

# 4. Tutorium Systemdynamik und Regelungstechnik

Sommersemester 2013

Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme

## Entwurf linearer zeitkontinuierlicher Regler

## ■ Einteilung von Systemen:

- **Dynamische** und statische Systeme
- **Lineare** und nichtlineare Systeme
- Zeitvariante und **zeitinvariante** Systeme
- Systeme mit **kontinuierlichen und zeitdiskreten** Signalen
- **Eingrößen- (SISO)** und Mehrgrößensysteme (MIMO)
- Systeme mit **konzentrierten** und verteilten Parametern

1 Systembeschreibung (Modellierung, Linearisierung, Üfkt.)

2 Systemanalyse (Stabilität, Schwingfähigkeit, Stationäres Verhalten...)

3 Reglerentwurf (Verschiedene Regelkreisstrukturen und Verfahren)

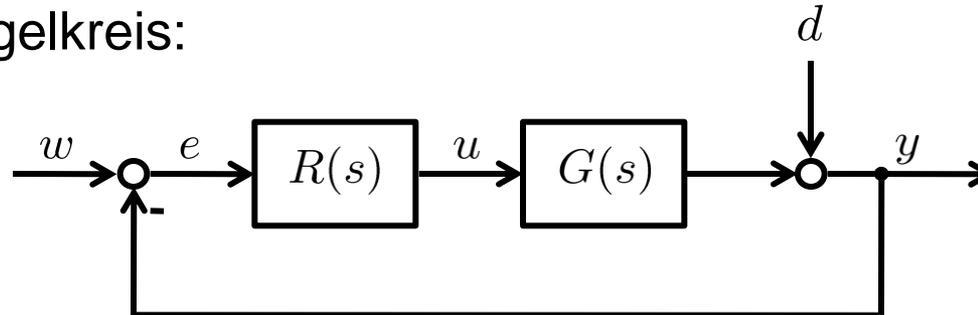
# Inhalt und Themen

- **Reglerentwurf im Zeitkontinuierlichen**
  - Reglerentwurf mit **Einstellregeln** (Aufgabe 21)
  - Reglerentwurf mit **Frequenzkennlinienverfahren** (Aufgabe 23)
- ~~Wurzelortskurve (WOK) (Aufgabe 26)~~

# Reglerentwurf

## Allgemein (1)

- Standardregelkreis:



- Führungsübertragungsfkt.:  $d = 0 \Rightarrow G_w(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{F_o(s)}{1 + F_o(s)}$

- Störübertragungsfkt.:  $w = 0 \Rightarrow G_d(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{1}{1 + F_o(s)}$

$$Y(s) = \frac{F_o(s)}{1 + F_o(s)} \cdot W(s) + \frac{1}{1 + F_o(s)} \cdot D(s)$$

# Reglerentwurf

## Allgemein (2)

- Anforderungen an den Regelkreis:
  - 1. **Stabilität**
  - 2. **Stationäre Genauigkeit**
  - 3. **Hinreichende Dämpfung**
  - 4. **Schnelligkeit**
  - 5. **Empfindlichkeit/Robustheit**
  
- Möglichkeiten für den Reglerentwurf:
  - **Kompensationsregler**
  - **Einstellregeln** für die Reglerparameter
  - **Frequenzkennlinienverfahren**
  - **Wurzelortskurvenverfahren**
  - **Heuristische Verfahren (Ziegler-Nichols)**
  - **Vermaschung und Vorsteuerung**

# Reglerentwurf

## Anforderungen an den Regelkreis (1)

### 1. Stabilität

→ **Führungsfkt. / Störfkt.** müssen stabil sein, d.h. alle Nullstellen von  $1 + F_o(s)$  müssen links der imaginären Achse liegen

### 2. Stationäre Genauigkeit (der Sprungantwort)

→  $F_o(s)$  muss **I-Anteil** enthalten oder

→  $F_o(s)$  enthält keinen I-Anteil und man wählt  $K_o$  des offenen Kreises so groß wie möglich, ohne die Stabilität zu gefährden

Strecke ohne I-Anteil → Regler mit I-Anteil (PI-, PID-Regler)

Strecke mit I-Anteil → Regler ohne I-Anteil (PD-Regler)

# Reglerentwurf

## Anforderungen an den Regelkreis (2)

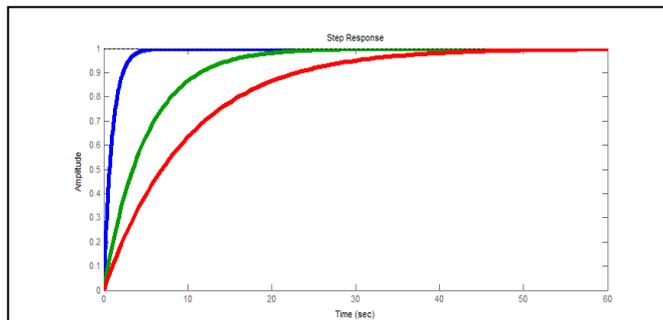
### 3. Hinreichende Dämpfung (der Sprungantwort)

→ **Phasenreserve**  $\varphi_R$  (Maß für die Dämpfung) hinreichend groß wählen

### 4. Schnelligkeit (RK soll möglichst schnell werden, d.h. schnelles Einschwingen der Sprungantwort)

→ Durchtrittsfrequenz  $\omega_D$  hoch wählen, d.h.  $K_o$  vergrößern oder

→ Zeitkonstante  $T = \frac{1}{\omega_D}$  klein **➔ Kompensation von Zeitkonst.**



PT<sub>1</sub>-Glied:  $G(s) = \frac{1}{Ts + 1}$

$T_1 = 1$

$T_2 = 5$

$T_3 = 10$

# Reglerentwurf mit Einstellregeln (1)

- Geg: Strecke  $G_S(s)$  in Standardform

$$G_S(s) = \frac{K_S (1 + T_{Z1}s) \cdot (1 + T_{Z2}s) \cdot \dots}{s^q (1 + T_{N1}s) \cdot (1 + T_{N2}s) \cdot \dots} \quad q = 0, 1, 2, \quad T_{Z1} \geq T_{Z2} \geq \dots, \quad T_{N1} \geq T_{N2} \dots$$

- Ges: Reglertyp und Parameter des Reglers  $G_R(s)$

## 1. Strecken ohne I-Anteil ( $q = 0$ ):

### a) PI-Regler:

$$G_R(s) = K_{PI} \frac{1 + T_R s}{s}$$

Für die Zeitkonstante  $T_R$  gilt:

α) Falls  $T_{N1} \gg T_{N2} > T_{N3} > \dots$  :

$T_R = T_{N1}$  : Kompensation der größten Streckenzeitkonstanten

β) Falls  $T_{N1} \approx T_{N2} \approx T_{N3} \approx \dots$  :

$T_R = \sum_i T_{Ni} := T_\Sigma$  : Kompensation der Summenzeitkonstanten

# Reglerentwurf mit Einstellregeln (2)

- Geg: Strecke  $G_S(s)$  in Standardform

$$G_S(s) = \frac{K_S (1 + T_{Z1}s) \cdot (1 + T_{Z2}s) \cdot \dots}{s^q (1 + T_{N1}s) \cdot (1 + T_{N2}s) \cdot \dots} \quad q = 0, 1, 2, \quad T_{Z1} \geq T_{Z2} \geq \dots, \quad T_{N1} \geq T_{N2} \dots$$

- Ges: Reglertyp und Parameter des Reglers  $G_R(s)$

## 1. Strecken ohne I-Anteil ( $q = 0$ ):

### b) Realer PID-Regler:

$$G_R(s) = K_{PID} \frac{(1 + T_{R1}s)(1 + T_{R2}s)}{s(1 + T_Ns)}$$

Für die Zeitkonstanten  $T_{R1}, T_{R2}$  und  $T_N$  gilt:

$T_{R1} = T_{N1}, T_{R2} = T_{N2}$  : Kompensation der beiden größten Zeitkonst.

$T_N \approx (0.02 \dots 0.1) \cdot T_{R2}$  : Einfügen eines Pols weiter links, damit System realisierbar

# Reglerentwurf mit Einstellregeln (3)

- Geg: Strecke  $G_S(s)$  in Standardform

$$G_S(s) = \frac{K_S (1 + T_{Z1}s) \cdot (1 + T_{Z2}s) \cdot \dots}{s^q (1 + T_{N1}s) \cdot (1 + T_{N2}s) \cdot \dots} \quad q = 0, 1, 2, \quad T_{Z1} \geq T_{Z2} \geq \dots, \quad T_{N1} \geq T_{N2} \dots$$

- Ges: Reglertyp und Parameter des Reglers  $G_R(s)$

## 2. Strecken mit I-Anteil (q = 1):

**Realer PD-Regler:**

$$G_R(s) = K_R \frac{(1 + T_V s)}{(1 + T_N s)}, \quad T_N < T_V$$

α) Falls  $T_{N1} \gg T_{N2} > T_{N3} > \dots$  :

$T_V = T_{N1}$  : Kompensation der größten Streckenzeitkonstanten

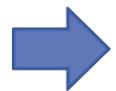
β) Falls  $T_{N1} \approx T_{N2} \approx T_{N3} \approx \dots$  :

$T_V = \sum_i T_{Ni} := T_\Sigma$  : Kompensation der Summenzeitkonstanten

$T_N \approx (0.02 \dots 0.1) \cdot T_V$  : Pol weiter links einführen, damit realisierbar

# Reglerentwurf mit Einstellregeln (4)

- Mit den Einstellregeln sind alle Reglerparameter bis auf den Verstärkungsfaktor ( $K_{PID}$ ,  $K_{PI}$ ,  $K_R$ ) bestimmt



Verstärkungsfaktor des Reglers bestimmen:

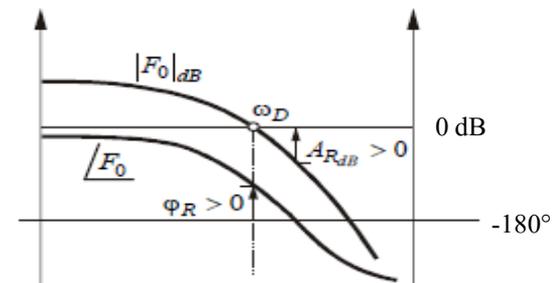
- Mit der char. Gleichung des geschl. Kreises ( $1 + F_o(s)$ ), so dass geschl. RK stabil ist (**Hurwitz-Kriterium**) oder so, dass sich die geforderte Dämpfung  $d$  einstellt (**WOK-Verfahren**)
- Mit dem Bode-Diagramm des offenen Kreises  $F_o(s)$ , so dass geforderte Phasenreserve  $\varphi_R$  erreicht wird (**FKL-Verfahren**)

# Reglerentwurf mit Frequenzkennlinienverfahren

- Ges: Regler  $G_R(s)$  im Standardregelkreis für die Strecke

$$G_S(s) = \frac{K_S (1 + T_{Z1}s) \cdot (1 + T_{Z2}s) \cdot \dots}{s^q (1 + T_{N1}s) \cdot (1 + T_{N2}s) \cdot \dots} \quad q = 0, 1, 2, \quad T_{Z1} \geq T_{Z2} \geq \dots, \quad T_{N1} \geq T_{N2} \dots$$

1. **Auswahl des Reglertyps** anhand der Strecke und **Bestimmung der Reglerparameter mit den Einstellregeln**
2. Zeichnen des **Bodediagramms (FKL) des korrigierten offenen Kreises  $F_o(s)$**  mit der Gesamtverstärkung 1
3. Wahl der **Gesamtverstärkung aus FKL** so, dass Phasenreserve  $\varphi_R$  und Durchtrittsfrequenz  $\omega_D$  die geforderte Werte annehmen und RK stabil
4. Berechnung der **Reglerverstärkung** aus ermittelten Gesamtverstärkung



# Nächstes Tut

- Am 25. Juni
- Im Rechenzentrum: I-Pool