

Versuch:

Zweipunktregler

1. Versuchsziel

Experimentelle Untersuchung der Eigenschaften von Zweipunktregelkreisen an proportional wirkenden Strecken; Ableitung von Maßnahmen zur Vergrößerung der Periodendauer der Regelgröße sowie praktische Bewertung von Näherungsrechnungen.

2. Grundlagen

In Zweipunktregelkreisen wird die Regelstrecke lediglich mit einer binären Stellgröße y beaufschlagt, je nach Anwendungsfall unipolar: $y = \{0; +Y_{\max}\}$ oder allg.: $y = \{Y_{\min}; Y_{\max}\}$.

Der Zweipunktregler besitzt ein nichtlineares Übertragungsverhalten, das Überlagerungsgesetz gilt nicht (sh. Abbildung 2-2). Die Strecke hat häufig P-T_n- oder P-T_n-T_t-Verhalten und wird dann durch P-T₁-T_t-Verhalten angenähert (nur dieser Fall wird im Versuch untersucht), z.B. Temperatur-, Druck-, Drehzahlregelungen. Häufig tritt aber auch der Fall auf, dass die Strecke I-Verhalten hat (Füllstandsstrecken). Für all diese Strecken wird meistens Linearität angenommen, das Überlagerungsgesetz gilt also dann nur für die Strecken.

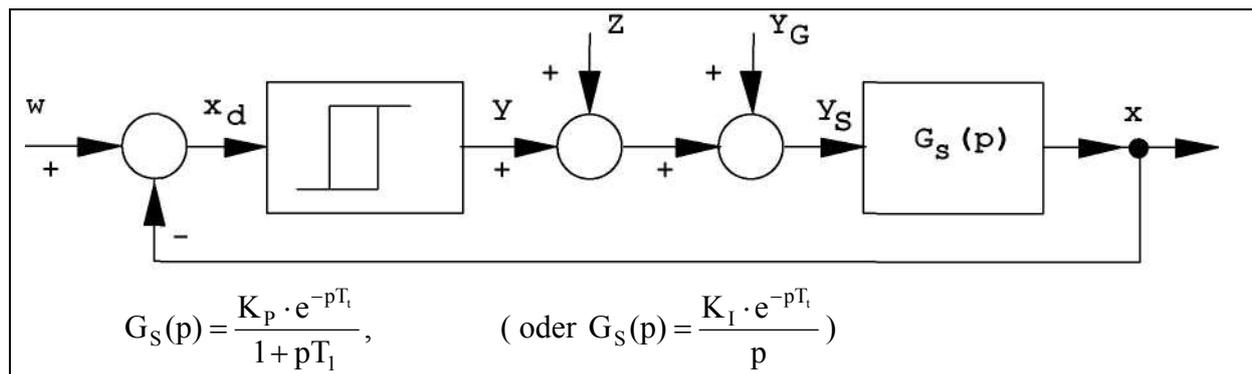


Abbildung 2-1: Blockschaltbild des Zweipunktregelkreises

Die im Blockschaltbild dargestellte Grundlast Y_G ist eine ständig wirkende, konstante Komponente der Stellgröße, die den Regler in vielen Anwendungsfällen energetisch entlasten kann und der Regelung weitere vorteilhafte Eigenschaften verleiht. Die Wirkung am Streckenausgang ergibt sich damit zu:

$$(1): \quad x = K_S \cdot (Y_G + y + z)$$

Der Zweipunktregler ohne Hysterese in der Kennlinie kann als Grenzfall eines P-Reglers mit unendlicher (!) Verstärkung verstanden werden, der immer in die Sättigung gesteuert wird. Deshalb kann man mit den Mitteln der linearen Theorie der Regelungstechnik erklären, dass P-T₁-T_t-Strecken an Zweipunktreglern Instabilität und damit Selbstschwingungen der Regelgröße verursachen. Dennoch werden solche Regelkreise wegen ihrer einfachen technischen Realisierbarkeit überall dort gern eingesetzt, wo die Amplituden der Pendelbewegungen klein genug bleiben bzw. so klein gemacht werden können, dass sie mit den Forderungen an die Regelung vereinbar sind. Zweipunktregelkreise sind weit verbreitet (Kühlschrank, Boiler, Kompressoren).

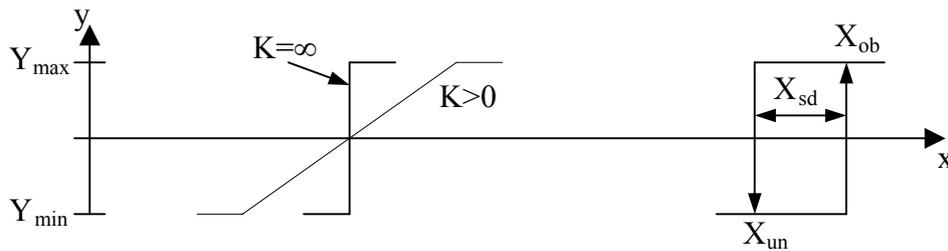


Abbildung 2-2: Zweipunktverhalten, X_{sd} -Schaltdifferenz, Hysterese

Die Eigenschaften von Zweipunktregelkreisen sind, im Unterschied zu vielen anderen Regelkreisstrukturen, durch direkte Betrachtungen im Zeitbereich relativ einfach zu erklären:

Die Regelgröße x muss den Schwellwert X_{un} unterschreiten ($x < X_{un}$), damit am Regler die Stellgröße $y = Y_{max}$ ausgegeben werden kann. Darauf hin wird die Regeldifferenz „abgebaut“. Erst, wenn die Regelgröße über das Ziel hinausgeschossen ist, d.h. wenn x über X_{ob} ansteigt, erfolgt eine nächste Reaktion des Reglers, es wird $y = Y_{min}$ eingestellt. Somit sinkt die Regelgröße ab, bis sie wieder den Wert X_{un} erreicht usw.. Folglich stellen sich im Regelkreis periodische Signale y und x ein.

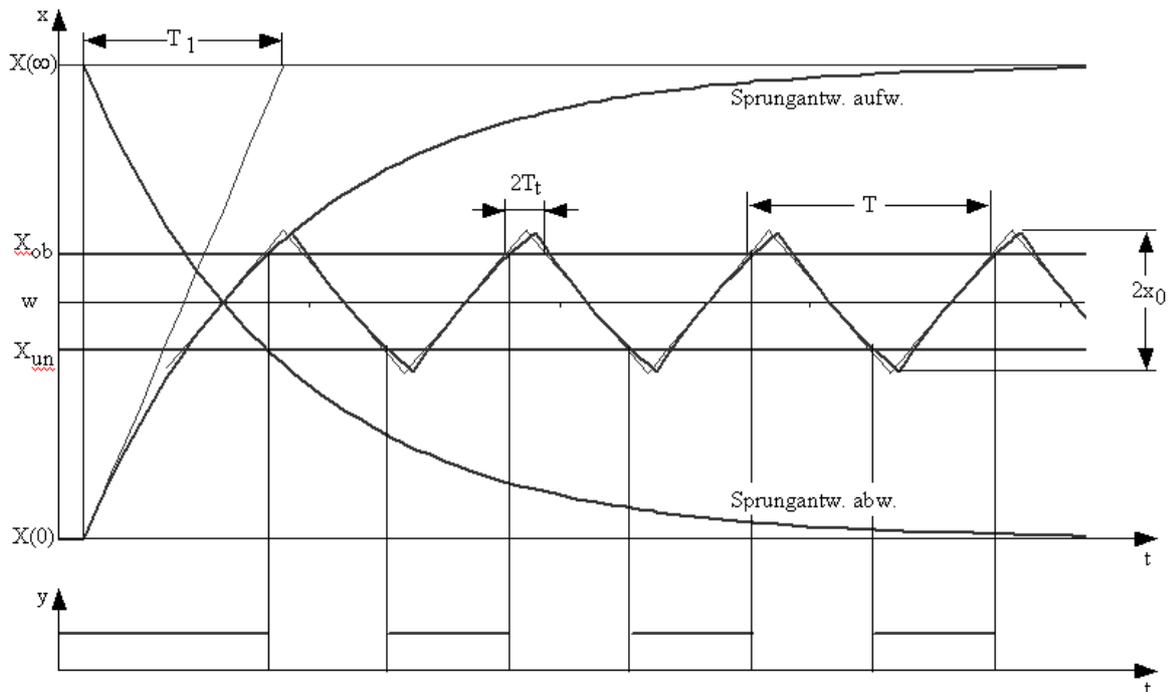


Abbildung 2-3: Signal-Zeitverläufe einer Zweipunktregelung

Legende und Formelzeichen zu Abbildung 2-3:

- $X(0)$ Anfangswert der Regelgröße x ,
- $X(\infty)$ Endwert der Regelgröße x ,
- x_0 Pendelamplitude von x ,
- T Schwingungsdauer von x
- T_1 Streckenzeitkonstante,
- T_t Streckentotzeit,
- w Sollwert (dargestellt ist der Sonderfall: $w = X(0) + \Delta x/2$)
- $\Delta x = X(\infty) - X(0)$ Wertebereich (Hub) der Regelgröße x für den Sprung $Y = y_{min} \rightarrow y_{max}$
- $X_{sd} = X_{ob} - X_{un}$ Schaltdifferenz (Hysterese) des Reglers,

Die Berechnung von Pendelamplitude, Periodendauer und Mittelwert der Regelgröße x kann unter Verzicht auf genaue Methoden für viele praktische Zwecke näherungsweise durch Analyse der Signal-Zeitverläufe von y und x durchgeführt werden:

Abbildung 2-3 zeigt die Verhältnisse für P-T₁-T_t-Strecken und den Sonderfall $w = X(0) + \Delta x/2$. Die Tangente an der Streckensprungantwort bestimmt das der Zeitkonstanten T₁ entsprechende Zeitintervall durch ihren Schnittpunkt mit dem Endwert der Sprungantwort (sh. Abbildung 2-3). Der Graph der Pendelbewegung der Regelgröße wird für die Näherungsrechnung dreieckförmig angenommen, aus Geradenabschnitten bestehend.

Folgende Näherungsbeziehungen ergeben sich daraus, dass bei T_t = 0 (reine P-T₁-Strecke) x nicht über den durch die Schaltschwellen X_{ob} bzw. X_{un} begrenzten Regelbereich hinaus schwingt und dass für den skizzierten Sonderfall $w = X(0) + \Delta x/2$ die Änderungsgeschwindigkeit von x aus den Verhältnissen ähnlicher Dreiecke bestimmbar ist:

$$(2): \quad \frac{\Delta x / 2}{T_1} = \frac{2 \cdot X_0}{T/2} = \frac{X_{sd}}{T/2}$$

Berücksichtigt man die Totzeit, so verlängert sich die Periodendauer um ca. 4T_t, womit sich Gl. (3) ergibt und eine von T_t abhängige Pendelamplitude x₀ nach Gl. (4):

$$(3): \quad T = 4 \cdot T_t + \frac{4 \cdot T_1 \cdot X_{sd}}{\Delta x}$$

$$(4): \quad X_0 = \frac{1}{2} \cdot X_{sd} + \frac{T_t}{2 \cdot T_1} \cdot \Delta x$$

Liegt der Sollwert w nicht wie in Abbildung 2-3 bei $X(0) + \Delta x/2$, entsteht ein anderer Charakter der Pendelbewegungen, sie werden asymmetrisch und der Mittelwert der Regelgröße liegt nicht mehr beim Sollwert! Verwendet man wieder ersatzweise Geradenabschnitte für den Zeitverlauf von x im Totzeitintervall nach dem Umschalten der Stellgröße, liefert die Approximation durch die Änderungsgeschwindigkeit

$$(5): \quad \dot{x}_{auf} = \frac{\Delta x - \left(w - X(0) + \frac{1}{2} \cdot X_{sd} \right)}{T_1} \quad (\text{aufwärts}) \text{ und}$$

$$(6): \quad \dot{x}_{ab} = \frac{w - X(0) - \frac{1}{2} \cdot X_{sd}}{T_1} \quad (\text{abwärts})$$

die Mittelwertverschiebung x_v von x gegenüber dem Sollwert w :

$$(7): \quad x_v \approx \frac{T_t}{T_1} \cdot [\Delta x - 2 \cdot (w - X(0))]$$

Überzeugen Sie sich davon im Praktikum!

3. Versuchsvorbereitung

- 3.1 Eignen Sie sich die oben erläuterten Grundlagen an; informieren Sie sich über Zweipunktregelungen an I-Strecken anhand von Lehrbüchern!
- 3.2 Schlagen Sie Maßnahmen zur Verringerung von Pendelamplitude x_0 u. Schaltfrequenz $1/T$ von Zweipunktregelkreisen mit P-Strecken vor!
- 3.3 Bestimmen Sie die Beziehung zwischen möglicher Grundlast Y_G und notwendiger Regellast y . Gehen Sie davon aus, dass sich die Störgröße symmetrisch zum Arbeitspunkt zwischen $+z_{\max}$ und $-z_{\max}$ ändern kann!
- 3.4 Skizzieren Sie den Zeitverlauf der Regelgröße für $w = X(0) + 0,2\Delta x!$

4. Hinweise zur Bedienung des Plotters

ACHTUNG: Nehmen Sie nur Einstellungen am linken Bedienfeld des Plotters („T“) vor; alle anderen Einstellungen dürfen nicht verändert werden!

Papier einlegen bzw. entnehmen:

Nach dem Einschalten des Plotters (roter Kippschalter in Stellung „1“) schalten Sie den oberen der beiden Schiebeschalter in die Stellung „OFF“. In diesem Zustand kann ein Blatt A4-Papier auf die Arbeitsfläche des Plotters aufgelegt oder von ihr entnommen werden.

Verwenden Sie am besten kariertes A4-Papier (Millimeterpapier ist nicht notwendig). Legen Sie ein solches Blatt im Querformat so auf die Arbeitsfläche des Plotters, dass es an der linken und unteren Begrenzungskante der weißen Fläche anliegt. Schalten Sie den oberen Schiebeschalter in die Stellung „CHART“; das Papierblatt lässt sich nun nicht mehr verschieben.

Messung aufnehmen:

Mit dem linken Drehschalter kann der Vorschub des Plotters eingestellt werden. Stellen Sie **vor jeder Messung** den Vorschub auf 20s/cm!

Zum Start einer Messung schalten Sie den oberen Schiebeschalter in die Stellung „PEN“ und beginnen den Plotvorgang, indem Sie den unteren Schiebeschalter kurz nach rechts in die Stellung „START“ drücken. Anschließend können Sie diesen Schalter wieder loslassen, er fällt selbsttätig in die Stellung „1x“ zurück. Der Schlitten fährt mit abgesenktem Stift bis zur rechten Endlage (diese befindet sich noch auf dem A4-Blatt!) und anschließend, nach Anheben des Stiftes, automatisch wieder nach links in seine Startposition zurück.

Plot abbrechen:

Soll ein laufender Plotvorgang abgebrochen werden, schalten Sie zunächst den oberen Schiebeschalter in die Stellung „CHART“ (Stift wird angehoben) und erhöhen Sie anschließend die Vorschubgeschwindigkeit durch Rechtsdrehen des linken Drehschalters bis auf max. 0,1 s/cm (**ACHTUNG:** Drehschalter nicht in Stellung „X“ schalten!). Nachdem der Schlitten wieder an seiner linken Endlage angekommen ist, stellen Sie den Vorschub wieder auf 20 s/cm!

5. Versuchsdurchführung

Sie finden am Versuchsplatz einen fertig aufgebauten Temperaturregelkreis vor, bestehend aus einem Windkanal mit einer Halogenlampe als Heizelement (Strecke, einige Kenngrößen sind einstellbar), einem Zweipunktregler, Leistungsverstärker, Potentiometer für Sollwert und Grundlast/Störgröße sowie Signal-Überlagerungsstellen. Die Einstellungen erfragen Sie beim Betreuer des Versuchs. Zur Registrierung des Zeitverlaufs der Regelgröße steht ein Schreiber zur Verfügung.

Wichtiger Hinweis: Sorgen Sie vor jeder Messung dafür, dass die Klappe am Ausgang des Windkanals in die Stellung „1“ gedreht und das Potentiometer des Lüfters auf Linksanschlag gestellt wird!

5.1 Notieren Sie sich zu Beginn des Versuchs die Temperatur der Halogenlampe. Nehmen Sie anschließend die Aufwärts-Sprungantwort der Temperatur-Regelstrecke entsprechend nachfolgender Hinweise auf, lassen Sie den Regelkreis dabei physisch geschlossen!

Hinweise: Zur Aufnahme der Sprungantwort starten sie zunächst den Vorschub bei abge- senktem Stift (Stellung „PEN“). In dem Moment, wenn der Stift eine senkrechte Linie im Karogitter des A4-Blattes erreicht, schalten Sie den Sprung ein. Markieren Sie sich den Einschalt- punkt durch Nachzeichnen der entsprechenden senkrechten Linie über die ge- samte Breite des A4-Blattes. An dieser Linie muss später auch der Abwärtssprung gestar- tet werden!

5.2 Nachdem der Schlitten des Plotters nach Ende der Aufzeichnung wieder in seine linke Endlage zurückgekehrt ist, notieren Sie sich die nun erreichte Temperatur der Halogen- lampe und nehmen danach auch die Abwärtssprungantwort der Regelstrecke (auf demsel- ben Blatt) auf!

5.3 Bestimmen Sie die Temperatur, bei der sich die Graphen von Aufwärts- und Abwärts- sprungantwort schneiden! Stellen Sie diese Temperatur am Sollwertgeber ein!

5.4 Registrieren Sie die Pendelbewegung der Regelgröße mit Hilfe des Schreibers bei unver- ändertem Sollwert, aber unterschiedlichen Werten der Schaltdifferenz (Hysterese)! Ver- wenden Sie dafür ein neues A4-Blatt! Lassen Sie die Halogenlampe nach jeder Messung auf Raumtemperatur abkühlen (Klappe des Windkanals öffnen und Potentiometer zur An- steuerung des Lüfters auf Rechtsanschlag stellen).

Ermitteln Sie aus den Messkurven für jeden eingestellten Hysteresewert die Werte für Pen- delamplitude und Schwingungsdauer!

5.5 Stellen Sie eine Hysterese von $\pm 0,5V$ (entspricht $\pm 5K$) ein! Verringern Sie den Sollwert soweit wie (sinnvoll) möglich nach unten und starten Sie einen neuen Messvorgang! Verwenden Sie dafür ein neues A4-Blatt!

Ermitteln Sie aus der Messkurve die Mittelwertverschiebung der Regelgröße!

5.6 Stellen Sie den Sollwert auf die im Pkt. 5.3 bestimmte Temperatur! Realisieren Sie nach dem Abkühlen der Halogenlampe eine gerätetechnisch mögliche Aufteilung in Grund- last (Y_G) und Regellast (y); nehmen Sie eine Messkurve auf und registrieren Sie die Auswirkungen auf den Verlauf der Regelgröße!

5.7 In Absprache mit dem Betreuer können Sie fakultativ weitere Versuche durchführen.

6. Versuchsauswertung

- 6.1 Bestimmen Sie aus der Sprungantwort die Übertragungsfunktion $G(p)$ der Strecke (Approximation durch ein P-T₁-T_t-Modell)!
- 6.2 Berechnen Sie, unter Zugrundelegung der ermittelten Parameter der Übertragungsfunktion des Streckenmodells, der eingestellten Werte für Sollwert und Hysterese und des gemessenen Hubs der Regelgröße (Δx), die theoretische zu erwartenden Werte für Pendelamplitude und Schwingungsdauer für alle unter Pkt. 5.4 aufgenommenen Kurven!
- 6.3 Berechnen Sie die theoretisch zu erwartende Mittelwertverschiebung für die unter Pkt. 5.5 aufgenommene Kurve!
- 6.4 Stellen Sie berechnete und praktisch ermittelte Parameter der Pendelbewegungen der Regelgröße übersichtlich in Tabellenform gegenüber und bewerten Sie diese Ergebnisse! Benennen Sie mögliche Ursachen für Abweichungen!
- 6.5 Schlagen Sie weitere Möglichkeiten zur Verringerung der Schaltfrequenz vor!

7. Empfohlene Literatur

- 1 Mann; Schiffelgen; Froriep.: Einführung in die Regelungstechnik, Hanser Verlag 8. Aufl. 2000
- 2 Töpfer, H.; Besch, P.: Grundlagen der Automatisierungstechnik, Verlag Technik, Berlin 2. Aufl. 1990
- 3 Autorenkollektiv: Lehrbuch der Automatisierungstechnik, Verlag Technik, Berlin 12. Aufl. 1980