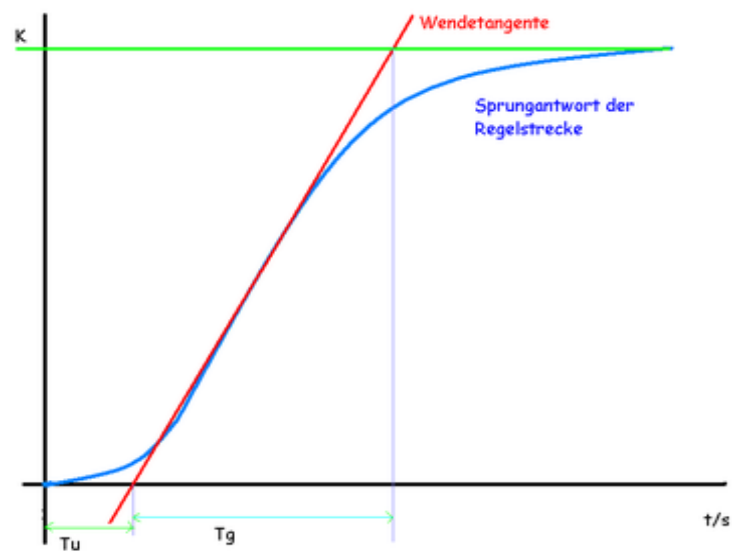


Strukturbildung und Simulation technischer Systeme

Axel Rossmann

Thema: Regelungstechnik



Kritik der Regler-
Dimensionierung
nach Ziegler und Nichols

<http://strukturbildung-simulation.de/>

Zum Thema Regelungstechnik:

Kritik an der Regler-Berechnung nach Ziegler und Nichols

von Axel Rossmann – Hamburg, im September 2013

Im Jahre 1942 haben die US-Amerikaner Ziegler und Nichols empirisch gefundene Formeln zur Einstellung von PID-Reglern für stark gedämpfte Regelstrecken veröffentlicht. Sie benötigen als Strecken-Parameter nur drei Konstanten:

1. Die Strecken-Verstärkung K_s
2. eine größere Anstiegszeit T_g und
3. eine kleinere Verzugszeit T_u .

K_s , T_g und T_u werden nach Abb. 1 durch das Anlegen einer Wendetangente an eine gemessene Sprungantwort ermittelt.

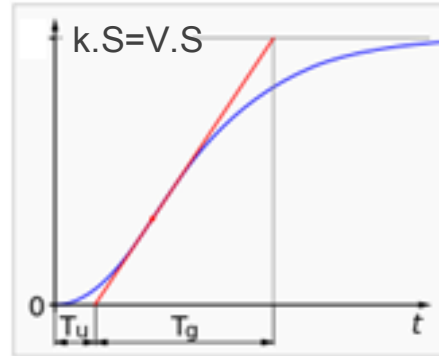


Abb. 1 Das Wendetangenten-Verfahren

Abb. 2 zeigt die Einstellregeln nach Ziegler und Nichols. Wir entnehmen sie Wikipedia: http://de.wikipedia.org/wiki/Faustformelverfahren_%28Automatisierungstechnik%29

Der Autor hat zweierlei getan:

1. Berechnung der Einstell-Regeln im Bode-Diagramm.
2. Überprüfung der Formeln von Ziegler und Nichols durch Simulation.

Der Vergleich (Abb.3) zeigt gravierende Unterschiede seiner Berechnungen (A.R.© zu Ziegler und Nichols. Danach

- sind der Proportional-Verstärkungen K_p fast unabhängig vom D-Anteil.
- Die Integrations-Zeitkonstante T_n ist unabhängig von der Strecken-Verstärkung k_s .
- Die Differenzierer-Zeitkonstante T_v wird aus der kleinen Verzugszeit T_u berechnet.

Abb. 2 Berechnung der Parameter eines PID-Reglers für stark gedämpfte Regelstrecken nach Ziegler und Nichols

Regler	Regelverlauf mit 20 % Überspringen		
	Störung	Führung	
P	K_p	$0.7 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.7 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
PI	K_p	$0.7 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.6 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
	T_n	$2.3 \cdot T_g$	$1 \cdot T_g$
PID	K_p	$1.2 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.95 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
	T_n	$2 \cdot T_g$	$1.35 \cdot T_g$
	T_v	$0.42 \cdot T_u$	$0.47 \cdot T_u$

Der Autor zeigt auf den folgenden Seiten, dass diese drei Punkte falsch sind und wie PID-Regler für stark gedämpfte Strecken richtig berechnet werden.

Wenn Sie an den Themen Regelungstechnik und Simulation interessiert sind, verweise ich sie auf mein Buch ‚**Simulierte Regelungstechnik**‘. Dort erfahren Sie auch, wie PID-Regler für schwach gedämpfte Strecken berechnet werden. Eine Leseprobe finden Sie auf der Internet-Seite

<http://strukturbildung-simulation.de/>

Bei Fragen oder Anregungen können Sie sich auch direkt an den Autor wenden:

axel.rossmann@hamburg.de

Kritik der Einstell-Regeln von Ziegler und Nichols

Die folgende Abbildung stellt die von Ziegler und Nichols angegebenen Formeln zur Berechnung von PID-Reglern den vom Autor (axel.rossmann@hamburg.de) entwickelten Gleichungen gegenüber. Sie zeigen bei der Berechnung der Proportional-Verstärkung Ähnlichkeiten, weisen aber beim I- und D-Regler gravierende Unterschiede auf.

Einstellregeln nach Ziegler/Nichols:				Einstellregeln nach A.Rossmann © 2014			
Regler	Kp	Tn	Tv	Regler	V.P	T.I	T.D
P	$1/K_s \cdot T_g/T_u$			P	$T.g/T.u$		
PI	$0.9/K_s \cdot T_g/T_u$	$3.3 \cdot T_u$		PI	$\frac{T.g/T.u}{3 \cdot V.S}$	$2 \cdot T_u \cdot V.S$	
PID	$1.2/K_s \cdot T_g/T_u$	$2 \cdot T_u$	$0.5 \cdot T_u$	PID (V.D=3)	$\frac{T.g/T.u}{V.S}$	$\frac{T.u \cdot V.S}{1.5}$	$\frac{T.g}{1.5 \cdot V.S}$

Abb. 3 Vergleich der Einstell-Regeln von Ziegler/Nichols mit denen von A. Rossmann

Zu den Bezeichnungen: Die P-Verstärkung heißt Kp oder V.P, die Integrations-Zeitkonstante heißt Tn oder T.I, die Differenzierer-Zeitkonstante heißt Tv oder T.D.

In die Formeln des Autors ist eine D-Verstärkung von 3 eingearbeitet. Dadurch wird der PID-geregelte Kreis dreimal schneller und genauer als eine einfache P-Regelung.

Die Kritikpunkte zu Ziegler/Nichols im Einzelnen:

1. Die P-Verstärkungen der P- und PI-Regelungen sind etwa um den Faktor 3 zu groß. Dadurch ist die Dämpfung dieser Kreise zu gering.
2. Die Nachstellzeit Tn ist von der Strecken-Verstärkung Ks unabhängig. Das kann nicht stimmen.
3. Die Vorhaltzeit Tv errechnet sich aus der kleineren Verzugszeit Tu. Damit ist der D-Regler nahezu unwirksam. Auch bei Tv fehlt die Strecken-Verstärkung Ks, die hier im Nenner stehen müsste.

Welche Regler-Dimensionierung der Autor für richtig hält, zeigt der rechte Teil von . Sie ist durch Simulation getestet.

1. Die P-Verstärkung des P- und des PI-Reglers ist kleiner als bei Ziegler/Nichols. Dadurch wird die Dynamik der Kreise optimal.
2. Die P-Verstärkung des PID-Reglers stimmt mit der von Ziegler/Nichols in etwa überein. Sie ist dreimal so groß wie bei der P- und PI-Regelung. Ohne D-Anteil würde der Kreis damit zu schwach gedämpft sein. Mit D-Anteil wird die Dämpfung optimal.
3. Die Integrations-Zeitkonstante T.I ist proportional zur Strecken-Verstärkung V.S.
4. Die Zeitkonstante T.D des D-Reglers errechnet sich aus der dominierenden Streckenzeit T.g, die sie kompensieren soll. T.D ist viel größer als Tv bei Ziegler/Nichols. Nur mit dieser T.D ist der D-Regler stark genug, um den Kreis mit der angegebenen P-Verstärkung richtig zu dämpfen.

Fazit: Die Regler-Dimensionierung nach Ziegler/Nichols ist bei der Berechnung

- der Proportional-Verstärkung Kp ungenau,
- der Integrations-Zeitkonstante Tn unvollständig und
- der Differenzierer-Zeitkonstante Tv falsch.

Deshalb hat die Dimensionierung von PID-Regelungen nach Ziegler/Nichols die Bezeichnung ‚Näherung‘ nicht verdient.

Beispiele:

Nun sollen die PID-Regelungen von Regelkreisen mit Strecken-Verstärkungen ungleich 1 untersucht werden. Dabei wird sich zeigen, ob die Einstellregeln für den I- und den D-Regler unabhängig sind oder ob sie wie bei A.Rossmann davon abhängen.

Die Regler-Zeiten T.I und T.D bleiben nach Ziegler/Nichols konstant, nach A.Rossmann müssen sie neu berechnet werden.

Wir beginnen mit $V.S=K_s=0,3$:

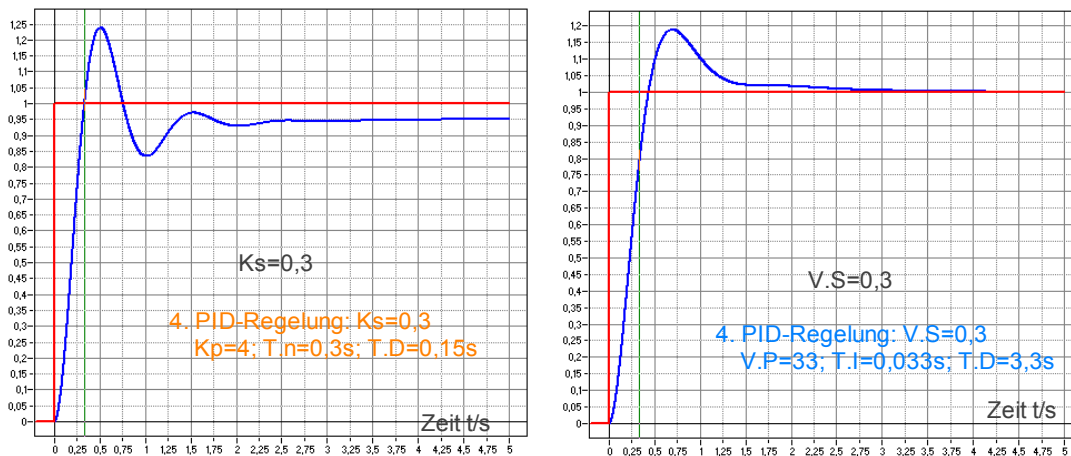


Abb. 4 links: Die PI-Regelung nach Z.N. ist viel zu langsam – rechts: Die PI-Regelung nach A.R ist dynamisch optimal.

Nun wird $V.S=K_s=3$ eingestellt:

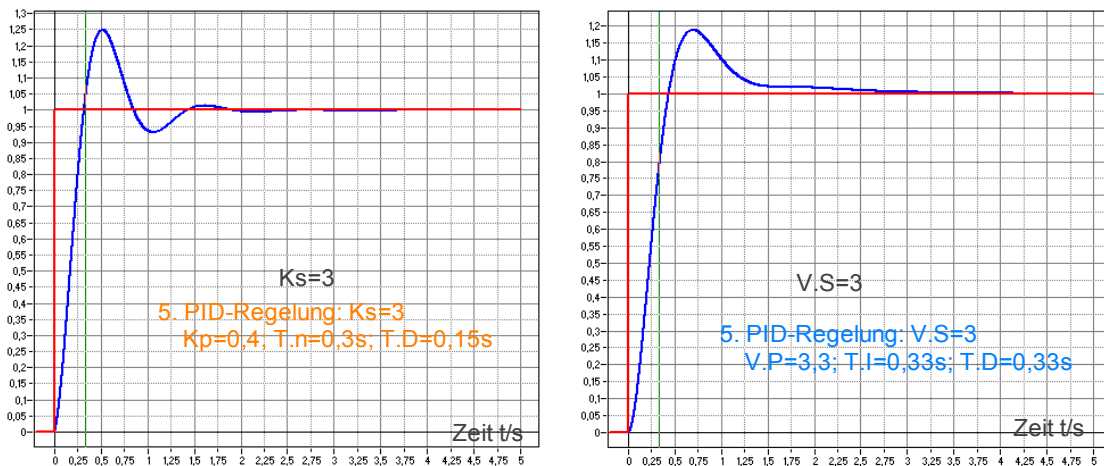


Abb. 5 links: Die PI-Regelung nach Z.N ist nur für $k.S=0,3$ optimal – Rechts: Die gleiche PID-Regelung nach A.R.

Dass die Einstell-Regeln nach Ziegler/Nichols nicht zur Instabilität führen ist nur dem Umstand zu verdanken, dass stark gedämpfte Regelstrecken so stabil sind.

Axel Rossmann

Strukturbildung und Simulation

technischer Systeme

Band 1/7 - - - - -
1 Von der Realität zur Simulation
 Das Simulations-Programm SimApp
2 Signalverarbeitung - statisch
 Die Grundlagen der Elektrizitäts-Lehre
 Einführung in die Regelungstechnik
Band 2/7 - - - - -
3 Elektrische Dynamik
4 Mechanische Dynamik
Band 3/7 - - - - -
5 Magnetismus
 Teil 1/2: Grundlagen und Induktion
 Teil 2/2 Drosseln und Trafos, Dauer- und Elektro-Magnete
Band 4/7 - - - - -
6 Transformatoren und Übertrager
7 Elektrische Maschinen
 Gleichstrom, Allstrom, Drehstrom
Band 5/7 - - - - -
8 Elektronik
 Diode, Transistor, Operations-Verstärker, Thyristor
9 Regelungstechnik
 Zwei- und Dreipunkt-Regelungen - PID-Regelungen
Band 6/7 - - - - -
10 Sensorik
 Hall-Effekt/Photometrie/Temperatur-Messung
11 Aktorik
 Peltier-Elemente/Piezos/Akustik
Band 7/7 - - - - -
12 Pneumatik/Hydraulik
13 Wärme-Technik
14 Kälte-Technik (geplant)

Spezielle Themen:

- Simulierte Messtechnik
- Simulierte Regelungstechnik
- Der simulierte Operations-Verstärker
- Der simulierte Schrittmotor und seine Ansteuerung
- Der simulierte Asynchron-Motor

Simulation für Ingenieure, Techniker und Studenten

Mit dieser ‚Simulation für Ingenieure und Studenten‘ soll Ihnen die Fähigkeit zur **Simulation** technischer Systeme **ohne Ballast** vermittelt werden. Damit können Sie auch komplizierteste **Systeme analysieren, optimieren** und deren Wirkungsweise übersichtlich **dokumentieren**.

Der Gebrauch dieses Werkes ist denkbar einfach:

Im ersten Kapitel lernen Sie das hier verwendete Simulations-Programm **SimApp** kennen. Es ist leistungsfähig, leicht zu erlernen und dabei preiswert. Selbstverständlich können Sie auch jedes andere Simulations-Programm zur Berechnung der angegebenen Strukturen verwenden.

Im zweiten Kapitel werden die **Grundlagen zur Strukturbildung** gelegt. Strukturen sind die graphische Darstellung aller Funktionen eines Systems im Zusammenhang. Ein Simulations-Programm kann Strukturen lesen. Es berechnet damit alle **Messwerte und Kennlinien** des dargestellten Systems. So erhält man die Daten, die zu seiner Konstruktion gebraucht werden.

Die Kapitel 3 und 4 behandeln die elektrische und die mechanische Dynamik. Dadurch erkennt man **das Zeit- und das Frequenz-Verhalten von** Systemen und kann es optimieren. Zur Simulation technischer Systeme wird meist Elektrik (bzw. Elektronik) und Mechanik gebraucht.

In diesen beiden Kapiteln lernen Sie die wichtigsten Methoden zur **dynamischen System-Analyse und Optimierung** kennen. Differential-Gleichungen gehören nicht dazu, denn die stecken in den Strukturen und werden vom Simulations-Programm berechnet. Deshalb ist **Simulation so einfach** zu erlernen.

Elektrik und Mechanik sind weitgehend analog. Deshalb muss das Analyse-Verfahren (komplexe Rechnung, Bode-Diagramme) nur einmal für alles erlernt werden (auch Hydraulik/Pneumatik und Wärme- und Kälte-Technik).

Danach können Sie sich aus den Kapiteln 5 bis 13 das Thema auswählen, das Sie interessiert. Durch Simulation werden Sie sich **schneller und gründlicher einarbeiten** als dies durch reine Praxis oder mit konventioneller Mathematik möglich ist.

Viel Freude und Erfolg beim Simulieren wünscht Ihnen der Autor

Axel Rossmann.

PS: Ausführliche Informationen zur ‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘, Beispiele, Leseproben und Preise finden Sie im Internet unter

<http://strukturbildung-simulation.de/>