

1. Temperatur-Regelstrecke

Zur Regelung der Temperatur in einer Flüssigkeit wird ein Tauchsieder gemäß Abb.1.1 eingesetzt. Die Steuerung der Energiezufuhr erfolgt über einen Stromrichter, welcher mit einer Eingangsspannung von 0 bis 10V betrieben wird. Der Temperaturfühler liefert bei einer Temperatur von 0 bis 100°C eine Spannung von 0 bis 10V.

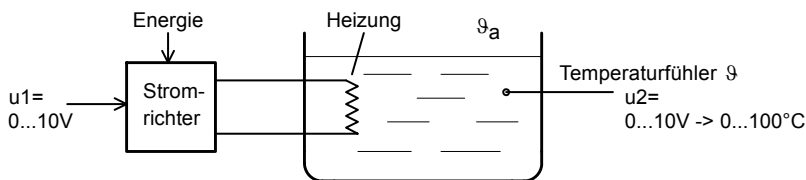


Abb. 1.1: Temperatur-Regelstrecke

Das Streckenverhalten kann messtechnisch durch die Aufzeichnung der Sprungantwort ermittelt werden. Abb. 1.2 zeigt eine mögliche Sprungantwort der Regelstrecke, wenn die Anfangstemperatur 20°C beträgt.

Zur Begründung:

Würde die zugeführte Energie komplett an die Flüssigkeit abgegeben, würde die Temperatur linear ansteigen. Mit zunehmender Temperatur wird aber Energie an die Außentemperatur abgegeben. Das heißt: Die Zunahme der Temperatur pro Zeiteinheit wird bei gleicher Energiezufuhr geringer; der Anstieg der Temperatur wird flacher. Ab einer bestimmten Temperatur ist die abgegebene Energie so groß wie die zugeführte Energie. Es findet, solange nicht der Siedepunkt erreicht wird, ein Ausgleich zwischen zugeführter und abgegebener Energie statt. Die Strecke hat in erster Näherung bei Vernachlässigung anderer Verluste P-T1-Verhalten!

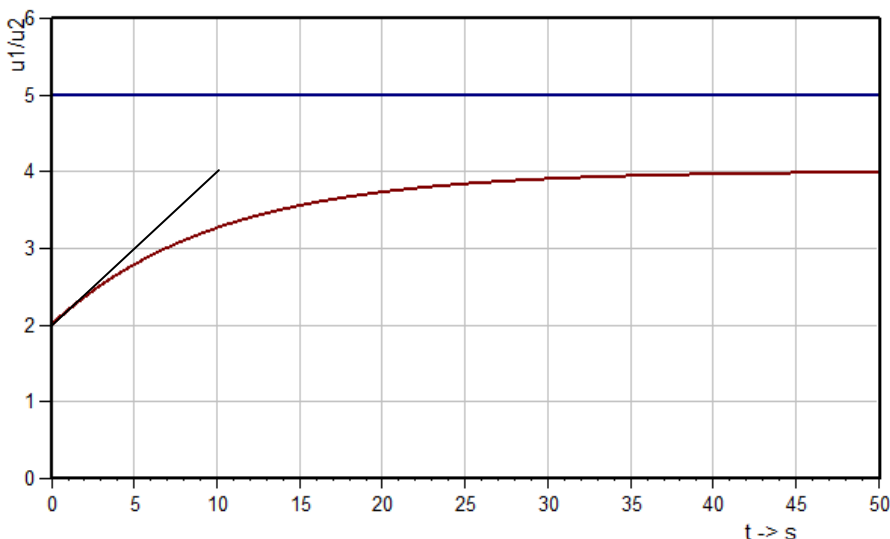


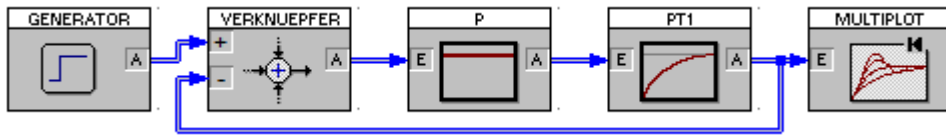
Abb. 1.2: Sprungantwort der Regelstrecke

Aus dem Beispiel lässt sich ablesen, dass die P-T1-Strecke eine Zeitkonstante von $T_{1S}=10s$ hat. Der Endwert von u_2 ist 4V bei einer Eingangsgröße von 5V. Daraus folgt für die Streckenverstärkung

$$K_{PS} = \frac{4V}{5V} = 0,8.$$

2. P-T1-Strecke mit P-Regler

Mit Hilfe der Simulation soll das Verhalten einer P-T1_Strecke mit einem P-Regler untersucht werden:



Das folgende Diagramm zeigt die Sprungantworten des Systems nach einem Sprung der Eingangsgröße von 0 auf 1V bei den Streckenparametern $K_{PS}=1$ und $T_{1S}=5s$ für verschiedene Reglerverstärkungen K_{PR} .

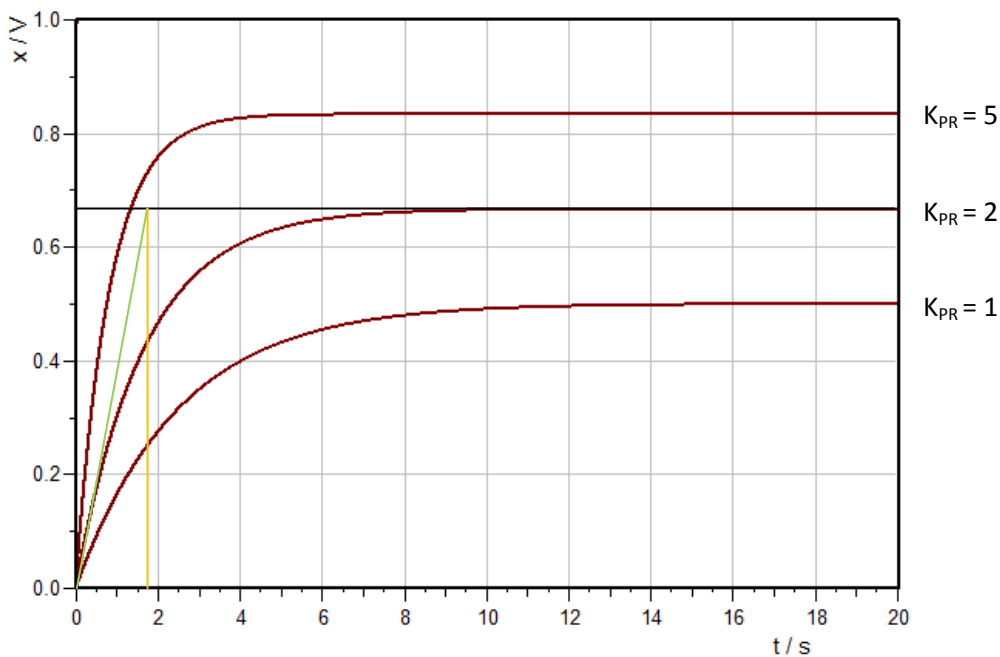


Abb. 2.1: Sprungantwort P-T1-Strecke mit P-Regler

Folgerungen:

- Die Sprungantwort eines Systems mit P-T1-Strecke und P-Regler weist P-T1-Verhalten auf.
- Die Zeitkonstante des Systems ist umso kleiner, je größer K_{PR} gewählt wird.
- Es entsteht eine bleibende Regelabweichung, welche umso kleiner ist je größer K_{PR} gewählt wird.

	Regelungstechnik	© Udo John
	Regelung einer P-T1-Strecke	Seite 3 von 5

2.1. Berechnung der Führungsübertragungsfunktion

Die Bestimmung des Führungsverhaltens wird mit Hilfe des Frequenzganges des geschlossenen Regelkreises durchgeführt.

Die Führungsübertragungsfunktion ist $\underline{F}_W = \frac{1}{1+\underline{F}_0}$ mit $\underline{F}_0 = \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S$.

Mit $\underline{F}_R = K_{PR}$ und $\underline{F}_S = \frac{K_{PS}}{1+j\omega T_{1S}}$

ist $\underline{F}_0 = \frac{K_{PR} \cdot K_{PS}}{1+j\omega T_{1S}}$ und $\underline{F}_W = \frac{1}{1+\frac{K_{PR} \cdot K_{PS}}{1+j\omega T_{1S}}}$

$$\underline{F}_W = \frac{K_{PR} \cdot K_{PS}}{1+K_{PR} \cdot K_{PS} + j\omega T_{1S}} \cdot \frac{(1+K_{PR} \cdot K_{PS})}{(1+K_{PR} \cdot K_{PS})}$$

$$\underline{F}_W = \frac{\frac{K_{PR} \cdot K_{PS}}{1+K_{PR} \cdot K_{PS}}}{1+j\omega \frac{T_{1S}}{1+K_{PR} \cdot K_{PS}}} = \frac{K_P^*}{1+j\omega \cdot T_1^*} \quad \text{mit} \quad K_P^* = \frac{K_{PR} \cdot K_{PS}}{1+K_{PR} \cdot K_{PS}} \quad \text{und} \quad T_1^* = \frac{T_{1S}}{1+K_{PR} \cdot K_{PS}}$$

Die Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises weist also P-T1-Verhalten mit den Parametern K_P^* und T_1^* auf.

Beispiel:

In dem Beispiel nach Abb. 2.1 ergibt sich für $K_{PS}=1$ und $T_{1S}=5s$ sowie $K_{PR}=2$

$$K_P^* = \frac{2 \cdot 1}{1+2 \cdot 1} = 0,666 \quad \text{und} \quad T_1^* = \frac{5s}{1+2 \cdot 1} = 1,66s \quad (\text{vgl. Abb. 2.1!}).$$

Schlussfolgerung:

Auf Grund der bleibenden Regelabweichung ist ein reiner P-Regler für die Regelung einer P-T1-Strecke (generell für Strecken mit Ausgleich) nicht geeignet!

Abhilfe kann geschaffen werden, indem der Regler zusätzlich I-Verhalten aufweist, wie im folgenden Kapitel aufgezeigt wird.

3. P-T1-Strecke mit PI-Regler

Zur Regelung der Temperatur-Regelstrecke mit P-T1-Verhalten wird ein PI-Regler eingesetzt. Abb. 3.1 zeigt die Sprungantwort des Systems für $K_{PS}=1$ sowie $T_{NR}=T_{1S}=5s$ bei verschiedenen Reglerverstärkungen K_{PR} .

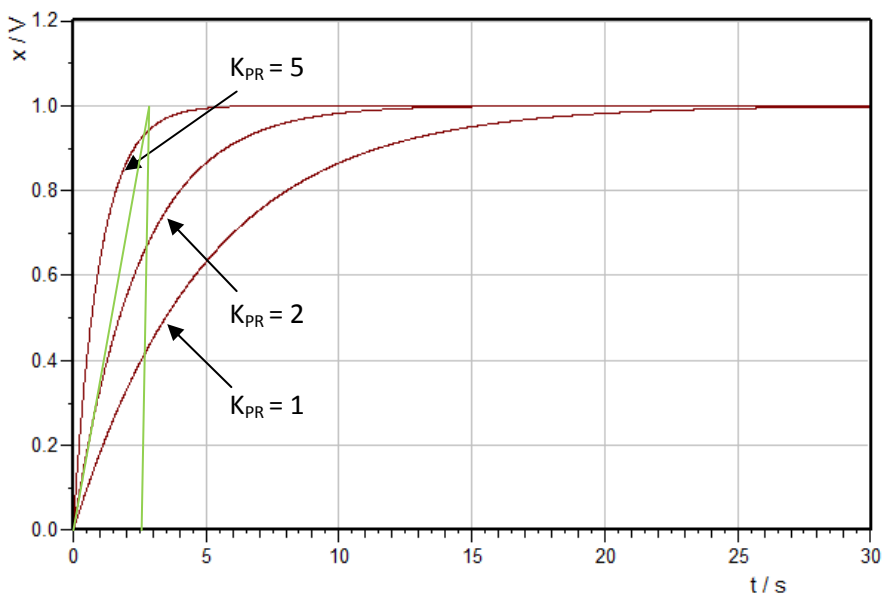
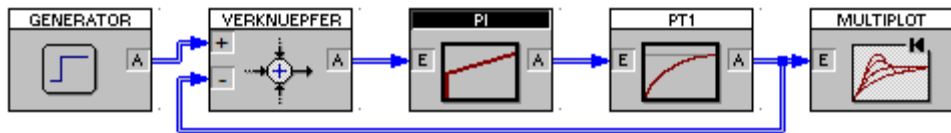


Abb. 3.1: Sprungantwort P-T1-Strecke mit PI-Regler ($T_{NR}=T_{1S}$)

Folgerungen:

- Die Sprungantwort eines Systems mit P-T1-Strecke und PI-Regler weist P-T1-Verhalten auf, wenn die Nachstellzeit des Reglers T_{NR} gleich der Streckenzeitkonstanten T_{1S} ist.
- Die Zeitkonstante des Systems ist umso kleiner, je größer K_{PR} gewählt wird.
- Es entsteht keine bleibende Regelabweichung.

	Regelungstechnik	© Udo John
	Regelung einer P-T1-Strecke	Seite 5 von 5

3.1. Berechnung der Führungsübertragungsfunktion

Die Bestimmung des Führungsverhaltens wird wieder mit Hilfe des Frequenzganges des geschlossenen Regelkreises durchgeführt.¹

Die Führungsübertragungsfunktion ist $\underline{F}_W = \frac{1}{1+\underline{F}_0}$ mit $\underline{F}_0 = \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S$.

Mit $\underline{F}_R = K_{PR} \cdot \left(1 + \frac{1}{j\omega T_{NR}}\right)$ und $\underline{F}_S = \frac{K_{PS}}{1+j\omega T_{1S}}$

ist

$$\underline{F}_0 = K_{PR} \cdot \left(1 + \frac{1}{j\omega T_{NR}}\right) \cdot \frac{K_{PS}}{1+j\omega T_{1S}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{F}_0 = K_{PR} \cdot \frac{(1+j\omega T_{NR})}{j\omega T_{NR}} \cdot \frac{K_{PS}}{(1+j\omega T_{1S})}$$

mit $T_{NR}=T_{1S}$ ist $\underline{F}_0 = \frac{K_{PR} \cdot K_{PS}}{j\omega T_{NR}}$

Dann ist

$$\underline{F}_W = \frac{1}{1+j\omega \frac{T_{NR}}{K_{PR} \cdot K_{PS}}} = \frac{K_P^*}{1+j\omega \cdot T_1^*} \quad \text{mit} \quad K_P^* = 1 \quad \text{und} \quad T_1^* = \frac{T_{NR}}{K_{PR} \cdot K_{PS}} = \frac{T_{1S}}{K_{PR} \cdot K_{PS}}$$

Die Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises weist also P-T1-Verhalten mit den Parametern K_P^* und T_1^* auf. Da $K_P^*=1$ ist, tritt keine bleibende Regelabweichung auf. Die Verzögerungszeit ist umso kleiner, je größer K_{PR} gewählt wird.

Beispiel:

Nach Abb. 3.1 ist für $K_{PS}=1$ sowie $T_{NR}=T_{1S}=5s$ und $K_{PR}=2$ ist $T_1^* = \frac{5s}{2 \cdot 1} = 2,5s$ (vgl. Abb.3.1).

Schlussfolgerung:

Ein PI-Regler ist für die Regelung einer P-T1-Strecke gut geeignet.

Es tritt keine bleibende Regelabweichung auf.

Wählt man die Nachstellzeit des Reglers so große wie die Streckenzeitkonstante weist das System P-T1-Verhalten auf.

¹ Die Bearbeitung dieses Kapitels setzt Kenntnisse über den Aufbau des PI-Reglers voraus (siehe dort!)