

## Praktikum2: RC-RC (PT2)

zhaw

Praktikum2: RCRC-P

1 / 8

### RC-RC (PT2) Experimentelle Untersuchungen und P-Regelung

Teammitglied 1:	Teammitglied 2:
-----------------	-----------------

**Darstellung der Resultate / Abgabe:**

Alle Berechnungen und Darstellung, sind wann immer möglich mit MATLAB/Simulink durchzuführen. Versuchen Sie auf den Taschenrechner zu verzichten.

Alle Resultate als Handnotizen oder Screenshots in den vorgesehenen Feldern in dieser OneNote-Seite eintragen.

**Sprungantwort-Messungen am PT2 System**

- Bauen Sie in Simulink mit der ZHAW SLDRT Control Library ein Mess-File auf zur Messung der Einheits-Sprungantwort der RC-RC-Schaltung zum Zeitpunkt  $t_0 = 50 \text{ ms}$  mit Hilfe des Step-Bloces. Zeichnen Sie sowohl das Eingangssignal  $u$  als auch das Ausgangssignal  $y$  des Systems während 100 ms auf (Stop Time). Speichern Sie anschliessend die Variable  $data$  unter einem geeigneten Namen, bspw.  $data_00.mat$ .

Implementieren Sie in MATLAB die Übertragungsfunktion  $G(s) = Y(s)/U(s)$  der RC-RC-Schaltung als *tf*-Objekt und simulieren Sie die Einheits-Sprungantwort zum Zeitpunkt  $t_0 = 50 \text{ ms}$ . Verwenden Sie den Befehl *lsim* mit dem gemessenen Eingangssignal, um das Ausgangssignal zu simulieren.

```
% simulate the transfer function with input u forward in time
y_mod = lsim(Grcrc_mod, u, time);
```

Plotten Sie das gemessene und simulierte Eingangs- und Ausgangssignal in einer Figur mit zwei Achsen in MATLAB. Führen Sie eine Legende ein, zeichnen Sie ein Grid und beschriften Sie die Achsen. Zeigen Sie lediglich den Teil der Grafik, in der das Signal wesentlich ändert.

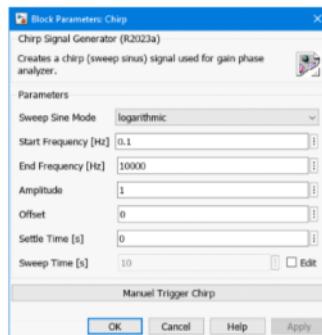
Sprungantwort Vergleich Messung und Modell:

Michael Peter

GRT P2 Aufgaben.docx

**Frequenzgang-Messungen am PT2 System**

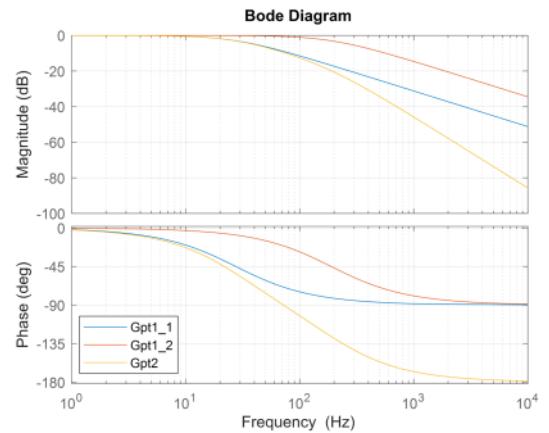
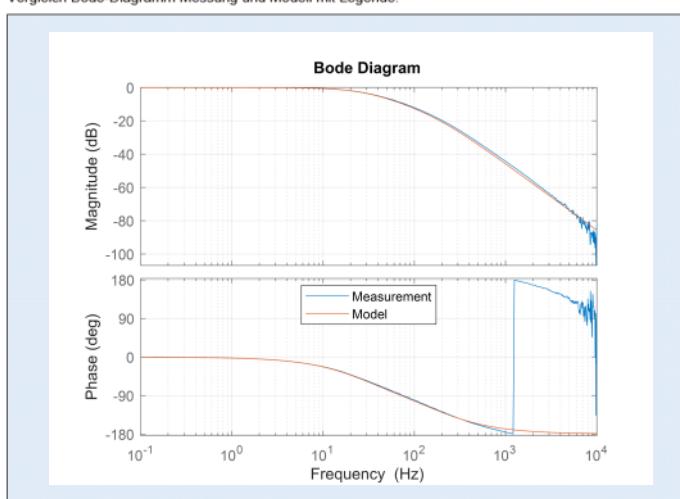
2. Führen Sie eine Messung des Frequenzgangs mit Chirp-Anregung (Sinus mit logarithmisch ansteigender Frequenz) innerhalb des Frequenzbereichs 0.1 Hz ... 10 kHz mit dem GPA-Block über 10 Sekunden durch.



Der gemessene Frequenzgang steht nach der Messung als frd-Objekt/Variable *G* (entspricht dem Namen des GPA-Blocks) im MATLAB Workspace zur Verfügung. Speichern Sie die Variable *G* unter einem geeigneten Namen, bspw. *G\_00.mat*.

Laden Sie die Messung des Frequenzgangs (Befehl *load*) und stellen Sie das Bode-Diagramm (Amplituden- und den Phasengang) mit Hilfe des Befehls *bode* dar. Vergleichen Sie Messung und Modell (frd-Objekte und tf-Objekte können beide mit dem Befehl *bode* dargestellt werden). Führen Sie eine Legende ein und zeichnen sie ein Grid.

Vergleich Bode-Diagramm Messung und Modell mit Legende:



### Regelkreis mit P-Regler

Im Standard-Regelkreis wird das Stellsignal  $u$  aus der Regelabweichung  $e$  mit Hilfe eines Reglers bestimmt. Die Regelabweichung  $e$  bezeichnet die Differenz des gewünschten Soll-Werts  $w$  und dem Ist-Wert  $y$ .

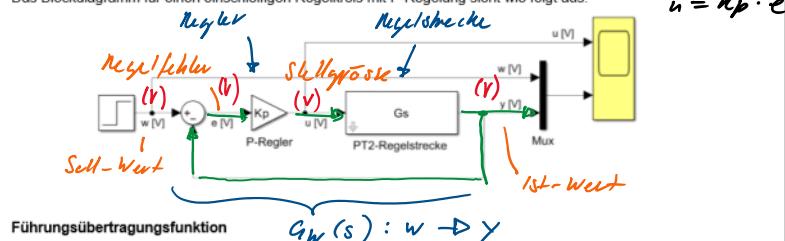
Es gelten die folgenden Beziehungen:

$$\text{RegelgröÙe: } Y(s) = G_s(s)U(s)$$

$$\text{Stellsignal: } U(s) = K_p E(s)$$

$$\text{Regelabweichung: } E(s) = W(s) - Y(s)$$

Das Blockdiagramm für einen einschleifigen Regelkreis mit P-Regelung sieht wie folgt aus:



3. Bestimmen Sie algebraisch die Übertragungsfunktion vom Soll-Wert (Soll-Spannung  $w$ ) zum System-Ausgang (RegelgröÙe, Ist-Spannung  $y$ )  $G_w(s) = \frac{Y(s)}{W(s)}$

Berechnung der Führungsübertragungsfunktion  $G_w(s)$ :

$$\begin{aligned}
 Y &= G_s \cdot u \quad u = K_p \cdot E \quad E = w - y \\
 Y &= G_s K_p (w - y) \quad G_w = \frac{Y}{w} \quad G_s = \frac{Y}{u} \\
 Y + K_p G_s y &= K_p G_s w \quad (1 + K_p G_s) Y = K_p G_s w \quad \rightarrow G_w = \frac{K_p G_s}{1 + K_p G_s} \\
 G_s &= \frac{1}{as^2 + bs + 1} \\
 G_w &= \frac{\frac{K_p}{as^2 + bs + 1}}{1 + \frac{K_p}{as^2 + bs + 1}} = \frac{\frac{K_p}{as^2 + bs + 1}}{\frac{as^2 + bs + 1 + K_p}{as^2 + bs + 1}} = \frac{K_p}{as^2 + bs + 1 + K_p}
 \end{aligned}$$

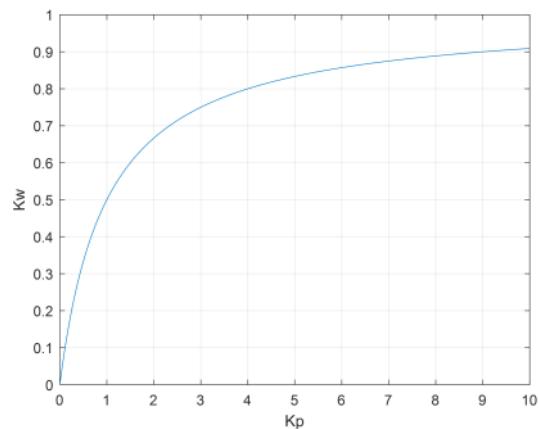
4. Bestimmen Sie symbolisch den statischen Endwert von  $G_W(s)$  also wie der geregelte System-Ausgang  $y$  statisch einem konstanten Führungs-Eingang  $w$  folgt.

Berechnung der statische Verstärkung in Abhängigkeit von  $K_p$ :

$$\begin{aligned} w &\rightarrow G_W \rightarrow y \quad K_p \geq 0 \\ G_W = \frac{K_p}{as^2 + bs + 1 + K_p} &= \frac{K_p}{1 + K_p} = K_W \quad // \\ |_{s=0} \end{aligned}$$

Plotten Sie die statische Verstärkung in Abhängigkeit von  $K_p$  im Bereich von 0 ... 10 V/V mit Hilfe von MATLAB und stellen Sie die Beziehung grafisch dar. Beschriften Sie die Achsen.

Statische Verstärkung in Abhängigkeit von  $K_p$ :



5. Die proportional Verstärkung  $K_p$  des P-Reglers beeinflusst nicht nur das statische Verhalten des Regelkreises, sondern auch das dynamische Verhalten. Die Polstellen des geschlossenen Regelkreises werden in Abhängigkeit von  $K_p$  verschoben.

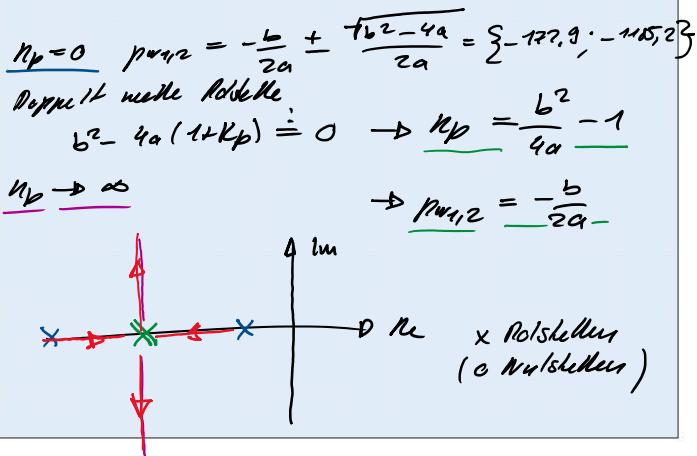
Berechnung der Polstellen des geschlossenen Regelkreises in Abhängigkeit von  $K_p$ :

$$G_H = \frac{K_p}{as^2 + bs + 1 + K_p}$$

$$p_{H,1,2} = -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4a(1+K_p)}}{2a}$$

Skizzieren Sie die Lage der Polstellen in der komplexen Ebene (x-Achse Real-Teil, y-Achse Imaginär-Teil) in Abhängigkeit von  $K_p$  im Bereich von 0 ... 10 V/V.

Verlauf der Polstellen in Abhängigkeit von  $K_p$  in der komplexen Ebene:



6. Bestimmen Sie  $K_p$  derart, dass beide Polstellen rein reell und am gleichen Ort in der komplexen Halbebene zu liegen kommen (aperiodischer Grenzfall). Bestimmen Sie  $K_p$  symbolisch und als Zahlenwert mit Einheit. Resultat für  $K_p$  symbolisch und als Zahlenwert:

$$\rightarrow K_p = \frac{b^2}{4\alpha} - 1 = 1,25 \quad \cancel{\checkmark}$$

7. Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises  $G_w(s)$  mit der Regler Verstärkung  $K_r$  für den aperiodischen Fall aus 6. Bestimmen Sie die Polstellen und die Zeitkonstanten als Zahlenwerte und stellen Sie die Übertragungsfunktion in Pol-Nullstellen-Form und in Zeitkonstanten-Form dar.

Polstellen der Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises und Übertragungsfunktion in Zeitkonstanten-Form:

$$G_w = \frac{K_p}{as^2 + bs + 1 + K_p} \Big|_{K_p=1.25} = \frac{2.562e05}{s^2 + 1358s + 4.611e05}$$

$$p_{w,1,2} = -\frac{b}{2a} = \left\{ -679.0403; -679.0403 \right\} \quad T_{w,2} = \frac{1}{p_{w,2}} = 0.001472 \text{ sec} \quad \cancel{\checkmark}$$

Pol-Nullstellen-Form

$$G_w = \frac{679}{(s+679)} \cdot \frac{679}{(s+679)} \cdot 0.55$$

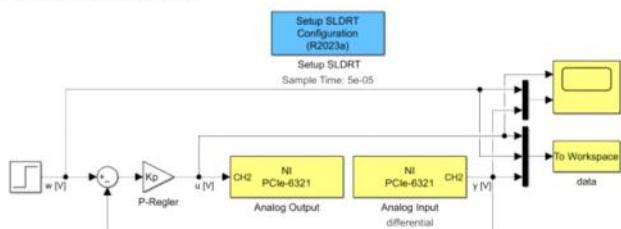
Zeitkonstanten-Form

$$G_w = \frac{1}{(0,001472+1)} \cdot \frac{1}{(0,001472+1)} \cdot 0.55$$

Polynomform

$$K_w = \frac{K_p}{1+K_p} = 0.5555 \quad \cancel{\checkmark}$$

8. Implementieren Sie den einschleifigen Regelkreis mit P-Regelung in Ihrem Mess-File und wiederholen Sie die Messung der Sprungantwort aus 1. Speichern Sie anschliessend die Variable *data* unter einem geeigneten Namen, bspw. *data\_01.mat*.

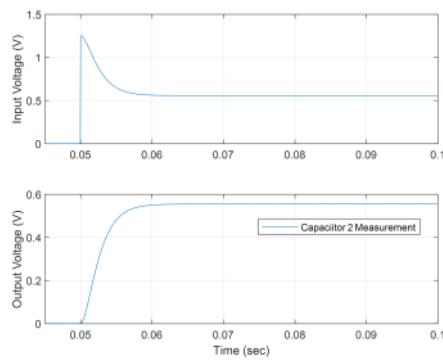
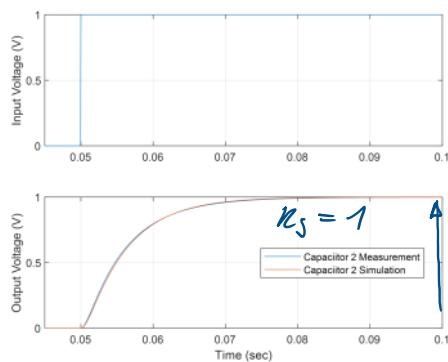


Laden Sie die gemessenen Daten (Befehl: *load*) in Matlab und stellen Sie das gemessene Eingangs- und Ausgangssignal in einer Figure dar (Befehl: *plot*). Beschriften Sie die Achsen. Überprüfen Sie, ob die gemessene statische Verstärkung den theoretischen Erwartungen aus 4 entspricht. Was für ein Regelfehler (Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert) stellt sich bei einem Einheits-Sprung ein?

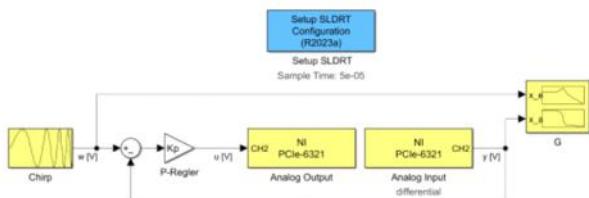
Sprungantwort-Messung des ungeregelten und des geregelten Systems:

*Myzelshoche*

*Closed - Loop*



9. Wiederholen Sie die Frequenzgangmessung für das geregelte System. Beachten Sie, dass für das geregelte System der System-Eingang der Soll-Wert *w* und nicht die Eingangs-Spannung *u* ist. Speichern Sie die Variable *G* unter einem geeigneten Namen, bspw. *G\_01.mat*.



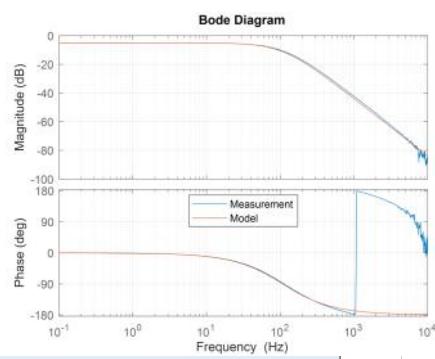
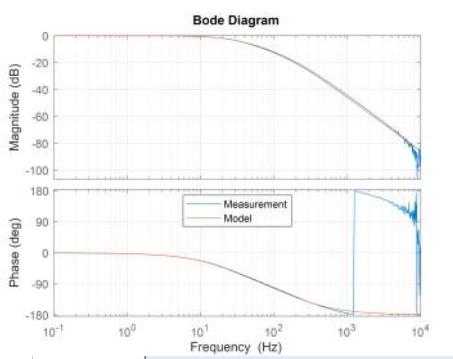
Implementieren Sie in MATLAB die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises  $G_W(s) = \frac{Y(s)}{W(s)}$  als tf-Objekt.

Vergleichen Sie den gemessenen Frequenzgang des geschlossenen Regelkreises aus der Messung mit dem theoretischen Frequenzgang mit Hilfe des Befehls `bode`. Führen Sie eine Legende ein.

Vergleich des Bode-Diagramm des geregelten Systems Messung und Modell:

*Regelstrecke*

*closed - Loop*



```
pole(Grcrc_mod)      db(dcgain(Grcrc_mod))
1.0e+03 *             0
-1.185167038818422
-0.172913540629292
```

```
pole(Gw_mod)          db(dcgain(Gw_mod))
1.0e+02 *             -5.105450102066129
-6.790402897238568
-6.790402897238568
```

Michael Peter

GRT P2 Aufgaben.docx

$\rightarrow G_S \rightarrow$  Regelstrecke

$\rightarrow U_P \rightarrow G_S \rightarrow$  offener Regelkreis

$U_P \rightarrow K_P \rightarrow G_S \rightarrow$  geschlossener Regelkreis