
6. Übung zur Vorlesung „Steuer- und Regelungstechnik“

Einführung in die Blockschaltbild-Algebra

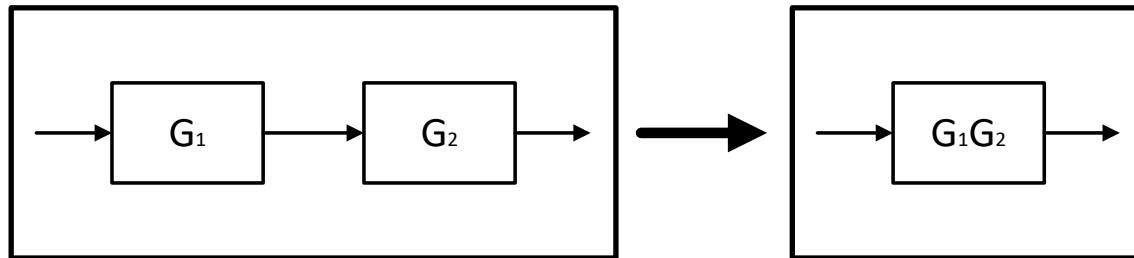
Korbinian Figel

Institut für Steuer- und Regelungstechnik
Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik
Universität der Bundeswehr München

Zusammenfassen von Blockschaltbildern

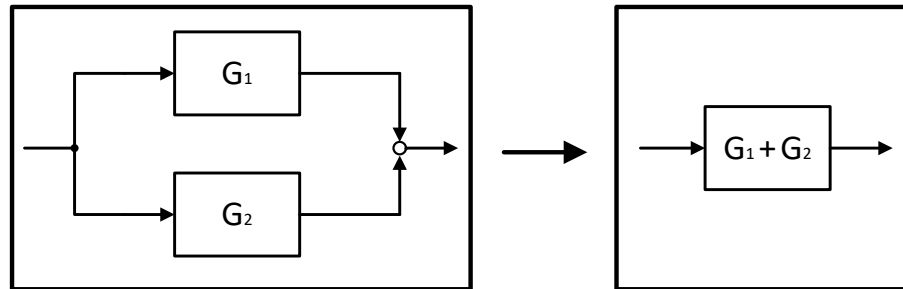
- Technische Sachverhalte in der Regelungstechnik häufig mit Blockschaltbildern beschrieben
- Jeder Block beschreibt ein **dynamisches Verhalten** (Übertragungsfkt.)
- Das **Gesamtsystemverhalten** kann durch **Kombination von Einzelblöcken** bestimmt werden
- Es gelten die Rechenregeln der **linearen Algebra**

Reihenschaltung



- Reihenschaltung zweier Übertragungsglieder
- Zusammenfassung ist Produkt aus beiden Elementen
- $G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s)$

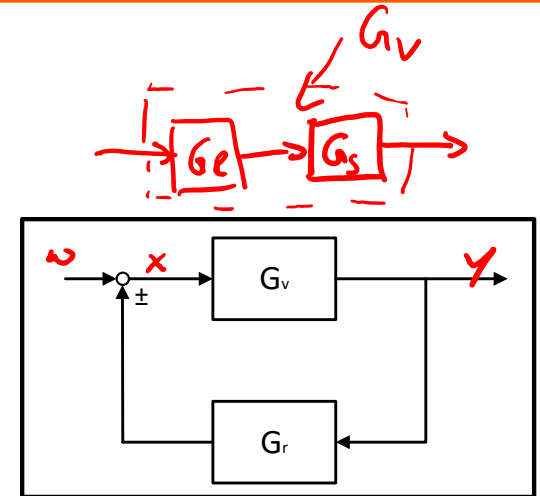
Parallelschaltung



- Parallelschaltung zweier Übertragungsglieder
- Zusammenfassung ist Summe aus beiden Elementen
- $G(s) = G_1(s) + G_2(s)$

Rückkopplung

- Rückkopplung ist wichtige Schaltung zweier Übertragungsglieder in der Regelungstechnik
- Charakterisiert durch
 - Vorwärtszweig $G_v(s)$
 - Rückführung $G_r(s)$



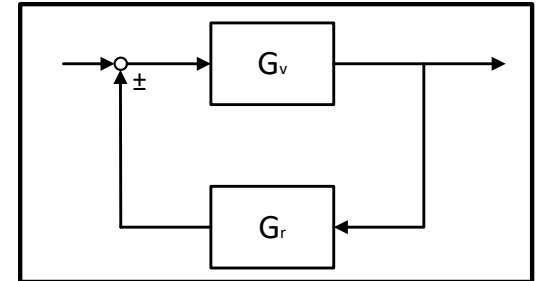
$$x = \omega \pm G_r \cdot y = \omega \pm G_r G_v x$$

$$\omega = x (1 \mp G_r G_v) = \frac{1}{G_v} (1 \mp G_r G_v) y$$

$$G = \frac{y}{\omega} = \frac{G_v}{1 \mp G_r G_v}$$

Zusammenfassung Rückkopplung

- Charakterisiert durch einen
 - Vorwärtszweig $G_v(s)$
 - Rückführung $G_r(s)$



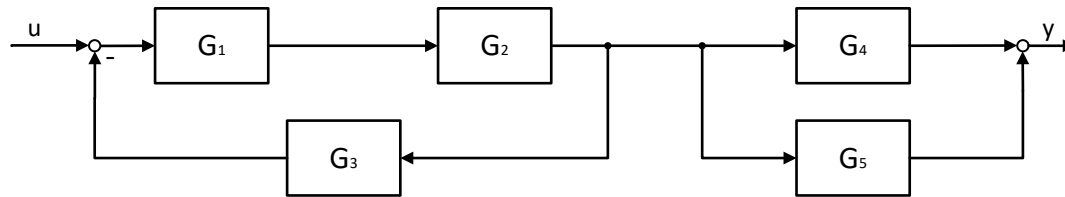
- Positive Rückführung:
$$G(s) = \frac{G_v(s)}{1 - G_v(s)G_r(s)} = \frac{G_v(s)}{1 - G_0(s)}$$

- Negative Rückführung:
$$G(s) = \frac{G_v(s)}{1 + G_v(s)G_r(s)} = \frac{G_v(s)}{1 + G_0(s)}$$

- Im Falle eines Standardregelkreises wird die Übertragungsfunktion $G_0(s)$ als **offener Regelkreis** bezeichnet.

Aufgabe 6.1: Zusammenfassen von Blockschaltbildern

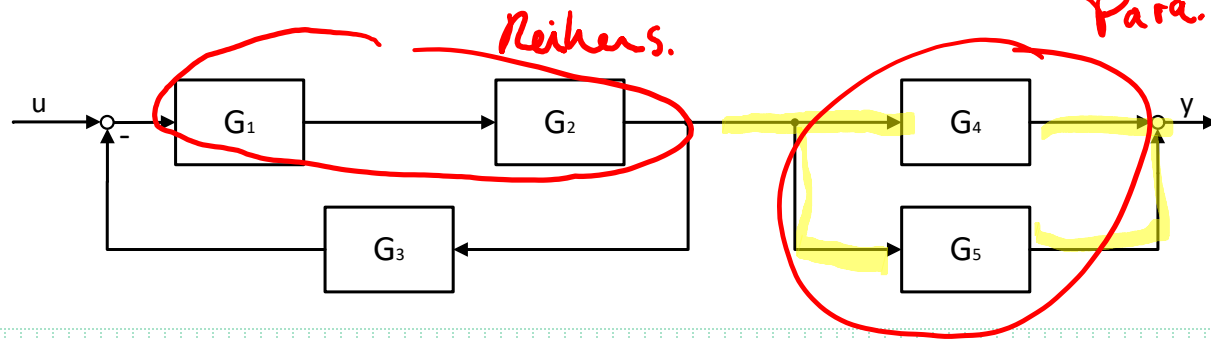
Gegeben ist das folgende System in Blockschaltbild-Form



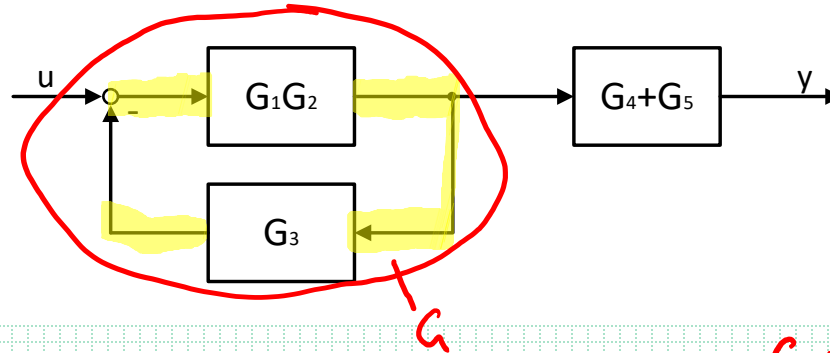
mit den allgemeinen Übertragungsfunktionen $G_1(s) - G_5(s)$

Aufgabe: Fassen Sie das oben aufgeführte System zu einer Übertragungsfunktion $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$ zusammen. Verwenden Sie hierzu die Gesetze zum Zusammenfassen von Reihen- und Parallelschaltungen sowie Rückkopplungen.

Aufgabe 6.1: Zusammenfassen von Blockschaltbildern



Aufgabe 6.1: Zusammenfassen von Blockschaltbildern



$$G = \frac{G_V}{1 + G_0}$$

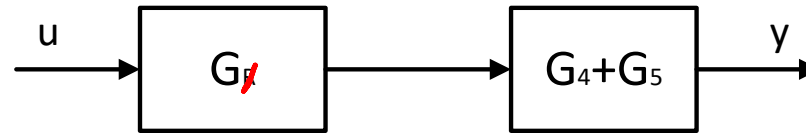
$$G_V = G_1 G_2$$

$$G_R = G_3$$

$$G_0 = G_1 G_2 G_3$$

$$G = \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2 G_3}$$

Aufgabe 6.1: Zusammenfassen von Blockschaltbildern

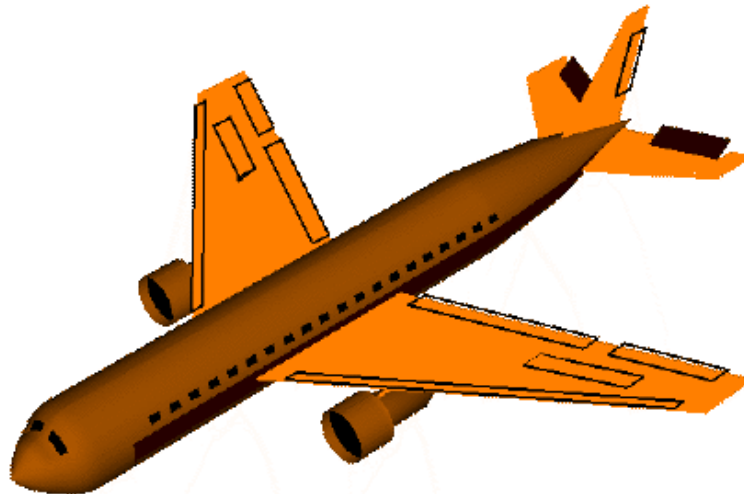


$$G_{ges} = G_1 \cdot (G_4 + G_5)$$



Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

- Regelung der Anstellwinkelschwingung (um y-Achse)
 - auch alpha-Schwingung genannt
 - Schnelle Hub-Nick-Schwingung



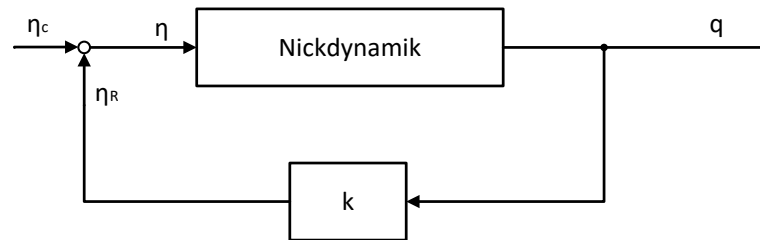
Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Regelung der

- Anstellwinkelschwingung (um y-Achse)
 - Auch alpha-Schwingung genannt
 - Schnelle Hub-Nick-Schwingung (Nickrate q)
 - Tritt als Antwort auf Höhenrudereingaben und äußeren Störungen um die y-Achse auf (vertikale Böen beispielsweise)
- Durch **Regelung** lässt sich diese Schwingung aktiv beeinflussen
 - Rückkopplung der Nickrate auf das Höhenruder
 - Proportionale Rückführung (**P-Regler**)

Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Gegeben ist das Blockschaltbild eines Nickdämpfers einer F16



Zur besseren Dämpfung einer Anstellwinkelschwingung werden Flugzeuge üblicherweise mit einem oben dargestellten Nickdämpfer versehen. Dabei wird die **Nickrate** q über eine **Verstärkung** k zurückgeführt und auf die von einem Piloten/Autopiloten vorgegebene **Höhenrunderstellung** η_c aufgeschaltet. Der Einfluss dieser Schaltung auf die Eigenschaften der Nickdynamik soll im Folgenden untersucht werden. Der erforderliche Teil der Nickdynamik einer F16 kann dabei näherungsweise mit der Übertragungsfunktion beschrieben werden.

$$G_{q\eta}(s) = \frac{q(s)}{\eta(s)} = \frac{-0,1137s - 0,0705}{s^2 + 1,5189s + 2,1303}$$

Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

- Aufgaben:
- Berechnen Sie die **Pol- und Nullstellen** der gegebene Übertragungsfunktion sowie deren Eigenfrequenz und Dämpfungsgrad.
 - Berechnen Sie nun die **Eigenfrequenz** und den **Dämpfungsgrad** des in der Aufgabe in Form eines Blockschaltbildes dargestellten Nickdämpfers in Abhängigkeit der **Verstärkung k** .
 - Der **Verstärkungsfaktor k** wird **auf den Wert 5** gesetzt. Berechnen sie die Polstellen des Systems und vergleichen Sie diese sowie Frequenz und Dämpfungsgrad mit der ursprünglichen Nickdynamik.
 - Berechnen sie den **stationären Endwert** beider Systeme bei einem Höhenrudersprung von $\eta(t) = 1(t)$ und vergleichen Sie beide miteinander.

Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Aufgabe: a) Berechnen Sie die Pol- und Nullstellen der gegebene Übertragungsfunktion.

$$G_{q\eta}(s) = \frac{q(s)}{\eta(s)} = \frac{-0,1137s - 0,0705}{s^2 + 1,5189s + 2,1303}$$

$$\text{NS: } -0,1137s - 0,0705 \stackrel{!}{=} 0$$

$$\longrightarrow s_N = -0,6201$$

$$\text{PS: } s^2 + 1,5189s + 2,1303 \stackrel{!}{=} 0$$

$$s_p = -\frac{1,5189}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1,5189}{2}\right)^2 - 2,1303}$$

$$s_p = -0,7594 \pm j 1,2464$$

\rightarrow kpl. \rightarrow System schwingt

Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Aufgabe: ^{a)} ~~b)~~ Berechnen Sie Eigenfrequenz und Dämpfungsgrad der gegebenen Übertragungsfunktion.

$$G_{q\eta}(s) = \frac{q(s)}{\eta(s)} = \frac{-0,1137s - 0,0705}{s^2 + 1,5189s + 2,1303} = \frac{\dots}{s^2 + 2D\omega_0 s + \omega_0^2}$$

$$\Rightarrow \omega_0 = \sqrt{2,1303} = 1,4596 \text{ rad/s}$$

Eigenfrequenz?

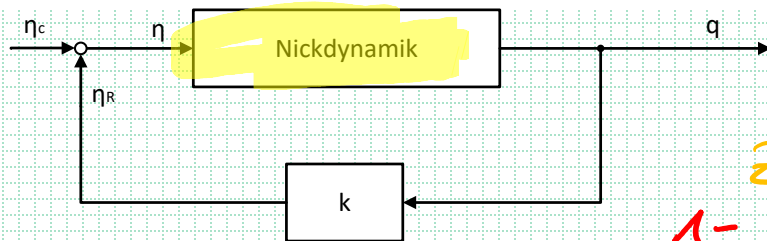
$$2D\omega_0 = 1,5189 \Rightarrow D = 0,52$$

Dämpfungsgrad

Eigenfrequenz: $\omega_0 = \sqrt{b}$
 * Dämpfung $D = \frac{1,5189 + 0,1137k}{2\sqrt{b}}$

Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Aufgabe: ~~c)~~ ^{b)} Berechnen Sie nun die Eigenfrequenz und den Dämpfungsgrad des in der Aufgabe in Form eines Blockschaltbildes dargestellten Nickdämpfers in Abhängigkeit der Verstärkung k .



$$G_0 = \frac{-0,1137s - 0,0705}{s^2 + 1,5189s + 2,1303} \cdot \overset{G_V}{k} \cdot \overset{G_R}{N}$$

$$1 - G_0 \Rightarrow s^2 + 1,5189s + 2,103 - k \cdot (-0,1137s - 0,0705)$$

$$G = \frac{G_V}{1 - G_0} = \frac{-0,1137s - 0,0705}{N} \cdot \frac{N}{Z} =$$

$$\frac{-0,1137s - 0,0705}{s^2 + (1,5189 + 0,1137k)s + (2,103 + 0,0705k)}$$

$$G = \frac{-0,1137s - 0,0705}{s^2 + (1,5189 + 0,1137k)s + (2,103 + 0,0705k)}$$



Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Aufgabe: c) Berechnen Sie nun die Eigenfrequenz und den Dämpfungsgrad des in der Aufgabe in Form eines Blockschaltbildes dargestellten Nickdämpfers in Abhängigkeit der Verstärkung k . **+ Pole**

$$s^2 + (1,5189 + 0,1137 \cdot s) s + (2,1303 + 0,0705 \cdot s) \stackrel{!}{=} 0$$

$$s^2 + 2,0874s + 2,4828 \stackrel{!}{=} 0$$

⋮

$$s_p = -1,043 \pm j 1,1805$$

$$\omega_0 = 1,576 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$D = 0,66$$

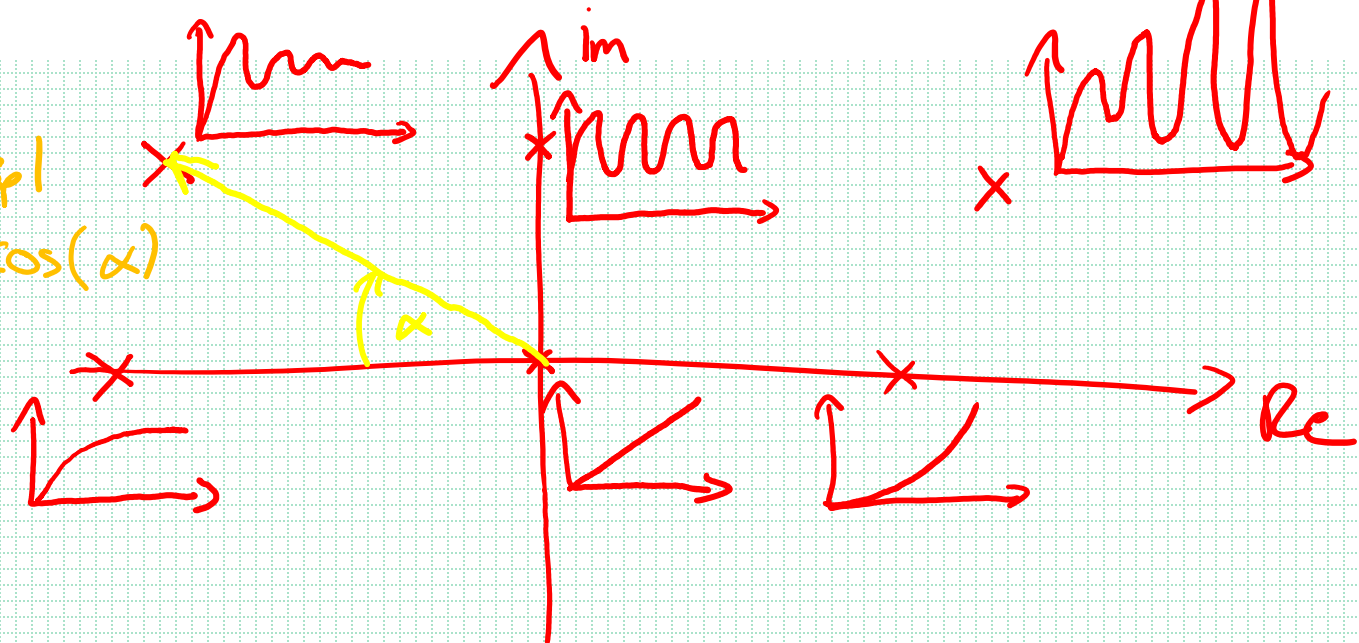
Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Aufgabe: c) Berechnen Sie nun die Eigenfrequenz und den Dämpfungsgrad des in der Aufgabe in Form eines Blockschaltbildes dargestellten Nickdämpfers in Abhängigkeit der Verstärkung k .

Pollage

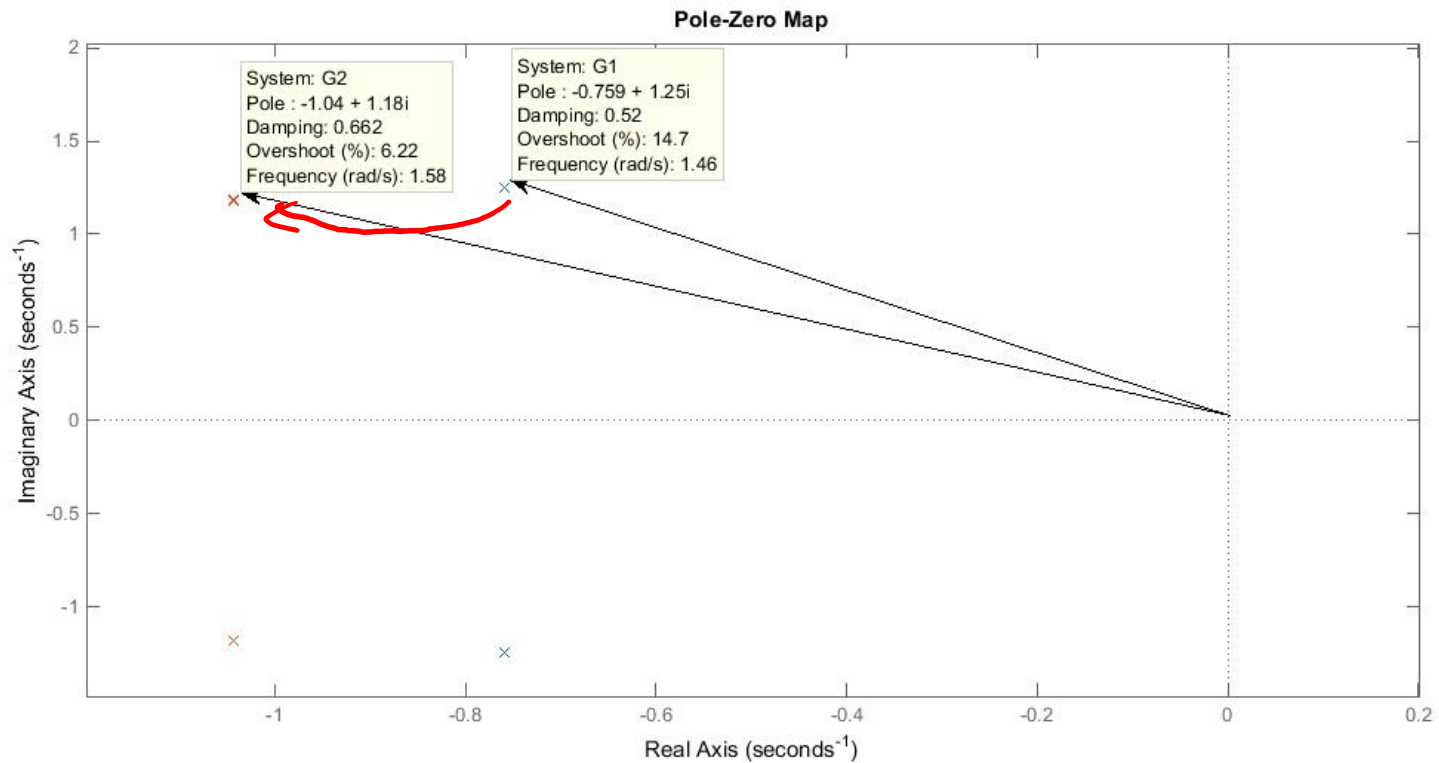
$$\omega_0 = |s_p|$$

$$D = -\cos(\alpha)$$



Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Wanderung der Polstellen durch die Regelung



Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Aufgabe: d) Berechnen sie den stationären Endwert beider Systeme bei einem Höhenrudersprung von $\eta(t) = 1(t)$ und vergleichen Sie beide miteinander.

Endwertsatz (gilt nur für stabile Systeme)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} F(s) \cdot s$$

Ohne Dämpfer

$$\lim_{s \rightarrow 0} G_{\eta} \cdot s \cdot \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{-0,1137s - 0,0705}{s^2 + 1,5189s + 2,103} = -0,0331$$

$u(s)$ eines Sprung

Mit Dämpfer

$$\lim_{s \rightarrow 0} G \cdot s \cdot \frac{1}{s} = -0,0284$$

\neq



Aufgabe 6.2: Nickdämpfer

Veränderung der Sprungantworten

