

Versuch V1: Temperaturregelung

Einführung

Corona-Hinweis:

Dieser Versuch wird normalerweise an einer realen Temperaturregelstrecke im Labor durchgeführt. Auf Grund der aktuell fehlenden Möglichkeit Präsenzveranstaltungen an der THI abhalten zu können, wird dieser Versuch mit Hilfe von Matlab/Simulink simulativ nachgestellt.

1.1 Ziel des Versuchs

Es ist eine Regelung zu entwerfen, um die Temperatur in einem Rohr/Schlauch (Regelstrecke) auf gewünschte Sollwerte einzustellen. Die Strecke selbst weist eine thermische Zeitkonstante sowie eine Totzeit auf. Stellglied ist ein (modifizierter) Fön. Als Regler findet ein industrieüblicher Kompaktregler Verwendung.

Die Regelung ist so auszulegen, dass gewünschte Temperaturwerte schnell und genau eingenommen werden.

Dabei soll der geschlossene Regelkreis unempfindlich gegen Störungen sein. Zur Beurteilung der Regelgüte sind die statischen Regelabweichungen zu bestimmen und mit der Auswirkung der Störungen auf das ungeregelte System zu vergleichen.

1.2 Benötigte Vorkenntnisse

Grundkenntnisse der Regelungstechnik, Verfahren von Ziegler-Nichols zur Reglerauslegung.

2 Versuchsbeschreibung und -aufbau

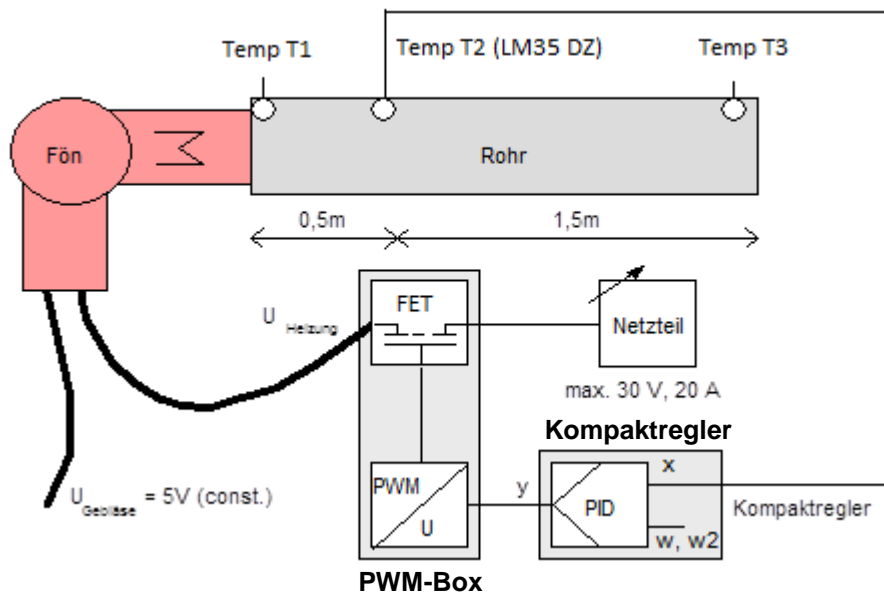


Abb. 1: Versuchsaufbau

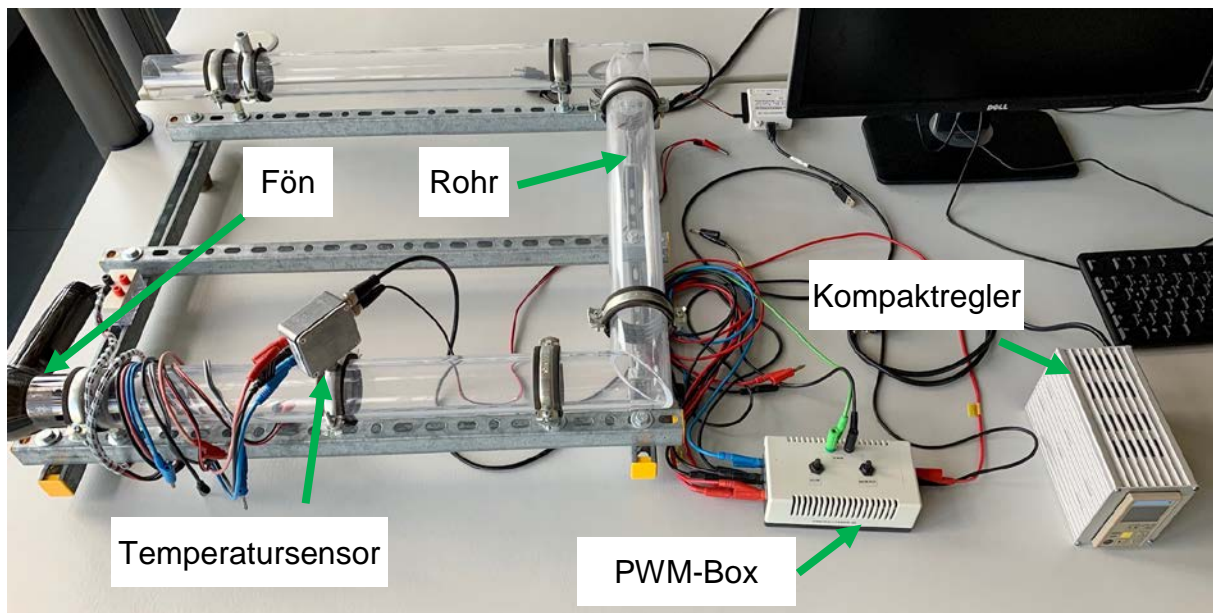


Abb. 2: Realer Versuchsaufbau

Mit Hilfe eines umgebauten Haartrockners (max. 30 V Heizspannung) wird warme Luft in das Rohr bzw. den Schlauch eingeblasen. Der Präzisions-Temperatursensor LM35 DZ misst die Rohrrinnentemperatur T2 und führt dem Kompaktregler eine entsprechende Spannung zu. Abhängig von der Führungsgröße und der Regelgröße ergibt sich ein Reglerausgangssignal (0 ... 10 V), das mit Hilfe eines Umsetzers in ein PWM-Signal (0 ... 100%) gewandelt wird. Mit diesem Signal wird ein Feldeffekt-Transistor (FET) getaktet und so die Heizleistung zwischen 0 ... 100% eingestellt (100%: ca. $30 \text{ V} \cdot 15 \text{ A} = 450 \text{ W}$).

Das Hauptproblem der Regelung besteht darin, dass sich die Heizleistung wegen der Laufzeit im Rohr und dessen Wärmeleitung/-kapazität nur verzögert an der Temperaturmessstelle (T2) auswirkt.

Zur Erfassung der Temperatur an der Regelstrecke können drei Fühlertypen eingesetzt werden:

Das **Widerstandsthermometer PT 100** ist ein metallischer Fühler, dessen Widerstandsänderungen und Temperaturänderungen einander proportional sind ($100\ \Omega$ bei 0°C). Mit steigender Temperatur nimmt der Widerstand und somit die Spannung am Sensor nahezu linear zu. Der Fühler weist einen positiven Temperaturkoeffizienten auf. Angeschlossen am Regler TROVIS 6493 wird die Temperatur im Display angezeigt. Eine Messumformung von Spannungsänderung zu entsprechender Temperaturänderung gemäß spezifischem Kennlinienverlauf des PT 100 erfolgt im Regler selbst.

Der **PTC-Temperaturfühler KT 210** verfügt ebenfalls über einen positiven Temperaturkoeffizienten. Dieser Kaltleiter (Widerstand fällt mit sinkenden Temperaturen) wird aus Halbleiterwerkstoffen hergestellt. Im Gegensatz zum Widerstandsthermometer Pt 100 wird der KT 210 mit einem Vorwiderstand von $6,9\ \text{k}\Omega$ und einer Versorgungsspannung von $24\ \text{V}$ betrieben.

Der Vorteil dieser Sensoren liegt darin, dass die Widerstandsänderung gegenüber metallischen Temperaturfühlern sehr viel größer ist. Dadurch können auch kleinere Temperaturänderungen ohne größeren Schaltungsaufwand gemessen werden. Andererseits ist der Temperaturmessbereich deutlich kleiner.

Im Versuch wird der kostengünstige **Präzisions-Temperatursensor LM35 DZ** in der Bauform TO-92 eingesetzt. Er besitzt eine lineare Ausgangsspannung zur anliegenden Temperatur. Zudem bedarf er keiner externen Kalibrierung und arbeitet bei Raumtemperatur von $25\ ^\circ\text{C}$ mit einer Genauigkeit von $\pm 0,25\ ^\circ\text{C}$ und im gesamten Messbereich von $-55\ ^\circ\text{C}$ bis $+150\ ^\circ\text{C}$ mit einer Genauigkeit von $\pm 0,75\ ^\circ\text{C}$. Die Empfindlichkeit des LM35 DZ beträgt $10,0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ bei einer möglichen Versorgungsspannung von $4 \dots 30\ \text{VDC}$. Ebenfalls am Analogeingang IN1 des Reglers angeschlossen, wird die Signalspannung ($0\ \text{V} \dots 10\ \text{V}$) über eine Konvertierungskennlinie (für den Versuch voreingestellt) in den entsprechenden Temperaturwert ($0 \dots 100\ ^\circ\text{C}$) gewandelt und auf dem Display des Kompaktreglers angezeigt.

3 Vorbereitungsaufgaben

Arbeiten Sie die Versuchsanleitung vollständig durch. Fragen zum Versuchsablauf müssen bei der Versuchsbesprechung beantwortet werden können.

Die folgenden Aufgaben sind **schriftlich auszuarbeiten und spätestens einen Tag vor dem Versuch per Email an den Betreuer zu schicken**.

1. Wie lautet die Formel zur Berechnung der Regelabweichung e ?
2. Zum besseren Vergleich der Regelgüte wird eine relative Regelabweichung eingeführt.
Geben Sie eine Formel für eine relative Regelabweichung an. Dabei soll ein völliges Versagen der Heizung zu einer relativen Regelabweichung von $e_{rel} = -100\%$ führen!
3. Vergleichen Sie die Kennlinie eines PT100-Fühlers mit der eines Halbleitertemperatur-Sensors (z.B. KT210). Identifizieren Sie die Unterschiede und geben Sie jeweils den möglichen Temperaturmessbereich an.
4. Wie lässt sich **graphisch** die Zeitkonstante des Einschwingvorgangs eines PT1-Systems bestimmen? Nennen Sie drei unterschiedliche Verfahren.
Unter einem PT1-System versteht man z.B. ein einfaches RC-Glied (Tiefpass), dessen Kondensatorspannung sich während des Lade- bzw. Entladevorgangs mit einer e-Funktion ändert.
5. Zeichnen Sie für den Temperaturregelkreis die Regelkreisstruktur mit den vier Grundblöcken *Regler*, *Stellglied*, *Strecke* und *Sensor* (siehe Vorlesungsfolien). Welche Komponenten in diesem Versuch würden Sie den einzelnen Blöcken zuordnen?
6. Welchen physikalischen Größen entsprechen in diesem Versuch die Führungsgröße w , die Regelgröße y und die Stellgröße u ?
7. Nennen Sie mindestens drei Störgrößen, die den Regelkreis beeinflussen könnten.
8. Legen Sie nach Ziegler/Nichols einen PID-Regler aus, wenn sowohl die kritische Verstärkung K_{krit} als auch die kritische Zeitkonstante T_{krit} bekannt sind:

$$K_{krit} = 15 \text{ und } T_{krit} = 10\text{s}$$

Hinweis:

Bei Fragen zur Versuchsanleitung und zum Vorbereitungsteil sind diese **rechtzeitig vor Beginn** des Praktikumsversuchs mit dem Betreuer zu klären.

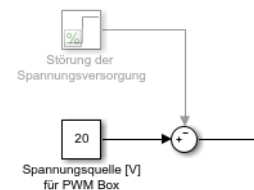
4 Versuchsdurchführung

4.1 Aufgabenstellung

4.1.1 Ungeregeltes System

- Bestimmen Sie die Raumtemperatur T_{Raum} aus dem Modell, indem Sie die Strecke z.B. ohne Heizung simulieren (Stellgröße $u = 0$).
- Analysieren Sie nun das Führungsverhalten, indem Sie als Stellgröße eine Spannung von $U = 20\text{V}$ an den Eingang der Regelstrecke legen (dies entspricht einem Sprung bei $t=0$).

Verbinden Sie dazu den Eingang der Regelstrecke „Fön und Rohr“ direkt mit dem Ausgang der Summenstelle an der Spannungsquelle (links oben).



Achtung: sollten Sie auf dem Scope keinen sinnvollen Wertebereich angezeigt bekommen, nutzen Sie die Schaltfläche zur Autoskalierung



- Bestimmen Sie **graphisch** die Zeitkonstante des Einschwingvorgangs der Temperatur unter der Annahme, dass es sich um ein PT1-System (einfache e-Funktion wie bei RC-Glied) handelt. Benutzen Sie dazu **mindestens zwei möglichst unterschiedliche** Methoden.

Vergleichen Sie die bestimmten Werte für die Zeitkonstante.

- Wodurch lassen sich die großen Unterschiede begründen?
 - Treffen Sie eine Aussage, ob es sich bei dem System um ein PT1-System handeln kann oder nicht. Begründen Sie Ihre Aussage.
- Wiederholen Sie die letzte Simulation, schalten aber zusätzlich zum Zeitpunkt $t=250\text{s}$ eine Störung auf, indem Sie die Spannung auf 18V reduzieren.
 - Bestimmen Sie die absolute und relative Regelabweichung aus dem simulierten Verlauf der Regelgröße, die sich durch die Störung ergibt.
Hinweis: betrachten Sie dazu die Temperatur im ungestörten Fall als Sollwert.

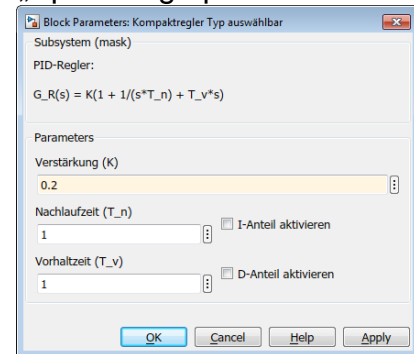
4.1.2 Reglereinstellung nach Ziegler/Nichols

Aus der Vorlesung ist bekannt, dass ein geschlossener Regelkreis bei grenzstabiler Auslegung am Ausgang ein stationäres Sinussignal bei konstanter Führungsgröße liefert. Liegt jedoch wie hier ein System mit Stellgrößenbegrenzung (begrenzte Heizleistung) vor, kann bei Überschreiten der kritischen Reglerverstärkung die Ausgangsgröße dennoch nicht über alle Grenzen anwachsen. Das Auffinden der

kritischen Reglerverstärkung durch Beobachten der Ausgangsgröße ist also nicht ohne weiteres möglich. Umgangen werden kann dieses Problem durch Beobachten einer internen Größe, beispielsweise der Stellgröße u . Diese muss ebenfalls einen sinusförmigen Verlauf aufweisen und darf im grenzstabilen Fall nicht durch die Begrenzung abgeschnitten sein.

Durchführung:

- Verbinden Sie die PWM-Box mit der Strecke und der „Spannungsquelle“ $U = 30V$.
- Stellen Sie einen reinen P-Regler ein. Deaktivieren Sie dazu die in der Parametrieremaske des Reglers die Checkboxes für I- und D-Anteil.
- Setzen Sie T_n und T_v jeweils zu „1“.



- Betreiben Sie das System nun mit dem P-Regler und analysieren Sie die Sprungantwort des Regelkreises (Führungsgrößensprung auf $T=45^\circ C$)
 - Bestimmen Sie die kritische Reglerverstärkung $K_{P,krit}$ wie folgt und notieren Sie diese:
 Beginnen Sie mit $K_P = 0,2$. Erhöhen Sie dann die Reglerverstärkung jeweils um 0,1 solange das System nicht dauerhaft schwingt, die Schwingungen also sichtbar abklingen. Sobald Sie dauerhaftes Schwingen erreicht haben, reduzieren Sie die Verstärkung in kleinen Schritten bis Sie $K_{P,krit}$ gefunden haben.
Achten Sie auch auf die Stellgröße u (Ausgangsgröße der PWM-Box), welche eine ungedämpfte nicht beschnittene Sinusform haben muss.
- Bestimmen Sie die Periodendauer T_{krit} und notieren Sie diese.
- Berechnen Sie die Parameter für einen P-, PI- und PID-Regler nach Ziegler/Nichols.

Geregelter Betrieb

Führen Sie den folgenden Ablauf für jeden Reglertyp (P, PI, PID) durch. Stellen Sie die Parameter jeweils entsprechend ein.

- Die Spannungsversorgung für die PWM-Box sei $U=30V$.
- Als Führungsgröße soll ein Verlauf gemäß Abb. 3 nachgebildet werden ($w_H = 45^\circ$ und $w_L = 35^\circ C$). Sie finden diesen bereits im Block „Referenz-Temperatur“. Die in Abb. 3 angedeutete Störung soll durch einen Einbruch der Spannungsversorgung von 30V auf 27V zum Zeitpunkt $t=250s$ nachgestellt werden.

- Analysieren Sie den simulierten Verlauf der Temperatur:
Bestimmen Sie die absolute und relative Regelabweichung für w_H im gestörten und ungestörten Fall. Markieren Sie die ausgewerteten Temperaturwerte im Messschrieb.
Interpretieren Sie das Ergebnis.
- Bestimmen Sie die Zeitdauer für das Aufheizen auf w_H .
Wann ist das Aufheizen beendet (Kriterium angeben, *siehe Kapitel 1 Vorlesung „Gütemaße im Zeitbereich“*)?
Markieren Sie den bestimmten Wert in Messschrieb und interpretieren Sie das Ergebnis.

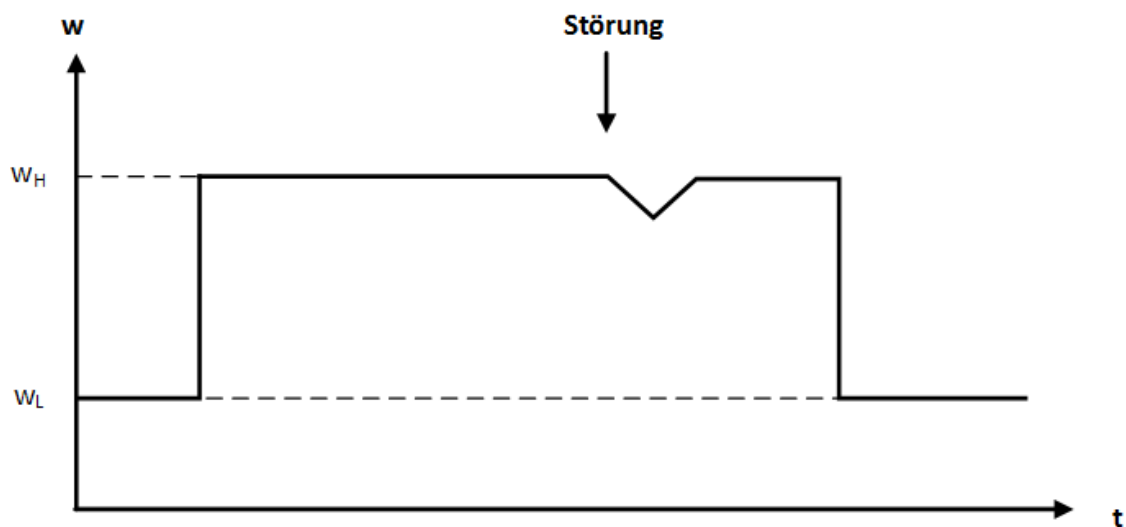


Abb. 3: Ablaufdiagramm

5 Versuchsauswertung

Erstellen Sie pro Gruppe ein Protokoll (Versuchsname und -datum, Studiengang, Gruppennummer, Platznummer und Teilnehmer).

Inhalt:

- Bestimmen Sie die Einschwingzeiten und die Regelabweichungen (absolut und relativ) im unregelmäßigen (4.1.1) und geregelten Betrieb (4.1.3, alle drei Reglertypen).
- Vergleichen Sie die Ergebnisse von unregelmäßigem (4.1.1) und geregeltem Betrieb (4.1.3, alle drei Reglertypen) hinsichtlich Dynamik, Überspringen und relativer Regelabweichung.
- Erklären Sie Auffälligkeiten.
- Welche Erkenntnisse haben Sie gewonnen?
- Diskutieren Sie die Ergebnisse.
- Fügen Sie die beschrifteten (Achsenbeschriftung, Skalierung, Schriftgröße beachten) und ausgewerteten Sprungantworten an.
- Heften Sie Ihre Vorbereitungsaufgaben an das Ende des Protokolls.

Abgabe als PDF-File direkt in Moodle innerhalb von max. 1 Woche!