

Laborversuch: Stabilitätsuntersuchung und empirische Reglereinstellung

Zur Vorbereitung

- *Erarbeiten der theoretischen Grundlagen aus den Vorlesungen „Systemtheorie“ und „Regelungstechnik“; insbesondere zu den Themen „Stabilität“, „Hurwitz-Kriterium“ und „Nyquistkriterium“.*
- *Durcharbeiten des Dokuments „Kurzanleitung für MATLAB und SIMULINK“. Weiterhin können Sie auch die Dokumente „Einführung in MATLAB“ und „Einführung in SIMULINK“ für zusätzliche Informationen durchlesen. Nicht alle benötigten Befehle sind in den hochgeladenen Dokumenten erklärt. Gegebenenfalls müssen Sie auf die MATLAB/SIMULINK-Hilfe zugreifen. Bisweilen hilft auch eine Internet-Suche z.B. über Google weiter.*
- *Machen Sie sich mit der Aufgabenstellung vertraut. Planen Sie die wesentlichen Versuchsschritte und bereiten Sie ggf. die erforderlichen Diagramme vor.*

Allgemeine Hinweise

- *Erstellen Sie zu jeder Aufgabe ein „.m-File“ mit allen erforderlichen Befehlen bzw. „.mdl-Files“ für die Simulink-Modelle.*
- *Dokumentieren Sie Ihre Arbeit während der Versuchsdurchführung in einem Protokoll, das Sie mit einem Textverarbeitungssystem Ihrer Wahl erstellen. Es sollte die verwendeten Befehle aus den .m-Files mit den zugehörigen MATLAB-Outputs und die Modelle aus den .mdl-Files mit den zugehörigen Diagrammen enthalten. Außerdem sollen Sie darin auch Ihre Antworten auf alle Fragen aus der Aufgabenstellung festhalten.*
- *Wählen Sie die Simulationszeit (Simulation Stop Time) und die Integrationsschrittweite selbstständig so, dass sie der Aufgabenstellung angepasst ist.*

Regelung einer Hintereinanderschaltung von drei PT_1 -Gliedern/ Nyquist-Kriterium

Als Regelstrecke dient die Hintereinanderschaltung von drei PT_1 -Gliedern mit den Zeitkonstanten 1 ms, 0,75 ms und 0,5 ms. Die Gleichgrößenverstärkung (Proportionalbeiwert) sei jeweils 1 (dieser Wert wurde in der Systemtheorievorlesung „Verstärkung“ genannt).

Aufgabe 1 - Regelstrecke

- a) Stellen Sie die Übertragungsfunktion $G_S(s)$ der Regelstrecke auf.
- b) (1) Berechnen Sie analytisch (d.h. „per Hand“) die Kreisfrequenz ω_π bei der die Phasenverschiebung gerade -180° ist.
- Hinweis: Ersetzen Sie dazu alle s in $G_S(s)$ durch $j\omega$ und berechnen Sie ω so, dass sich für $G_S(j\omega)$ ein rein reeller negativer Wert ergibt. Diesen Wert der Kreisfrequenz nennen wir im Folgenden ω_π .*
- (2) Wie groß ist $G_S(j\omega_\pi)$?
Geben Sie das exakte Ergebnis als einfachen Bruch zweier ganzen Zahlen an. Dabei dürfen auch Wurzeln von reellen Zahlen vorkommen.
- c) (1) Wie groß kann die Verstärkung eines P-Reglers maximal werden, damit der geschlossene Regelkreis nicht instabil wird? Dieser Wert wird im Folgenden $K_{R,kritisch}$ genannt. Geben Sie hier das exakte Ergebnis als einfachen Bruch zweier reeller Zahlen an.
- (2) Verifizieren Sie den gefundenen Wert für $K_{R,kritisch}$ mit dem Hurwitz-Kriterium aus der Vorlesung „Systemtheorie“.

Aufgabe 2 - Regelkreis mit P-Regler

- a) Erstellen Sie ein Simulink-Modell eines Regelkreises mit obiger Regelstrecke und einem P-Regler.
Begrenzen Sie die Stellgröße durch Einführen eines „Saturation-Blockes“ auf ± 12 . Das könnte z.B. den Aussteuer Grenzen einer OP-Schaltung entsprechen.
Die Führungsgröße ist $w(t) = 4 \cdot \sigma(t)$.

- b) Stellen Sie die Sprungantwort des Regelkreises für 5 verschiedene Werte der Reglerverstärkung dar. Drei Werte sollen kleiner als $K_{R,kritisch}$, einer soll genau gleich $K_{R,kritisch}$ sein und als höchsten Wert wählen Sie $K_R = 10$.
Achten Sie darauf, dass die Kurven nicht „eckig“ werden; setzen Sie ggf. die Integrationsschrittweite herunter.

Hinweis: Für $K_R = 10$ müsste der Regelkreis instabil sein.

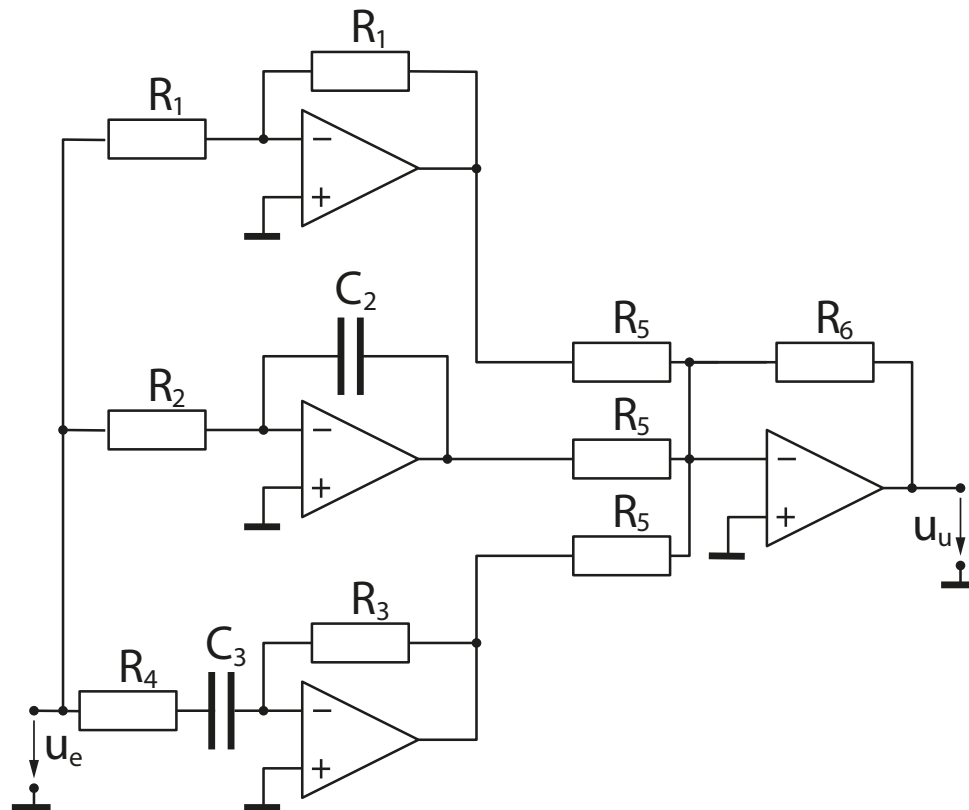
- c) (1) Interpretieren Sie die Simulationsergebnisse bezüglich Stabilität, Schwingneigung und stationärer Genauigkeit.
(2) Welche Größe sollte man anstatt der Regelgröße besser betrachten, um eine klare Aussage zur Stabilität machen zu können?
- d) Setzen Sie nun $w(t) = 0$ und die Reglerverstärkung $K_R = 10$. In der Praxis wird so ein Regelkreis aufschwingen. Warum tut er das in der Simulation nicht?
- e) (1) Fügen Sie eine Rauschquelle mit Minimalwert $-0,001$ und Maximalwert $0,001$ und hinreichend kleiner Sample time ein, um der sensierten und rückgeführten Regelgröße ein kleines Rauschsignal zu überlagern.

Hinweis: Verwenden Sie die Rauschquelle „Uniform Random Number“, die Sie im Simulink Library-Browser unter „Sources“ finden.

- (2) Was beobachten Sie nun?
- (3) Auf welcher Kreisfrequenz schwingt der Regelkreis? Vergleichen Sie diesen Wert mit ω_π .
- (4) Stellen Sie den Verlauf der Regelgröße und der Stellgröße in einem Diagramm dar und interpretieren Sie die Zeitverläufe.

Aufgabe 3 - Regelkreis mit PID-Regler

Nun kommt ein PID-Regler wie in der folgenden Abbildung dargestellt zum Einsatz.



Beachten Sie, dass dem Differenzierer (wie Sie ihn vermutlich schon kennengelernt haben) der Widerstand R_4 vorgeschaltet wurde. Ohne diesen Widerstand würde nämlich die Verstärkung des Differenzierers für $\omega \rightarrow \infty$ gegen ∞ gehen und damit würden die in den Störsignalen unvermeidlich vorhandenen hohen Frequenzen zu sehr verstärkt werden.

- Auf welchen Wert wird die Verstärkung des Differenzierers durch das Einfügen des Widerstands R_4 für hohe Frequenzen begrenzt?
- Formulieren Sie die Übertragungsfunktion des Reglers.
- Bauen Sie den Regler in Ihr Simulationsmodell anstelle des P-Reglers ein. Begrenzen Sie auch hier die Stellgröße durch Einfügen eines „Saturation-Blockes“ auf ± 12 .
- Für die Widerstände R_1 bis R_5 sind folgende Werte fest vorgegeben:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

Stellen Sie nun C_2 , C_3 und R_6 so ein, dass die Regelgröße einer sprungförmigen Führungsgröße $w(t) = 5 \cdot \sigma(t)$ möglichst schnell, aber ohne Überschwinger folgt.

Hinweis: Die besten Reglerparameter kann man hier nicht „von Hand“ ausrechnen. Sie sollten einfach probieren.
Ein „Rezept zum systematischen Probieren“ finden Sie in ILIAS im hochgeladenen Regelungstechnik-Skript. Da könnten Sie durchaus schon mal „spicken“ und versuchen, das Rezept anzuwenden.

Welche Werte haben Sie für C_2 , C_3 und R_6 gewählt?

Ermitteln Sie mit einem m-file den Zeitpunkt t^* , ab dem die Regelgröße in das Intervall $[0.98, 1.02]$ eintritt und dieses nicht mehr verlässt.

Hinweis: Sie sollten mit Ihrer Reglereinstellung erst dann zufrieden sein, wenn $t^* < xxxms$ ist

- e) Stellen Sie den Zeitverlauf von Führungs- und Regelgröße für die von Ihnen ermittelten „optimalen“ Reglerparameter in einem Diagramm dar.