2024

EDS-Laborversuch 2

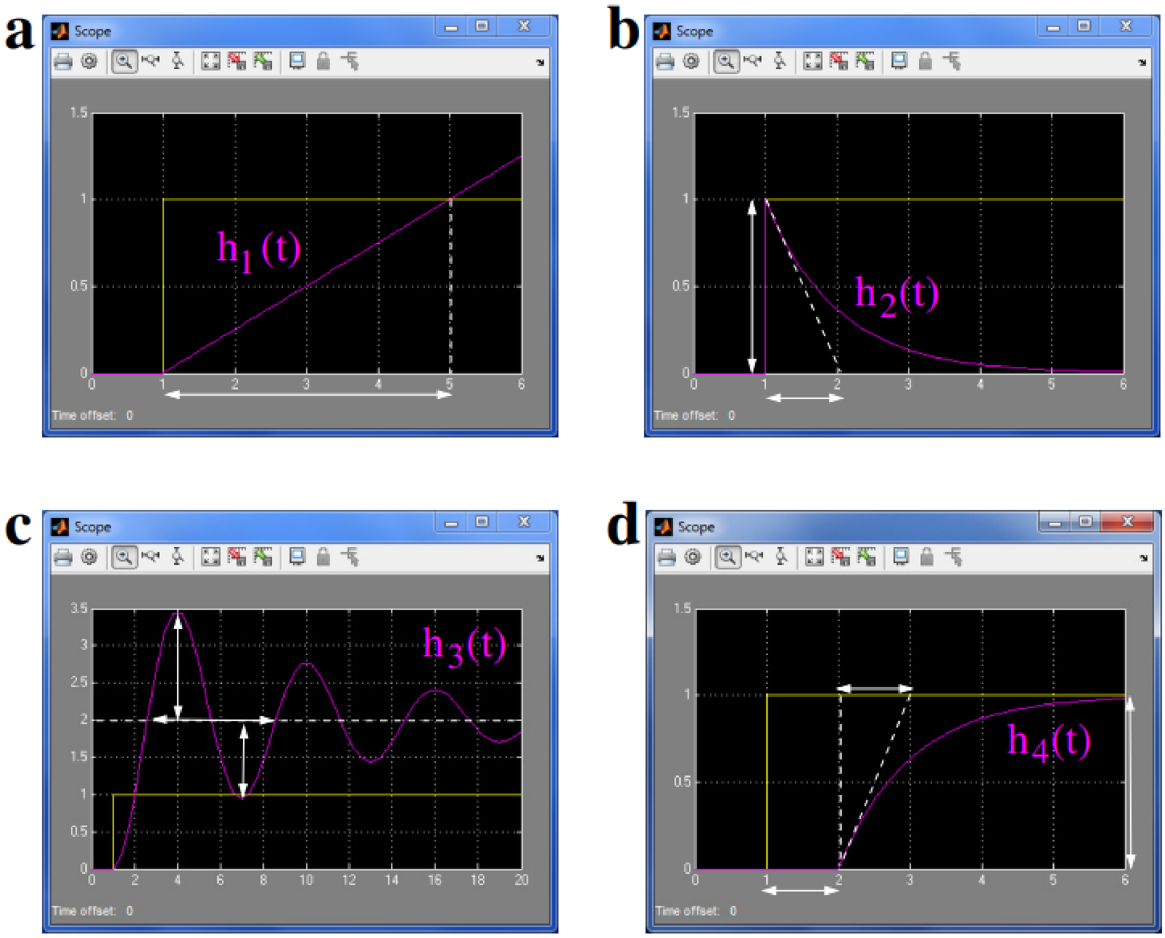
PRAKTIKUM EREIGNISDISKRETE SYSTEME

FABIAN BRZESINA

Aufgabe 1:

Thema: Simulink Grundlagen

Die nachfolgenden Abbildungen (a) bis (d) zeigen die gemessenen Übergangsfunktionen (d.h. Antworten auf den Einheitssprung) $h(t)$ von vier unterschiedlichen regelungstechnischen Übertragungsgliedern:



1. **Um welchen Typ Übertragungsglied handelt es sich jeweils (z.B. I-, PT1Tt-, PT2Tt- ,PD-, PT2-, PTt-, PID- oder DT1-Glied)?**
   a ist ein I-Glied
   b ist ein DT1-Glied
   c ist ein PT2-Glied
   d ist ein PT1-Tt-Glied, also ein PT1-Glied verkettet mit einem Totzeitglied (Tt-Glied)
2. **Schätzen Sie die jeweils relevanten Parameter des Übertragungsglieds (z.B. KP und T1 für ein PT1-Glied)!**

$$h_1(t) = \frac{1}{T_t}(t) = \frac{1}{T_t}(t-1)$$

$$1 = \frac{1}{T_t}(5-1) = \frac{4}{T_t} \Rightarrow T_t = 4$$

   Der Parameter Tt = 4.

$$h_2(t) = \frac{K_0}{T_1} e^{-\left(\frac{t}{T_1}\right)} \overset{T_1=1}{=} K_0 \cdot e^{-(t-1)}$$

$$1 = K_0 \cdot e^{-(1-1)} \Rightarrow K_0 = \frac{1}{1} = 1$$

Der Parameter K0 = 1.

$$h_3(t) = \frac{K_p \omega_0^2}{t^2 + 2d\omega_0 t + \omega_0^2}$$

$$\omega_0 = \frac{\omega_e}{\sqrt{1-d^2}} \quad \text{mit} \quad \omega_e = \frac{2\pi}{6} = 1{,}045$$

$$d = \frac{\ln(1{,}5)}{\sqrt{\pi^2 + \ln(1{,}5)^2}} = 0{,}1$$

$$h_3(t) = \frac{K_p \cdot 1{,}045^2}{(t-1)^2 + 2 \cdot 0{,}1 \cdot 1{,}045 \cdot (t-1) + 1{,}045^2}$$

$$\omega_0 = 1{,}045$$

$$h_3(t) = \frac{K_p \cdot 1{,}045^2}{(t-1)^2 + 1{,}245 \cdot (t-1) + 1{,}045^2}$$

$$T_2 = \frac{1}{\omega_0} = 0{,}957 \quad T_1 = 2 \cdot d T_2 = 0{,}1914$$

$$K_p = h(t \to \infty) = 2$$

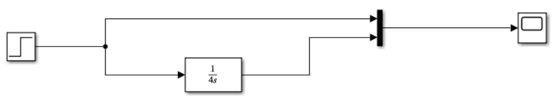
Die Parameter Kp = 2, T2 = 0,957, T1 = 0,1914

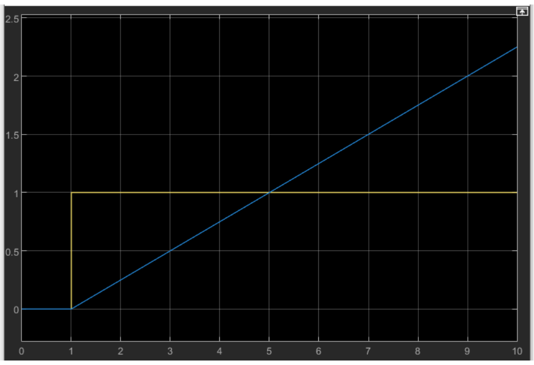
$$T_t = 1, \quad K_p = 1$$

Die Parameter Tt und Kp können abgelesen werden und sind für beide Variablen = 1.

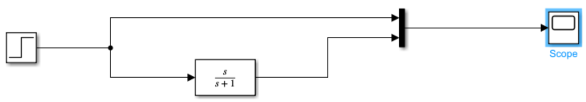
3. **Überprüfen Sie Ihre Wahl durch Simulation der Sprungantwort unter Simulink mit dem nachfolgend aufgeführten Simulink-Modell.**

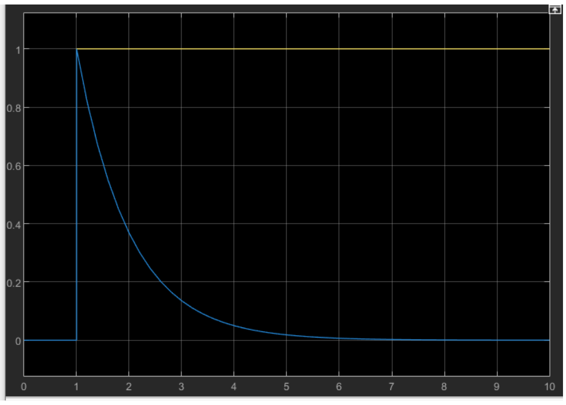
Für a)



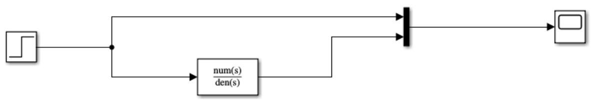


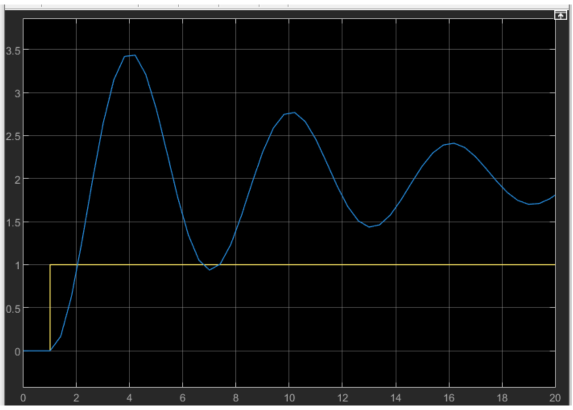
Für b)



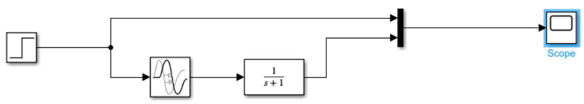


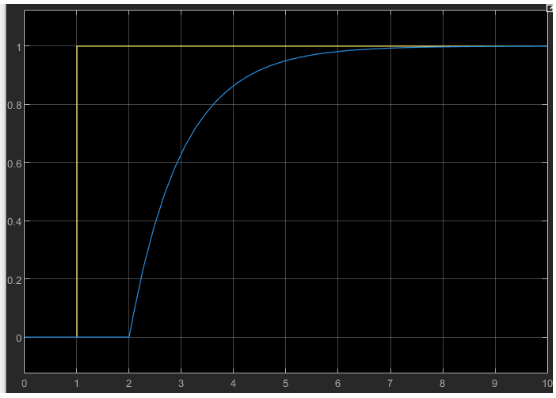
Für c)





Für d)

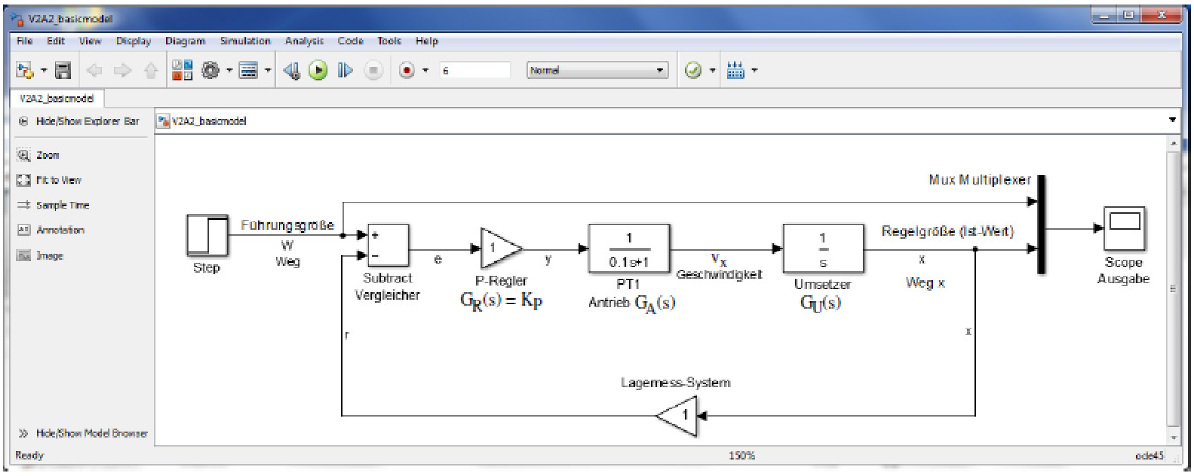




Aufgabe 2

Thema: Optimierung eines einfachen Regelkreises mit Simulink

Das dynamische Verhalten eines Lageregelkreises soll untersucht werden. Die Regelstrecke wird durch den Antrieb $G_A(s)$ und die Umsetzung der Geschwindigkeit v_x des Antriebes in den Weg x gebildet. Der eingesetzte P-Regler $G_R(s) = K_P$ soll angepasst/optimiert werden.



a) **Bestimmen Sie das Übertragungsverhalten der Umsetzung der Geschwindigkeit vx (t) in den Weg x (t) und deren Transformation in den Bildbereich (Frequenzbereich):**

$$v_x(t) = \frac{dx(t)}{dt} \circ\!\!-\!\!\bullet \; v_x(s) = \ldots \cdot x(s) \qquad \Rightarrow \qquad G_U(s) := \frac{x(s)}{v_x(s)} = \ldots .$$

$$\int v_x(t) = \int \frac{dx(t)}{dt} \cdot \int 1 \qquad G_u(s) := \frac{\cancel{x(s)}}{\cancel{x(s)} \cdot s} = \frac{1}{s}$$

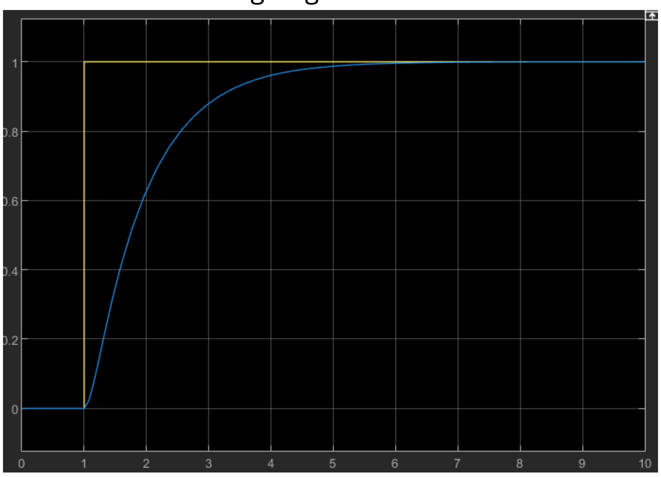
$$v_x(s) = x(s) \cdot s$$

↳ i-Glied

b) **Der Antrieb sei in 1.Näherung als Verzögerungsglied 1.Ordnung über**

$G_A(s) = \dfrac{1}{1 + T_A s}$ mit $T_A = 0.1$ **dargestellt.**

a. Erstellen Sie den Lageregelkreis in Simulink mit KP = 1.



Über den Aufbau von oben mit KP = 1

b. Optimieren Sie dann den geschlossenen Regelkreis über KP auf leichtes Überschwingen der Übergangsfunktion.

```
simIn = Simulink.SimulationInput("Aufgabe_2_b");
Kp = 1:0.2:51;
for i = 1:length(Kp)
    simIn = simIn.setVariable("Kp",Kp(i));
    out = sim(simIn);
    h = out.simout.Data(:,2);
    if max(h) > 1
        vpa(max(h),100)
        disp(Kp(i))
        break
    end
end
```

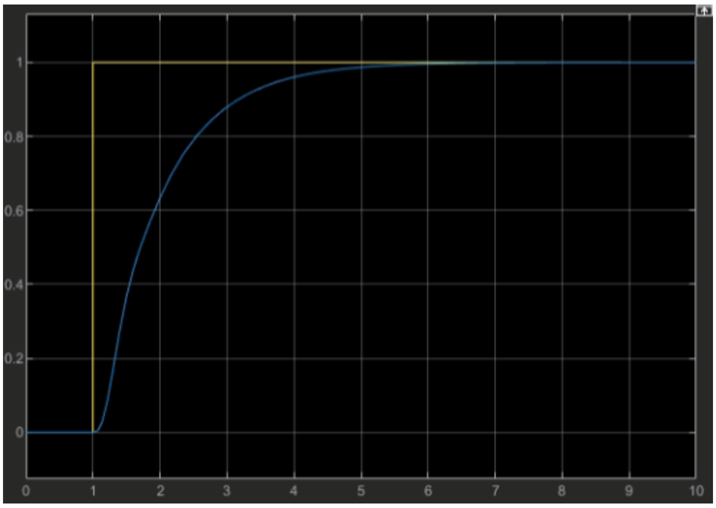
c. Wie groß ist KP_opt ?
   KP_opt ist nach Ausführen des Skripts bei 2,6

```
Aufgabe_2_b_skript

ans =

1.00000013163018541817450568487402051687240600585937 5

    2.6000
```

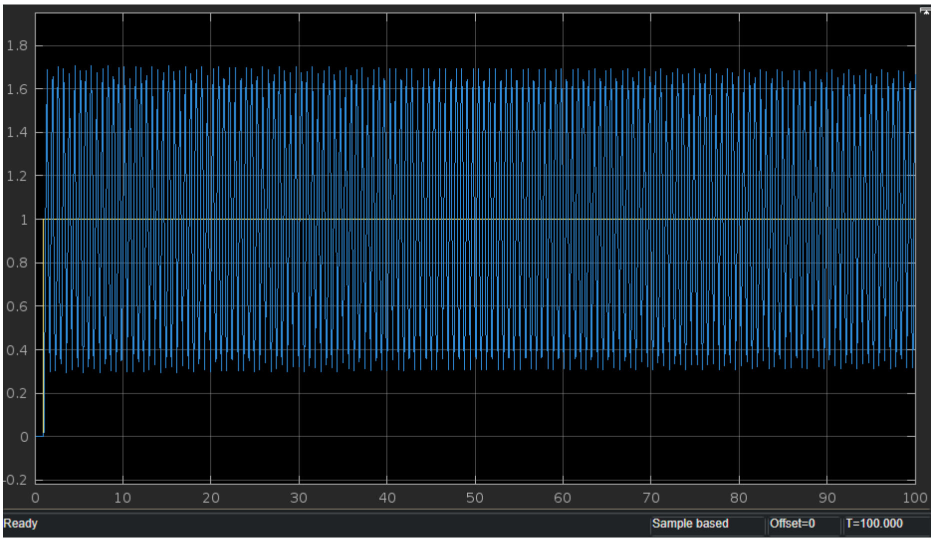
c) **Der Antrieb sei nun als Verzögerungsglied 2.Ordnung durch**

$G_A(s) = \frac{1}{1+2DT_as+T_a^2s^2}$ **mit D = 0.5 und Ta = 0.1 approximiert.**

a. Verändern Sie den Lageregelkreis nach b) in Simulink entsprechend.



b. Ermitteln Sie nun KP_opt nach der Stabilitätsrand-Methode (siehe Skript S.23).



Die kritische Verstärkung KP_krit erhält man nach der Stabilitätsrand-Methode durch stetiges Erhöhen von KP. Wenn die Übergangsfunktion in der Amplitude gleichbleibend periodisch schwingt ist

$$K_P = K_{P,\text{krit}} = 2K_{P,\text{opt}} \qquad \text{bzw.} \qquad K_{P,\text{opt}} = 0.5K_{P,\text{krit}} = \dots \ .$$

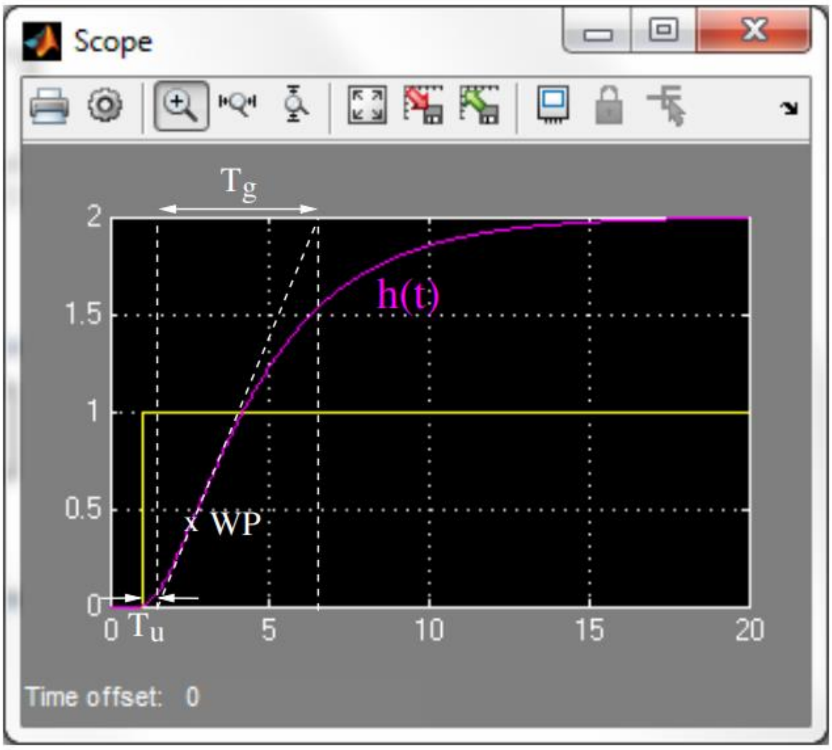
KP_krit liegt im oben gezeigten Graphen bei dem Wert 10.

<u>KP_opt ist demnach 0.5 * 10 = 5.</u>

Aufgabe 3

Thema: Optimierung mit Übergangsfunktions-Methode nach Ziegler/Nichols

Unter Anwendung der **Übergangsfunktions-Methode nach Ziegler und Nichols** (Skript S.23) sollen die Einstellparameter eines Standardreglers für eine **Regelstrecke 2.Ordnung** ermittelt werden.
Die Übergangsfunktion (Sprungantwort) $h(t)$ der Regelstrecke 2.Ordnung $G_A(s)$ ist durch folgende Skizze gegeben,



und die Übertragungsfunktion $G_A(s)$ obiger Regelstrecke durch

$$G_A(s) = \frac{2}{3s^2 + 4s + 1} = \frac{2}{(s+1)(3s+1)} .$$

a) **Ermitteln Sie grafisch aus der Sprungantwort h(t) die Verzugszeit Tu, die Ausgleichszeit Tg und den Proportionalbeiwert (Verstärkung) Ks.**
Tu = 0,5 durch Messen am Schaubild.
Tg = 5,2 durch Messen am Schaubild.
Ks = 2, da die Funktion gegen 2 konvergiert.

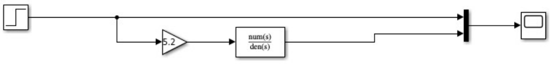
b) **Wählen Sie einen P- und dann noch einen PI-Regler und parametrisieren Sie diese entsprechend der folgenden Tabelle nach dem Ziegler-Nichols-Einstellkriterium (Skript S.23):**

Regler	K_p	T_n	T_v
P	$T_g/(K_s \cdot T_u)$		
PI	$0.9 \cdot T_g/(K_s \cdot T_u)$	$3.3 T_u$	
PID	$1.2 \cdot T_g/(K_s \cdot T_u)$	$2.0 T_u$	$0.5 T_u$

D.h. ermitteln Sie für den P-Regler einen passenden Wert für Kp und für den PI-Regler passende Werte für Kp und Tn.

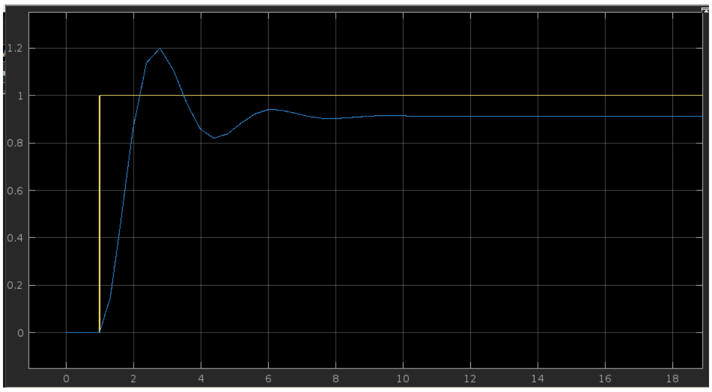
P-Regler: Kp = 5,2 / (2 * 0,5) = 5,2	PI-Regler: Kp = 0,9 * 5,2 / (2 * 0,5) = 4,68 Tn = 3,3 * 0,5 = 1,65

c) **Erstellen Sie das Blockschaltbild des Regelkreises mit dem gewählten P-Regler und der Regelstrecke $G_A(s) = \frac{2}{3s^2+4s+1}$ in Simulink.**

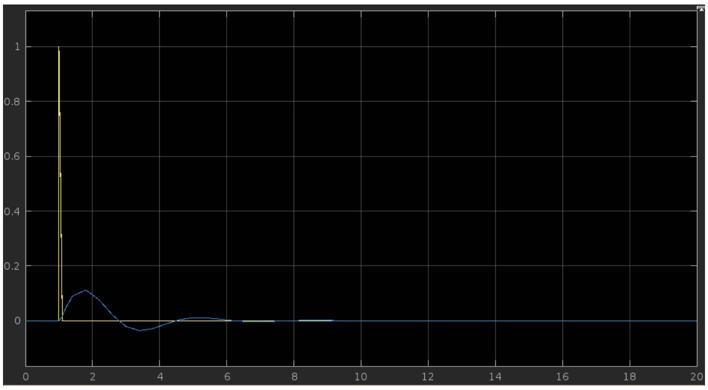


Untersuchen Sie das Führungsverhalten: Ermitteln Sie dazu durch Sprung ε(t) – und Stoß δ(t) – Anregung des erstellten Regelkreises die Übertragungsfunktion h(t), und die Gewichtungsfunktion g(t).

Übertragungsfunktion h(t):

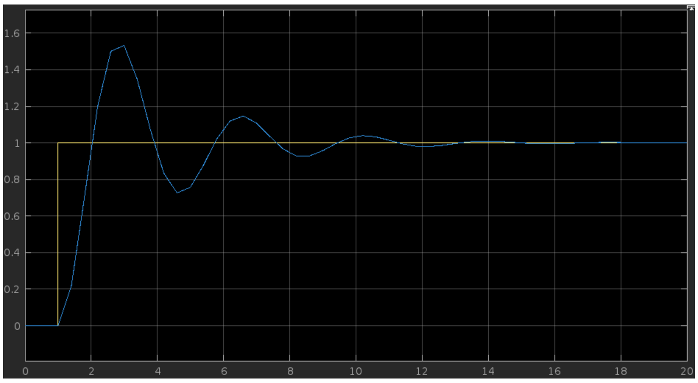


Gewichtungsfunktion g(t):

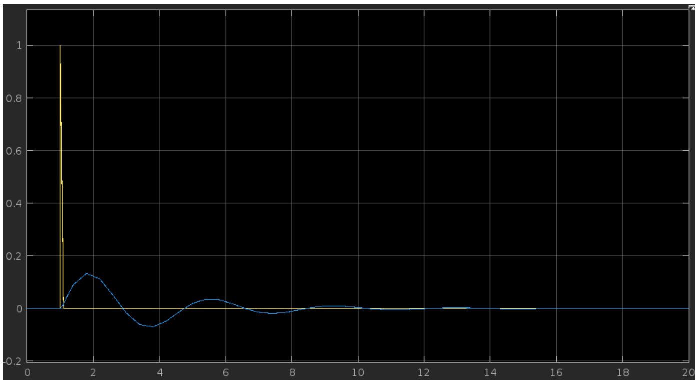


d) **Erweitern Sie das Blockschaltbild des Regelkreises auf den gewählten PI-Regler. Ermitteln Sie wieder Sprung ε(t) – und Stoß δ(t) – Anregung des erstellten Regelkreises die Übergangsfunktion h(t) und die Gewichtungsfunktion g(t).**

Übertragungsfunktion h(t):



Gewichtungsfunktion g(t):



e) **Welcher grundsätzliche Unterschied besteht zwischen den Übergangsfunktionen nach c) und d)?**

Ks ist hier bei beiden P-Reglern unterschiedlich. Beim P-Regler von c) schwingt der Wert entgegen unserer Erwartung nicht gegen den Wert 1 sondern bleibt darunter.
Beim PI-Regler hingegen stimmt der Verlauf mit unserer Erwartung überein.
Dadurch ist der P-Regler ungenauer als der PI-Regler.

Aufgabe 4

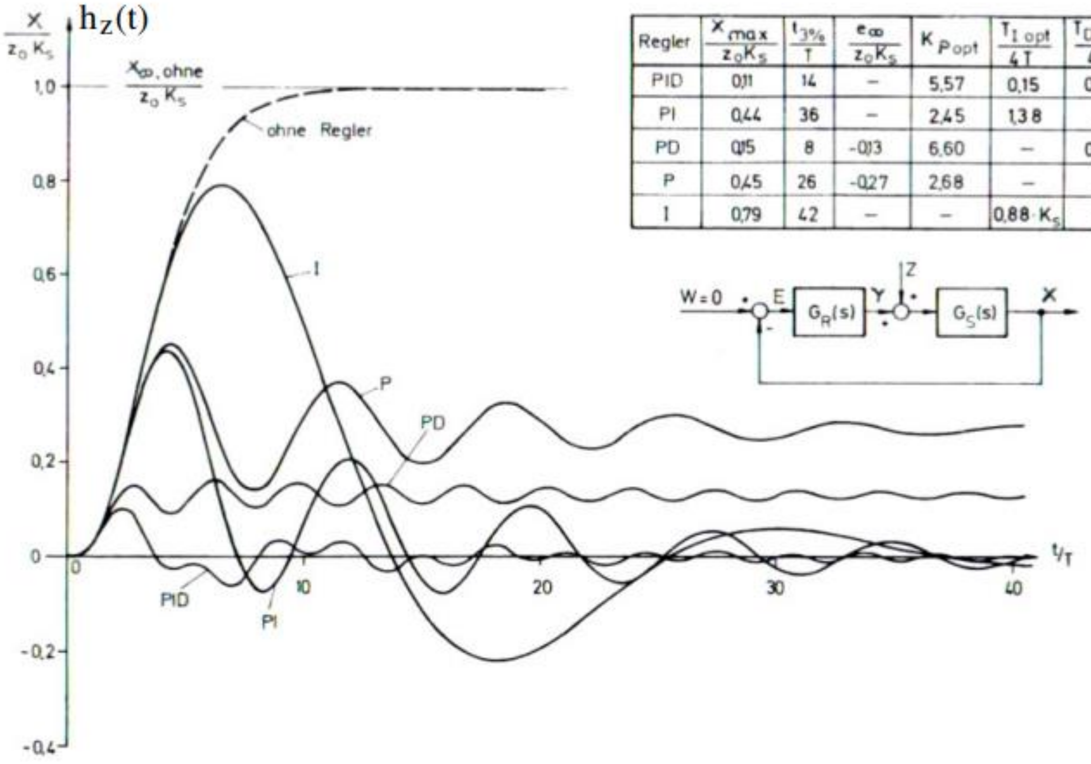
Thema: Regelverhalten von P-, I- und PID-Reglern

Es soll das Regelverhalten eines P-Reglers, I-Reglers und PID-Reglers in der Regelung einer "4-te Ordnung-Strecke" untersucht werden.
Mit Simulink soll die Störübergangsfunktion $h_z(t)$ des Regelkreises der folgenden Figur (vgl. Skript S.20) mit dem optimalen P-Regler, dem optimalen I-Regler und dem optimalen PID-Regler und einer "4-te Ordnung Strecke" (d.h. 4× PT1) nachgewiesen werden.

Im folgenden Schaubild ist die Störübergangsfunktion $h_z(t)$ der normierten Regelgröße $x/(z_0 K_s$ für eine sprungförmige Störung $z(t) = z_0\epsilon(t)$ für verschiedene Reglertypen $G_R(s)$ dargestellt. Hierbei liege die Störung $z(t)$ am Eingang der Regelstrecke $G(s)$ mit (siehe Skizze des Regelkreises)

$$G(s) = \frac{K_S}{(1+TS)^4} \qquad \text{mit} \qquad K_S = 1;\, T = 1;\, z_0 = 1\ .$$

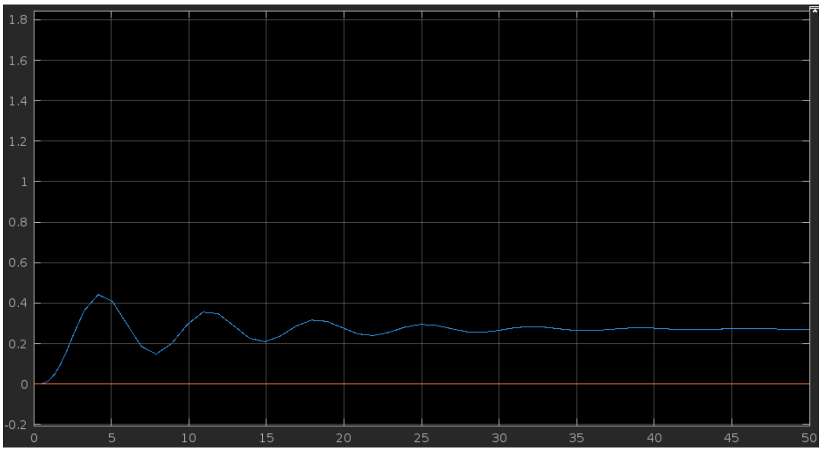
In den Regelkreisen wurden die optimierten I-, P-, PD-, PI-, PID-Regler mit den optimierten Parametern $K_{P,\mathrm{opt}}$, $T_{n,\mathrm{opt}}$, $T_{v,\mathrm{opt}}$ (siehe Tabelle) eingebaut.



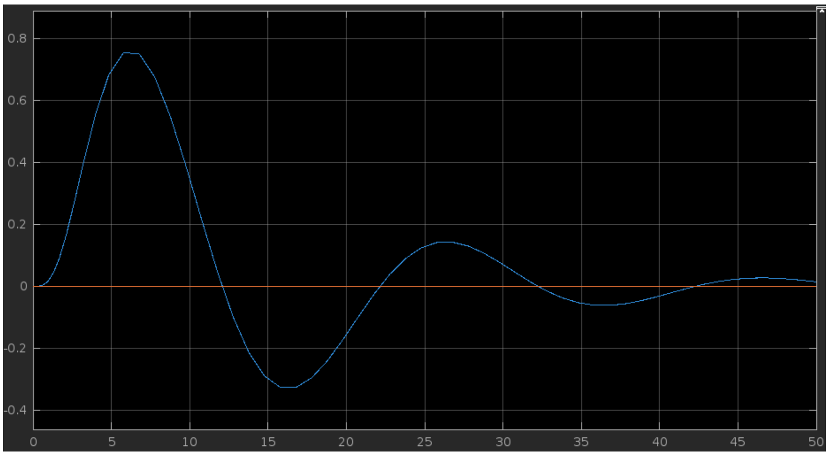
Regler	$\frac{x_{max}}{z_0 K_s}$	$\frac{t_{3\%}}{T}$	$\frac{e_\infty}{z_0 K_s}$	$K_{P\,opt}$	$\frac{T_{I\,opt}}{4T}$	$\frac{T_{D\,opt}}{4T}$
PID	0,11	14	–	5,57	0,15	0,67
PI	0,44	36	–	2,45	1,38	–
PD	0,15	8	-0,13	6,60	–	0,34
P	0,45	26	-0,27	2,68	–	–
I	0,79	42	–	–	$0{,}88 \cdot K_s$	–

a) Erstellen Sie in Simulink den Regelkreis aus der Regelstrecke Gs(s) = Ks/(1 + T*s)^4 mit Ks = 1; T = 1 und einem optimierten P-Regler.
Ermitteln Sie hierfür den optimalen Parameter Kp_opt aus obiger Tabelle.
Kp_opt = 2,68
Ermitteln Sie dann durch Simulation die Störübergangsfunktion hz(t) aus der

sprungförmigen Störung z(t) = z0 * ε(t) mit z0 = 1 am Eingang der Regelstrecke.

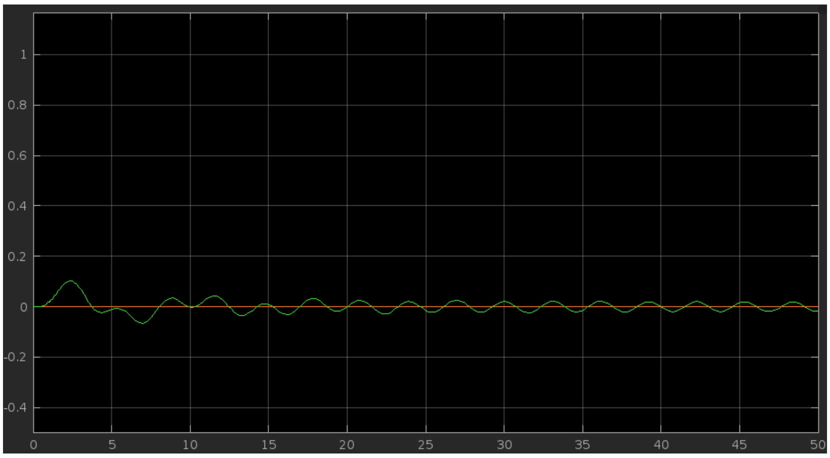


b) Erstellen Sie in Simulink den Regelkreis aus der Regelstrecke Gs(s) = Ks/(1 + T*s)^4 mit Ks = 1; T = 1 und einem optimierten I-Regler.
Ermitteln Sie hierfür den optimalen Parameter Tn_opt aus obiger Tabelle.
Tn_opt/4T = 0,88 * Ks
Tn_opt/4*1 = 0,88 * 1 => multipliziere mit 4
=> Tn_opt = 0,88 * 4 = 3,52
Ermitteln Sie dann durch Simulation die Störübergangsfunktion hz(t) aus der sprungförmigen Störung z(t) = z0 * ε(t) mit z0 = 1 am Eingang der Regelstrecke



c) Erstellen Sie in Simulink den Regelkreis aus der Regelstrecke Gs(s) = Ks/(1 + T*s)^4 mit Ks = 1; T = 1 und einem optimierten PID-Regler.
Ermitteln Sie hierfür den optimalen Parameter Kp_opt, Tn_opt und Tv_opt aus obiger Tabelle.
Kp_opt = 5,57 (siehe Tabelle)
Tn_opt/4T = 0,15 => multipliziert mit 4 (T=1) => Tn_opt = 0,6
Tv_opt/4T = 0,67 => multipliziert mit 4 (T=1) => Tv_opt = 2,68
Ermitteln Sie dann durch Simulation die Störübergangsfunktion hz(t) aus der

sprungförmigen Störung z(t) = z0 * ε(t) mit z0 = 1 am Eingang der Regelstrecke.



d) Geben Sie die Störübergangsfunktionen hz(t) der Regelkreise mit P-, I-, PID-Regler nach a), b) und c) gemeinsam auf ein Scope und erstellen Sie eine obigem Schaubild entsprechende Abbildung.