Versuch I mit Lösung

Ziel des ersten Versuchs:

Berechnung, Simulation und Messung des Übertragungsverhaltens einer PT_1-Strecke und eines Regelkreises aus **PT_1-Strecke und P-Regler**.

1.1 Berechnung, Simulation und Messung des Frequenzgangs einer PT_1-Strecke

Mit der in Abb. 1 dargestellten Operationsverstärkerschaltung ist eine Regelstrecke erster Ordnung mit Ausgleich nachzubilden.

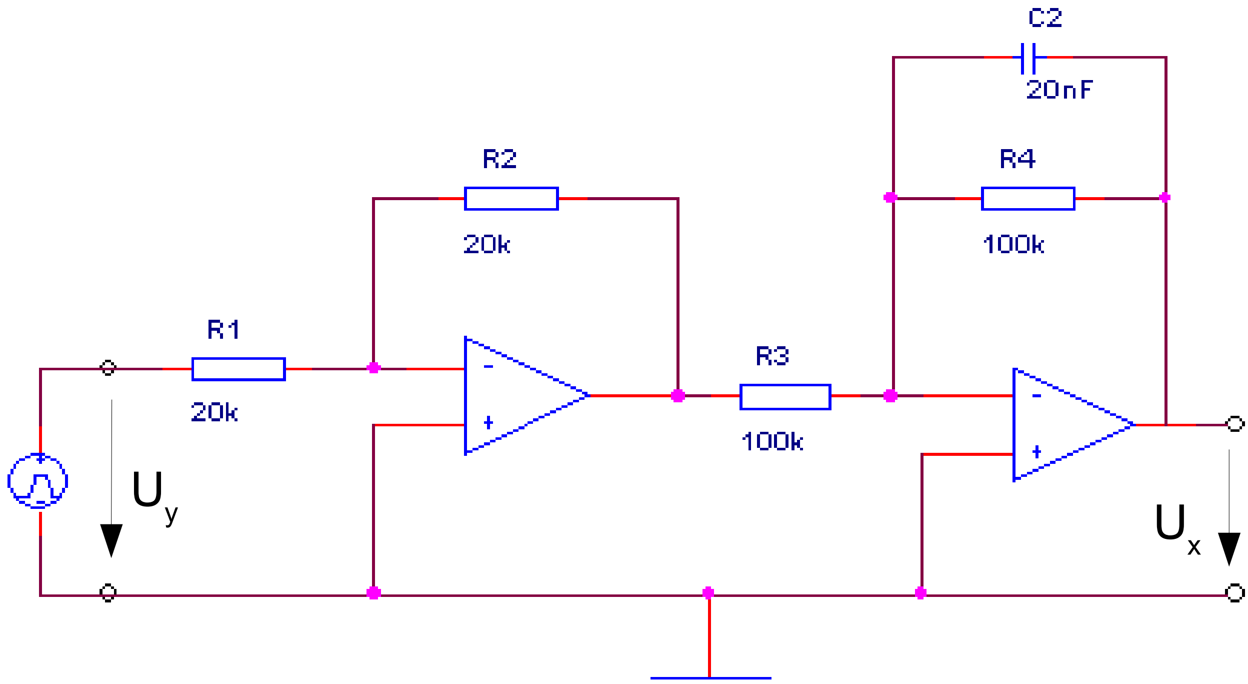


Abbildung 1.1: Nachbildung einer PT_1-Strecke

1.1.1 Berechnen Sie die Zeitkonstante T_S

und die Gesamtübertragungsfunktion F_{ges}, sowie die Eckkreisfrequenz ω_E und die Eckfrequenz f_E der in Abbildung 1 dargestellten Strecke. Wie lautet die Funktion zur Berechnung des Betrags und der Phase? Berechnen sie die Werte für das Bode-Diagramm nach Betrag und Phase und tragen sie die fehlenden Werte in Tabelle 1 ein.

$$T_S = R_4 \cdot C = 20\text{nF} \cdot 100\text{k}\,\Omega = 2\text{ms}$$

$$\omega_E = \frac{1}{T_S} = \frac{1}{2\text{ms}} = 500 \cdot \frac{rad}{s} \qquad f_E = \frac{\omega_E}{2\pi} = 79{,}85\ Hz$$

$$F_{ges}(s)=\frac{R_2}{R_1}\cdot\frac{R_4}{R_3}\cdot\frac{1}{1+sT_S}$$

$$|F_{ges}(j\omega)|=\left|\frac{1}{1+j\omega T_S}\right|=\frac{1}{\sqrt{1^2+\omega^2 T_s^{\,2}}}$$

$$|F(j\omega)|\ in\ [dB]=20\cdot\log\left(\frac{1}{\sqrt{1+(\omega T_S)^2}}\right)$$

$$\sphericalangle F(j\omega)=-\arctan(\omega T_S)=-\arctan(500\mathrm{s}^{-1}\cdot 2\mathrm{ms})=-0{,}7853$$

$$\sphericalangle F(j\omega)\ in^{o}=-\arctan(\omega T_S)=-\arctan(500\mathrm{s}^{-1}\cdot 2\mathrm{ms})=-80{,}957^{o}$$

		Rechnung		Messung	
f in [Hz]	ω in [rad/s]	$\|F(j\omega)\|$ in [dB]	$\sphericalangle F(j\omega)$ in ^{o}	$\|F(j\omega)\|$ in [dB]	$\sphericalangle F(j\omega)$ in ^{o}
0	0	0	0		
25	157,08	-0,40878	-17,441		
50	314,159	-1,44507	-32,142		
75	471,239	-2,76063	-43,304		
100	628,319	-4,11474	-51,488		
150	942,478	-6,58303	-62,053		
200	1256,64	-8,64306	-68,303		
250	1570,8	-10,3621	-72,343		
300	1884,96	-11,8219	-75,144		
350	2199,11	-13,0845	-77,191		
400	2513,27	-14,194	-78,748		
450	2827,43	-15,1822	-79,972		
500	3141,59	-16,0722	-80,957		
550	3455,75	-16,8814	-81,767		
600	3769,91	-17,623	-82,445		
650	4084,07	-18,3071	-83,02		
700	4398,23	-18,9419	-83,514		
750	4712,39	-19,534	-83,943		
800	5026,55	-20,0888	-84,319		
850	5340,71	-20,6105	-84,652		
900	5654,87	-21,1029	84,947		
950	5969,03	-21,569	-85,212		

1000	6283,19	-22,0116	-85,45		
1500	9424,78	-25,5182	-86,963		
2000	12566,4	-28,0117	-87,721		

Tabelle 1: Bode-Diagramm

Hinweis:

Die Werte in der Tabelle lassen sich mit Hilfe folgender Formel im Command Window bestimmen:

|F(jω)| in [dB]

```
for f  =  0 : 25: 2000,
F  = 20*log10(1/sqrt(1+(2*pi*f*Ts)^2)),
sprintf('G(s)in dB:', G ),
end
```

<DF(jω) in [°]

```
for f  =  0 : 25: 2000,
-atan(2*pi*f*Ts)*180/pi,
end
```

Diese Zeilen sind mit abschließendem Komma in das Command Window einzutragen.

1.1.2 Simulation mit MATLAB.

Erzeugen Sie ein .m-File, welches die Variablen für die Bauteilwerte und die Streckenparameter der Regelstrecke erzeugt. Zusätzlich sollen Objekte für die Teilübertragungsfunktionen $F_{s1}(s)$ und $F_{s2}(s)$ und die Gesamtübertragungsfunktion F(s) erzeugt werden. (Tipp: *tf(…)*, *series(…)*). Das Kommentargerüst des .m-Files soll dazu eine Hilfestellung geben.

```
% m-File 1 zum Laborversuch I
% z.B. R5=10e3 entspricht R=10kΩ
% Einheiten können weggelassen werden

% Bauteilwerte Fs1
   R1=20e3
   R2=20e3

% Bauteilwerte Fs2
   R3=100e3
```

```
   R4=100e3
   C2=20e-9

% Streckenparameter aus Bauteilwerten berechnet

% Teilstrecke Fs1
   Kp1=-R2/R1

% Teilstrecke Fs2
  Kp2=-R4/R3
  T2=C2*R4

%Übertragungsfunktionen

 % Übertragungsfunktion Teilsystem Fs1
   Fs1=tf([Kp1],[1])

 % Übertragungsfunktion Teilsystem Fs2
   Fs2=tf([Kp2],[T2, 1])

 % Hinweis
 % z.B.
```

% $Fs(s)=\frac{cs^2+as}{s^2+b}$ entspricht tf([c a 0],[1 0 b])

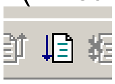
```
 % Gesamtübertragungsfunktion F_ges
% Reihenschaltung der Teilstrecken mit der Funktion series
 % Fges=series(Fs1,Fs2) oder Fges=Fs1*Fs2
   Fges=series(Fs1,Fs2)
```

Code 1: Kommentargerüst für das *.m-File

1.1.3 Stellen Sie mit Hilfe der Control System Toolbox von MATLAB

das Bodediagramm nach Betrag und Phase, den Pol-/Nullstellenplan sowie die Ortskurve

dar. Kontrollieren Sie die von Ihnen berechneten Werte mit dem erzeugten Bode- Diagramm.
(Tipp: folgende Befehle im Command Window führen zu Erfolg: *bode(…),* step(…), pzmap(…), ltiview(…) nyquist().)

Dazu muss das Map-file(*.m) mit Hilfe von "*run*" (im current directory window) oder im Editor/Debugger Fenster ausgeführt werden. 

Mit dem Befehl "*subplot(2 2 1…4)*" ist es möglich die Anzahl der Ausgabefenster zu variieren.

subplot(121)	%zwei versch. Plots in einem Fenster(Plot1)
bode(Fges)	%Bodediagramm
subplot(122)	%zwei versch. Plots in einem Fenster (Plot 2)
bode(Fges)	%m.H. properties Ausgabe auf Hz umstellbar

Befehlsfolge um das Bodediagramm auszugeben

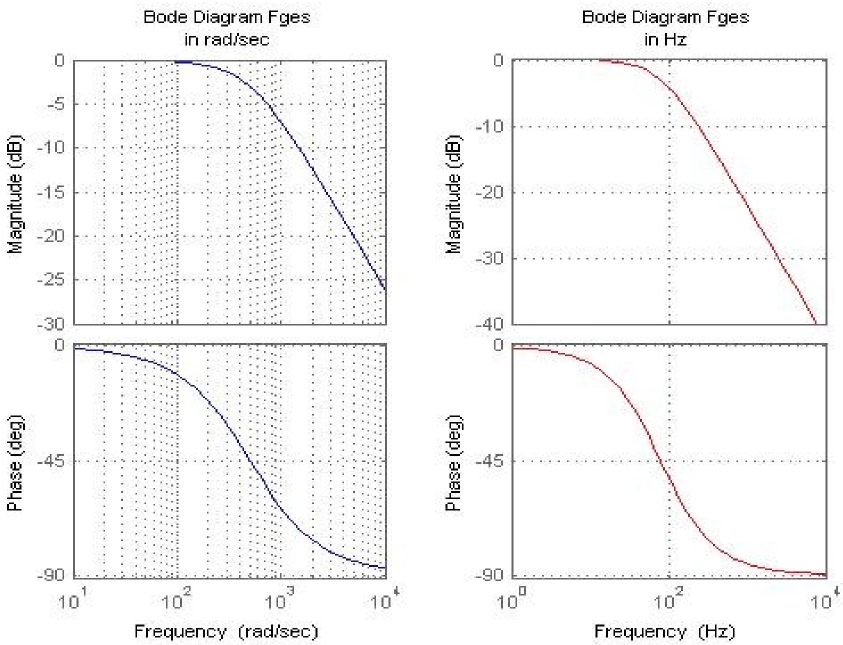


Abbildung 1.1.3a: Bodediagram der Gesamtstrecke

pzmap(Fges)

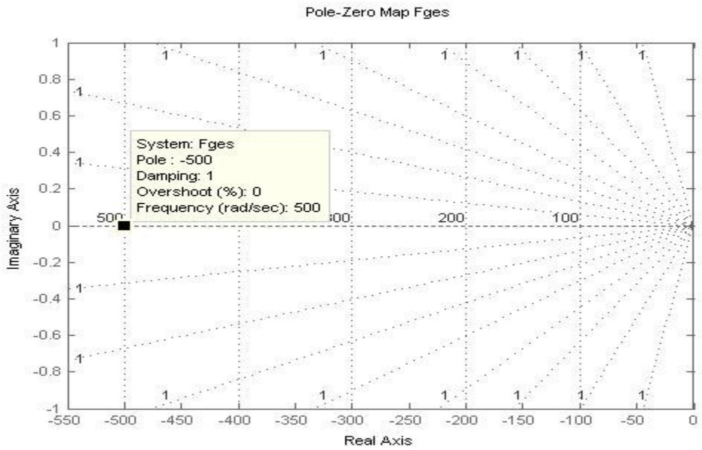


Abbildung 1.1.3b: Pol-/Nullstellenplan der Gesamtstrecke

rlocus (Fges)

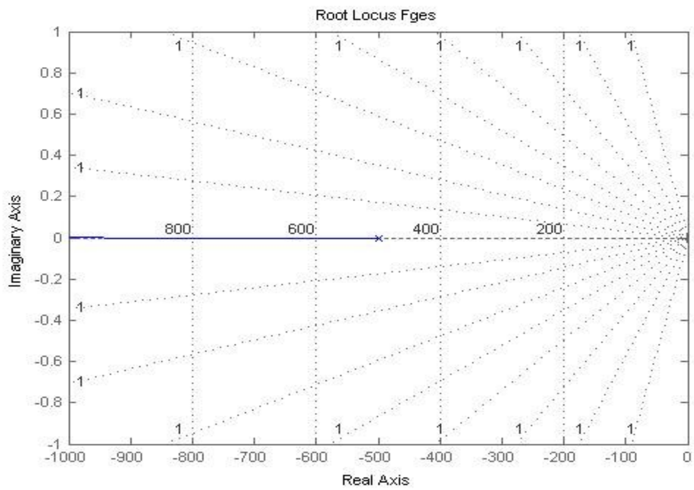


Abbildung 1.1.3c: Wurzelortskurve der Gesamtstrecke

1.1.4 Messen Sie den Frequenzgang

der PT_1-Strecke nach Betrag und Phase. Tragen Sie die Messwerte in Tabelle 1 ein. Vergleichen Sie die berechneten (simulierten) Werte mit Ihren Messergebnissen. Es ist $U_{yeff} \cong 5V$ zu wählen. Für die Messungen werden außer einem Funktionsgenerator und einem Oszilloskop auch ein Frequenzmessplatz benötigt. Übertragen Sie die gemessenen Werte in Ihr mit MATLAB erzeugtes und ausgedrucktes Bode-Diagramm.

1.2 Berechnung und Messung der Stellsprungantwort (Übergangsfunktion)

1.2.1 Berechnen Sie die Sprungantwort, wenn die Sprungfunktion $u_y(t)=u_{y0}\cdot\sigma(t)$ beträgt.

Sprung $u_{y0} = 1\text{V}$ (Amplitude)

Tipp: Berechnung im Bildbereich einfach, zum Zeichnen anschließende Rücktransformation in den Zeitbereich

$$u_{y0}\cdot\sigma(t) \circ\!\!-\!\!\bullet\, u_{y0}\cdot\frac{1}{s}$$

Übergangsfunktion: $U_x(s)=u_{y0}\cdot\frac{1}{s\cdot(1+sT_s)}$

Lt. Korrespondenztabelle Skript „Regelungstechnik 1“ S.5-8 Nr.51 gilt:

$$\frac{1}{s\cdot\left(1+sT_s\right)} \quad \bullet\!\!-\!\!\circ \quad 1-e^{\frac{t}{T_1}}$$

$$\Rightarrow u_x(t)=u_{y0}\cdot\left(1-e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

1.2.2 Simulation mit MATALB.

Stellen sie die Sprungantwort mit Hilfe der Control System Toolbox dar und vergleichen Sie das Ergebnis mit Ihrer Berechnung aus 1.2.1.

Hinweis:

- Bereich für Ts festlegen T**s=[***Startzeit:Schrittzeit:Ende***]**
- **step(***Übertragungsfunktion1,’Farbe z.B. r=rot’, Gesamtübertragungsfunktion,’b’***)**
- Legende erzeugen ***legend*(***’step(Übertragungsfunktion1)’, ’step()’***)**
- Diese Zeilen können über die Kommandozeile eingegeben werden, oder aber ans Ende des M-files angefügt werden.

```
step(Fs1,'r-',Fs2,'y-.',Fges,'b.');
legend('step(Fs1)', 'step(Fs2)', 'step(Fges)'), grid on;
```

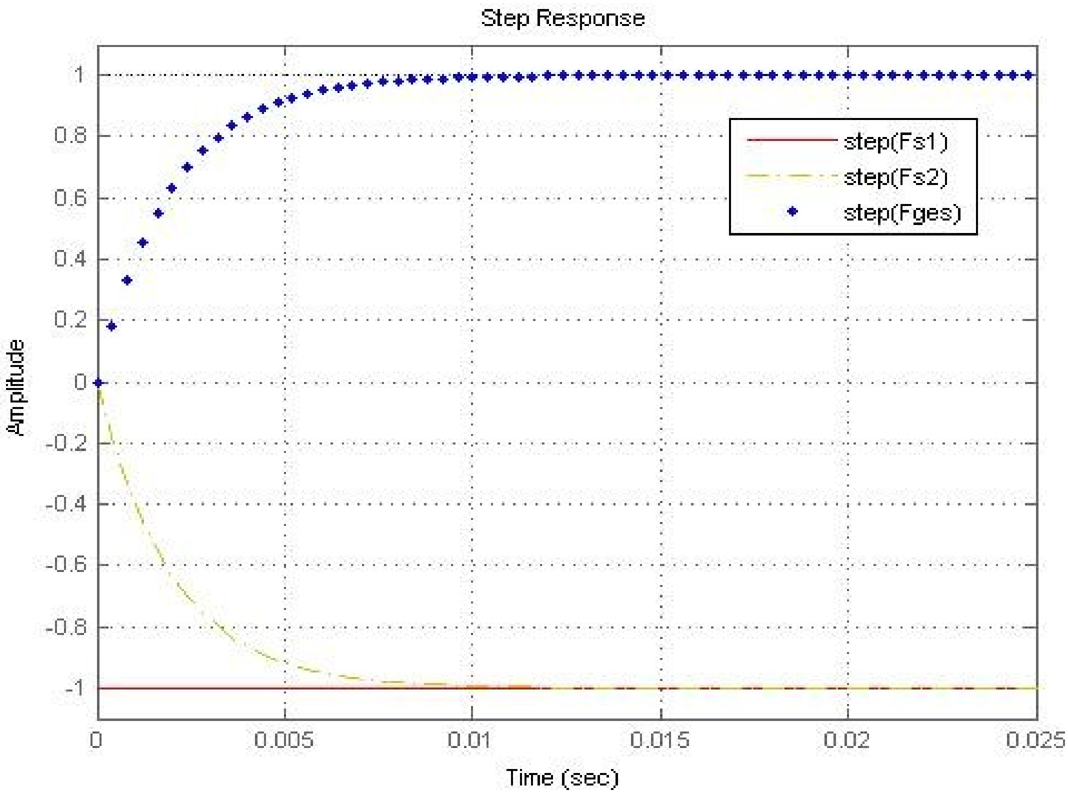


Abbildung 1.2.2a: Sprungantwort

1.2.3 Messen Sie mit Hilfe einer Sprungfunktion

mit $u_{y0}=5\mathrm{V}$ die Stellsprungantwort $u_X(t)$ und ermitteln Sie daraus die Zeitkonstante T_S.

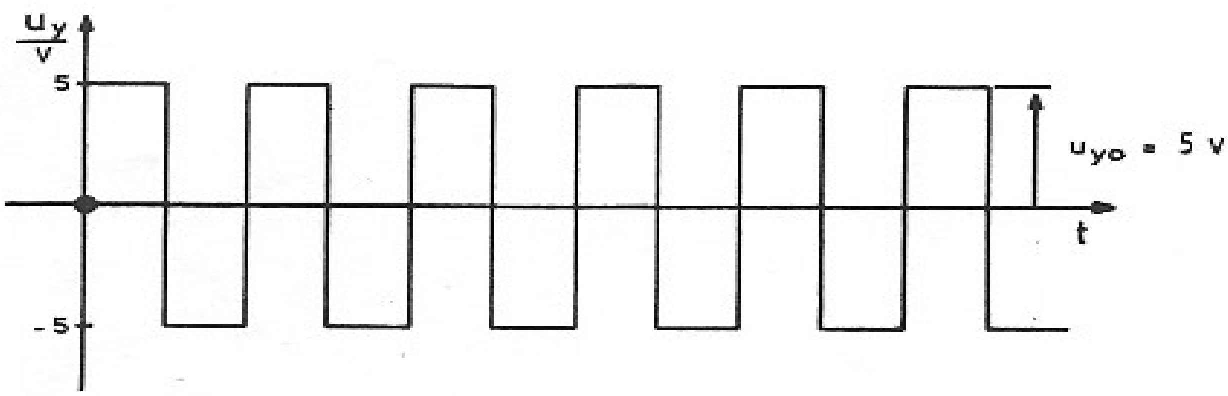


Abbildung 1.2.3a

1.3 Berechnung, Simulation und Messung

der Sprungantwort des Führungsverhaltens für den in Abbildung 1.2 dargestellten Regelkreis aus PT_1-Strecke und P-Regler.

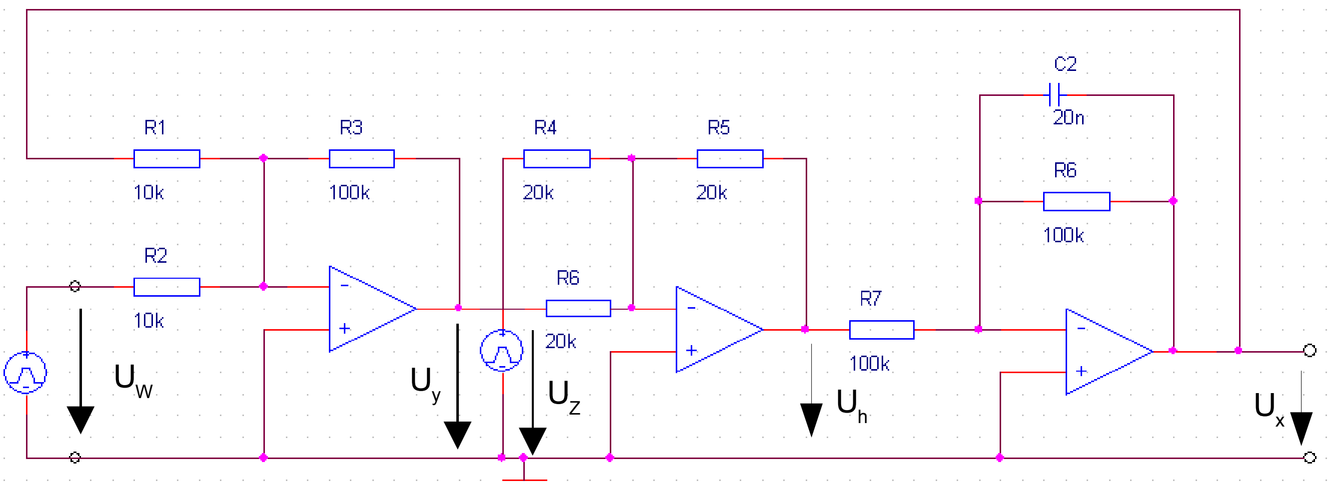


Abbildung 1.2: Regelkreis aus PT_1-Strecke und P-Regler

Uw: Führungsspannung Uy: Spannung nach erstem Operationsverstärker

Uz: Störgrößenspannung Uh: Hilfsspannung

Ux: Ausgangsspannung

1.3.1 Berechnen Sie die Führungsübertragungsfunktion $F_W(s)$

sowie die Störübertragungsfunktion $F_Z(s)$des Regelkreises.

P-Regler:

$$F_R(s)=\frac{U_y(s)}{U_W(s)}=-\frac{R_3}{R_2}=-\frac{100\text{k}\,\Omega}{10\text{k}\,\Omega}=-K_{PR}\quad;\quad K_{PR}=10$$

PT_1-Strecke:

$$\frac{U_h(s)}{U_y(s)}=-\frac{R_5}{R_6}=-\frac{20\text{k}\,\Omega}{20\,k\,\Omega}=-K_{PS1}\quad;\quad K_{PS1}=1$$

$$\frac{U_x(s)}{U_h(s)}=\frac{-\left(\frac{R_8\cdot\frac{1}{s\,c}}{R_8+\frac{1}{s\,c}}\right)}{R_7}=-\frac{\frac{R_8}{1+R_8 sc}}{R_7}=-\frac{R_8}{R_7\cdot(1+R_8\cdot s\,c)}=-\frac{R_8}{R_7\cdot(1+s\,T_1)}$$

$$T_1=R_8\cdot C_1=100\mathrm{k}\,\Omega\cdot 20\mathrm{nF}=2\mathrm{ms}\quad;\quad K_{PS2}=\frac{R_8}{R_7}=\frac{100\mathrm{k}\,\Omega}{100\mathrm{k}\,\Omega}=1$$

$$\frac{U_x(s)}{U_y(s)}=\frac{R_5}{R_6}\cdot\frac{R_8}{R_1}\cdot\frac{1}{1+T_1\cdot s}=K_{PS1}\cdot K_{PS2}\cdot\frac{1}{1+T_1\cdot s}=\frac{1}{1+T_1\cdot s}$$

$$F_S(s)=\frac{U_x(s)}{U_y(s)}=\frac{U_h(s)}{U_y(s)}\cdot\frac{U_x(s)}{U_h(s)}=\frac{1}{1+T_1\cdot s}$$

Gesamtkopplung:

$$F_W(s)=\left[\frac{U_x(s)}{U_W(s)}\right]_{U_z(s)=0}=\frac{F_R\cdot F_S}{1-F_R\cdot F_S}=-\frac{K_{PR}}{1+K_{PR}}\cdot\frac{1}{1+\frac{T_1}{1+K_{PR}}}=-\frac{10}{11}\cdot\frac{1}{1+\frac{2}{11}\cdot s\cdot ms}\quad;\quad T_1=2\mathrm{ms}$$

Störverhalten:

$$U_x(s)=F_s(s)\cdot\left[+U_Z(s)+F_R(s)\cdot U_X(s)\right]$$

$$U_x(s)\cdot\left(1-F_R(s)\cdot F_S(s)\right)=F_s(s)\cdot U_Z(s)$$

$$F_Z(s)=\left[\frac{U_x(s)}{U_Z(s)}\right]_{U_W(s)=0}=\frac{F_S(s)}{\left(1-F_R(s)\cdot F_S(s)\right)}=\frac{\frac{1}{1+sT_1}}{1+\frac{K_{PR}}{1+sT_1}}=\frac{1}{1+sT_1+K_{PR}}=\frac{1}{1+K_{PR}}\cdot\frac{1}{1+s\cdot\frac{T_1}{1+K_{PR}}}$$

$$F_Z(s)=\frac{1}{11}\cdot\frac{1}{1+s\cdot\frac{2}{11}\cdot ms}$$

1.3.2 Berechnen Sie für die Sprungfunktion $u_W(t)=u_{W0}\cdot\sigma(t)$

die Sprungantwort für das **Führungsverhalten**, wenn K_{PR} = 10 und $u_{w0}=0{,}5\,V$ beträgt.

$$u_{W0}\cdot\sigma(t)\circ\!\!-\!\!\bullet\; u_{W0}\cdot\frac{1}{s}$$

$$u_X(s)=U_W(s)\cdot\frac{F_R\cdot F_S}{1-F_R\cdot F_S}=u_{W0}\cdot\frac{1}{s}\cdot\left(-\frac{10}{11}\cdot\frac{1}{1+\frac{1}{11}\cdot sT_1}\right)$$

Lt. Korrespondenztabelle:

$$\frac{1}{s\cdot(1+sT_1)} \quad \overset{51}{\bullet\!\!-\!\!\circ} \quad 1-e^{\frac{t}{T_1}}$$

$$\Rightarrow u_X(t)=u_{W0}\cdot-\frac{10}{11}\left(1-e^{-\frac{t}{\frac{1}{11}\cdot T_1}}\right)=-u_{W0}\cdot\frac{10}{11}\left(1-e^{-\frac{11\cdot t}{T_1}}\right)$$

```
duw=0.5;                                  %Sprunghöhe
t=[-0.000:0.0001:0.002];                  %Zeitbereich einstellen
ux=-10/11*duw*(1-exp(-t/(2e-3/11)));      %Sprungantwort
e=duw+0*t;                                %Sprung
plot (t,ux,t,e);                          %Ausgabe von ux (t) bzw. e(t)
grid;                                     %Gitternetzlinien einschalten
```

Befehlsfolge um die Sprungantwort des Führungsverhaltens auszugeben

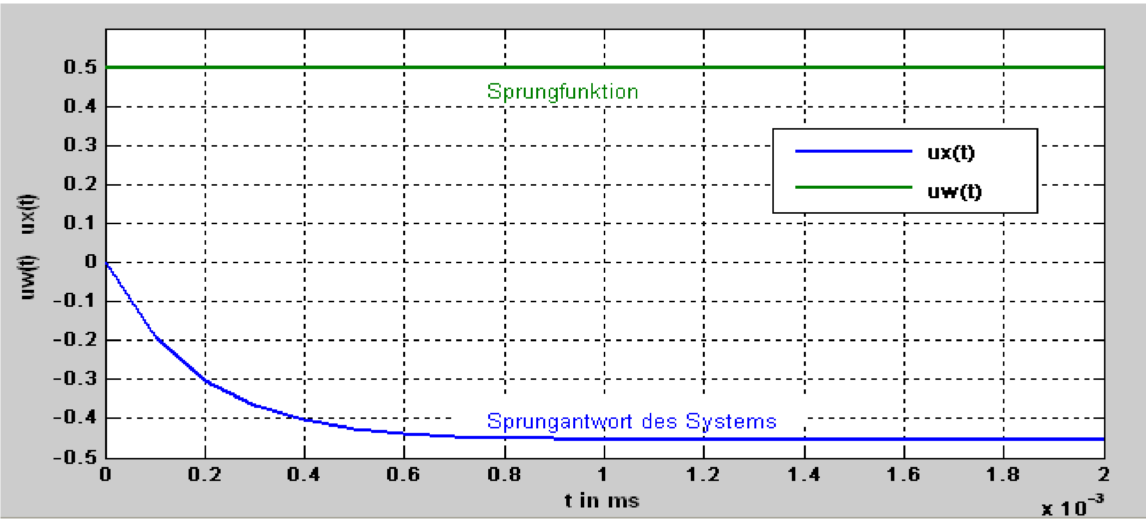


Abbildung1.3.2.a: Übertragungsfunktion des Führungsverhaltens

1.3.3 Berechnen Sie für die Sprungfunktion $u_Z(t)=u_{Z0}\cdot\sigma(t)$ **die Sprungantwort**

für das **Störverhalten**, wenn K_{PR} = 10 und $u_{Z0}=0{,}5\,V$ beträgt.

$$u_{Z0} \cdot \sigma(t) \circ\!\!-\!\!\bullet\, u_{Z0} \cdot \frac{1}{s}$$

$$u_x(s) = u_{Z0} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{F_S}{1 + F_R(s) \cdot F_S(s)} = u_{Z0} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{11 + T_1 \cdot s} = u_{Z0} \cdot \frac{1}{11} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{11} \cdot T_1 \cdot s}$$

Lt. Korrespondenztabelle Skript „Regelungstechnik 1“ S.5-8 Nr.51 gilt:

$$\frac{1}{s \cdot (1 + sT_1)} \quad \bullet\!\!-\!\!\circ \quad 1 - e^{\frac{t}{T_1}}$$

$$\Rightarrow u_X(t) = u_{Z0} \cdot \frac{1}{11} \cdot \left(1 - e^{-11 \cdot \frac{t}{T_1}}\right)$$

duz=5;	%Sprunghöhe
t=[-0.000:0.0001:0.002];	%Zeitbereich einstellen
ux=1/11*duz*(1-exp(-11*t/(2e-3)));	%Sprungantwort
e=duz+0*t;	%Sprung
plot (t,ux,t,e);	%Ausgabe von u_X (t) bzw. e(t)
grid;	%Gitternetzlinien einschalten

Befehlsfolge um die Übertragungsfunktion des Störverhaltens auszugeben

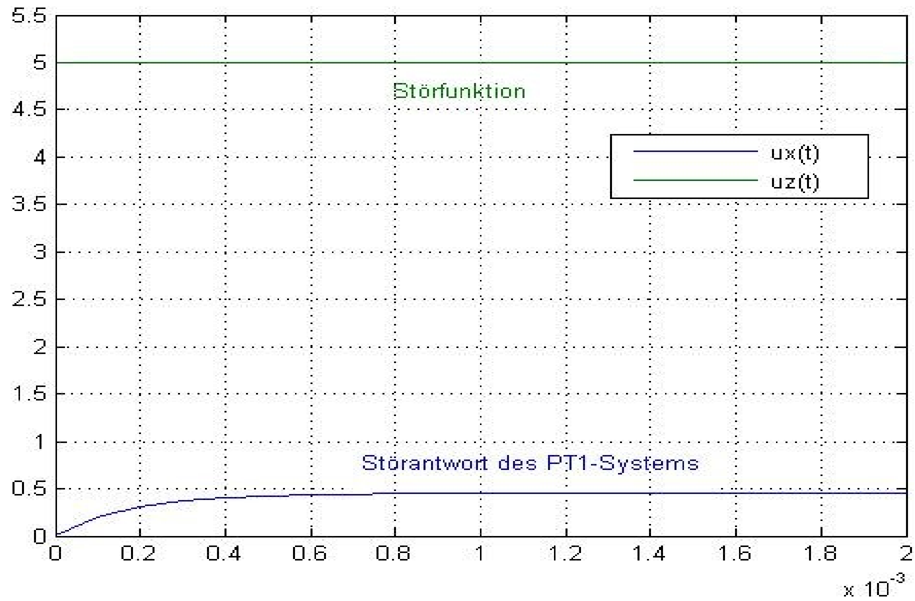


Abbildung1.3.3.a: Störantwort

1.3.4 Simulieren mit Simulink.

Erstellen Sie in Simulink ein Blockschaltbild, welches dem vorliegenden Regelkreis entspricht. Simulieren Sie die Sprungantwort aus 1.3.2 und 1.3.3 mit K_{PR} = 10. Simulieren Sie das Führungsverhalten für weitere Werte von K_{PR} = {0.05, 1, 2, 4, 5, 8}.

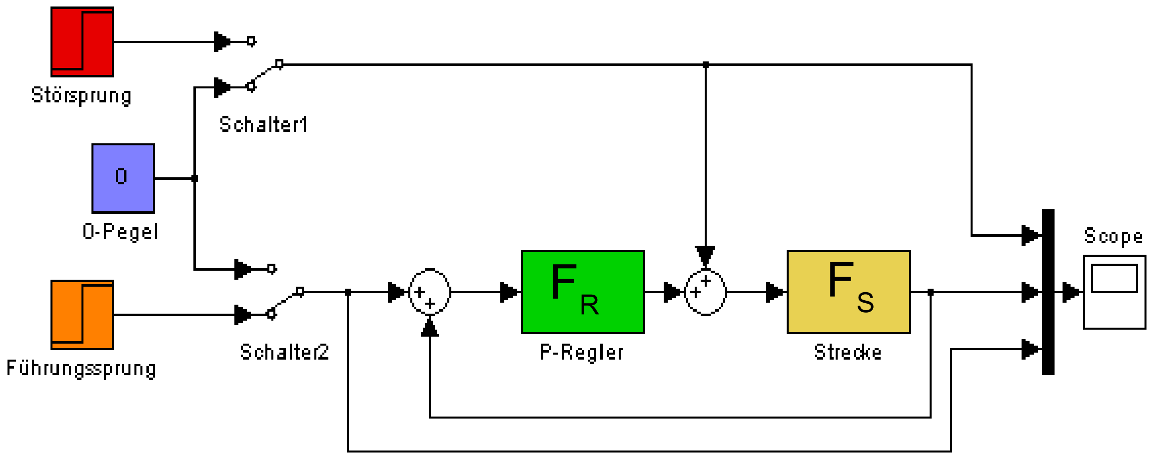


Abbildung 1.3.4a: Simulation des Führungsverhaltens mit Simulink

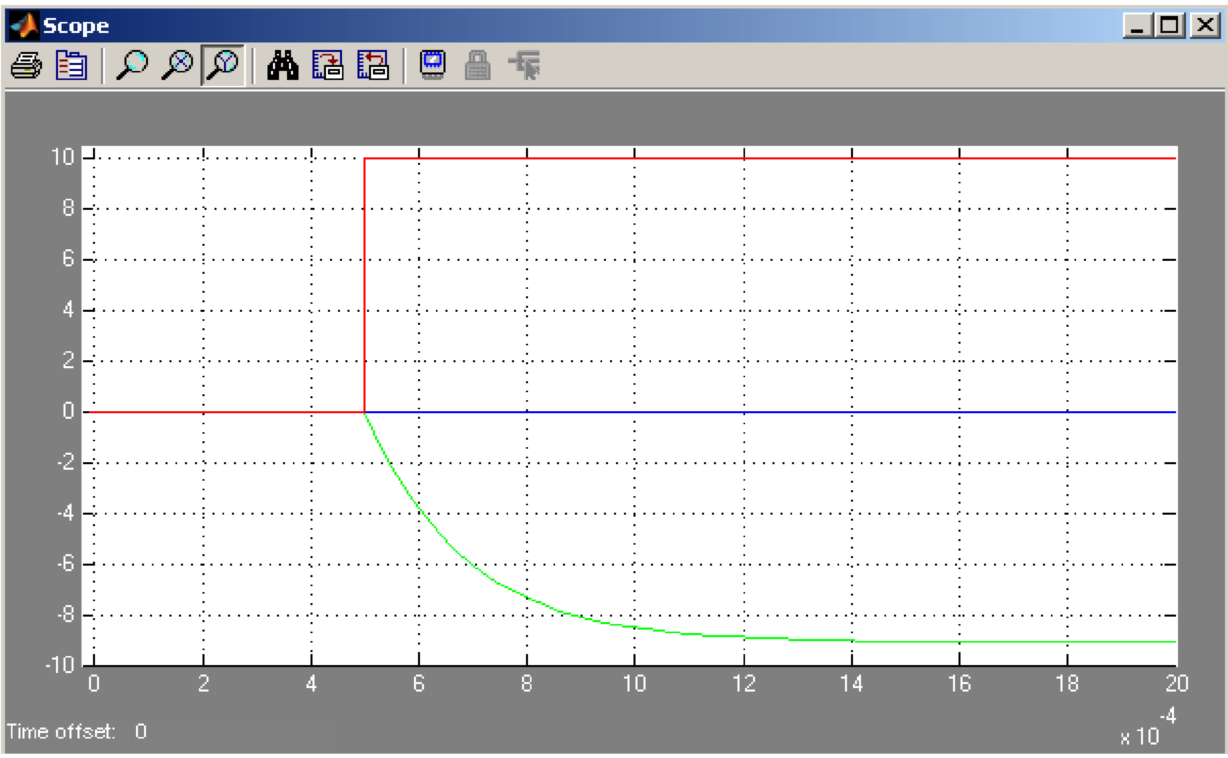


Abbildung 1.3.4b: Simulation der Sprungantwort des Führungsverhaltens (Kpr=10)

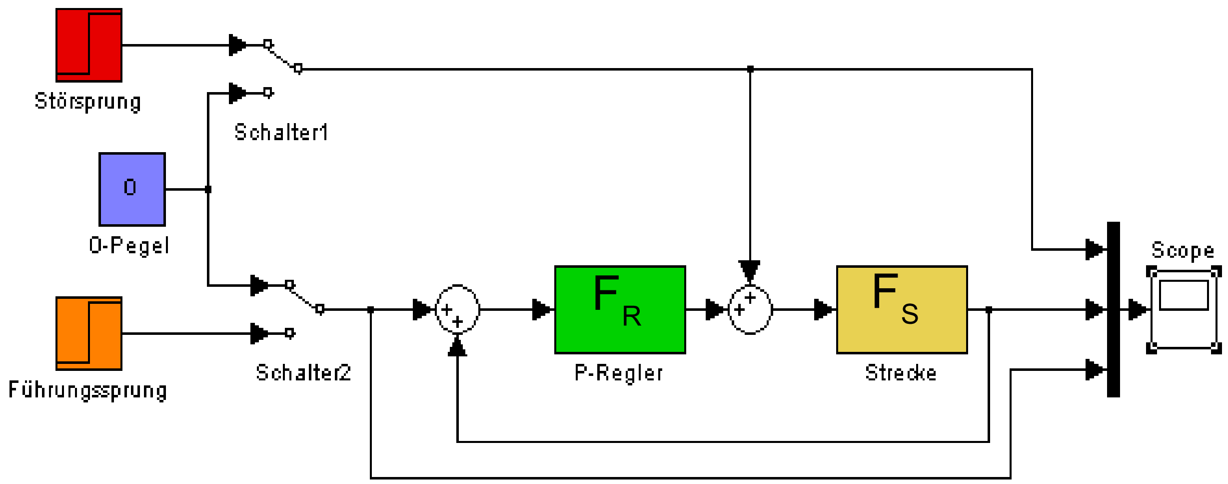


Abbildung 1.3.4c: Simulation des Störverhaltens mit Simulink

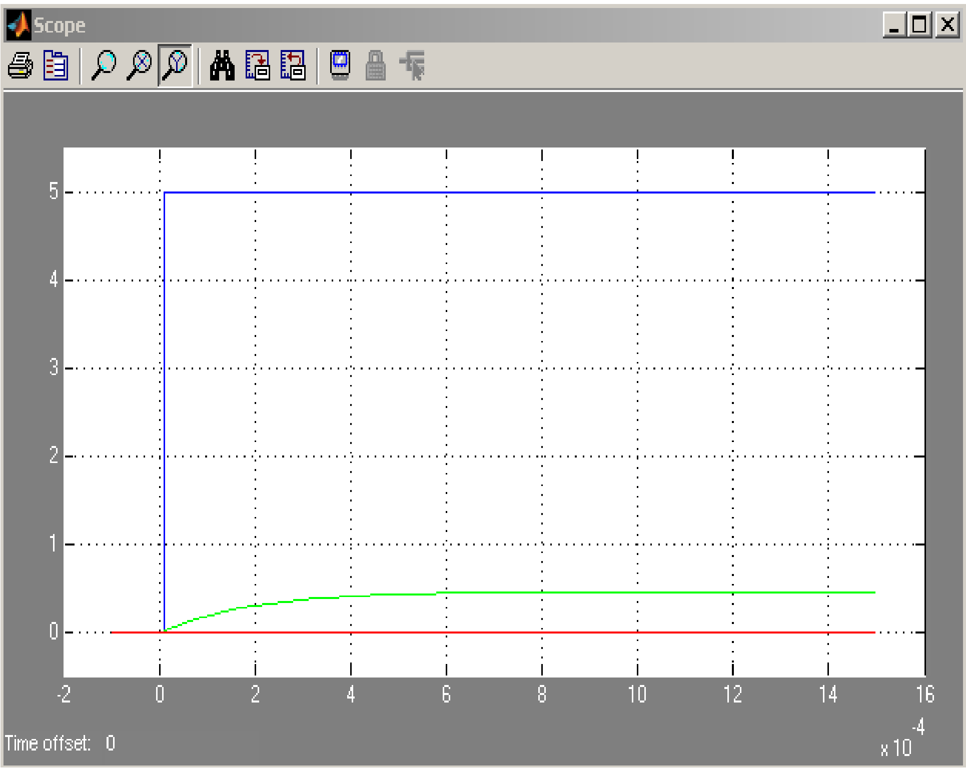


Abbildung 1.3.4d: Simulation der Sprungantwort des Störverhaltens (Kpr=10)

1.3.5 Bauen Sie einen Regelkreis aus PT1-Strecke und P-Regler

wie in Abbildung 1.2 dargestellt auf. **Messen** Sie die Sprungantwort des Führungsverhaltens $u_x(t)$ bei K_{PR} = 10 (R_g=100kΩ) und $u_{W0}=0{,}5\,V$.

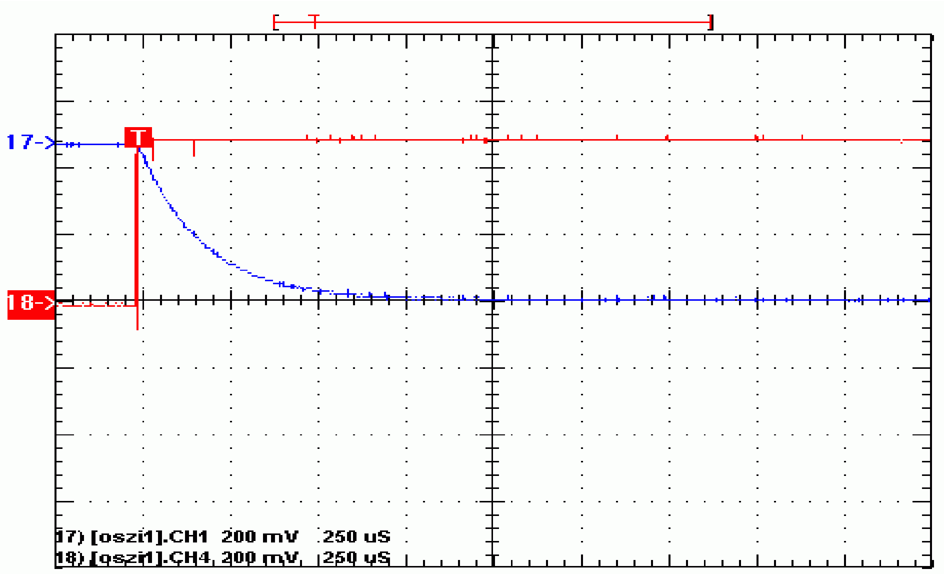


Abbildung 1.3.5a: Messergebnis Sprungantwort (Führung)

1.3.6 Messen Sie mit $u_Z(t)=u_{Z0}\cdot\sigma(t)$ die Störsprungantwort $u_X(t)$

und vergleichen Sie die gemessenen mit den berechneten und simulierten stationären Werten (Beharrungswerten). $u_{Z0}=5\text{V}$

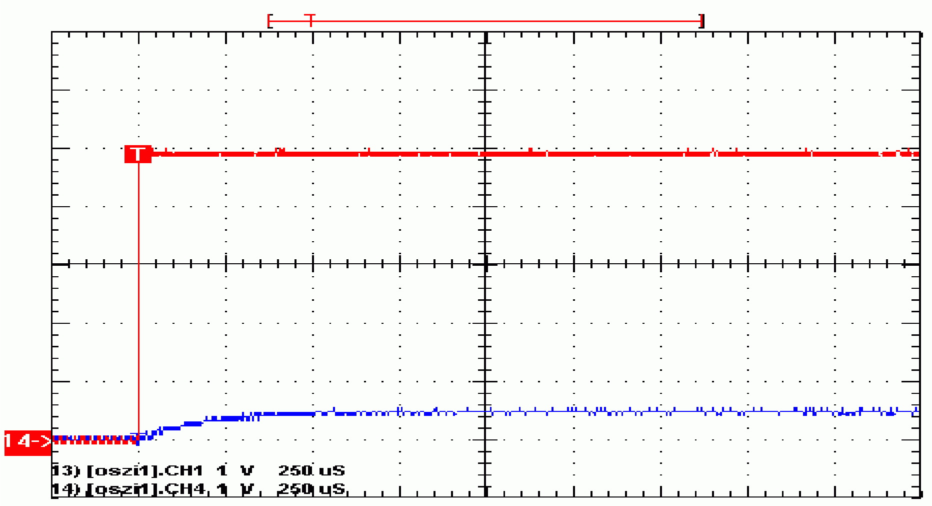


Abbildung 1.3.6a: Messergebnis Sprungantwort (Störung)

1.3.7 Ermitteln Sie aus der in 1.3.4 simulierten und in 1.3.5 gemessenen Sprungantwort

die Zeitkonstante T_S und vergleichen Sie diese mit Ihrem errechneten Wert.

1.3.8 Beobachten Sie im Experiment durch Veränderung von

K_{PR} (R_g = 0,5kΩ, 10kΩ, 20kΩ, 40kΩ, 50kΩ, 80kΩ, 100kΩ) die Verbesserung der Sprungantwort bei Erhöhung von K_{PR}. Achten Sie durch oszillographische Darstellung der Stellgröße u_y darauf, dass der Regler nicht übersteuert wird (Stellbereich $U_{yh} \approx \pm 13V$).

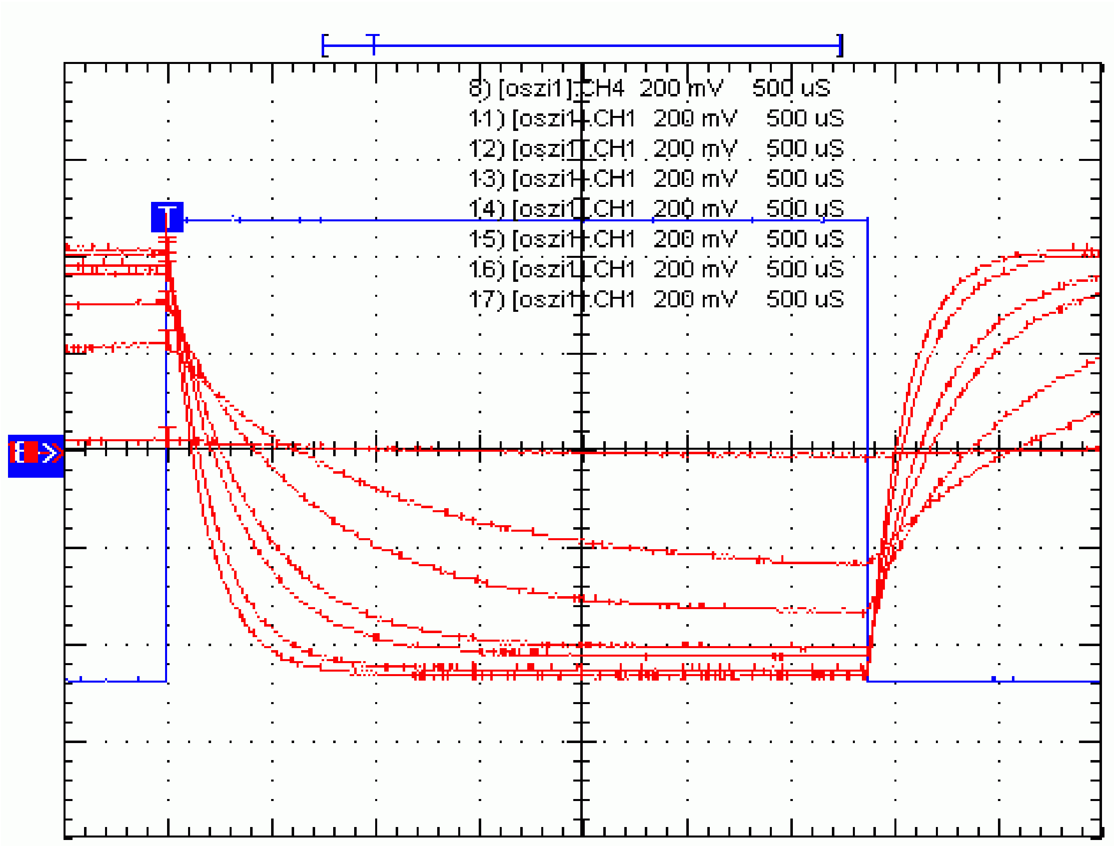


Abbildung 1.3.8a: Sprungantwort des Führungsverhaltens bei verschiedenen K_{PR}

1.3.9 Ermitteln Sie durch Simulation

die Übersteuerungszeit des Reglers für $u_{W0} = 10\text{V}$.
$U_{max} = 13\text{V}$ $U_{min} = -13\text{V}$

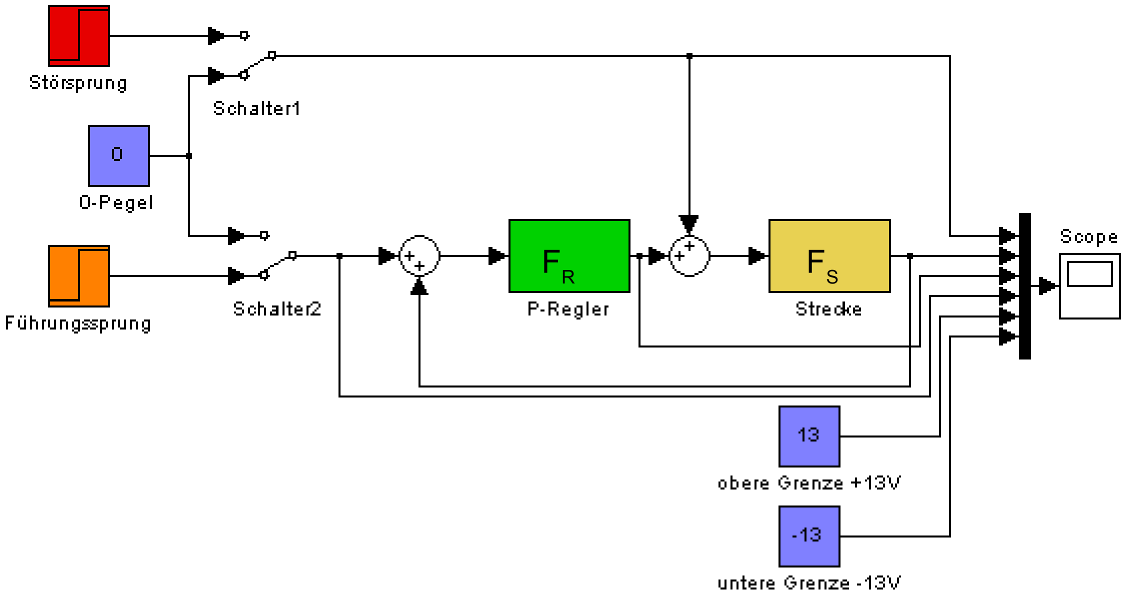
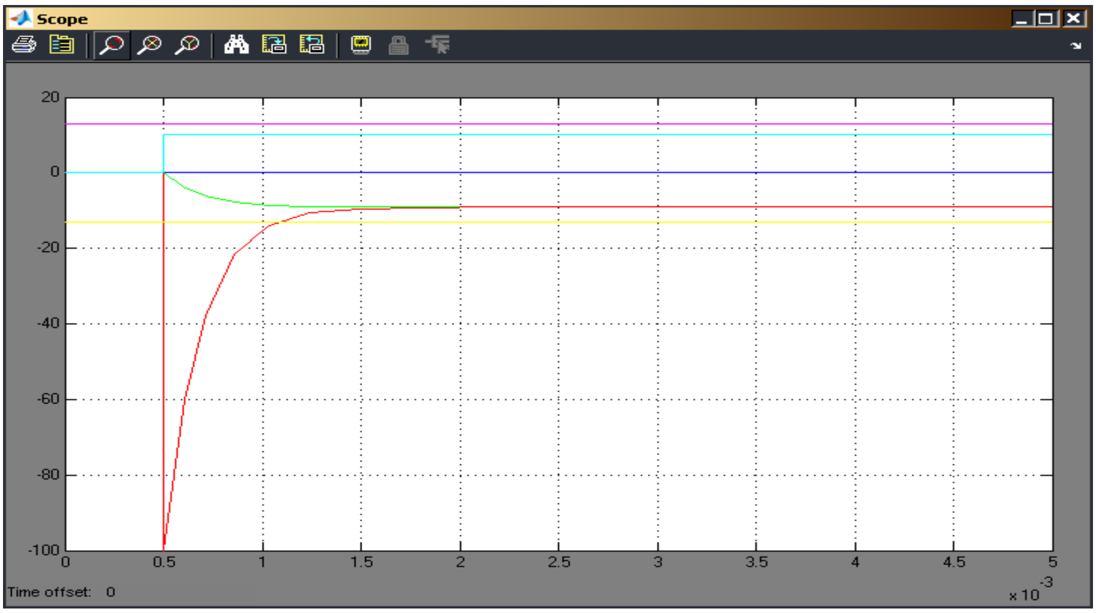


Abbildung 1.3.9a: Simulation der Übersteuerungszeit



Abildung 1.3.9b: Darstellung der Ubersteuerungszeit im Scope

1.3.10 Berechnen Sie die Übersteuerungszeit des Reglers

(Stellgröße in Begrenzung) für $u_{W0} \cdot \sigma(t) = 10\,V \cdot \sigma(t)$ und K_{PR} = 10.

$$T_s = 2\text{ms} \quad ; \quad K_{PS} = 1$$

$$\frac{\Delta U_X(t)}{\Delta U_{W0}} = -\frac{K_{PR}}{1+K_{PR}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_s^*}}\right) + \frac{K_{PR}}{1+K_{PR}} \cdot e^{-\frac{t}{T_s^*}}$$

$$\Delta U_X(t) = -\frac{K_{PR}\,\Delta U_{W0}}{1+K_{PR}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_s^*}}\right) + \frac{K_{PR}\,\Delta U_{W0}}{1+K_{PR}} \cdot e^{-\frac{t}{T_s^*}}$$

$$\Delta U_X(t) = -\Delta U_{W0} \cdot \frac{K_{PR}}{1+K_{PR}} \cdot \left(1 - 2e^{-\frac{t}{T_s^*}}\right) \qquad (1)$$

im Beharrungszustand (stationärer Zustand) gilt:

$$\Delta U_X(t=-0) = \Delta U_X(T \to \infty) = -\Delta U_{W0} \frac{K_{PR}}{1+K_{PR}}$$

aus der Übertragungsfunktion der Regelstrecke folgt:

$$s \cdot T_S \cdot U_X(s) - T_S \Delta U_X(t=0) + U_X(s) = K_{PS} \cdot U_y(s)$$

mit $\Delta U_Y(t) = -U_{Yh} \cdot \sigma(t) \circ\!\!-\!\!\bullet\, U_Y(s) = -\frac{U_{yh}}{s}$

$$U_X(s) = -\frac{U_{yh}}{s} \cdot \frac{K_{PS}}{1+sT_S} + \frac{T_S \cdot \Delta U_X(-0)}{1+sT_S} \overset{7,9}{\bullet\!\!-\!\!\circ} \Delta U_X(t) = -U_{Yh} K_{PS}\left(1 - e^{\frac{-t}{T_S}}\right) + \Delta U_X(-0) \cdot e^{\frac{-t}{T_S}}$$

Der Regler gelangt zum Zeitpunkt t_1 wieder in den aktiven Bereich, wenn

$$\underbrace{\Delta U_{W0}(t=t_1) - \Delta U_X(t=t1)}_{=\Delta U_{XD} \quad Regeldifferenz} \cdot K_{PR} = -U_{Yh}$$

$$\left[\Delta U_{W0} - \left(-U_{Yh} K_{PS} \cdot \left(1 - e^{\frac{-t_1}{T_s}}\right) + \Delta U_X(-0) e^{\frac{-t_1}{T_s}}\right)\right] \cdot K_{PR} = -U_{Yh}$$

$$-U_{Yh} K_{PS}\left(1 - e^{\frac{-t_1}{T_s}}\right) + \Delta U_X(-0)\, e^{\frac{-t_1}{T_s}} = \frac{U_{Yh}}{K_{PR}} + \Delta U_{W0}$$

$$\left(U_{Yh} K_{PS} + \Delta U_X(-0)\right) e^{\frac{-t_1}{T_s}} = \frac{U_{Yh}}{K_{PR}} + \Delta U_{W0} + U_{Yh} K_{PS}$$

$$e^{\frac{-t_1}{T_s}} = \frac{U_{Yh}\left(\frac{1}{K_{PR}}+K_{PS}\right)+\Delta U_{W0}}{U_{Yh}K_{PS}+\Delta U_X(-0)}$$

$$-\frac{t_1}{T_s} = \ln\left(\frac{U_{Yh}\left(\frac{1}{K_{PR}}+K_{PS}\right)+\Delta U_{W0}}{U_{Yh}K_{PS}+\Delta U_X(-0)}\right) \quad \Leftrightarrow \quad -t_1 = T_S \cdot \ln\left(\frac{U_{Yh}\left(\frac{1}{K_{PR}}+K_{PS}\right)+\Delta U_{W0}}{U_{Yh}K_{PS}+\Delta U_X(-0)}\right)$$

$$t_1 = T_S \cdot \ln\left(\frac{U_{Yh}K_{PS}+\Delta U_X(-0)}{U_{Yh}\left(\frac{1}{K_{PR}}+K_{PS}\right)+\Delta U_{W0}}\right) \qquad (2)$$

mit Zahlenwerten:

mit $U_{Yh}=13\mathrm{V}$

aus (1):

$$\Delta U_X(t) = -\Delta U_{W0} \cdot \frac{K_{PR}}{1+K_{PR}} \cdot \left(1-2e^{-\frac{t}{T_s^*}}\right)$$ folgt für $t=-0$

$$\Delta U_X(t=-0) = -\Delta U_{W0} \cdot \frac{K_{PR}}{1+K_{PR}}$$

mit $\Delta U_{W0}=-10\mathrm{V}$ und $K_{PR}=10$ ergibt sich für $\Delta U_X(t=-0)=10\mathrm{V}\cdot\frac{10}{11}$

$T_s=2\mathrm{ms}$; $K_{PS}=1$

Werte in Gleichung (2) einsetzen in :

$$t_1 = 2\mathrm{ms} \cdot \ln\left(\frac{13\mathrm{V}+9{,}09\,V}{13\cdot(\frac{1}{10}+1)-10\mathrm{V}}\right) = 3{,}273\,ms$$

1.3.11 Messen Sie die Übersteuerungszeit für $u_{W0}=10\text{V}$.

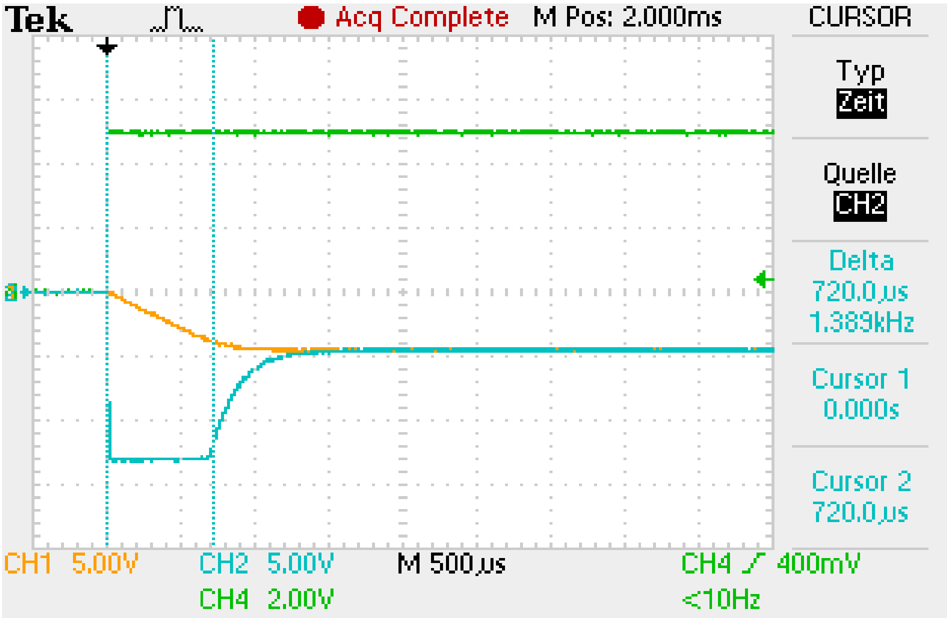


Abbildung 1.3.11a: Messergebnis zu Übersteuerungszeit des Regler

1.3.12 Bestimmen Sie im Experiment durch Veränderung der Führungsgröße

die Spannung u_{W0} , bei welcher der Regler in die Übersteuerung geht (K_{PR}=10 → R_g=100k).

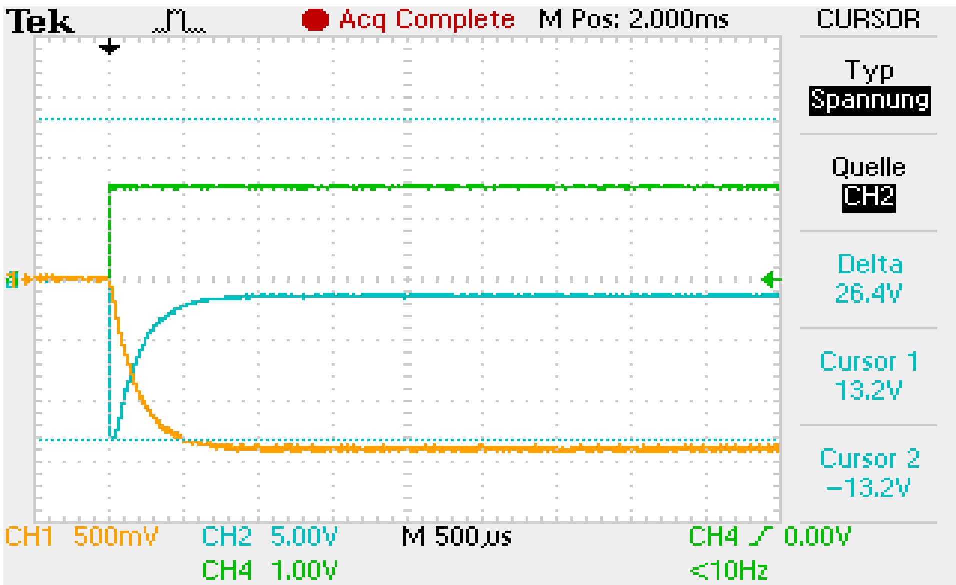


Abbildung 1.3.12a: Regler an Übersteuerungsgrenze bei Sprung von $u_{Wo}=1{,}4\,V$