# Regelungstechnik - Fragenausarbeitung

Franz Preyser und andere...

4. Februar 2011

**Zusammenfassung**

Hab mit einer Fragenausarbeitung begonnen. Bin aber bei weitem nicht fertig geworden. Manche Fragen sind auch nur teilweise beantwortet und es fehlen noch schöne bunte Bilder. Hab die Prüfung schon hinter mir, werds also nicht mehr fertigstellen. Vielleicht hat ja jemand anderer Lust das Ganze, als Prüfungsvorbereitung zu vervollständigen. Tippfehler und Rechtschreibfehler können natürlich auch noch zur Genüge enthalten sein.

## 1 Festwertregelung, Anwendungen:

Führungsgröße ist konstant.(Gegenpart: Folgeregler), Bsp.:Fixspannungsregler(MC1705, MC1712)

## 2 QLZ-Eigenschaften:

**Quellenlos:** Zu beginn der Betrachtungen seien alle Energiespeicher entladen.

**Linearität:**

$$f(ku_1 + lu_2) = kf(u_1) + lf(u_2) \quad \text{wobei } k, l = const.$$

z.B.: f Übertragungsfunktion und $ku_1 + lu_2$ Eingangssignal. Praktisch System nie ganz linear: parasitäre Induktivitäten: Magnetisierungshysterese

**Zeitinvarianz:** Funktion des Blockes ändert sich nicht mit der Zeit:

$$\text{für } u_e(t) = u_e(t - t_0): \quad f(u_e(t)) = f(u_e(t - t_0))$$

praktisch würde das bedeuten: es gibt keine Alterung

# 3 Impulsmoment

Impulsmoment = Spannungs-Zeit-Fläche des Impulses: $U_0 * \tau_i = const.$, beim Einheitsimpuls : $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)dt = 1$

# 4 Laplace-Integral, von welcher Klasse ist es, Erzwingen der Konvergenz

Das Laplaceintegral ist ein uneigentliches Integral: Uneigentlichkeitsstelle: $\infty$

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt = \int_0^\infty f(t)e^{-(\sigma+j\omega)t}dt = \int_0^\infty f(t)e^{-\sigma t}e^{-j\omega t}dt$$

Damit die Laplacetransformierte also existiert, muss das Integral konvergieren. Durch geeignete Wahl von $\sigma$ kann die Konvergenz der Integrals "erzwungen werden".

# 5 Laplacetransformierte der Einheitssprungfunktion, Laplacetransformierte des Diracimpulses

$$\mathcal{L}\{\sigma(t)\} = \int_0^\infty 1e^{-st}dt = -\frac{1}{s}e^{-st}\Big|_0^\infty = -\frac{1}{s}\left(e^{-\infty} - e^0\right) = \frac{1}{s}$$

$$\mathcal{L}\{\delta(t)\} = 1$$

# 6 Definition und Erklärung von s, Einheiten von $\sigma$ und $\omega$

$$s = \sigma + j\omega$$

Da $\omega$ die Kreisfrequenz ist und die Einheit $\frac{1}{s}$ hat, muss $\sigma$ (Dämpfungskonstante) ebenfalls die Einheit $\frac{1}{s}$ haben. Euler'sche Beziehung:

$$e^{\sigma+j\omega} = e^\sigma * (cos(\omega) + jsin(\omega))$$

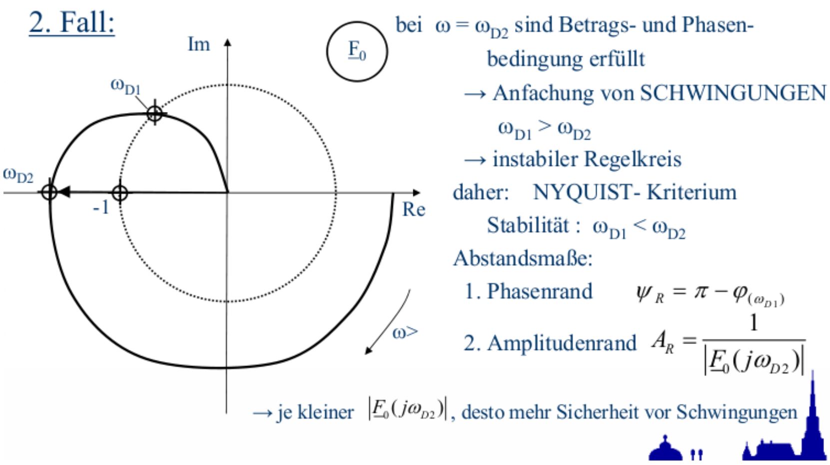
$e^{-st}$ beschreibt also eine abklingende sinusoidale Funktion.

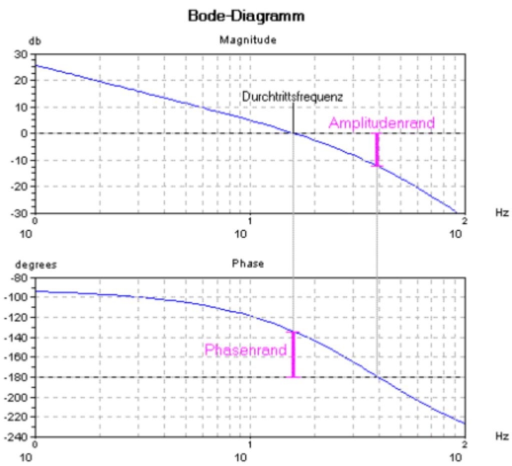
# 7 Kritischer Punkt der Übertragungsfunktion, Herleitung, Benennung, Nyquist-Kriterium

Kritischer Punkt bei $F_0(j\omega) = -1$. Zur Entstehung von Schwingungen erforderlich:

- eine Phasendrehung von $-180°$ (Gegenkopplung $\rightarrow$ Mitkopplung)
- $|\text{Amplitude}| \geq 1$

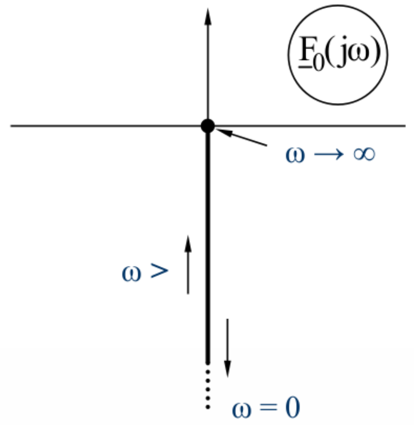
Folglich gibt es 2 Durchtrittsfrequenzen. Die Abstandsmaße dazu werden Phasenrand und Amplitudenrand genannt. Der Regelkreis ist stabil, wenn der Phasenrand positiv ist.



# 8 Ortskurve von $F_0(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$ Begründung

$\frac{1}{j\omega} = -\frac{j}{\omega}$ D.h. die Ortskurve verläuft entlang der imaginären Achse von $-j\infty$ (für $\omega = 0$) bis 0 (für $\omega = \infty$)




# 9 Ortskurve einer Übertragungsfunktion mit Zeitkonstante, Begründung

Übertragungsfunktion:

$$F_0(s) = \frac{1}{1 + j\omega T_0}$$

Analyse:

$$\omega \to \infty : \qquad F_0 \to 0$$

$$\omega \to 0 : \qquad F_0 \to 1$$

D.h. die Ortskurve verläuft von 1 auf der reellen Achse durch den 4. und 3. Quadranten zum Nullpunkt. In der unteren Halbebene deswegen, weil $j$ im Nenner und daher der Imaginärteil von $F_0$ negativ ist.

# 10 Frequenzgangfunktion

Zum Ermitteln der Frequenzgangfunktion wird die Rückführung aufgetrennt und ein Sinussignal variabler Frequenz in die Rückführung auf den Reglereingang eingespeist, die Führungsgröße soll gleich 0 sein ($w(t) = 0$). Den Amplituden- und Phasengang des Ausgangssignals $y(t)$ kann man als Bodediagramm aufzeichnen.

$$F_0(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

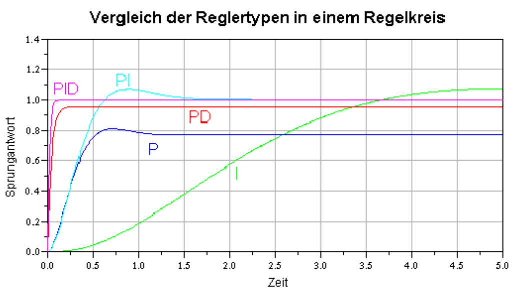
mit

$$A(\omega) = |F_0(j\omega)| \qquad \varphi(\omega) = arctan\frac{Im\{F_0\}}{Re\{F_0\}}$$

# 11 Reglertypen Erklärung (Folie mit dem Diagramm gegeben)

$u(t)$ ... Stellgröße
$e(t) = w(t) - y(t)$ ... Regelabweichung = Sollwert - Istwert
$F_R(s) = \frac{u(t)}{e(t)}$ ... Übertragungsfunktion des Reglers

$$\begin{aligned}
\text{P-Regler:} \quad u(t) &= K_P e(t) \qquad F_R(s) = K_P \\
\text{I-Regler:} \quad u(t) &= K_I \int_0^t e(\tau)d\tau \qquad F_R(s) = \frac{K_I}{s} \\
\text{D-Regler:} \quad u(t) &= K_D \frac{de(t)}{dt} \qquad F_R(s) = sK_D \\
\text{PI-Regler:} \quad u(t) &= K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau)d\tau \qquad F_R(s) = K_P + \frac{K_I}{s} \\
\text{PD-Regler:} \quad u(t) &= K_P e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \qquad F_R(s) = K_P + sK_D \\
\text{PID-Regler:} \quad u(t) &= K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau)d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \qquad F_R(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + sK_D
\end{aligned}$$




# 12 D-Regler alleine sinnvoll? Sinn des D-Anteils beim PID-Regler

Der D-Regler reagiert nicht auf die Höhe der Regelabweichung e(t), sondern nur auf deren Änderungsgeschwindigkeit, kann von sich aus nie ausregeln.

Ein Regler mit D-Anteil regelt schneller aus (allerdings gibt es durch die Begrenzung im Stellglied Verzögerungszeiten).

Beispiel: Hausfrau - Herdplatten

# 13 Zeitfunktion des PID-Reglers, Umwandlung in DGL (Integral wegdifferenzieren), Laplace-Transformation davon, Bedeutung von nichtkonstantem KP / KI / KD

$$
\begin{aligned}
u(t) &= K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} && /\frac{d}{dt} \\
\frac{du(t)}{dt} &= K_P \frac{de(t)}{dt} + K_I e(t) + K_D \frac{d^2 e(t)}{dt^2} && /\mathcal{L}\{\} \\
sU(s) &= sK_P E(S) + K_I E(s) + s^2 K_D E(s) \\
F_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} &= K_P + \frac{K_I}{s} + sK_D
\end{aligned}
$$

$K_P$ **(Sprung):** Ein Regler mit P-Anteil ist mittelschnell (D-Anteil schneller).

$K_I$ **(Rampe):** Regler mit I-Anteil regeln auf den Endwert aus. Hat der Regler und die Regelstrecke keinen I-Anteil, bleibt (bei einer sprungförmigen Führungsgröße) immer eine bestimmte Regelabweichung bestehen. I-Regler allein sind extrem langsam!

$K_D$ **(Diracstoß):** Mit einem D-Anteil kann Schnelligkeit in den Regler gebracht werden. Vorraussetzung dafür ist, dass keine Begrenzung im Stellglied oder Aktuator auftritt (meistens begrenzt).

# 14 Bestimmung der Antwortfunktion einer Regelstrecke mittels der Sprungfunktion ('Handwerker'-Methode)

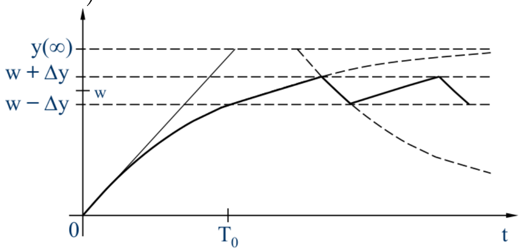
Verzugszeit tu und Ausgleichszeit ta mittels Wendetangente von Einheitssprungantwort

## 15 Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises mit Einheitsrückführung

$$F(s) = \frac{F_R(s)F_S(s)}{1 + F_R(s)F_S(s)}$$

## 16 Zweipunkt-Regler

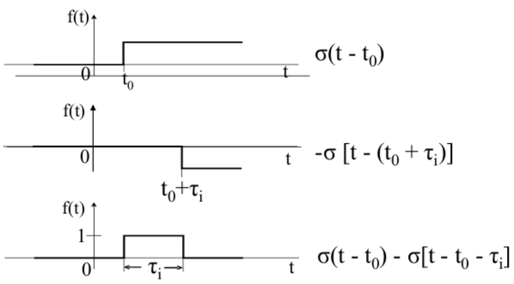
Der Regler entscheidet nur ob aus- oder eingeschaltet wird. Dazu braucht er eine obere und eine untere Grenze (2 Punkte). Zeitlicher Verlauf ($2\Delta y$ .. Hysterese):




Beispiel: Herdplatte

## 17 Rechtecksignal aus zwei Sprungfunktionen + Funktion davon

$$\sigma(t - t_1) - \sigma(t - (t_1 + \tau))$$




## 18 Rampenfunktion

$$r(t) = kt\sigma(t) \qquad k..const$$

# 19 Laufzeitleitung/Totzeitglied (Folie gegeben), Beispiele, Verschiebungssatz (Laplace)

Verschiebungssatz:

$$\text{sei:} \quad \mathcal{L}\{u(t)\} = U(s)$$
$$\Rightarrow \quad \mathcal{L}\{u(t-t_0)\} = U(s)e^{-st_0}$$

# 20 Einstellmöglichkeiten (Ziegler/Nichols, Chien/Hrones/Reswick, ...)

**Dimensionierung nach Chien/Hrones/Reswick:** Bei dieser Methode betrachtet man die Einheitssprungantwortfunktion der Regelstrecke. Durch Anlegen der Wendetangente kann man die Verzugszeit $t_u$ und die Ausgleichszeit $t_a$ ablesen. Die Verzugszeit entspricht dem Zeitintervall von der steigenden Flanke des Einheitssprunges bis zum Schnittpunkt der Wendetangente mit der Zeitachse. Die Ausgleichszeit ist die Zeit vom Schnittpunkt der Wendetangente mit der Zeitachse bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Wendetangente den Wert $1(=$ Einheitssprunghöhe$)$ erreicht. Mit diesen beiden Werten geht man nun in eine Tabelle, aus welcher man empirisch ermittelte Formeln zur Berechnung der Regelparameter aus Verszugs- und Ausgleichszeit ablesen kann.

**Dimensionierung nach Ziegler/Nichols:** Einstellung der Reglerparameter nach der Schwingungsmethode: Der Regler wird als reiner P-Regler betrieben und $K_P$ wird so lange erhöt, bis sich ein Dauerschwingen einstellt. Diesen Wert von $K_P$ wird nun abgelesen und als $K_{P,kritisch}$ bezeichnet. Weiters wird die Schwingungsperiode abgelesen und als $T_{kritisch}$ bezeichnet. Mit diesen beiden Werten geht man nun ein eine Tabelle und kann so die optimalen Werte für die Reglerparameter $K_P$, Nachstellzeit: $T_n = \frac{K_P}{K_I}$ und Vorhaltezeit $T_v = \frac{K_D}{K_P}$ ablesen. Jeweils für P-, PI-, und PID-Regler. Vorsicht: Diese Methode kann nur angewandt werden, wenn ein Dauerschwingen in der Regelstrecke keinen Schaden Schaden verursacht. Vorteil: Kann im laufenden Betrieb, ohne Öffnen des Regelkreises durchgeführt werden.

# 21 Fuzzy Sets, Zugehörigkeitsfunktionen

Ein *fuzzy-set* ist eine unscharfe Menge oder Fuzzy-Menge.

**Scharfe Menge:** (*crispy set*) kann durch eine Zugehörigkeitsfunktion beschrieben werden. Diese kann die Werte '0' (Nichtzugehörigkeit) oder '1' (Zugehörigkeit) annehmen.
Bsp: Menge *warm*

$$warm = \begin{cases} 1 & \text{für } 30 \leq x \leq 35, \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

**Unscharfe Menge:** (*fuzzy set*) kann auch durch eine Zugehörigkeitsfunktion beschrieben werden. Diese kann aber im Gegensatz zur scharfen Menge Werte aus dem Intervall [0,1] annehmen.
Bsp: Menge *warm*

$$warm = \begin{cases} 0 & \text{für } 0 \leq x < 25, \\ \frac{x}{5} - 5 & \text{für } 25 \leq x < 30, \\ 1 & \text{für } 30 \leq x < 35, \\ -\frac{x}{5} + 8 & \text{für } 35 \leq x < 40, \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

# 22 Regelbasis Zweck/Aufbau/Vorteile

Zweck einer Regel: fuzzy-sets unterschiedlicher Grundmengen in Relation setzen
Zweck einer Regelbasis: Wird zur Regelung mit einer Inferenzmaschine verwendet. Die Inferenzmaschine greift auf die Regeln zurück und ermittelt (passend zu den Eingangsgrößen) *fuzzy-results*, die dann in einen Stellwert umgesetzt werden.

Aufbau einer Regel (Implikation):

```
R: IF(p) THEN (c)
```

p ... Prämisse
c ... Konklusion
Beispiel:

```
R1: IF((Temp=heiß AND Gradient=hoch) OR (Temp=sehr heiß)) THEN Ventil=ganz zu
```

Vorteile:

- Verwendung von unscharfen Größen (Bsp.: Waschmaschine - Wäsche schmutzig/start schmutzig, billige Sensoren, ..)

- Regelkreise sollen/müssen nicht genau arbeiten (Bsp.: Heizung $\pm 0.1K$, Zuggeschwindigkeit $\pm 1km/h$, ..)
- durch bestimmte Regeln, kann die Systemantwort eines Fuzzy-Controllers in gewisse Grenzen gehalten werden (bei vielen Eingangssignalen, *smooth system reacton*, ..)

# 23 Ableitung eines scharfen Werts durch die Inferenz, Fuzzy-Operatoren, Name (Defuzzifizierung), Methoden

**Inferenz:** Auswertung der Regeln aus der Regelbasis
MAX-MIN-Inferenz:
OR max
AND min
Implikation min

MAX-Prod-Inferenz:
OR max
AND min
Implikation Produkt

**Defuzzifizierung:** Ermittlung eines Scharfen Wertes für die Stellgröße aus dem Inferenz-Ergebnis.
Methoden:

- Maximum Height
$$\mu_s = max(\mu_U(u))$$
- Mean of Maximum
- Center of Gravity(beste Methode)
$$u_s = \frac{\int u\mu_U(u)du}{\int \mu_U(u)du}$$

$\mu_U \ldots$ Zugehörigkeitsfunktionen, Ergebnis der Inferenz
$u_s \ldots$ Scharfer Wert für die Stellgröße

Schwerpunkt ist jener Punkt, an dem man eine beliebig geformte Fläche unterstützen muss, damit sie im Gleichgewicht ist(also nicht kippt).