Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Projekt 2

Fachbericht

Team 1

10.06.2015

Auftraggeber:	Peter Niklaus
Betreuer:	Pascal Buchschacher, Anita Gertiser
Experten:	Peter Niklaus, Richard Gut
Team:	Alexander Stocker Claudius Jörg Denis Stampfli Martin Moser Reto Freivogel Yohannes Measho
Studiengang:	Elektro- und Informationstechnik

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

2 Theoretische Grundlagen

Eine Regelung besteht, wie in Abbildung 1 zu sehen ist, aus einem Regler und einer Regelstrecke. Beispiele einer Regelung sind Heizungen oder Geschwindigkeitsregelungen.

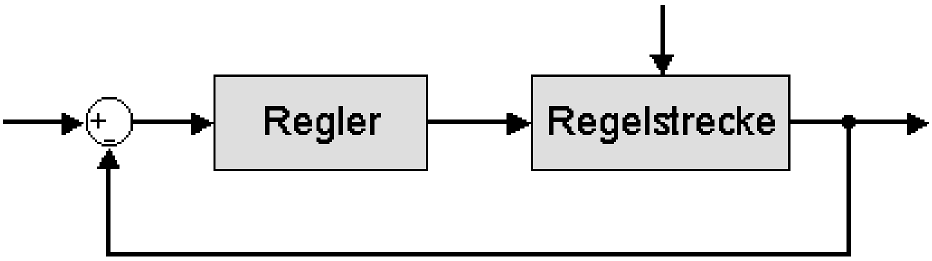

Abbildung 1: Regelung bestehend aus Regler und Regelstrecke

Ist eine Regelstrecke gegeben, im Falle eines LÃ¶tkolbens wÃ¤re dies die Distanz vom Heizelement bis zur LÃ¶tspitze, so muss ein dazu passender Regler dimensioniert werden. Reglerdimensionierungen kÃ¶nnen Ã¼ber das Auswerten der Schrittantwort der Regelstrecke durchgefÃ¼hrt werden. Um die Schrittantwort zu erhalten wird das Verhalten der Strecke aufgrund eines Schrittes der EingangsgrÃ¶sse gemessen. FÃ¼r die Berechnungen werden die aus der Schrittantwort der Strecke ausgelesenen KenngrÃ¶ssen Verzugszeit (T_u), Anstiegszeit (T_g) und Streckenbeiwert (K_s) verwendet. Zur Dimensionierung eines passenden Reglers existieren verschiedenste Methoden. Im Folgenden werden nun zwei MÃ¶glichkeiten genauer erlÃ¤utert, wobei das Hauptaugenmerk auf der ersten Methode, der Phasengangmethode, liegt und die zweite, die Dimensionierung mittels gÃ¤ngigen Faustformeln, lediglich zum Vergleich durchgefÃ¼hrt wird.

Die Kurve in Abbilgung 2 stellt die Schrittantwort einer Regelstrecke dar. Daran gelegt ist die Wendetangente, welche benÃ¶tigt wird um die Verzugs- und die Anstiegszeit messen zu kÃ¶nnen.

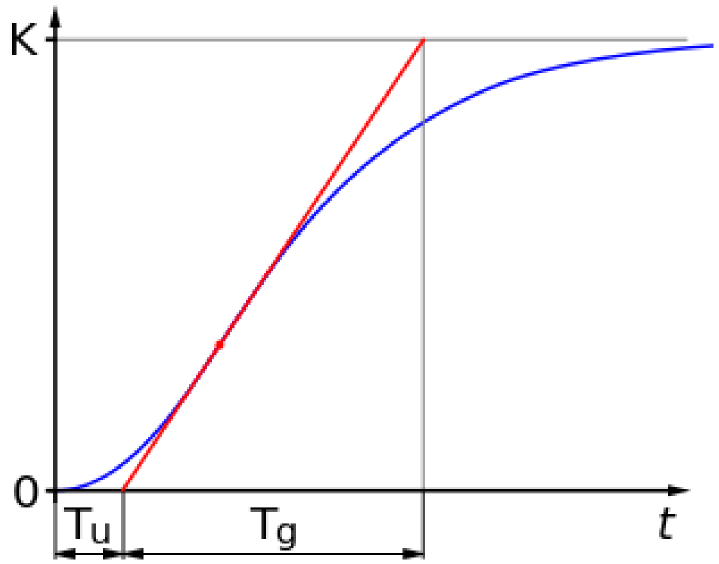

Abbildung 2: Schrittantwort einer Regelstrecke

Ziel ist es, Pi- sowie PID-Regler zu dimensionieren, das heisst deren Kennwerte zu berechnen. Der PI-Regler hat die Kennwerte Nachstellzeit (T_n) und ReglerverstÃ¤rkung (K_R), beim PID-Regler kommt noch die Vorhaltezeit (T_v) hinzu.

2.1 Streckenanalyse

- Streckenidentifikation mit Sani-Methode

Die Streckenidentifikation wird mittels der Sani-Methode durchgefÃ¼hrt. Aus dem VerhÃ¤ltnis von T$_u$ und T$_g$ werden die Ordnung der Strecke und die dazugehÃ¶rigen Zeitkonstanten berechnet, welche benÃ¶tigt werden um die Ãœbertragungsfunktion der Regelstrecke darzustellen.

Die Ãœbertragungsfunktion der Strecke ist gemÃ¤ss Formel 1 definiert:

$$Gs(s) = \frac{K_s}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)...(1 + sT_n)} \tag{1}$$

2.2 Phasengangmethode

Bei der Phasengangmethode handelt es sich eigentlich um eine grafische Dimensionierungsmethode, welche frÃ¼her noch von Hand mit logarithmischem Papier durchgefÃ¼hrt wurde. Anstelle der grafischen Dimensionierung wird die Methode in diesem Fall komplett rechnerisch gelÃ¶st. Um die Methode zu verstehen wird ein theoretisches Grundwissen benÃ¶tigt, welches im Folgenden erklÃ¤rt wird.

2.2.1 Grundwissen

Durch Ersetzen von s durch $j\omega$ in der Ãœbertragungsfunktion der Strecke erhÃ¤lt man den Frequenzgang. Um die Phasengangmethode anwenden zu kÃ¶nnen wird der Amplituden- und Phasengang der Regelstrecke benÃ¶tigt.

$$A(\omega) = abs(G(j\omega)) \tag{2}$$

$$\varphi(\omega) = arg(G(j\omega)) \tag{3}$$

$$\varphi(\omega) = -arctan(\omega T_1) - arctan(\omega T_2)... - arctan(\omega T_n) \tag{4}$$

Die Zeitkonstanten des zu dimensionierenden Reglers stehen in direktem Zusammenhang mit dessen Amplitudengang. In den Abbildungen 3 und 4 sind die AmplitudengÃ¤nge eines PI- und eines PID-Reglers dargestellt, wobei die x-Achsen logarithmisch skaliert sind. Wie die Kreisfrequenzen an den Knickstellen mit den Reglerparametern zusammenhÃ¤ngen sollen, ist in Tabelle 1 ersichtlich.

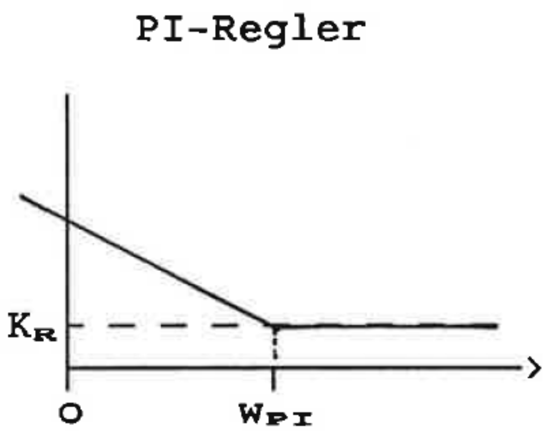

Abbildung 3: Amplitudengang PI-Regler Amp(ω) (log. Darstellung)

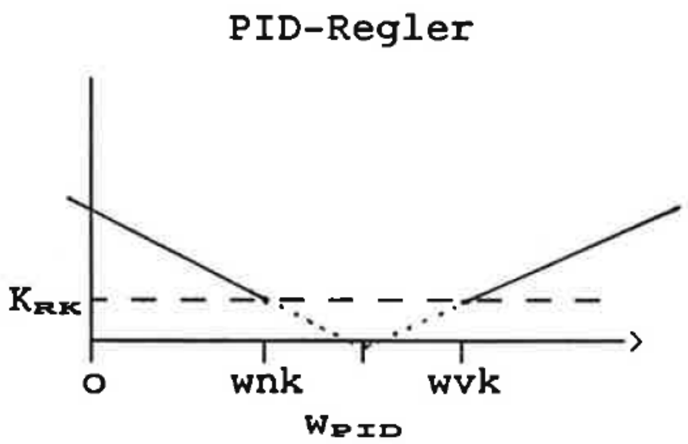

Abbildung 4: Amplitudengang PID-Regler Amp(ω) (log. Darstellung)

PI-Regler	**PID-Regler**	
$\omega_{PI} = \frac{1}{T_n}$	$\omega_{nk} = \frac{1}{T_{nk}} = \beta * \omega_{PID}$	$\omega_{vk} = \frac{1}{T_{vk}} = \frac{\omega_{PID}}{\beta}$

Tabelle 1: AmplitudengÃ¤nge Regler und ZusammenhÃ¤nge mit Knickkreisfrequenzen

Diese Knickkreisfrequenzen werden mithilfe des Phasengangs der Strecke berechnet. Je nach dem welcher Reglertyp dimensioniert werden soll, mÃ¼ssen andere Punkte im Phasengang gesucht werden (Tabelle 2).

Regler	**Phasengang der Strecke** φ_s	**Knickkreisfrequenz**
PI	$-\frac{\pi}{2} = -90°$	$\omega_{PI} = \frac{1}{T_n}$
PID	$-\frac{3\pi}{4} = -135°$	$\omega_{PID} = \frac{1}{\sqrt{T_{nk}T_{vk}}}$

Tabelle 2: Gesuchte Punkte im Phasengang je nach Regler

Der PI-Regler kann anhand dieser Dimensionierungskriterien bereits dimensioniert werden. Beim PID-Regler muss allerdings noch ein Parameter mehr bestimmt werden. Es handelt sich um den Faktor β welcher benÃ¶tigt wird um die Knickkreisfrequenzen des PID-Reglers berechnen zu kÃ¶nnen. Dieser Faktor β hÃ¤ngt mit der Tangentensteigung des Phasengangs der offenen Regelung im Punkt $-135°$ zusammen.
Ein Dimensionierungskriterium der Phasengangmethode lautet, dass die Steigung des Phasengangs der gesamten, offenen Regelung bei der Knickkreisfrequenz $\frac{-0.5}{\omega_{PID}}$ betragen soll. Dies hat damit zu tun, dass eine Steigung von -20dB/Dekade angestrebt wird. Die genaue Herleitung befindet sich im Anhang.

Es gilt also die folgende Beziehung:

$$\frac{2\beta}{1+\beta^2} + \omega_{PID}\frac{d\varphi_{Strecke(\omega_{PID})}}{d\omega} = -0.5 \tag{5}$$

Da der Phasengang der Strecke und somit dessen Ableitung gegeben ist, kann durch AuflÃ¶sen nach β nun auch dieser Parameter ermittelt werden. Ergibt sich ein Wert grÃ¶sser als eins oder imaginÃ¤r, so wird β als eins angenommen.

Die VerstÃ¤rkung des Reglers wird mit Hilfe des Phasenrands bestimmt. Der Phasenrand ist die Differenz der Streckenphase zu $-180°$. Bei unterschiedlichem Phasenrand ergeben sich unterschiedliche VerstÃ¤rkungsfaktoren, was auch auf das Ãœberschwingen des Reglers Einfluss hat. Die untenstehende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen dem gewÃ¤hlten Phasenrands und dem daraus resultierenden Ãœberschwingen der Regelung.

Phasenrand φ_R	**Streckenphase φ_S**	**Ãœberschwingen**
45°	$-135°$	23%
51.8°	$-128.5°$	16.3%
65.5°	$-114.6°$	4.6%
76.3°	$-103.7°$	0%

Zur Berechnung der VerstÃ¤rkung werden nun die AmplitudengÃ¤nge der Strecke, sowie des Reglers benÃ¶tigt. Die Werte dieser beiden AmplitudengÃ¤nge an der Stelle wo der Phasenrand abgetragen wurde, werden miteinander multipliziert. GemÃ¤ss Phasengangmethode soll die VerstÃ¤rkung an dieser Stelle eins sein. Dies fÃ¼hrt zur Formel 6:

$$K_R = \frac{1}{|Go(\omega_D)|} \tag{6}$$

2.2.2 Ablauf der Phasengangmethode

Die Phasengangmethode der Strecke φ_S wird nach dem folgenden Ablauf durchgefÃ¼hrt (Die Punkte 2. und 3. werden nur fÃ¼r PID-Regler benÃ¶tigt.). Eine numerische Beispielrechnung fÃ¼r einen PI-Regler ist im Anhang angefÃ¼gt.

1. Im Phasengang der Strecke φ_S werden die Kreisfrequenzen in bestimmten Punkten gesucht.
2. Der Faktor β wird bestimmt.
3. Mithilfe von β werden die Zeiten T_{nk} und T_{vk} ermittelt.
4. Der Phasengang der offenen Regelung φ_{go} wird berechnet (Phasengang Strecke + Phasengang Regler)
5. Die Kreisfrequenz ω_D beim gewÃ¤hlten Phasenrand wird berechnet.
6. Die AmplitudengÃ¤nge der Strecke sowie des Reglers bei ω_D werden miteinander multipliziert. Damit wird die ReglerverstÃ¤rkung K_R festgelegt.

Besondere Vorsicht ist bei den erhaltenen KenngrÃ¶ssen des dimensionierten Reglers geboten. Die Parameter des PI-Reglers kÃ¶nnen direkt weiterverwendet werden. Die Reglerparameter des PID-Reglers, welche wir bei der Dimensionierung mittels Phasengangmethode erhalten, sind nicht dieselben, wie diejenigen welche durch die Faustformeln ermittelt werden. Dies hat die Ursache darin, dass je nach dem mit welchem Ziel gerechnet wird, die Rechnung mit unterschiedlichen Parametern von Vorteil ist. Es wird zwischen Regler- und Bodekonform unterschieden. StandardmÃ¤ssig wird in der Fachliteratur meist reglerkonform gerechnet. Die Parameter des PID-Reglers, welche aus der Phasengangmethode hervorgehen, sind jedoch bodekonform. Bodekonform bedeutet, dass die Parameter kaskadiert sind und die logarithmische Rechnung somit vereinfacht wird. FÃ¼r die Umrechnung wurden die Formeln 7, 8 und 9 fÃ¼r PID-Regler hergeleitet (siehe Anhang):

$$K_R = K_{rk}\left(1 + \frac{T_{vk}}{T_{nk}} - \frac{T_p}{T_{nk}}\right) \tag{7}$$

$$T_n = T_{nk} + T_{vk} - T_p \tag{8}$$

$$T_v = \frac{T_{nk}T_{vk}}{T_{nk} + T_{vk} - T_p} - T_p \tag{9}$$

Tp steht fÃ¼r die parasitÃ¤re Zeitkonstante. Diese wird benÃ¶tigt, da ein idealer PID-Regler in der Praxis nicht umsetzbar ist. Der Index k in der bodekonformen Darstellung steht fÃ¼r Kaskadierung.

Beschreibung	**Darstellung**
PI-Regler bodekonform	$G_R(s) = K_R \frac{(1+sT_n)}{sT_n}$
PI-Regler reglerkonform	$G_R(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{sT_n}\right)$
PID-Regler bodekonform	$G_R(s) = K_{rk} \frac{(1+sT_{nk})(1+sT_{vk})}{sT_{nk}(1+sT_p)}$
PID-Regler reglerkonform	$G_R(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{sT_n} + \frac{sT_v}{1+sT_p}\right)$

Tabelle 3: Ãœbertragungsfunktionen Regler

2.3 Ãœbertragungsfunktion der Regler

Um schlussendlich die Schrittantwort der geschlossenen Regelung berechnen zu kÃ¶nnen, wird die Ãœbertragungsfunktion des dimensionierten Reglers benÃ¶tigt. Diese lÃ¤sst sich mit den aus der Phasengangmethode erhaltenen Parametern aufstellen (Tabelle 3).

2.4 Dimensionierung mit Faustformeln

Die Dimensionierung mittels Faustformeln wird durchgefÃ¼hrt, um die Dimensionierungsresultate der Phasengangmethode am Schluss zu vergleichen und auszuwerten. Es gibt etliche verschiedene Faustformeln von unterschiedlichen Personen. Die bekanntesten und gÃ¤ngigsten Dimensionierungsformeln sind in den folgenden Tabellen aufgelistet und werden im Programm implementiert.

Regler	K_R	T_n	T_v
P	$\frac{T_g}{K_s T_u}$		
PI	$\frac{0.9*T_g}{K_s T_u}$	$3.3 * T_u$	
PID	$\frac{0.9*T_g}{K_s T_u}$	$2 * T_u$	$0.42 * T_t$

Tabelle 4: Ziegler/Nichols

Regler	K_R	T_n	T_v
P	$\frac{T_g}{K_s T_u}$		
PI	$\frac{0.8*T_g}{K_s T_u}$	$3 * T_u$	
PID	$\frac{1.2*T_g}{K_s T_u}$	$2 * T_u$	$0.42 * T_t$

Tabelle 5: Oppelt

Regler	K_R	T_n	T_v
P	$\frac{T_g}{K_s T_u}$		
PI	$\frac{0.91*T_g}{K_s T_u}$	$3.3 * T_u$	
PID	$\frac{1.2*T_g}{K_s T_u}$	$2 * T_u$	$0.44 * T_t$

Tabelle 6: Rosenberg

Reglertyp	**aperiodischer Einschwingvorgang**		**Einschwingvorgang mit 20% Ãœberschwingen**	
	FÃ¼hrung	StÃ¶rung	FÃ¼hrung	StÃ¶rung
P	$K_R = \frac{0.3*T_g}{K_s T_u}$	$K_R = \frac{0.3*T_g}{K_s T_u}$	$K_R = \frac{0.7*T_g}{K_s T_u}$	$K_R = \frac{0.7*T_g}{K_s T_u}$
PI	$K_R = \frac{0.35*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = 1.2 * T_g$	$K_R = \frac{0.6*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = 4 * T_u$	$K_R = \frac{0.6*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = T_g$	$K_R = \frac{0.7*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = 2.3 * T_u$
PID	$K_R = \frac{0.6*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = T_g$ $T_v = 0.5 * T_u$	$K_R = \frac{0.95*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = 2.4 * T_u$ $T_v = 0.42 * T_u$	$K_R = \frac{0.95*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = 1.35 * T_g$ $T_v = 0.47 * T_u$	$K_R = \frac{1.2*T_g}{K_s T_u}$ $T_n = 2.3 * T_u$ $T_v = 0.42 * T_u$

Tabelle 7: Chien/Hrones und Reswick

2.5 Schrittantwort der Regelung

- Ãœbertragungsfunktion Regelung (Berechnung aus Ã¼funk regler und Ã¼funk regelung)
- Berechnung durch Residuen

Um die Schrittantwort der geschlossenen Regelung berechnen zu kÃ¶nnen, wird die Ãœbertragungsfunktion der Regelung benÃ¶tigt. Diese wird aus den Ãœbertragungsfunktionen des Reglers und der Strecke gemÃ¤sse Formel 10 berechnet.

$$G(s) = \frac{G_R(s)G_S(s)}{1 + G_R(s)G_S(s)} \tag{10}$$

3 Java Software

3.1 Klassendiagramm

3.2 Beschreibung der Software

3.3 Benutzerschnittstelle

3.4 Klassen

3.4.1 GUI Klassen

3.4.2 Model Klassen

3.4.3 View Klassen

3.4.4 Controller Klassen

4 Test Matlabs

4.1 Schrittantwort

4.1.1 Ãœbertragungsfunktion

4.1.2 Wendetangent

4.2 Dimensionierung mit Faustformeln

4.3 Dimensionierung mit Phasengangmethode

4.3.1 Amplitudengang der Strecke

4.3.2 Phasengang der Strecke

5 Schlusswort

5.1 Schrittantwort

5.1.1 Ãœbertragungsfunktion

5.1.2 Wendetangent

5.2 Dimensionierung mit Faustformeln

5.3 Dimensionierung mit Phasengangmethode

5.3.1 Amplitudengang der Strecke

5.3.2 Phasengang der Strecke

6 Literaturvezeichnis