

Leseproben aus dem Buch "Regelungstechnik – Crashkurs"

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

ISBN 978-3-86522-755-3

Autor des Buches: Leonhard Stiny

Autor dieser Leseprobe: Leonhard Stiny © August 2013, alle Rechte vorbehalten.

Die Formatierung dieser Leseprobe weicht von der Formatierung des Buches ab.

Leseprobe 1

Übertragungsglied

Dies ist eine Einrichtung, der Eingangs- (y) und Ausgangssignale (x) zugeordnet werden können (z. B. Ventile, Verstärker). Im einfachsten Fall ist es ein Element mit einem Eingangssignal und einem Ausgangssignal. Verändert sich das Eingangssignal, so ändert sich auch das Ausgangssignal. Der kausale Zusammenhang zwischen dem Eingangs- und Ausgangssignal wird als *Übertragungsverhalten* bezeichnet. Dieses Verhalten wird durch einen mathematischen Ausdruck beschrieben: $x = f(y)$. Im Wirkungsweg von Signalen wird ein einfaches Übertragungsglied als Block mit einem eingehenden und einem ausgehenden Pfeil dargestellt.

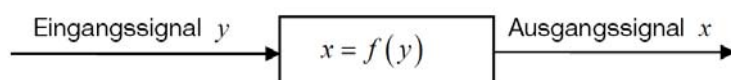


Abb. 4: Schema eines Übertragungsgliedes

Der Grundregelkreis besteht aus einem Regler mit dem Reglerverhalten G_R und der Strecke mit dem Übertragungsverhalten G_S .

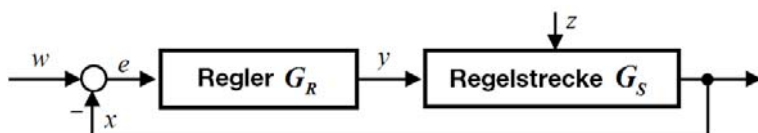


Abb. 5: Vereinfachtes Blockschaltbild (Wirkungsplan) eines Regelkreises

Das folgende Bild zeigt detailliert alle Komponenten eines Regelkreises.

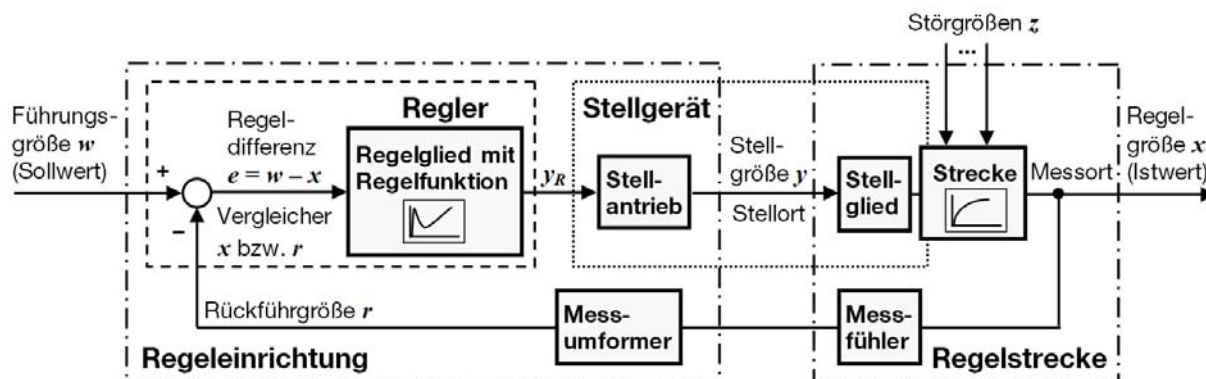


Abb. 6: Der geschlossene Regelkreis im Detail

Aus der Regeldifferenz $e = w - x$ bzw. $e = w - r$ wird über die Regelfunktion (z. B. PID) das Ausgangssignal y_R des Reglers ermittelt. Dies ist ein leistungsarmes Steuersignal, welches einem Stellgerät zugeführt wird, das die geeignete Kopplung an die Regelstrecke herstellt. Das Stellgerät besteht häufig aus einem Stellantrieb und einem Stellglied. Der Stellantrieb bildet aus dem Reglerausgangssignal y_R die Stellgröße y und betätigt das Stellglied, welches in den Massen- oder Energiestrom der geregelten Anlage eingreift und diesen dosiert. Die Regelstrecke ist derjenige Teil des Regelkreises, in dem die Regelgröße geregelt wird (der zu regelnde Prozess). Sie beginnt am Stellort, also dort, wo die Stellgröße y in den Massen- oder Energiestrom eingreift und endet am Messort, wo sich der Messfühler zur Erfassung der Regelgröße x befindet. Der Stellantrieb wird zur Regeleinrichtung gezählt, weil er ein eigenes Zeitverhalten besitzt und damit das Gesamtzeitverhalten der Regeleinrichtung beeinflusst. Das Stellglied dagegen wird zur Regelstrecke gerechnet, weil es sich um unmittelbar den Prozess beeinflussende Teile wie Ventile, Schieber, Klappen oder elektronische Schalter (Transistoren, Thyristoren) handelt. Der Messfühler gehört ebenfalls zur Regelstrecke, da er nicht trägheitslos arbeitet und damit das Zeitverhalten der Regelstrecke beeinflusst.

Zusammenfassung

Ein Regelvorgang wird entweder durch Änderung der Sollgröße oder durch Auftreten einer Störung ausgelöst. Die Regelgröße wird fortlaufend (oder in bestimmten Zeitintervallen) von einer Messeinrichtung gemessen. Die so gewonnene Rückführgröße wird im Vergleichsglied mit der Führungsgröße verglichen und daraus die Regeldifferenz gewonnen. Aus dieser bestimmt das Regelglied auf unterschiedliche Weise die Reglerausgangsgröße, die über Steller, Stellgröße und Stellglied auf die Regelstrecke übertragen wird und sich so auf die Regelgröße auswirkt.

Leseprobe 2

5.4.4 PT_2 -Strecke (Verzögerungsglied zweiter Ordnung)

Eine Regelstrecke mit Ausgleich und zwei Verzögerungen hat zwei *Energiespeicher*. Können die Energiespeicher wechselseitig Energie austauschen, so kann eine Eigenschwingung der Strecke auftreten. Ein wechselseitiger Energieaustausch findet z. B. bei einem elektrischen Schwingkreis zwischen Kondensator und Spule statt. In der Realität ist der Schwingkreis durch einen (immer vorhandenen) Widerstand gedämpft. Gilt für die Dämpfung $0 < D < 1$, so erfolgt das Einlaufen in den stationären Endwert mit einer Schwingung, deren Amplitude exponentiell abnimmt und die umso länger dauert und umso höhere Amplituden hat, je geringer die Dämpfung ist. Im Falle $D \geq 1$ verläuft der Kurvenzug asymptotisch (ohne Schwingung) gegen den Endwert.

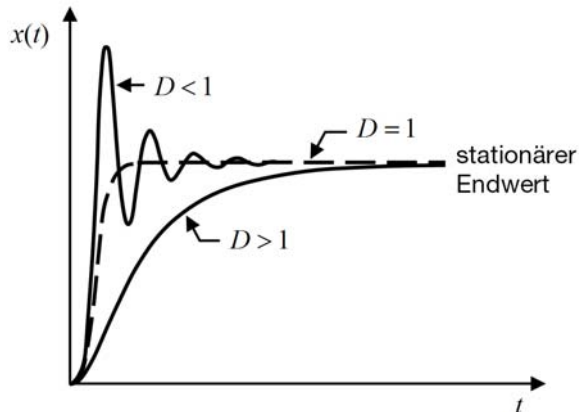


Abb. 1: Übertragungsverhalten eines PT_2 -Gliedes mit verschiedenen Dämpfungen

Sind die Speicher rückwirkungsfrei (voneinander entkoppelt), so tritt keine Schwingung auf, die Strecke hat eine Dämpfung $D > 1$. Dieser Fall ist typisch für die Verfahrenstechnik und wird näher betrachtet.

Die Regelgröße einer nicht schwingungsfähigen PT_2 -Strecke verläuft als Sprungantwort mit einer waagerechten Tangente am Startpunkt und steigt kontinuierlich an. Sie besitzt einen **Wendepunkt**, bei dem sich die Kurvenkrümmung von einer Linkskrümmung in eine Rechtskrümmung ändert.

Kennwerte sind der **Übertragungsbeiwert** K_S , die **Verzugszeit** T_u und die **Ausgleichszeit** T_g .

Der Übertragungsbeiwert (Verstärkungsfaktor) K_S ergibt sich aus:

$$K_S = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{x(\infty)}{y_0} \quad \text{mit } y_0 = \text{Höhe der Sprungfunktion}$$

T_u und T_g werden, wie in **Abb.** gezeigt, mit dem **Wendetangentenverfahren** grafisch aus der Sprungantwort ermittelt. Aus der Tangente im Wendepunkt und ihren beiden Schnittpunkten mit der Zeitachse und der Geraden des stationären Endwertes ergeben sich die Verzugszeit T_u und die Ausgleichszeit T_g .

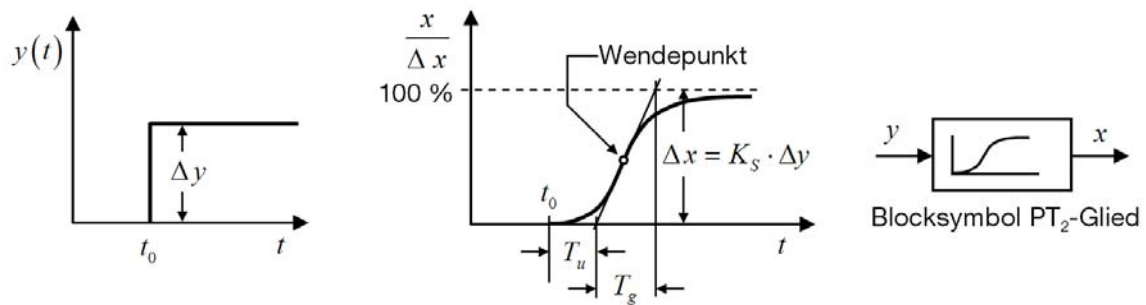


Abb. 49: Strecke 2. Ordnung (PT_2 -Strecke)

Eine nicht schwingungsfähige PT_2 -Strecke (Dämpfung $D > 1$) kann durch eine Reihenschaltung zweier PT_1 -Strecken ersetzt werden. Diese Zusammensetzung ist aus folgender Summe für den Endwert Δx der Regelgröße ersichtlich, die sich für einen Sprung Δy und $T_1 \neq T_2$ ergibt:

$$\Delta x = K_S \cdot \Delta y \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \right)$$

T_1 = Zeitkonstante der ersten Strecke, T_2 = Zeitkonstante der zweiten Strecke

Beispiel 28

Beispiele für PT_2 -Regelstrecken sind:

- Füllen zweier in Reihe liegender Behälter über Drosselstellen mit Luft oder Gas
- Feder-Masse-System mit Dämpfung
- RLC -Schwingkreis
- Temperaturanstieg in einem beheizten Warmwasserbehälter, bei dem das Thermometer in einer Schutzhülse sitzt

Leseprobe 3

6.6.2 Proportionalbereich

Betrachtet man die Reglergleichung $y = K_p \cdot e$, so hätte bei einem P-Regler eine beliebig große Regeldifferenz e eine entsprechend beliebig große Stellgröße y zur Folge. Dies ist in der Praxis natürlich nicht möglich, da die Stellgröße technisch begrenzt ist. Die Proportionalität zwischen der Stellgröße und der Regeldifferenz ist somit nur in einem bestimmten Bereich gegeben. Dieser Bereich wird *Proportionalbereich* X_p genannt. Nur innerhalb des Proportionalbereiches verhält sich die Stellgröße proportional zur Regeldifferenz.

Durch Veränderung des X_p -Bereiches lässt sich die Verstärkung des Reglers an die Strecke anpassen.

Der Proportionalbereich X_p ist der Bereich, um den sich die Regelgröße ändern muss, um die Stellgröße über den gesamten Stellbereich y_H zu ändern. Innerhalb X_p besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Regelgröße x und Stellgröße y .

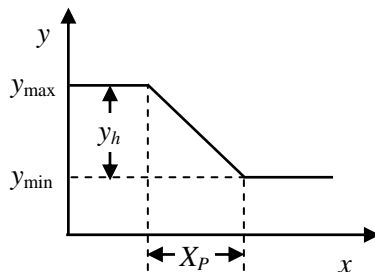


Abb. 69: Ideale Kennlinie eines P-Reglers

y_H = Stellbereich, X_p = Proportionalbereich der Regelgröße

Wird ein kleinerer X_p -Bereich gewählt, so reicht schon eine kleine Regeldifferenz aus, um den gesamten Stellbereich zu durchfahren. Die Verstärkung nimmt also mit kleinerem X_p zu. Der Proportionalbereich X_p und die Verstärkung (der Proportionalbeiwert) K_p des Reglers sind somit zueinander umgekehrt proportional.

Da innerhalb des Proportionalbereiches X_p der volle Stellbereich y_H durchfahren wird, lässt sich K_p folgendermaßen bestimmen:

$$K_p = \frac{y_H}{X_p} = \frac{\text{max. Stellbereich}}{\text{Proportionalbereich}} \quad \text{oder} \quad X_p = \frac{y_H}{K_p}$$

oder

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Bezieht man den Stellbereich auf 0 % bis 100 %, dann gilt:

$$K_p = \frac{1}{X_p} \cdot 100 \% \quad \text{bzw.} \quad X_p = \frac{1}{K_p} \cdot 100 \%$$

Der **Proportionalbeiwert** K_p hat die **Einheit der Stellgröße dividiert durch die Einheit der Regelgröße**, z. B. $W/^\circ C$. Der Proportionalbereich X_p ist in der Praxis oft nützlicher als der Proportionalbeiwert K_p . Bei Regelgeräten wird anstelle von K_p meist der **Proportionalbereich** X_p eingestellt, und zwar in der **gleichen Einheit wie die Regelgröße** x (in Kelvin, Volt, bar usw.). X_p ist ein Regelparameter. Durch die Eingabe von X_p erkennt man sofort, bei welcher Regelabweichung die Stellgröße 100 % erreicht hat. Speziell bei Temperaturregelgeräten ist es interessant zu wissen, bis zu welcher Temperatur mit 100 % Stellgröße gefahren wird.

Der Proportionalbereich X_p mit der Einheit der Regelgröße ist ein Einstellwert (Reglerparameter) des P-Anteils eines Reglers.

Üblicherweise wird der Proportionalbereich X_p als „bezogener Proportionalbereich“ $X_{p\%}$ angegeben (aber häufig nicht extra so gekennzeichnet). Dieser besagt, um wie viel Prozent vom Regelbereich x_H des Reglers sich die Regeldifferenz (oder die Regelgröße bei festem Wert der Führungsgröße) ändern muss, um den vollen Stellbereich y_H zu durchfahren. Der bezogene Proportionalbereich ist eine dimensionslose Größe und wird in Prozent angegeben.

$$X_{p\%} = \frac{X_p}{x_H} \cdot 100 \%$$

X_p = Proportionalbereich, x_H = Regelbereich

Beispiel 34

Für einen elektrischen Heizofen ist eine Führungsgröße von $w = 150^\circ C$ eingestellt. Wie die Kennlinie eines P-Reglers in **Abb.** zeigt, ist die Stellgröße der Regelabweichung nur im Bereich von $100^\circ C$ bis $150^\circ C$ proportional, also nur bei einer Abweichung bis zu 50 Kelvin vom Sollwert von $150^\circ C$. Der X_{p1} -Bereich beträgt 50 K. Unterhalb $100^\circ C$ ist das Maximum und oberhalb $150^\circ C$ ist das Minimum der Stellgröße erreicht, es wird jeweils der größte bzw. der kleinste Wert der Heizleistung abgegeben. Auch eine größere Regelabweichung als $50^\circ C$ ergibt einen maximalen Stellgrad von 100 %.

Der X_{p2} -Bereich stellt eine zum X_{p1} -Bereich unterschiedliche Reglerverstärkung dar.

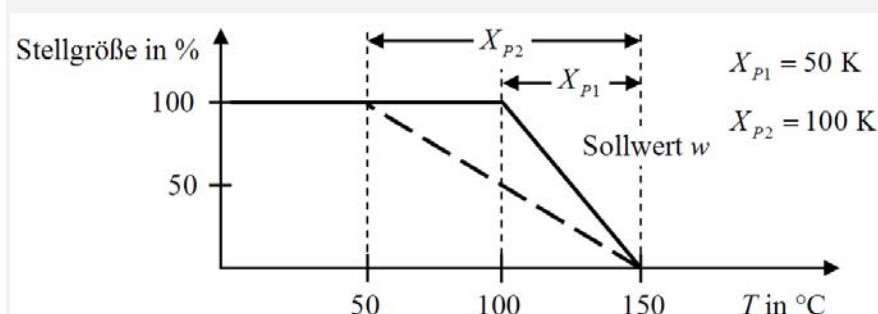


Abb. 70: Die Lage des X_p -Bereiches

Leseprobe 4

7.3 Auswertung der Sprungantwort nach Ziegler und Nichols

Häufig wird es bei einer industriellen Anlage nicht möglich sein, den Regelkreis zur Ermittlung von X_{pk} und T_k im grenzstabilen Zustand zu betreiben. Im Allgemeinen bereitet jedoch die Messung der Sprungantwort der Regelstrecke keine allzu großen Schwierigkeiten. Daher kann in vielen Fällen die Verwendung der zweiten Form der Einstellregeln von Ziegler und Nichols zweckmäßiger sein.

Voraussetzung ist, dass die Regelstrecke stabil ist und näherungsweise aperiodisches Übergangsverhalten aufweist. Dieses Verfahren basiert auf der Analyse des Antwortverhaltens der Regelstrecke (des Prozesses) auf eine sprungförmige Änderung des Wertes der Stellgröße. Es eignet sich auch für Strecken, die nicht zum Schwingen gebracht werden können. Der Regelkreis muss allerdings geöffnet werden, z. B. indem man ein Regelgerät in den Handbetrieb umschaltet, um direkt auf die Stellgröße Einfluss zu nehmen. Der Stellgradsprung sollte nach Möglichkeit in der Nähe der Führungsgröße stattfinden.

Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass sehr wenig Information über das System notwendig ist. Führungs- und Störgrößen werden allerdings gleich behandelt. Dieses Verfahren führt außerdem zu einem Überschwingen von 40 % bis 50 %.

Vorgehensweise

Durch Aufzeichnung der Streckensprungantwort werden die streckentypischen Parameter mit dem Wendetangentenverfahren bestimmt, wie bereits in Abschnitt 0 beschrieben wurde.

Man erhält die statische Verstärkung $K_S = \frac{\Delta x}{\Delta y}$, die Verzugszeit T_u und die Ausgleichzeit T_g .

Aus den Streckenparametern werden passend zum Reglertyp die Regelparameter aus **Tabelle** entnommen.

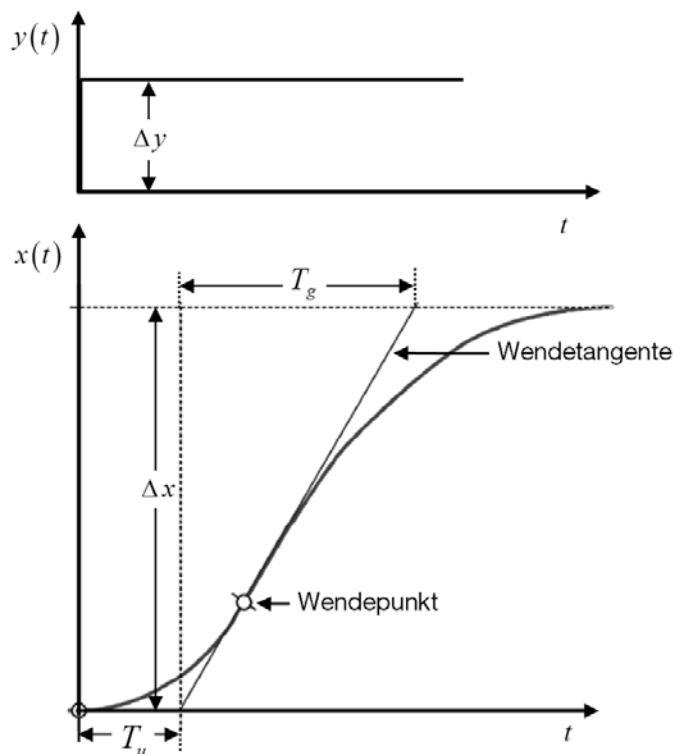


Abb. 103: Zur Bestimmung der Streckenparameter K_S , T_u und T_g aus der Sprungantwort der Strecke

Reglertyp	Einstellwerte Regler		
	K_P	T_N	T_V
P	$\frac{1}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	—	—
PI	$\frac{0,9}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$3,33 \cdot T_u$	—
PID	$\frac{1,2}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$2 \cdot T_u$	$0,5 \cdot T_u$

Tabelle 8: Reglereinstellwerte nach Auswertung der Sprungantwort von Ziegler und Nichols

Wichtige Anmerkung:

Für die Berechnung der Reglerparameter unter Nutzung von Hilfsgrößen, die von realen Istwerten x und Stellgrößen y abgeleitet wurden, müssen Normierungsfaktoren x_H und y_H eingefügt werden. x_H bezeichnet den Messbereich des Istwertes (Regelbereich der Regelstrecke) und y_H den Stellbereich des Reglers in realen Größen (z. B. 10...20 mbar oder 0...10 mm).

Beispiel:
$$P = \frac{1}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u} \cdot \frac{x_H}{y_H} \cdot 100 \%$$