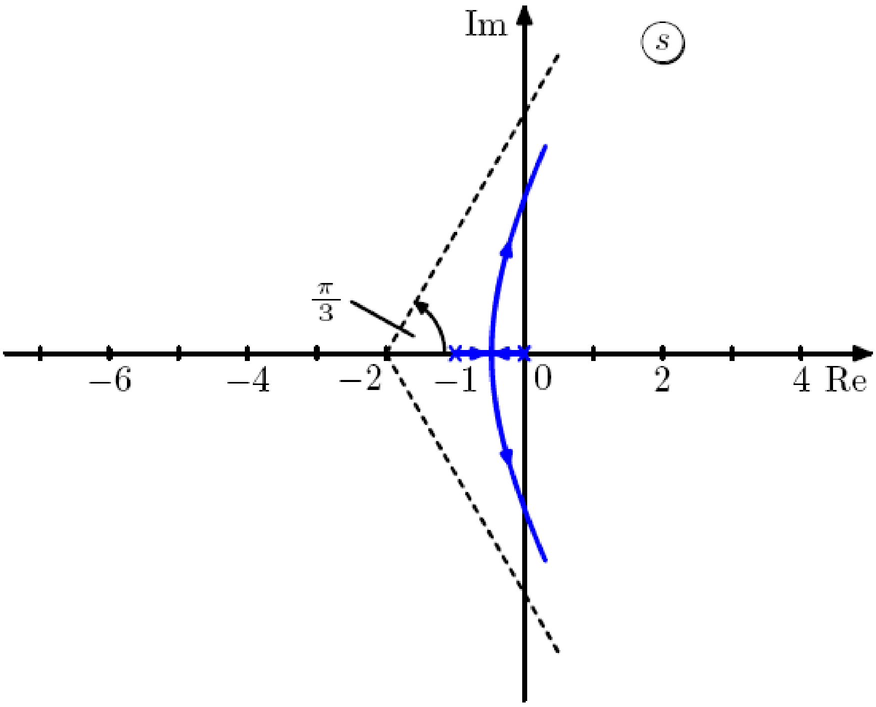


Abbildung 2.1: unvollständige Wurzelortskurve

a) Ermitteln Sie anhand der unvollständigen Wurzelortskurve aus Abbildung 2.1 die Übertragungsfunktion des offenen Kreises so, dass diese Übertragungsfunktion für $k = 1$ die Verstärkung 1 besitzt und zeichnen sie den fehlenden Ast der Wurzelortskurve in das entsprechende Diagramm in den Lösungsblättern ein.

b) Durch Hinzufügen eines einfachen dynamischen Regelglieds kann erreicht werden, dass der geschlossene Kreis für beliebige k (mit $k > 0$) stabil bleibt.

- Um welche Art von Regelglied handelt es sich hierbei?
- Bestimmen Sie die möglichen Werte für die Zeitkonstante dieses Regelglieds.

c) Betrachten Sie noch einmal die ursprüngliche Wurzelortskurve aus Aufgabenteil a). Ermitteln Sie die natürliche Frequenz und die Kreisverstärkung des gegebenen Systems an der Stabilitätsgrenze.

d) Die Strecke soll nun mit einem *PI*-Regler geregelt werden. Bestimmen Sie mit Hilfe des Verfahrens nach Ziegler-Nichols die Parameter eines *PI*-Reglers.

e) Gegeben ist das Signalflussbild in Abbildung 2.2. Die Kennlinien der beiden Kennlinienglieder sind in Abbildung 2.3 genau dargestellt.

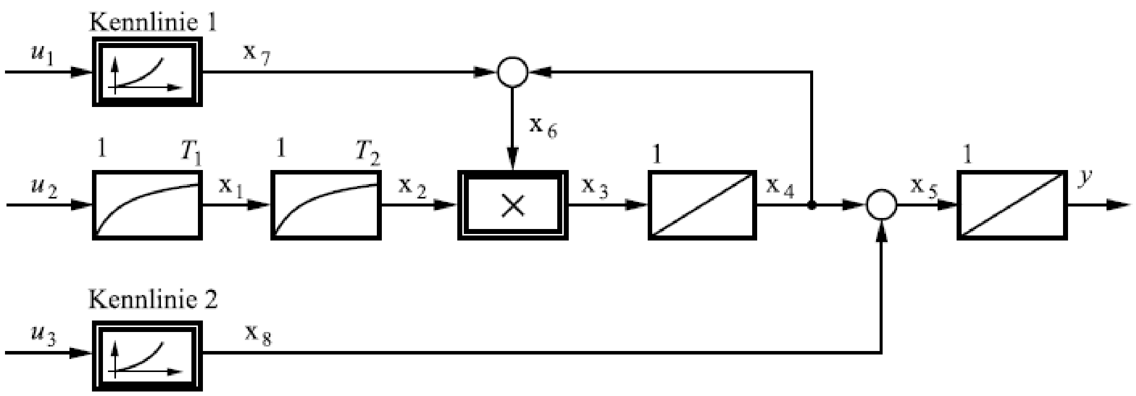


Abbildung 2.2

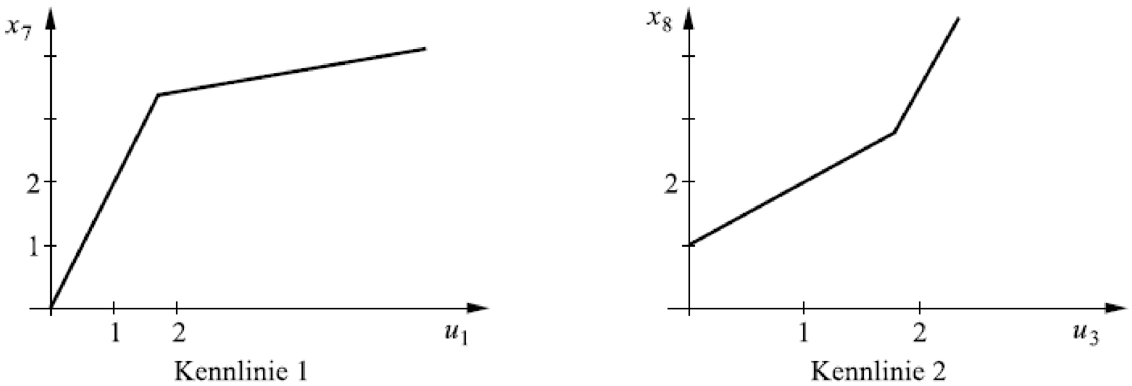


Abbildung 2.3

- Welche Bedingungen erfüllen die Größen x_3 und x_5 in einem stationären Zustand?
- Existiert ein stationärer Zustand für $u_{1R} = u_{3R} = 1$?
- Falls ja, berechnen Sie die Werte der Größen $x_{1R}, \ldots, x_{8R}$ in Abhängigkeit von u_{2R} in diesem stationären Zustand.