Steuer- und Regelungstechnik

9. Übung

Victor Cheidde Chaim

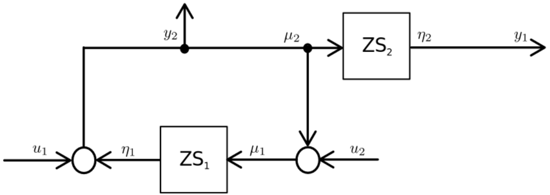
15. März 2022

Universität der Bundeswehr München, LRT-15 Institut für Steuer- und Regelungstechnik

Aufgabe 8.3

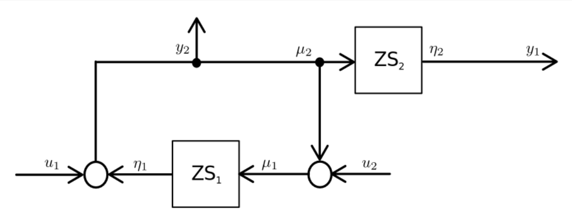
Betrachten Sie die Kopplung der unten dargestellten Zustandssysteme ZS_1 und ZS_2 mit ihren jeweiligen Matrizen A_i, B_i, C_i und D_i,wobei $i = 1, 2$. Bestimmen Sie die Matrizen A, B, C und D des Zustandssystems, das das Gesamtsystem beschreibt, mit $y = (y_1, y_2)$ und $u = (u_1, u_2)$, für die beiden folgenden Fälle:

1. $A_1 = diag(-1, -2)$, $B_1 = (0, 1)$, $C_1 = (0, 1)$, $D_1 = 0$ und $A_2 = diag(-2, -3)$, $B_2 = (1, 0)$, $C_2 = (1, 0)$, $D_2 = 0$;
2. $A_1 = -1$, $B_1 = 2$, $C_1 = 1$, $D_1 = 1$ und $A_2 = 3$, $B_2 = 2$, $C_2 = 1$, $D_2 = 0$.



Aufgabe 8.3

1) $A_1 = diag(-1,-2)$, $B_1 = (0,1)$, $C_1 = (0,1)$, $D_1 = 0$ und
$A_2 = diag(-2,-3)$, $B_2 = (1,0)$, $C_2 = (1,0)$, $D_2 = 0$;



x_1, x_2

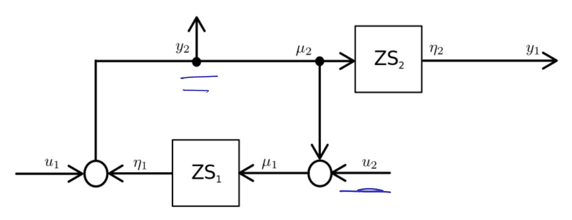
3)a) Verhalten der Blöcke:

$\mu_1 \rightarrow \underset{x_1}{\boxed{ZS_1}} \rightarrow \eta_1$, $\mu_2 \rightarrow \underset{x_2}{\boxed{ZS_2}} \rightarrow \eta_2$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_1 x_1 + B_1 \mu_1 \\ \eta_1 = C_1 x_1 + D_1 \mu_1 \end{cases} \qquad \begin{cases} \dot{x}_2 = A_2 x_2 + B_2 \mu_2 \\ \eta_2 = C_2 x_2 + D_2 \mu_2 \end{cases}$$

Aufgabe 8.3

1) $A_1 = diag(-1,-2),\ B_1 = (0,1),\ C_1 = (0,1),\ D_1 = 0$ und
$A_2 = diag(-2,-3),\ B_2 = (1,0),\ C_2 = (1,0),\ D_2 = 0;$



$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$

$\mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix}$

$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$

$\eta = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix}$

3)b) Verbindungen der Blöcke:

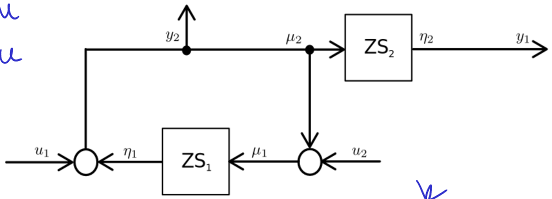
$$\begin{cases} \mu = K\eta + Lu \\ y = E\eta + Fu \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu_1 = u_2 + \mu_2 = u_2 + u_1 + \eta_1 \\ \mu_2 = u_1 + \eta_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_1 = \eta_2 \\ y_2 = u_1 + \eta_1 \end{cases}$$

Aufgabe 8.3

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$



$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \mu_1 = u_2 + \mu_2 = u_2 + u_1 + \eta_1 \\ \mu_2 = u_1 + \eta_1 \end{cases}$$

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{=K} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{=L} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} y_1 = \eta_2 \\ y_2 = u_1 + \eta_1 \end{cases}$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{=E} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{=F} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

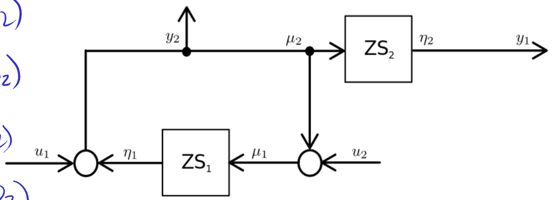
Aufgabe 8.3

$\bar{A} = \mathrm{diag}(A_1, A_2)$

$\bar{B} = \mathrm{diag}(B_1, B_2)$

$\bar{C} = \mathrm{diag}(C_1, C_2)$

$\bar{D} = \mathrm{diag}(D_1, D_2)$



3c) Zusammenfassen und Eliminieren:

$$\underbrace{\begin{cases} \dot{x} = \bar{A}x + \bar{B}\mu \\ \eta = \bar{C}x + \bar{D}\mu \end{cases}}_{\text{Teilsysteme}} \qquad \underbrace{\begin{cases} \mu = K\eta + Lu \\ y = E\eta + Fu \end{cases}}_{\text{Verbindungen}}$$

Aufgabe 8.3

$$\begin{cases} A = \bar{A} + \bar{B}(id - k\bar{D})^{-1} k \bar{C} \\ B = \bar{B}(id - k\bar{D})^{-1} L \\ C = E(id + \bar{D}(id - k\bar{D})^{-1} k)\bar{C} \\ D = F + E\bar{D}(id - k\bar{D})^{-1} \cdot L \end{cases}$$

Bedingung: $id - k\bar{D}$ muss invertierbar sein.

$$\det(id - k\bar{D}) \neq 0$$

$$\det(id - k\bar{D}) = \det(id - k\,\mathrm{diag}(D_1, D_2))$$

$$A_1 = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -2 \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 0 & -3 \end{pmatrix}$$

$$D_1 = 0, \; D_2 = 0 \Rightarrow \underline{\det(id) = 1 \neq 0}$$

$$\bar{D} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

<u>Bedingung erfüllt</u> ✓

$$B_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad B_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$(id - k\bar{D})^{-1} = id$$

$$C_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A = \underbrace{\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -3 \end{bmatrix}}_{=\tilde{A}} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{=\tilde{B}} \cdot id \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{=K} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}}_{=\tilde{C}}$$

A_1 A_2 B_1 B_2 C_1 C_2

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -3 \end{bmatrix} \quad //$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot id \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{=L} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

B_1 B_2

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \left(id + \cancel{\bar{D} (id - K\bar{D})^{-1} \cdot K} \right) \bar{C} = \qquad \bar{D} = 0$$

$$= E$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(\bar{D} = 0)$$

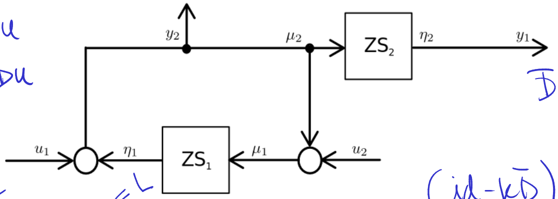
$$D = \left(F + \cancel{E\bar{D} (id - K\bar{D})^{-1} \cdot L} \right) = F = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Aufgabe 8.3

2) $A_1 = -1,\ B_1 = 2,\ C_1 = 1,\ D_1 = 1$ und $A_2 = 3,\ B_2 = 2,\ C_2 = 1,$ $D_2 = 0.$

$\dot{x} = Ax + Bu$

$y = Cx + Du$



$D = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$

$(id - kD)$ muss invertierbar sein

$\mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} = \overset{=K}{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \overset{=L}{\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$

$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \underset{= E}{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \underset{= F}{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$

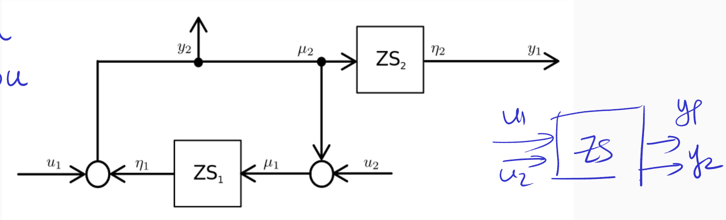
$id - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$

$\det(id - kD) = \det\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = 0$

2) $A_1 = -1,\ B_1 = 2,\ C_1 = 1,\ D_1 = 1$ und $A_2 = 3,\ B_2 = 2,\ C_2 = 1,$
$D_2 = 0.$

$\dot{x} = Ax + Bu$

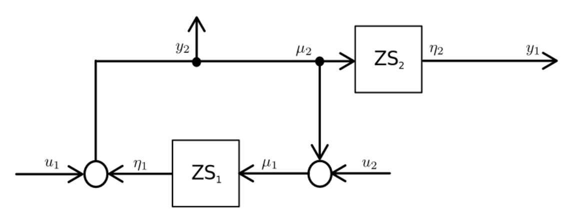
$y = Cx + Du$



Beweis: $y = Ky + Lu = K(\bar{C}x + \bar{D}y) + Lu = K\bar{C}x + K\bar{D}y + Lu$

$(id - K\bar{D})y = K\bar{C}x + Lu \rightarrow \underline{\underline{y = (id - K\bar{D})^{-1}(K\bar{C}x + Lu)}}$ //

Aufgabe 8.3



Aufgabe 8.3

Aufgabe 8.3

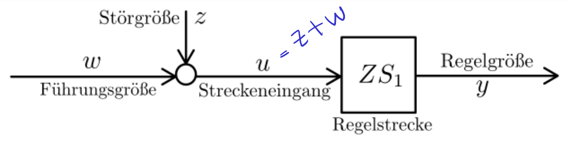
Aufgabe 8.3

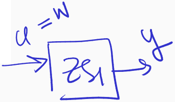
Aufgabe 8.3

Aufgabe 9.1

Gegeben sei das Zustandssystem der Regelstrecke und das Blockschaltbild. Für alle Teile dieser Aufgabe ist der Anfangszustand der Regelstrecke $x_1(0) = (0, 0)$.

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 6 & -5 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}, D_1 = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}.$$





(i) Nehmen Sie an, die Führungsgröße w sei ein Einheitssprung und die Störgroße $z = 0$. Hat die Regelgröße einen Endwert? Wenn ja, berechnen Sie ihn. Ist das System BIBO-stabil?

$$EW(A) \Rightarrow \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 6 & -5 \end{bmatrix} \rightarrow \det\begin{pmatrix} -\lambda & 1 \\ 6 & -5-\lambda \end{pmatrix} = 0$$

$$\lambda^2 + 5\lambda \underbrace{-6}_{a_0} = 0 \Rightarrow \text{nicht Hurwitz} \rightarrow \text{nicht asymp. stabil}$$

$$H_1(s) = c\cdot(sId - A)^{-1}\cdot B + D = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} (sId-A)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$(sId - A)^{-1} = \frac{1}{\det\begin{pmatrix} s & -1 \\ -6 & s+5 \end{pmatrix}} \begin{bmatrix} s+5 & 1 \\ 6 & s \end{bmatrix} = \frac{1}{s^2+5s-6} \begin{bmatrix} s+5 & 1 \\ 6 & s \end{bmatrix}$$

$$H_1(s) = \frac{1}{s^2+5s-6} \rightarrow \text{Pole}: -6, 1$$

nicht BIBO-stabil

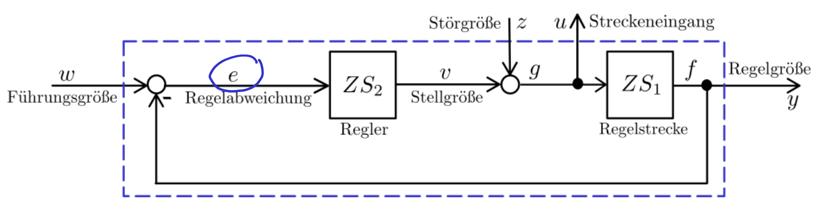
$$p = \frac{-5 \pm \sqrt{\overset{=7}{25+24}}}{2}$$

kein Endwert ↯

Aufgabe 9.1

Für die folgenden Teile dieser Aufgabe sind das Zustandssystem des Reglers und das folgende Blockschaltbild zu betrachten. Das Zustandssystem der Regelstrecke bleibt unverändert.

$$C_2 = \left[\begin{array}{c} 0 \end{array} \right], D_2 = \left[\begin{array}{c} 10 \end{array} \right].$$



$\sigma(t)$

(ii) Nehmen Sie an, die Führungsgröße w sei ein Einheitssprung und die Störgroße $z = 0$. Hat die Regelgröße einen Endwert? Wenn ja, berechnen Sie ihn. Ist der Regelkreis BIBO-stabil?

Aufgabe 9.1

$$H_2(s) = \cancel{C_2(sId - A_2)^{-1}B_2}^{\,0} + D_2 = D_2 = 10 \rightarrow \underline{\underline{\text{P-Regler}}}$$

$$\text{FÜF} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 Z_2 + N_1 N_2} = \frac{10}{10 + s^2 + 5s - 6} = \frac{10}{s^2 + 5s + 4}$$

$\downarrow$

Hurwitz weil

$a_0, a_1, a_2 > 0$

(das gleiche Vorz.)

$$H_2(s) = \frac{10}{1} \rightarrow \begin{aligned} Z_2 &= 10 \\ N_2 &= 1 \end{aligned}$$

$$H_1(s) = \frac{1}{s^2 + 5s - 6} \rightarrow \begin{aligned} Z_1 &= 1 \\ N_1 &= s^2 + 5s - 6 \end{aligned}$$

$p_1 = -4$

$p_2 = -1$

$$p = \frac{-5 \pm \sqrt{25 - 16}^{\,:3}}{2} \rightarrow \begin{aligned} &-4 \\ &-1 \end{aligned}$$

Endwert:

$z = 0$

$$\psi(\infty, 0, w + z) = \text{FÜF}(0)\, w(\infty) + \cancel{\text{SÜF}(0)\, z(\infty)}^{\,0}$$

$$= \text{FÜF}(0)\, w(\infty) = \frac{10}{4} \cdot 1 = 2{,}5$$

Aufgabe 9.1

(iii) Nehmen Sie nun an, die Führungsgröße w sei ein Einheitssprung und die Störgroße z sei ein Sprung der Grösse k, d.h. $z = k \cdot \sigma$. Berechnen Sie die neue Regelgröße und ihren Endwert.

$$\text{SÜF}(s) = \frac{Z_1 N_2}{Z_1 Z_2 + N_1 N_2} = \frac{1}{s^2 + 5s + 4} \rightarrow \text{Pole: } -4, -1$$

BIBO stabil

$$\psi(\infty, 0, w+z) = \underbrace{\text{FÜF}(0)}_{=2{,}5} \cdot \underbrace{w(\infty)}_{=1} + \underbrace{\text{SÜF}(0)}_{=1/4} \cdot \underbrace{z(\infty)}_{=k} = \boxed{2{,}5 + \frac{k}{4}}$$

Ziel

$$y(\infty) = w(\infty) \rightarrow 2{,}5 + \frac{k}{4} \neq 1$$

$$e(\infty) = 1{,}5 + \frac{k}{4}$$

Aufgabe 9.1

Aufgabe 9.1

(iv) Welche Vorteile hat der Regler ZS_2 für die Regelgröße des Systems gebracht? Besitzt der Regelkreis eine stationäre Genauigkeit? → kein Integrator, kein Pol $= 0$ //

Stabilität ✓

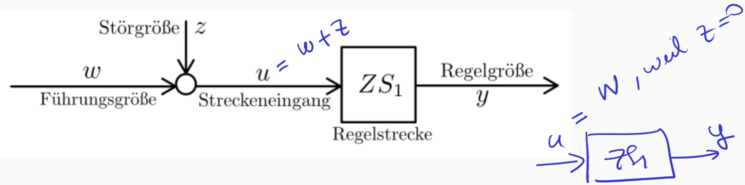
keine stationäre Genauigkeit ✗

Aufgabe 9.1

Aufgabe 9.2

Gegeben sei das Zustandssystem der Regelstrecke und das Blockschaltbild. Für alle Teile dieser Aufgabe ist der Anfangszustand der Regelstrecke $x_1(0) = 0$.

$$A_1 = \begin{bmatrix} -1 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}, C_1 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}, D_1 = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}.$$



(i) Nehmen Sie an, die Führungsgröße w sei ein Einheitssprung und die Störgroße $z = 0$. Hat die Regelgröße einen Endwert? Wenn ja, berechnen Sie ihn. Ist das System BIBO-stabil?

Aufgabe 9.2

$EW(A_1) \Rightarrow A_1 = -1, \quad \lambda_1 = -1 \Rightarrow$ asympt. stabil $\rightarrow$ BIBO-stabil

$\det(A_1 - \lambda) = -1 - \lambda = 0$

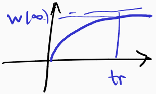
Es gibt Endwert

$$H_1(s) = C_1(s - A_1)^{-1} B_1 + D_1 = (s-(-1))^{-1} = \frac{1}{s+1}$$

$$\varphi(\infty, 0, w+z) = H_1(0) \cdot \left(\overset{=1}{w(\infty)} + \cancel{\overset{0}{z(\infty)}}\right) = H_1(0)\, w(\infty) = 1$$

Aufgabe 9.2

(ii) Wie viel Zeit benötigt die Regelstrecke, um 90% der Führungsgröße zu erreichen?



$$\psi(t,0,w+z) = (g*(w+\cancel{z}))(t) = (g*w)(t) \qquad z=0$$

$$g(t) = \overset{=1}{C_1}\cdot\exp(A_1 t)\cdot\overset{=1}{B_1}\,\sigma(t) + \cancel{D\cdot\delta(t)} \rightarrow 0 \qquad D_1=0$$

$$= 1\cdot\exp(-t)\cdot 1\cdot\sigma(t) = e^{-t}\cdot\sigma(t)$$

$$\psi(t,0,\overset{=u}{w+z}) = (g*w)t = \sigma(t)\int_0^t e^{-\tau}\,d\tau = \sigma(t)\left(1-e^{-t}\right)$$

$t_r > 0$

$$\psi(t_r,0,w+z) = 1-e^{-t_r} = 0{,}9\cdot w(\infty) = 0{,}9 \rightarrow e^{-t_r} = 0{,}1$$

$$\ln(e^{-t_r}) = \ln(0{,}1)$$

$$\boxed{t_r \approx 2{,}3s}$$

Aufgabe 9.2

(iii) Nehmen Sie nun an, die Führungsgröße w sei ein Einheitssprung und die Störgroße z sei ein Sprung der Grösse k, d.h. $z = k \cdot \sigma$. Berechnen Sie die neue Regelgröße und ihren Endwert.

$$\psi(\infty, 0, \underbrace{w+z}_{=u}) = H_1(0)\,(\underbrace{w(\infty)}_{=1} + \underbrace{z(\infty)}_{=k}) = 1.\,(1+k) = (1+k)$$

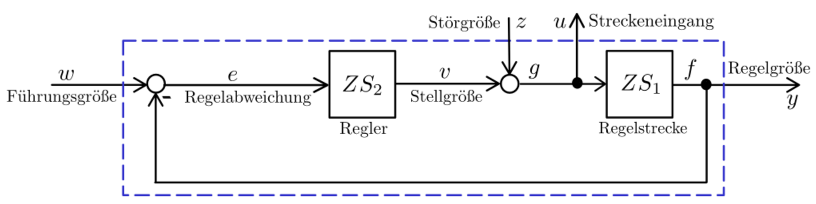
* Wir haben Stabilität, aber keine stationäre Genauigkeit.

$$e(\infty) = \underbrace{w(\infty)}_{=1} - \underbrace{\psi(\infty, 0, w+z)}_{=1+k} = -k$$

Aufgabe 9.2

Für die folgenden Teile dieser Aufgabe sind das Zustandssystem des Reglers und das folgende Blockschaltbild zu betrachten. Das Zustandssystem ZS_1 bleibt unverändert und der Anfangszustand des Reglers ist $x_2(0) = 0$.

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} 4 \end{bmatrix}, D_2 = \begin{bmatrix} 4 \end{bmatrix}.$$



(iv) Nehmen Sie an, die Führungsgröße w sei ein Einheitssprung und die Störgroße $z = 0$. Hat die Regelgröße einen Endwert? Wenn ja, berechnen Sie ihn. Ist der Regelkreis BIBO-stabil?

Aufgabe 9.2

$$H_1 = \frac{1}{s+1} \quad \begin{cases} Z_1 = 1 \\ N_1 = s+1 \end{cases}$$

$$H_2(s) = C_2 (s\,id - A_2)^{-1} B_2 + D_2$$

PI-Regler (I, P)

$$= 4 (s\,id - 0)^{-1} \cdot 1 + 4 = \frac{4}{s} + 4 = \frac{4+4s}{s}$$

$Z_2 = 4(1+s)$

$N_2 = s$

$$H_2 = \frac{4(1+s)}{s}$$

$$FÜF = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 Z_2 + N_1 N_2} = \frac{4(1+s)\,1}{1 \cdot 4(1+s) + (s+1)s}$$

$$= \frac{4(1+s)}{s^2 + 5s + 4}$$

Pole: $s^2 + 5s + 4 = 0$, $p = \frac{-5 \pm \overbrace{\sqrt{25-16}}^{=3}}{2}$

$$\begin{cases} p_1 = -1 \\ p_2 = -4 \end{cases}$$

$$= \frac{4\,\cancel{(1+s)}}{\cancel{(s+1)}(s+4)} = \frac{4}{s+4}$$

$$FÜF(0) = \frac{4}{4} = 1$$

$$s^2 + 5s + 4 = (s+1)(s+4)$$

$$\psi(\infty, 0, w + \overset{=0}{z}) = FÜF(0) \cdot \overset{=1}{w(\infty)} = 1$$

(v) Wie viel Zeit benötigt die Regelstrecke, um 90% der Führungsgröße zu erreichen?

$$\psi(t, 0, w + \mathring{\tilde{z}}) = \psi(t, 0, w) = (g * \sigma)(t)$$

$$\ddot{U}F = \frac{4}{s+4}$$

$$\begin{cases} A_F = -4, & B_F = 1 \\ C_F = 4, & D_F = 0 \end{cases}$$

Regelungsnormalform.

$$g(t) = C_F \exp(A_F t) \cdot B_F \cdot \sigma(t) + \cancel{D_F \cdot \delta(t)}^{\,0}$$

$$= 4 \cdot \exp(-4t) \cdot 1 = 4 e^{-4t}$$

$$\psi(t, 0, \tilde{w}^{\sigma}) = \sigma \cdot 4 \int_0^t e^{-4\tau} d\tau = \sigma \cdot \cancel{4} \left(\frac{1}{\cancel{4}} - \frac{e^{-4t}}{\cancel{4}} \right) = \sigma(t) \cdot (1 - e^{-4t})$$

$$\psi(t_r, 0, w) = 1 - e^{-4t_r} = 0{,}9 \rightarrow e^{-4t_r} = 0{,}1 \rightarrow \ln(e^{-4t_r}) = \ln(0{,}1)$$

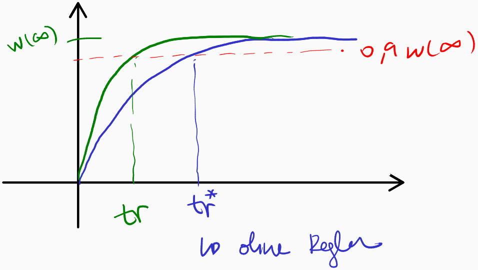
$$-4t_r \hat{\approx} -2{,}3$$

$$t_r \hat{\approx} 0{,}58 = \frac{t_r^*}{4}$$

siehe KRegeln

Aufgabe 9.2

(v) Wie viel Zeit benötigt die Regelstrecke, um 90% der Führungsgröße zu erreichen?



$$t_r = \frac{t_r^*}{4}$$

(vi) Nehmen Sie nun an, die Führungsgröße w sei ein Einheitssprung und die Störgroße z sei ein Sprung der Grösse k, d.h. $z = k \cdot \sigma$. Berechnen Sie die neue Regelgröße und ihren Endwert.

$$S\ddot{U}F = \frac{Z_1 N_2}{Z_1 Z_2 + N_1 N_2} = \frac{s}{(s+1)(s+4)} = \frac{s}{s^2+5s+4}$$

Pole: $-1, -4$

BIBO-stabil

$$\varphi(\infty, 0, w+z) = \underbrace{F\ddot{U}F(0)}_{=1} \cdot \underbrace{w(\infty)}_{=1} + \underbrace{S\ddot{U}F(0)}_{=0} \cdot z(\infty) = 1 \quad (= w(\infty))$$

$$S\ddot{U}F(0) = \frac{0}{0^2+5\cdot 0+4} = \frac{0}{4} = 0$$

Aufgabe 9.2

(vii) Welche Vorteile hat der Regler ZS_2 für die Regelgröße des Systems gebracht?

- Das System ist schneller

unabhängig
- Von $Z(\infty)=0$ haben wir stationäre Genauigkeit.