

BEUTH HOCHSCHULE  
FÜR TECHNIK  
BERLIN

University of Applied Sciences

Fachbereich VI - Technische Informatik - Embedded Systems  
Fach Rapid Control Prototyping  
SS 2014

# **Regelung einer simulierten Druckregelstrecke (II)**

Eingereicht am  
8. Juli 2014

Eingereicht von  
Matthias Hansert s791744  
Marcus Perkowski s798936  
Marcel Burde s798984

---

---

[Hansert]

## Aufgabenstellung

Entwerfen und optimieren Sie einen Regelkreis, der den Arbeitspunktdruck für alle möglichen Belastungsfälle (Schalter ein und anschließend Schalter aus) möglichst schnell und ohne Übersteuerung der Stellgröße ausregelt und stationär konstant hält.

Berücksichtigen Sie dabei, dass primär Störungen ausgeregelt werden sollen. Eine Führung des Kreises in den Arbeitspunkt erfolgt nur nach Inbetriebnahme der Strecke (ca. 1 mal pro Woche).

Nehmen Sie (bis auf das Einstecken der notwendigen Kabelanschlüsse und die Betätigung des Störschalters) keine Änderungen (z.B. Veränderung von Potentiometereinstellungen) am Simulationsgerät vor.

Das Simulationserät simuliert einen elektrisch steuerbaren hydraulischen Druckgenerator für den Antrieb einer Arbeitsmaschine. Die Anschlußkonfiguration der Eingangs- und Ausgangssignale ist auf dem folgenden Bild (nächste Seite) dargestellt:

- Mittels einer Steuerspannung  $u(t)$ , die einen Aussteuerbereich von -10V bis 10V hat, aber nur im positiven Bereich genutzt werden soll, kann der Druck zwischen 0 und einem Maximalwert verstellt werden.
- $y_M(t)$ , die Meßgröße des erzeugten Drucks, kann auf der rechten Seite der Anordnung an einer Buchse in Form einer elektrischen Spannung gemessen werden. Die Meßeinrichtung arbeitet linear und der Verstärkungsfaktor beträgt  $V = 0,08 \frac{V}{Bar}$ .  
Die Meßeinrichtung habe PT1-Verhalten, wobei ihre Zeitkonstante klein gegen die der Strecke ist, so daß sie vernachlässigt werden kann.

Der Generator arbeitet mit einem Arbeitspunktdruck von 50 Bar bei einer Grundlast, die anliegt, wenn der „Störschalter“ in der Stellung ohne Beschriftung (also nach unten) steht. Durch eine Schalterbewegung in Richtung „ein“ (nach oben) kann eine maximale Entlastung des Druckgenerators simuliert werden.

---

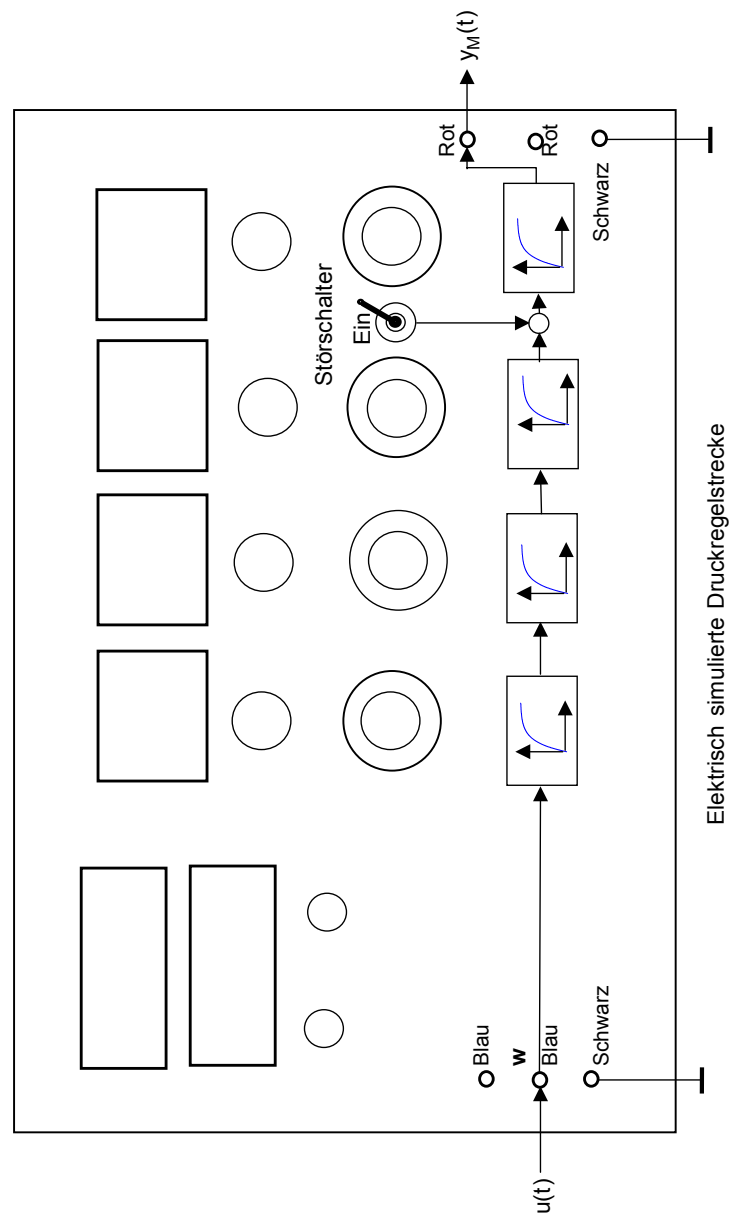


Abbildung 1: Elektrische simulierte Druckregelstrecke

---

[Hansert]

# Auflistung aller abgegebenen Dateien

- **01\_Vorbereitung**
    - *reinraus2007b.mdl*
    - *input\_Mittelwert\_Offset.m*
  - **02\_Statische\_Kennlinie**
    - *Berechnung\_Kennlinie.m*
    - *Statische\_Kennlinie.mdl*
    - *Scope\_Out.mat*
    - *ScopeIn.mat*
  - **03\_Steuerverhalten\_Strecke**
    - *Statische\_Kennlinie.mdl*
    - *modell\_sys\_id.mat*
    - *Scope\_Out.mat*
    - *sprungantwort.mat*
    - *UebfktAnalyse.mat*
  - **04\_Stoerverhalten\_Strecke**
    - *arbeitspunkt.mdl*
    - *stoer\_err.mat*
    - *stoerung.mat*
    - *StorfktAnalyse.mat*
  - **05\_Simulation\_Strecke**
    - !!!!! besprechen !!!!!
  - **06\_Reglerentwurf**
    - ...
  - **07\_Simulation\_Regelkreis**
    - *simulation\_regelkreis.mdl*
  - **08\_Regler\_Reale\_Strecke**
    - *regler\_strecke.mdl*
    - *Regler\_und\_reale\_Strecke.mdl*
  - **09\_Sonstiges**
    - Vorgehensweise\_zur\_Erstellung\_Belegarbeit
    - Labor-Übung 11 (Simulierte Druckregelstrecke\_2)
-

- **10\_Hilfsprogramme**

- polkomp.m
- sys\_id
- tf2vn.m

---

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Zu regelndes Objekt kennen lernen</b>                              | <b>2</b>  |
| 1.1      | Offset . . . . .  | 3         |
| <b>2</b> | <b>Festlegung des Arbeitspunktes</b>                                  | <b>4</b>  |
| 2.1      | Statisches Verhalten . . . . .  | 4         |
| <b>3</b> | <b>Messtechnische Identifikation des Steuerverhaltens der Strecke</b> | <b>6</b>  |
| 3.1      | Dynamisches Verhalten . . . . .                                       | 6         |
| 3.2      | Identifikation der Strecke . . . . .                                  | 6         |
| <b>4</b> | <b>Messtechnische Identifikation des Störverhaltens der Strecke</b>   | <b>7</b>  |
| <b>5</b> | <b>Simulation des Steuer- und Störverhaltens der Strecke</b>          | <b>8</b>  |
| <b>6</b> | <b>Entwurf des Reglers</b>  | <b>9</b>  |
| <b>7</b> | <b>Simulation des Regelkreises mit dem entworfenen Regler</b>         | <b>10</b> |
| <b>8</b> | <b>Implementierung des Reglers in den realen Regelkreis</b>           | <b>11</b> |
|          | <b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>                              | <b>13</b> |

---

[Hansert]

## 1 Zu regelndes Objekt kennen lernen

Das Objekt was wir regeln sollen handelt sich um einen elektrischen steuerbaren hydraulischen Druckgenerator für den Antrieb einer Arbeitsmaschine. Zu beachten ist das es sich um eine simulierte Druckregelstrecke handelt. Bekannt ist:

- Steuerspannung  $-10V \leq u(t) \leq 10V$ , wobei nur der positive Bereich betrachtet wird, weil der Druck von 0 bis einem Maximalwert verstellt wird
- Die Messgröße  $Y_M(t)$  wird in Form einer Spannung gemessen
- Der Verstärkungsfaktor der Messeinrichtung  $V_M$  beträgt  $0,08 \frac{V}{Bar}$
- Bei einer Grundlast liegt der Arbeitspunktdruck bei  $50Bar$
- Die Messeinrichtung hat ein PT1-Verhalten wo die Zeitkonstante vernachlässigt werden kann

Wenn man das Objekt (Abbildung 2) genauer betrachtet, können die Teile eines Standard-Regelkreises erkannt werden:

- $u(t)$  Regelgröße
- $y(t)$  Stellgröße
- Stelleinrichtung und Regelstrecke

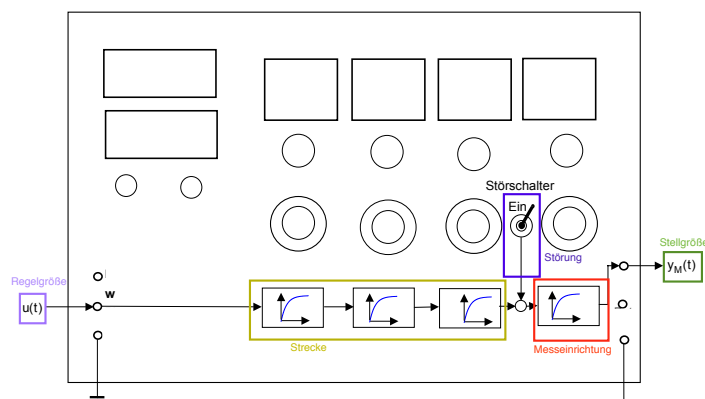


Abbildung 2: Elektrische simulierte Druckregelstrecke mit Standard-Regelkreis

Um alle Größen zu bestimmen/messen und der Reger zu entwickeln wird MATLAB/Simulink eingesetzt. Dies geschieht mit das Tool Real-Time-Workshop und eine A/D-D/A Wandlerkarte.

## 1.1 Offset

Um das System mit dem Rechner zu verbinden wird eine Wandlerkarte eingesetzt. Die Wandlerkarte ist im PC eingebaut. Um Fälschungen im Ergebnis zu umgehen muss der Eingang- und Ausgangsoffset gemessen werden. Um diese Werte zu messen wurde das *reinraus2007b.mdl* Simulinkmodell benutzt.

Für den Eingangsoffset der Wandlerkarte wurde ein Display für die Ausgabe benutzt. Wichtig ist, dass die Leitungen für die Verbindung von der Wandlerkarte zum System kurzgeschlossen werden. Auf dieser Weise werden zum Beispiel  $5V$  angelegt und diese  $5V$  werden vom Ergebnis subtrahiert. Unser Eingangsoffset beträgt  $0,1292V$ .

Um den Ausgangsoffset zu ermitteln werden die zwei Leitungen an ein Voltmeter angeschlossen. Dieser sollte bei kein Offset 0 zeigen. Im unser Fall konnten wir ein Ausgangsoffset von  $0,1050V$  ablesen.

Diese beide Werte werden bei Simulationen in den Kapiteln 5 und 7 jeweils subtrahiert um die Verfälschung von Ergebnisse zu vermeiden.

---



[Hansert]

## 2 Festlegung des Arbeitspunktes

Laut Aufgabestellung liegt der Arbeitspunktdruck bei einer Grundlast bei  $50\text{Bar}$ . Da unser System ein Spannungsbereich 0 bis  $10\text{V}$  beträgt, müssen wir den Druck in einer Spannung übersetzen.

$$\text{Arbeitspunkt} = \text{Arbeitspunktdruck} * \text{Verstaerkung}$$

$$\text{Arbeitspunkt} = 50\text{Bar} * 0,08\text{V}/\text{Bar}$$

$$\text{Arbeitspunkt} = 4\text{V}$$

Um den Arbeitspunkt zu ermitteln muss zuerst das Verhalten des Systems festgestellt werden.

### 2.1 Statisches Verhalten

Um die Kennlinie des Systems zu ermitteln wird, mithilfe des Simulinkmodells *Statische\_Kennlinie.mdl*, eine sprungförmige Erregung mit 20 Schritte, wo bei jeden Schritt  $t = \text{sek}$  die Spannung um  $0,5\text{V}$  erhöht wird.  $t$  wurde so gewählt dass das System einen stationären Zustand erreicht bevor es neu angeregt wird (Siehe Abbildung 3 und 4).



Abbildung 3: Ausgangssignal, Erregung des Systems



Abbildung 4: Eingangssignal, Antwort des Systems

Die Antwort wird in die Matrix *ScopeIn.mat* gespeichert und mit dem MATLAB Script *Berechnung\_Kennlinie.m* die statische Kennlinie berechnet und gezeichnet (siehe Abbildung 5). Um Fehler zu vermeiden haben wir uns entschieden ein Durchschnittswert zu berechnen, dieser besteht aus 20 Werte bevor das System neu erregt wird.

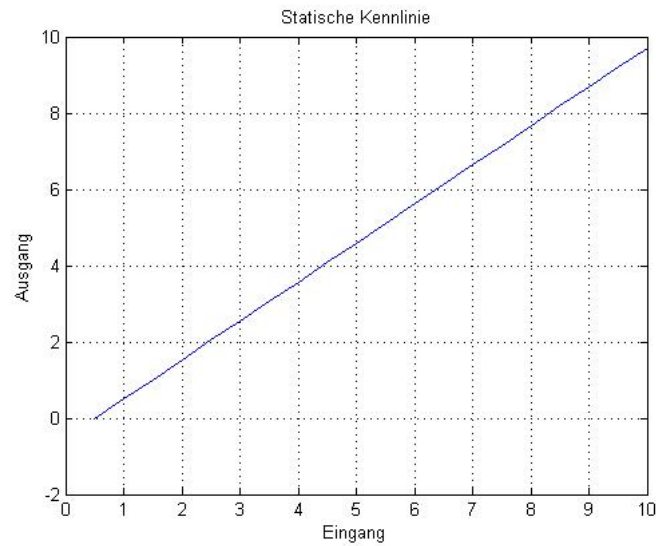


Abbildung 5: Statische Kennlinie, Ausgang  $y(t)/V$ , Eingang  $u(t)/V$

In der Abbildung 5 ist deutlich zu erkennen, dass es sich um ein lineares System handelt, weil die Verstärkung konstant bleibt. Außerdem können wir ablesen, dass für  $u(t) = 4V \rightarrow y(t) = \dots$ . Somit beträgt der Arbeitspunkt .....

---

[Perkowski]

### 3 Messtechnische Identifikation des Steuerverhaltens der Strecke

#### 3.1 Dynamisches Verhalten

um dem arbeitspunk

#### 3.2 Identifikation der Strecke

TEST

sis\_id bild

formel aus sis\_id:

$$G(s) = \frac{1,03}{(1 + 0,003365s) * (1 + 0,1864s) * (1 + 2 * 0,98029s + (0,091032s)^2)}$$

gerunderter wert für pollkom

$$G(s) = \frac{1,03}{0,000005s^4 + 0,0017s^3 + 0,043s^2 + 0,368s + 1}$$


---

[Perkowski]

## **4 Messtechnische Identifikation des Störverhaltens der Steckle**

$$G(s)_{stoer} = \frac{2,6424}{1 + 0,16207s}$$

[Perkowski]

## **5 Simulation des Steuer- und Störverhaltens der Strecke**

erläuterung plus bilder simulink und plot

---

---

[Burde]

## 6 Entwurf des Reglers

Nachdem nun die Strecke zunächst identifiziert und anschließend das Steuer- und Störverhalten simuliert wurde, soll nun der passende Regler entworfen werden. Der Regler hat dabei folgende Aufgaben: Er soll dafür sorgen, dass die Regelgeschwindigkeit des Regelkreises möglichst hoch wird und er soll bleibende Regelabweichungen verhindern, also eine hohe Regelgenauigkeit vorweisen.

Die Entscheidung fällt zunächst einmal auf einen PI-Regler. Der P-Anteil sorgt für eine hohe Regelgeschwindigkeit und kompensiert somit die Trägheit des I-Anteils. Gleichzeitig sorgt jedoch der I-Anteil dafür, dass die durch den P-Anteil entstehende bleibende Regelabweichung entfernt wird.

Um den Verstärkungsfaktor  $V$  und die Reglerzeitkonstante  $T$  optimal bestimmen zu können, wird als Entwurfsverfahren das Polkompensationsverfahren gewählt. Wie der Name schon aussagt, lassen sich bei diesem Verfahren Verzögerungsglieder aus der Strecke bzw. Messeinrichtung durch eventuelle Vorhalteglieder aus dem gewählten Regler kompensieren. Verzögerungsglieder sorgen meist für ein langsames Ausregeln von Störgrößen und sind daher unerwünscht. Die nachfolgenden Übertragungsfunktionen vom PI-Regler sowie von der Strecke zeigen das Vorhalteglied des Reglers, welches das markierte Verzögerungsglied der Strecke kompensieren soll.

$$G_R(s) = \frac{V * (1+sT)}{s}$$

$$G_S(s) = \frac{1,03}{(1 + 0,003365s) * (1 + 0,1864s) * (1 + 2 * 0,98029s + (0,091032s)^2)}$$

Die Zählerzeitkonstante des PI-Reglers beträgt also  $T = 0,1864[sek]$ . Um den Verstärkungsfaktor des Reglers zu bestimmen, muss nun das Bodediagramm des offenen Regelkreises gezeichnet werden. Da der Aufwand dafür recht hoch ist, haben wir die Polkompensation mit dem Matlab-Programm *polkomp* durchgeführt.

---

[Burde]

## **7 Simulation des Regelkreises mit dem entworfenen Regler**

[Burde]

## **8 Implementierung des Reglers in den realen Regelkreis**



**Abbildungsverzeichnis**

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Elektrische simulierte Druckregelstrecke . . . . .                         | ii |
| 2 | Elektrische simulierte Druckregelstrecke mit Standard-Regelkreis . . . . . | 2  |
| 3 | Ausgangssignal, Erregung des Systems . . . . .                             | 4  |
| 4 | Eingangssignal, Antwort des Systems . . . . .                              | 4  |
| 5 | Statische Kennlinie, Ausgang $y(t)/V$ , Eingang $u(t)/V$ . . . . .         | 5  |

---

---

**Literatur**

- [1] R. S. Manfred Ottens, *Rapid Control Prototyping (Schneller Reglerprototypen-Entwurf)*, 2010.
  - [2] M. Ottens, *Grundlagen der Systemtheorie*, 2008.
-