

Optimierung

1. Grundlegendes

Beim PID-Regler müssen 3 Parameter optimal eingestellt werden: Proportionalbeiwert, Nachstellzeit und Vorhaltezeit.

Hierzu gibt es unterschiedliche Methoden:

- Probieren (gefährlich für die Regelstrecke und deren Umgebung, und auch ziemlich langwierig)
- Mathematische Analyse des Regelkreises und mathematische Optimierung der Parameter
- Verwendung von „Rezepten“ um schon einmal Werte in der Nähe des Optimums zu erhalten. Anschließend wird von Hand eine Fein-Optimierung gemacht. Die „Rezepte“ wurden durch aufwendige mathematische Verfahren erhalten.

Aufgabe Opt 1

Baue in BORIS einen Regelkreis mit PT4-Strecke und Industrie-PID-Regler auf. Es sollen Führungs- und Störverhalten untersucht werden. Versuche durch Probieren optimale Einstellungen zu finden.

Tipp: Wenn man dem Generator für die Störung eine Totzeit gibt, lassen sich Führungs- und Störverhalten in einem Diagramm untersuchen

2. Forderungen an den Regelkreis

Anfahren:

Der Sollwert soll nach dem Einschalten einer Anlage möglichst schnell und mit möglichst wenig Überschwingen erreicht werden.

Störverhalten:

Eine Störung soll möglichst schnell, möglichst vollständig und mit möglichst wenig Überschwingen ausgeregelt werden.

Führungsverhalten:

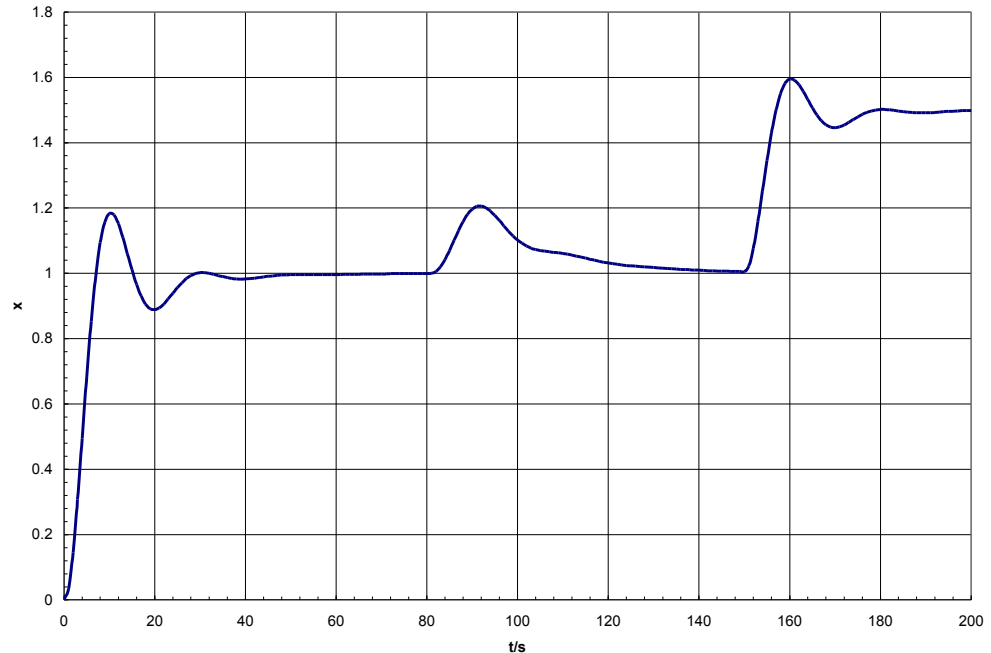
Die Regelgröße soll möglichst schnell und mit möglichst wenig Überschwingen dem Sollwert folgen.

Stabilität:

In allen in der Praxis auftretenden Betriebszuständen muss der Regelkreis stabil bleiben, das heißt es dürfen keine unkontrollierten Schwingungen auftreten.

Beispiel:

- Anfahren bei $t = 0$ auf $W = 1$
- Störung: Sprung $z_v = 1$ bei $t = 80$ s
- Führungsgrößensprung $w = 0.5$ (auf $W = 1.5$) bei $t = 150$ s



Definitionen

- Die **Überschwingweite** x_m (x_{ii}) ist die größte vorübergehende Sollwertabweichung nach einem Störungs- oder Sollwertsprung.

Das Verhältnis x_m / x_m^* ist ein Maß für die Dämpfung des Regelkreises.

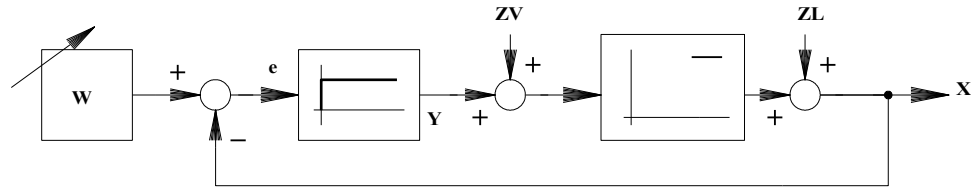
- Die **Ausregelzeit** T_a ist die Zeit, nach der die Regelgröße nach einem Störungs- oder Sollwertsprung endgültig in den Toleranzbereich Δx einmündet, ohne ihn wieder zu verlassen. Der Toleranzbereich (z.B. $\pm 2\%$ von W) hängt von den Erfordernissen des geregelten Prozesses ab.
- Die **Anregelzeit** T_{an} ist die Zeit, die vergeht, bis nach einer sprunghaften Sollwertänderung der neue Sollwert erstmals erreicht wird.

Aufgabe Opt_2

Trage im obigen Diagramm Überschwingweite, Anregelzeit und Ausregelzeit für ein Toleranzband von $\pm 10\%$ ein.

3. Optimierung ist eine Sache von Kompromissen

Führungs- und Störverhalten



Da w und z_V an verschiedenen Orten eingreifen, ist das Verhalten unterschiedlich, d.h. man muss sich entscheiden ob man für günstigstes Führungs- oder günstigstes Störverhalten optimiert, oder ob man einen Kompromiss zwischen beiden eingeht.

Bei einer Werkzeugmaschine ist z.B. das Führungsverhalten entscheidend (wenig Überschwingen), während bei einer Temperaturregelung im Allgemeinen das Störverhalten wichtiger ist.

Dynamik

Wünscht man eine schnelle Reaktion (kleine Ausregelzeit), so wird die Überschwingweite größer.

4. Einstellregeln

Für die in der Praxis häufig vorkommenden Strecken gibt es fertige „Rezepte“ für die Reglereinstellung.

a) Optimierung nach Ziegler-Nichols für PT_n -Regelstrecken mit unbekanntem Parametern

- Der Regler wird zuerst als P-Regler betrieben ($T_n \rightarrow \infty$, $T_v = 0$)
- K_{PR} wird so gewählt, dass Regelkreis mit Sicherheit keine Schwingungen ausführt
- K_{PR} wird vergrößert bis der Regelkreis Dauerschwingungen mit konstanter Amplitude ausführt. Damit befindet sich der Regelkreis an der **Stabilitätsgrenze** mit $K_{PR \text{ kritisch}}$
- Die Periodendauer T_{kritisch} der Schwingung wird gemessen
- Die Reglereinstellwerte können dann aus folgender Tabelle entnommen werden:

Reglertyp	K_{PR}	T_n	T_v
P	$0,5 K_{r \text{ kritisch}}$	-	-
PI	$0,45 K_{r \text{ kritisch}}$	$0,83 T_{\text{kritisch}}$	-
PID	$0,6 K_{r \text{ kritisch}}$	$0,5 T_{\text{kritisch}}$	$0,125 T_{\text{kritisch}}$

b) Verfahren nach Ziegler-Nichols bei bekannter PT1-Tt- Strecke

Regler	K_{PR}	T_n	T_v
P	$\frac{T_s}{K_{PS} \cdot T_t}$		
PI	$0,9 \frac{T_s}{K_{PS} \cdot T_t}$	$3,3 \cdot T_t$	
PID	$1,2 \frac{T_s}{K_{PS} \cdot T_t}$	$2 \cdot T_t$	$0,5 \cdot T_t$

c) Reglereinstellwerte nach Chien, Hrones-Reswick für PT_n-Regelstrecken (CHR- Verfahren)

		Aperiodischer Regelverlauf		Regelverlauf mit 20% Überschwingungen	
Regler		Störung	Führung	Störung	Führung
P	K_{PR}	$0,3 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,3 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,7 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,7 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$
PI	K_{PR}	$0,6 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,35 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,7 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,6 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$
	T_n	$4 \cdot T_u$	$1,2 \cdot T_g$	$2,3 \cdot T_u$	$1 \cdot T_g$
PID	K_{PR}	$0,95 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,6 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$1,2 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$	$0,95 \cdot \frac{T_g}{K_{PS} \cdot T_u}$
	T_n	$2,4 \cdot T_u$	$1 \cdot T_g$	$2 \cdot T_u$	$1,35 \cdot T_g$
	T_v	$0,42 \cdot T_u$	$0,5 \cdot T_u$	$0,42 \cdot T_u$	$0,47 \cdot T_u$

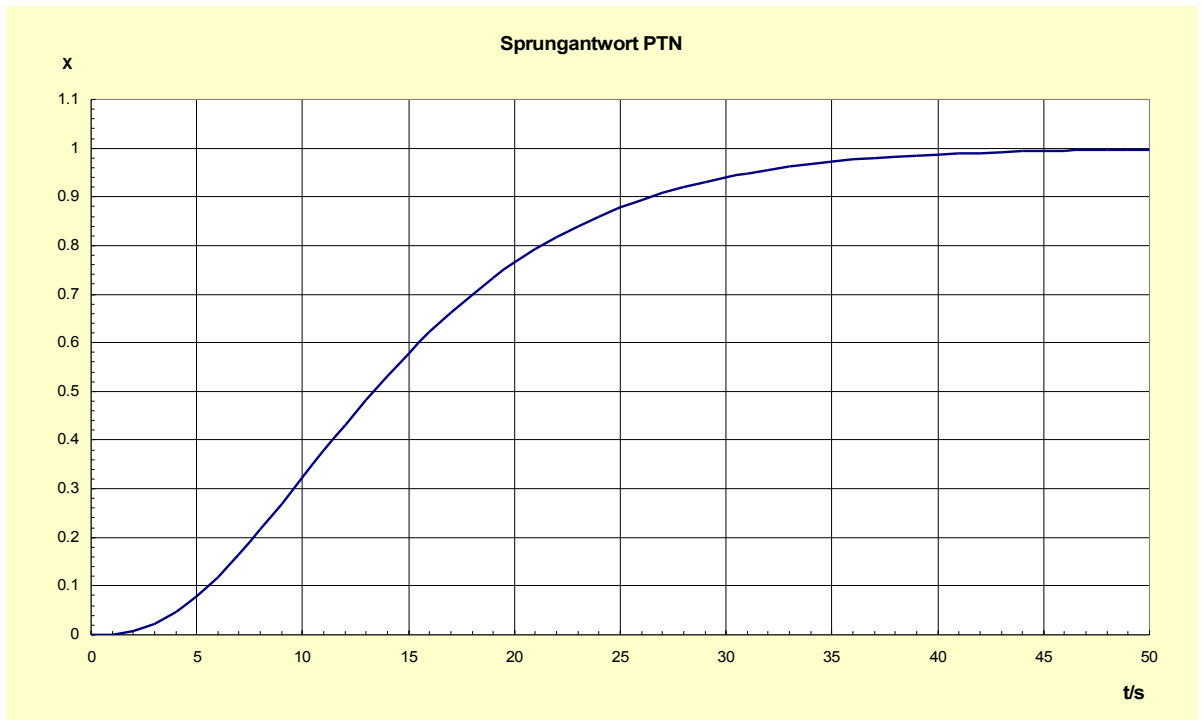
Bemerkung:

Aperiodisch bedeutet eigentlich „schwingungsfrei“, hier aber: mit möglichst wenig Überschwingen.

Aufgabe Opt_3

Eine PT_n-Strecke hat bei 100% Eingangssprung die unten angegebene Sprungantwort.

- Simuliere die Strecke in BORIS (Tabelle PT_n im Anhang!).
Überprüfe ob die simulierte Sprungantwort mit der gegebenen übereinstimmt.
- Optimierte nach CHR für bestes Führungsverhalten.
- Untersuche Führungs- und Störverhalten bei einem Sprung der Führungsgröße von null auf 50% und einer Störung von -30%.
Beides kann zusammen untersucht werden wenn für die Störung eine angepasste Verzugszeit gewählt wird.



Aufgabe Opt_4

Optimiere den Regelkreis mit der Strecke aus Opt_3 nach der Methode von Ziegler-Nichols für unbekannte Ptn-Regelstrecken.

Benutze BORIS für die Simulation.

4. Mathematische Bewertung eines Regelkreises

Wo kommen die Einstellregeln her?

Wenn man eine mathematische Beschreibung von Regelstrecke und Regler hat, lässt sich das Problem so formulieren: wie müssen die Reglerparameter eingestellt werden, damit ein Bewertungskriterium den optimalen (hier minimalen) Wert annimmt.

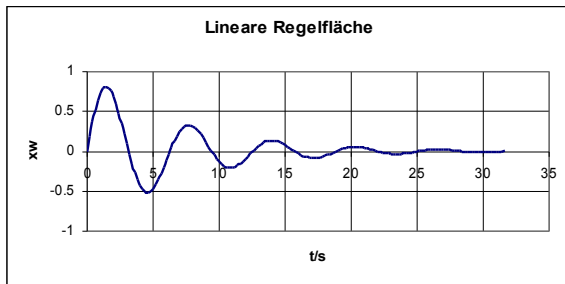
Dieses Problem lässt sich mit Differentialrechnung lösen, es ist allerdings recht kompliziert.

Welches Bewertungskriterium nimmt man nun für diese Untersuchung?

Man nimmt das zeitliche Verhalten der Regelabweichung x_w oder einer mathematischen Funktion davon, und speziell die Fläche unter der Kurve.

Je kleiner die betrachtete Fläche ist, umso besser arbeitet der Regler.

Die einfachste Möglichkeit ist die Methode der Lineare Regelfläche:

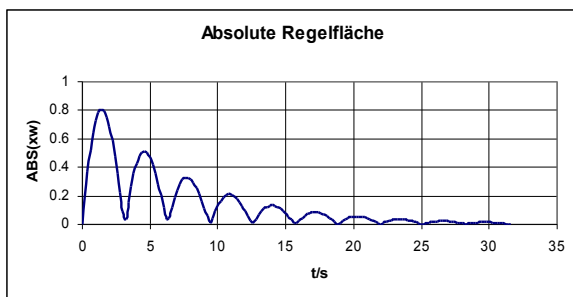


$$I = \int_0^{\infty} x_w dt = \text{Minimum}$$

Beispiele:
Kursregelung, Durchflussregelung

Diese Methode funktioniert nicht bei stark schwingenden Regelkreisen. Da sich positive und negative Flächen gegenseitig aufheben, würde ein instabiler Regelkreis eine perfekte Funktion mit $I = 0$ vortäuschen.

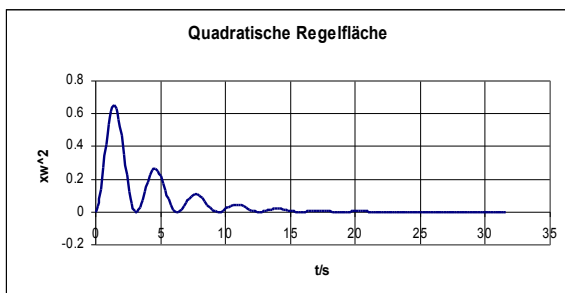
Diesen Nachteil hat die Methode der absoluten Regelfläche nicht:



$$I = \int_0^{\infty} |x_w| dt = \text{Minimum}$$

Die positive und die negative Abweichung tragen beide zur Fläche bei, so dass Schwingungen sich stark bemerkbar machen.

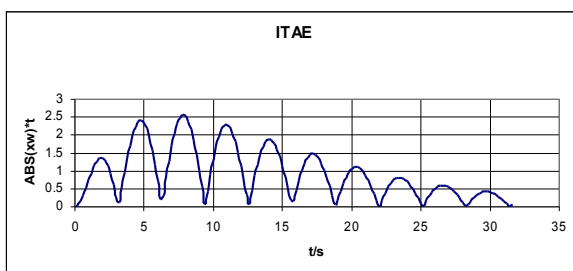
Die Methode der quadratischen Regelfläche bewirkt das Gleiche, außerdem wird der erste Überschwinger wegen der quadratischen Funktion stark bewertet:



$$I = \int_0^{\infty} x_w^2 dt = \text{Minimum}$$

Die Methode ist geeignet für Regelkreise von denen man schwaches Überschwingen fordert.

Für Regelkreise die nach kurzer Zeit nicht mehr schwingen dürfen, wird die ITAE-Methode benutzt:



$$I = \int_0^{\infty} |x_w| \cdot t \cdot dt = \text{Minimum}$$

Integral of time multiplied absolute value of error

Durch die Multiplikation mit der Zeit werden auch kleinere Abweichung, die relativ spät noch vorhanden sind, berücksichtigt. Dieses Verfahren bewertet also vor allem die Dauer der Abweichung.

Anhang**Zusammenhang zwischen n , T_s , T_u , T_g bei PT_n -Strecken:**

n	2	3	4	5	6	7
T_g/T_u	9,65	4,59	3,13	2,44	2,03	1,75
T_g/T_s	2,72	3,70	4,46	5,12	5,70	6,23
T_u/T_s	0,28	0,81	1,42	2,1	2,81	3,55