

Leseprobe aus der ‚Simulierten Regelungstechnik‘ der Reihe
 ‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

Hier wird gezeigt, dass Regelkreise auf zweierlei Weise entstehen können:

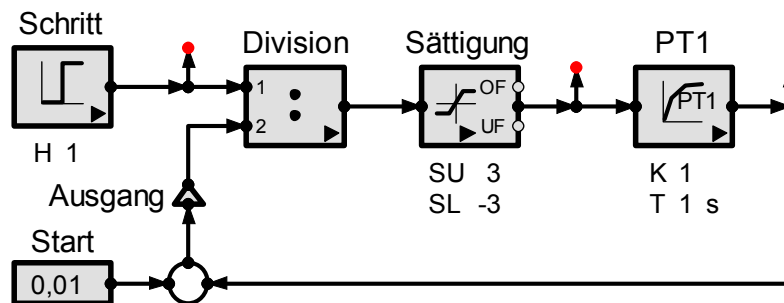
1. als Verhältnis-Regelung durch die Bildung des Quotienten aus Soll- und Istwert
2. durch Rekursion. Dazu wird gezeigt, wie Regler systematisch optimiert werden

Weitere Informationen zum Buch finden Sie unter

strukturbildung-simulation.de

2.7 Verhältnis-Regelung

Wenn eine Struktur mit einer Division beginnt, entsteht eine Verhältnis-Regelung. Ihr Ziel ist es, das Verhältnis von Ausgangsgröße (PT1 in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und Eingangs-Größe (hier ein Schritt=Sprung) zu 1 zu machen.



Rekursion als Verhältnis-Regelung mit Eingangs-Dividierer

Die Funktion einer Verhältnis-Regelung

Solange das Ausgangs-Signal ‚Ausgang‘ noch kleiner ist als das Eingangs-Signal ‚Schritt‘, ist die Division größer als 1. Dadurch steigt der PT1-Ausgang an, bis das Verhältnis Ausgang/Schritt genau 1 ist.

zum Anfangswert ‚Start‘

Am Beginn der Iteration ist der Ausgang der Verzögerung PT1 null. Der Nenner-Eingang des Dividierers darf aber nicht null sein. Das verhindert die Addition mit ‚Start‘.

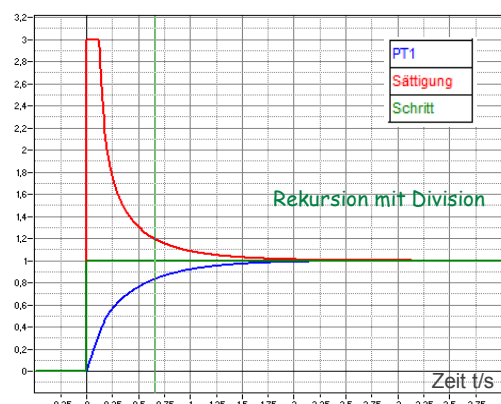
Der Anfangswert ‚Start‘ verfälscht das Verhältnis PT1/Schritt. Deshalb soll ‚Start‘ klein gegen den erwarteten Endwert sein. Dieser Endwert ist hier die willkürliche Eingangs-Größe ‚Schritt‘. Hier ist z.B.

$$\text{Start} = \text{Schritt} / 100.$$

Dann ist der Anfangswert der Division

$$\text{Schritt} * 100.$$

Um die Signale des Rekursions-Kreises noch angemessen darstellen zu können, wird die Sättigungs-Funktion eingebaut.



Die Signale in einem Rekursions-Kreis mit Sättigung.

In der Realität sind dies die Anschläge eines Systems, z.B. durch Versorgungs-Spannungen.

1.6 Strukturbildung mit Rekursion

In allen Kapiteln dieser ‚Strukturbildung und Simulation technische Systeme‘ werden Schaltungen, Baugruppen und ganze Anlagen analysiert und berechnet. Simulations-Programme berechnen die Messwerte von Strukturen durch **Iteration** (schrittweise Annäherung an den Endwert). Dabei kommt es oft vor, dass eingangsseitig Messwerte benötigt werden, die erst am Ausgang zur Verfügung stehen. Dieser Fall heißt **Rekursion**.

Rekursionen sind **Regelkreise**. Ihr Ziel ist, die **Regelabweichung** (hier die Differenz aus dem Ziel und dem Ausgang-Signal PT1 in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) **zu null** zu machen (siehe Band 1, Kapitel 1.4 ‚Einführung in die Regelungstechnik‘). Beispiele dazu folgen in vielen Kapiteln. Um sie verstehen zu können, muss das **Rekursions-Verfahren** bekannt sein. Wir erklären es hier an zwei Beispielen.

Rekursion mit Multiplizierer und Rekursions-Regler

Eingangsseitig wird das Produkt eines Ein-gangs-Signals mit dem noch unbekanntem Aus-gangs-Signal gebildet. Um es berechnen zu können, wird ein Rekursions-Regler installiert (in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ein Integrator für größte Genauigkeit).

Damit das Programm die Iteration beginnen kann, muss dem Regler ein Sollwert (das **Ziel**) vorgegeben werden. Das ist z.B. ein geforderter **Grenzwert oder Arbeitspunkt** (Beispiele folgen). Hier ist das Ziel noch ein freier Parameter.

zur Stabilität einer Rekursion

Rekursions-Kreise müssen immer mindestens eine Verzögerung enthalten, damit der Anfangswert der Simulation definiert ist. Mehrere Verzögerungen im Kreis bergen die Gefahr der Instabilität (siehe ‚Simulierte Regelungstechnik‘ von diesem Verfasser). Damit ein Regelkreis stabil arbeitet, darf er

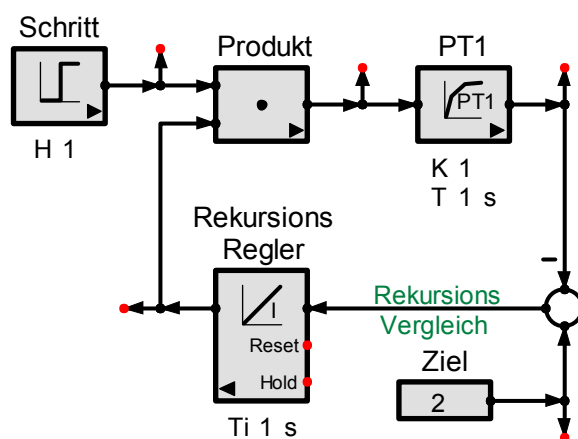
nicht mehr als zwei Verzögerungen

enthalten. Auch der Rekursions-Integrator ist eine Verzögerung.

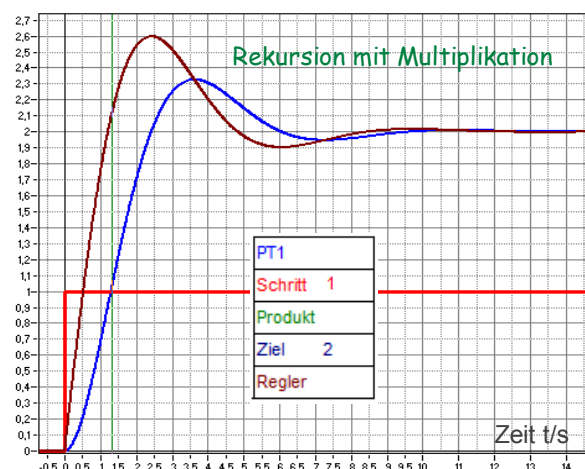
zu den Rekursions-Zeitkonstanten

Bei Rekursionen sind hier nur Stabilität des Kreises und seine Endwerte, nicht die Dauer der Simulation interessant. Deshalb reicht ein langsamer I-Regler aus, z.B. mit $T_i=1s$.

Die Zeitkonstante der Verzögerung ist frei wählbar. Damit die Rekursion möglichst schnell wird, soll $T_1=T_i$ sein.



die Struktur eines Rekursions-Regelkreises mit Eingangs-Multiplizierer und Integrator



Dynamik der obigen Rekursions-Struktur

2.4 Regler-Optimierung

Regler müssen so an die vorhandene Regelstrecke angepasst werden, dass der Regelkreis genau, schnell und stabil arbeitet. Der beste Kompromiss zwischen Schnelligkeit und Stabilität ist die ‚optimale Dynamik‘.

Zur Optimierung eines PID-Reglers müssen drei Parameter eingestellt werden:

1. Die **Proportional-Verstärkung V.P**

Zu zeigen ist, dass ein einfacher P-Regler

- nur bei Regelstrecken mit wenigen Verzögerungen befriedigende Resultate liefert
- und dass er bei PID-Regelungen für die optimale Dynamik sorgt.

2. Die **Integrations-Zeitkonstante T.I.**

Zu zeigen ist,

- dass der I-Regler die bleibende Regelabweichung beseitigt,
- dass dies umso schneller passiert, je kleiner T.I ist und
- dass ein Regelkreis bei zu kleiner T.I instabil werden kann.

3. Die **Differenzierer-Zeitkonstante T.D.**

Zu zeigen ist,

- dass ein D-Regler nur bei mehrfach verzögernden Strecken und schwacher Dämpfung erforderlich ist und
- dass er sowohl Schnelligkeit als auch Stabilität einer Regelung verbessern kann.

Wie man einen PID-Regler systematisch optimiert, zeigen wir umseitig.

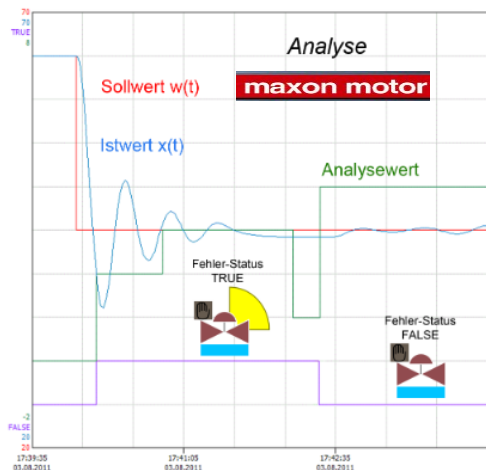
Als Alternative dazu bietet die Industrie PID-Regler an, die sich selbst optimieren können.

Zur Selbst-Optimierung des PID-Reglers

PID-Regler werden ohne und mit automatischer Optimierung angeboten.

Auf der nächsten Seite zeigen wir die manuelle Optimierung.

Kommerzielle PID-Regler führen sie automatisch durch.



Quelle: Regler-Optimierung Foxboro PLS 80E

Automatische Regler-Optimierung: Sollwert-Sprünge werden mehrfach vorgegeben. Zwischendurch werden die Regler-Parameter geändert, bis die Dämpfung optimal ist.

Selbstoptimierender PID-Regler von MAXON MOTOR

Bei der automatischen Optimierung werden kleine Sollwert-Sprünge vorgegeben und der Hochlauf des Istwerts beobachtet. Bei jeder Wiederholung wird der PID-Regler etwas schneller gemacht. Dadurch wird die Dämpfung des Kreises immer geringer. Die Regler-Parameter sind dann optimal, wenn der Istwert maximal um 15% über den Sollwert überschwingt.

Systematische Regler-Optimierung

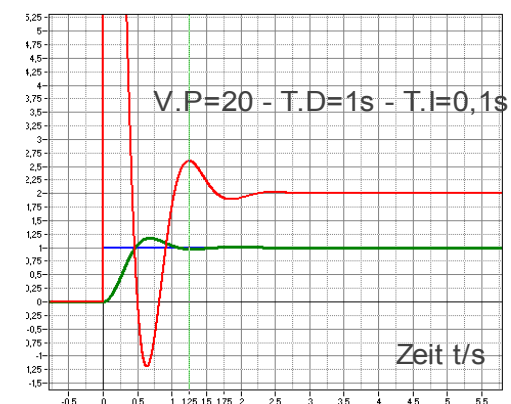
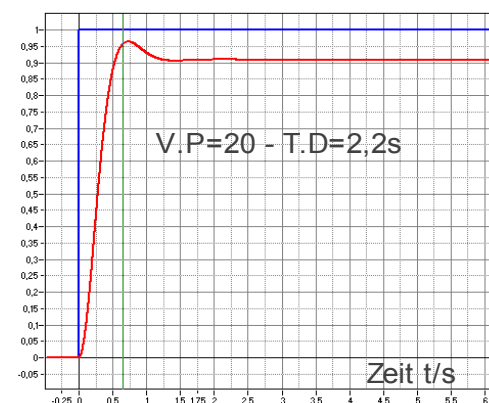
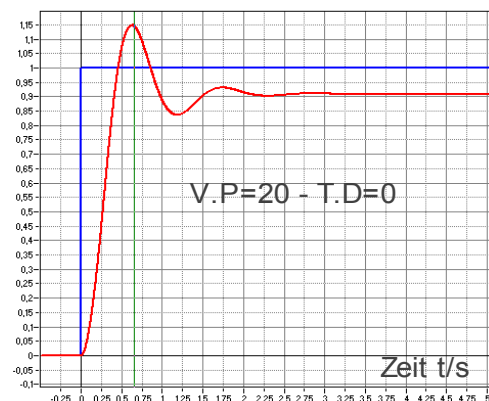
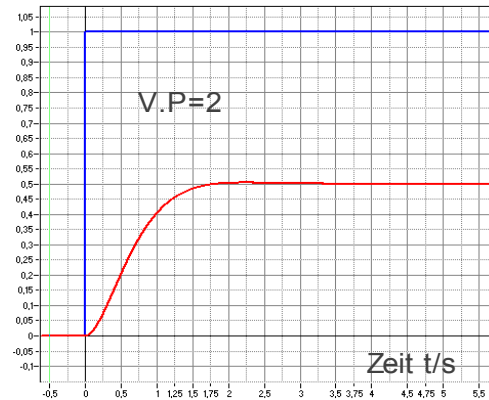
Bevor wir auf Einzelheiten eingehen, soll hier gezeigt werden, wie PID-Regler systematisch in Betrieb genommen werden. Wir gehen von einer Anlage aus, die zwischen den **Betriebsarten**

STEUERUNG und REGELUNG

umgeschaltet werden kann.

Die einzelnen Schritte:

1. Übersichts-Zeichnung anfertigen (falls noch nicht vorhanden) - mit den wichtigsten Messgrößen und Parametern
2. Betriebsart Steuerung: einen Arbeitspunkt **im unteren Leistungs-Bereich** einstellen
Das ist der Normal-Betrieb. Bei linearen Systemen ist dies eigentlich nicht nötig.
3. Regler voreinstellen:
 - zuerst nur einen kleinen Proportional (P)-Wert
 - Die I- und D-Anteile sollen null sein ($T.I \rightarrow \infty$, $T.d \rightarrow 0$).
4. auf Regelung umschalten
5. Stabilität testen: kleine Sprünge auf den Sollwert geben und die Antwort der Regelgröße beobachten. Sie wird bei trägen Regelstrecken stark gedämpft verlaufen.
6. die Aussteuerbarkeit durch Variation des Sollwerts testen
7. Wenn möglich ist das Störverhalten entsprechend zu testen.
8. Den Regler optimieren: Ziel ist die minimale Einstellzeit bei optimaler Dynamik.
 - Angefangen wird mit der Vergrößerung des P-Anteils, bis der Kreis leicht einzuschwingen beginnt.
 - Dann erhöht man den D-Anteil, bis die Dämpfung wieder zu groß wird.
 - Dann kann der P-Anteil nochmals vergrößert werden, bis die Dämpfung optimal ist.
 - Zuletzt wird der I-Regler schneller gemacht (V.I vergrößern, d.h. T.I verkleinern).
Die Grenze ist erreicht, wenn sich die Dynamik des Kreises wieder zu verschlechtern beginnt.
9. Dokumentation nicht vergessen:
 - Bedienungs-Anleitung
 - technische Daten, Diagramme.



systematische Optimierung eines PID-Reglers