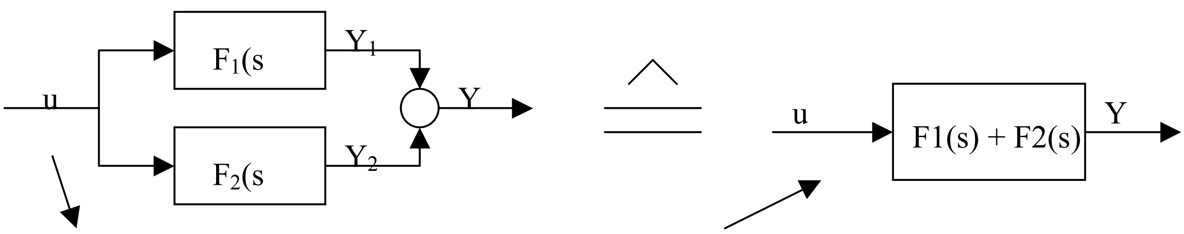
2.5 Umformung des Strukturbildes (siehe Beiblatt 15/1 + 15/2)

Zusammenfassungsregeln:

Beruhen auf der Übertragungsgleichung $Y(s) = F(s) \cdot U(s)$ und gelten daher nur für <u>LZI-Glieder.</u>

Beispiel 1: Parallelschaltung



$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) = F_1(s) \cdot U(s) + F_2(s) \cdot U(s) \Rightarrow Y(s) = \left[F_1(s) + F_2(s)\right] \cdot U(s)$$

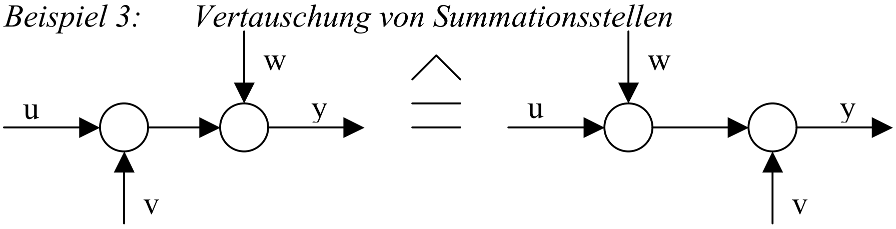
Beispiel 2: Gegenkopplung

$$Y = F_1(U - F_2 \cdot Y) = F_1 \cdot U - F_1 \cdot F_2 \cdot Y$$

$$Y + F_1 \cdot F_2 \cdot Y = F_1 \cdot U \qquad \text{oder} \qquad (1 + F_1 \cdot F_2) \cdot Y = F_1 \cdot U$$

$$Y = \frac{F_1}{1 + F_1 F_2} \cdot U$$

Beispiel 3: Vertauschung von Summationsstellen

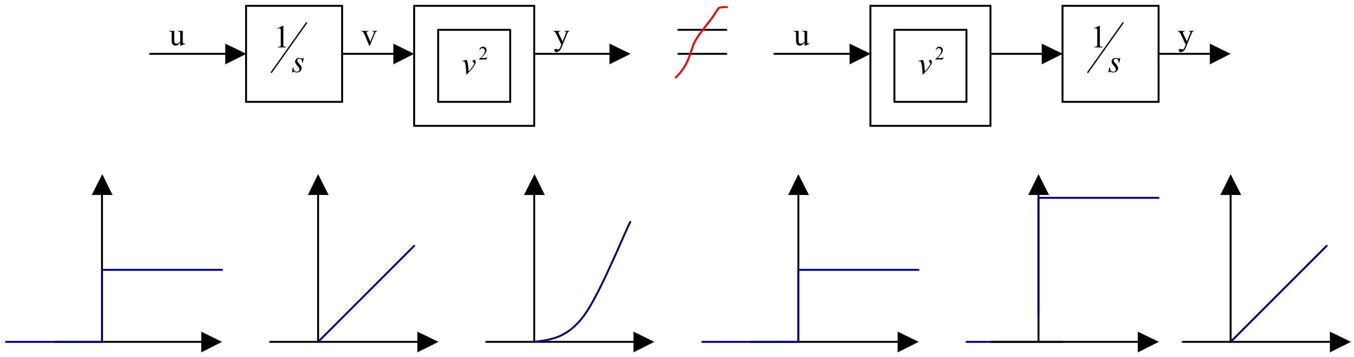


$$Y = W + (U + V) = V + (W + U)$$

Geltungsbereich der Vertauschungsregeln siehe Beiblatt 15/2.

Beachte: Nichtlineare ÜGer sind im Allgemeinen nicht miteinander vertauschbar, ebenso wenig nichtlineare und lineare ÜGer.

Beispiel:



Anwendung auf linearisierte Geschwindigkeitsregelung:

Resultat 1. Umformung: Vorlage B

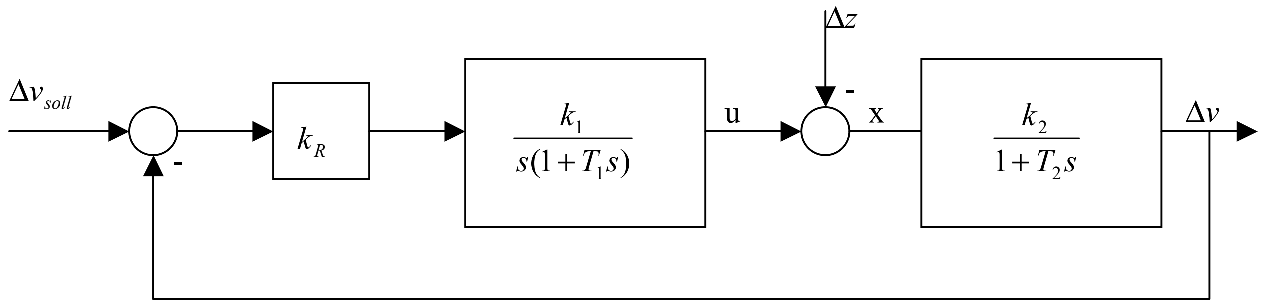
Resultat 2. Umformung: Vorlage C

- Zusammenfassen der Störgrößen: $x = u - \underbrace{(\Delta M_N + \frac{mg}{k_2'}\Delta\alpha_{St})}_{=\Delta z} = u - \Delta z$

- Gegenkopplung:

$$F_2(s) = \frac{k_2' \frac{k_4}{1+T_4 s}}{1 + k_2' \frac{k_4}{1+T_4 s} k_3} = \frac{k_2' k_4}{1 + k_2' k_3 k_4 + T_4 s} = \frac{\frac{k_2' k_4}{1 + k_2' k_3 k_4}}{1 + \frac{T_4}{1 + k_2' k_3 k_4} s} = \frac{k_2}{1 + T_2 s}$$

Resultat 3. Umformung:



Vereinfachtes Strukturbild
Der linearisierten
Geschwindigkeitsregelung

Anmerkung: Linearisierung und Vereinfachung auch direkt an den beschreibenden Gleichungen durchführbar und dann erst am Ende Übergang ins Strukturbild.

III. Analyse des Regelkreises (RK)

3.1 Allgemeines Strukturbild und Gleichung des RK

Aus Beispielen (vgl. Beiblatt 16): allgemeines Strukturbild des RK gemäß Beiblatt 17, oben. Dabei nimmt man an, dass die Blöcke des RK LZI-Glieder sind.

=> $Y = F_2 / Z + F_1 E)$ mit $E = W - F_3 Y$

=> $Y = F_2 Z + F_1 F_2 (W - F_3 Y) = F_2 Z + F_1 F_2 W - F_1 F_2 F_3 Y$

$(1 + F_1 F_2 F_3) Y = F_2 Z + F_1 F_2 W$

=> $Y(s) = \dfrac{F_1(s) F_2(s)}{1 + F_1(s) F_2(s) F_3(s)} W(s) + \dfrac{F_2(s)}{1 + F_1(s) F_2(s) F_3(s)} Z(s)$

=$F_w(s)$ Führungs-ÜF

=$F_z(s)$ Stör-ÜF

Gleichung des RK

Dabei ist $F_1(s) \cdot F_2(s) \cdot F_3(s) = F_0(s)$ die ÜF des offenen Kreises bzw. bei Standardformen (Beiblatt 17, oben): $Y(s) = \dfrac{F_0(s)}{1 + F_0(s)} W(s) + \dfrac{1}{1 + F_0(s)} Z(s)$

Beispiel: Temperaturregelung (siehe Beiblatt16, oben)

$$F_1(s) = k_R c_B e^{-T_t s} \cdot \frac{c_H}{c_F} \quad ; \qquad F_2(s) = \frac{k}{1 + Ts} \quad ; \qquad F_3 = 1$$

$$F_0(s) = F_1(s) \cdot F_2(s) \cdot F_3(s) = k_R c_B e^{-T_t s} \cdot \frac{c_H}{c_F} \cdot \frac{k}{1 + Ts} = \frac{V}{1 + Ts} e^{-T_t s}$$

mit $V = k_R c_B \dfrac{c_H}{c_F} k$:Keisverstärkung

Damit: $F_w(s) = \dfrac{F_1(s) F_2(s)}{1 + F_0(s)} = \dfrac{F_0(s)}{1 + F_0(s)} = \dfrac{\dfrac{V}{1 + Ts} e^{-T_t s}}{1 + \dfrac{V}{1 + Ts} e^{-T_t s}} = \dfrac{V e^{-T_t s}}{1 + Ts + V e^{-T_t s}}$

$$F_z(s) = \frac{F_2(s)}{1 + F_0(s)} = \frac{\dfrac{K}{1 + Ts}}{1 + \dfrac{V}{1 + Ts} e^{-T_t s}} = \frac{K}{1 + Ts + V e^{-T_t s}}$$

Beispiel: *Geschwindigkeitsregelung (siehe Beiblatt 16, unten)*

$$F_1(s) = \frac{K_R K_1}{s(1+T_1 s)}; \qquad F_2(s) = \frac{K_2}{1+T_2 s}; \qquad F_3(s) = 1;$$

$$F_0(s) = F_1(s)F_2(s) = \frac{V}{s(1+T_1 s)(1+T_2 s)}; \quad \text{mit } V = K_R K_1 K_2;$$

bzw. bei Vernachlässigung von T_1 wegen $T_1 << T_2$: $\frac{V}{s(1+T_2 s)}$

$$F_w(s) = \frac{F_1 F_2}{1+F_0} = \frac{\frac{V}{s(1+F_2 s)}}{1+\frac{V}{s(1+T_2 s)}} = \frac{1}{1+\frac{1}{V}s+\frac{T_2}{V}s^2} \qquad \text{P-T}_2\text{-Glied}$$

$$F_z(s) = -\frac{F_2(s)}{1+F_0(s)} = -\frac{\frac{K_2}{1+T_2 s}}{1+\frac{V}{s(1+T_2 s)}} = -\frac{\frac{K_2}{V}s}{1+\frac{1}{V}s+\frac{T_2}{V}s^2} \qquad \text{I-T}_2\text{-Glied}$$

3.2 Eigenschaften des offenen Kreises

Ein offener Kreis ist eine Reihenschaltung einfacher ÜGer: P-, I-, P-T_1-Glieder usw., Zählerfaktoren können noch hinzutreten.
Allgemeine Form und Eigenschaften von $F_0(s)$ in Beiblatt 18.

3.3 Stationäres Verhalten des Regelkreises

Ausgangspunkt ist das allgemeine Strukturbild des RK (siehe Beiblatt 17, oben)

Wunsch: keine bleibende Regeldifferenz, d.h. $\lim_{t\to\infty} e(t) = e_\infty \overset{!}{=} 0$;

=> $w_\infty = r_\infty = K_3 y_\infty$ => $y_\infty = y_{soll_\infty}$, falls $w = K_3 \cdot y_{soll}$

Fall 1:

$F_1(s)$ enthält I-Glied => im stationären Fall muss gelten: $e_\infty = 0$,d.h. keine bleibende Regeldifferenz.

Fall 2:

$F_2(s)$ enthält I-Glied, nicht aber $F_1(s)$ => im stationären Zustand muss gelten:

$x_\infty + z_\infty = 0$; mit $x_\infty = F_1(0) \cdot e_\infty = K_1 e_\infty$: $e_\infty = -\frac{1}{K_1} z_\infty$, d.h. bleibende Regeldifferenz im Störverhalten, kann aber klein gemacht werden, durch genügend großes K_1.

Fall 3:

Werde $F_1(s)$ noch $F_2(s)$ noch $F_3(s)$ enthalten I-Glieder, d.h. $F_0(s)$ enthält kein I-Glied

=> $e_\infty = w_\infty - K_3 K_2 (z_\infty + K_1 e_\infty) = w_\infty - K_2 K_3 z_\infty - \underbrace{K_1 K_2 K_3}_{V} e_\infty$

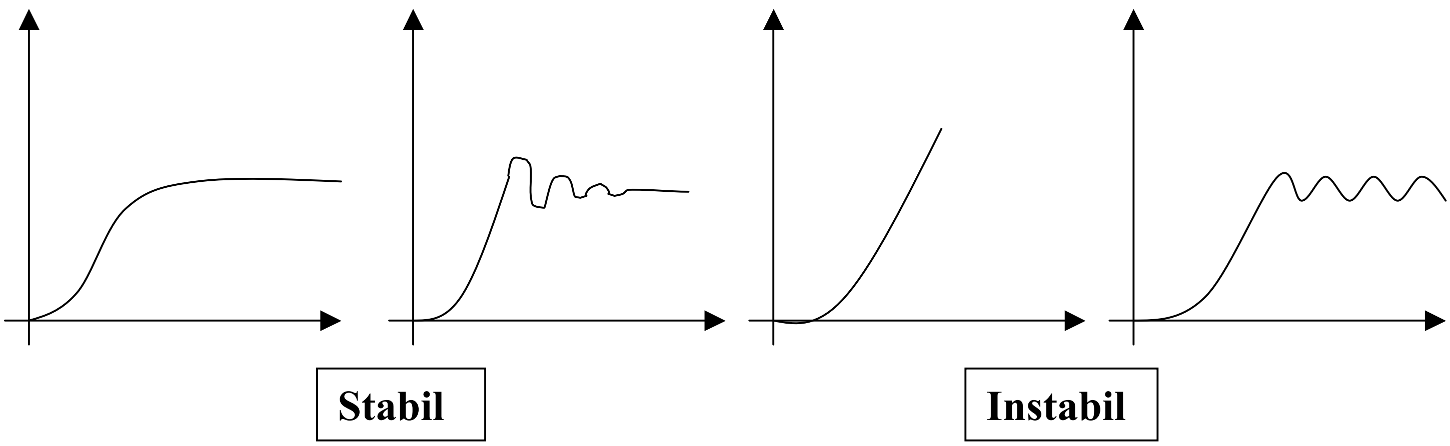
$e_\infty = \frac{1}{1+V} w_\infty - \frac{K_2 K_3}{1+V} z_\infty$, d.h. bleibende Regeldifferenz im Führungs- und Störverhalten, die aber durch genügend großes K_1 klein gemacht werden können.

<u>Fazit für den Reglerentwurf:</u>

Für stationäre Genauigkeit muss entweder die Regelerstärkung (und damit V) ausreichend groß gemacht werden, oder ein I-Glied in $F_1(s)$ untergebracht werden (z.B. über Regler mit I-Verhalten).
Voraussetzung für das Vorhergehende: Stationärer Zustand wird angenommen, d.h. RK ist stabil.

3.4 Stabilitätsdefinition und grundlegendes Stabilitätskriterium für Rke

Stabilitätsdefinition: Ein LZI-Glied heißt stabil, wenn seine Sprungantwort mit wachsender Zeit einen festen Wert annimmt, andernfalls heißt es instabil. (Sprungantwort-Stabilität).



1. Berechnung von $y_\sigma(t)$ aus $Y_\sigma(s) = F(s) \cdot \frac{1}{s}$ mittels Partialbruchzerlegung und elementeweise Rücktransformation.
2. Untersuchung wann $\lim_{t \to \infty} y_\sigma(t) =$ konstant gilt:

Ein rationales ÜG ist genau dann stabil, wenn alle Pole seiner ÜF F(s) links der j-Achse liegen.