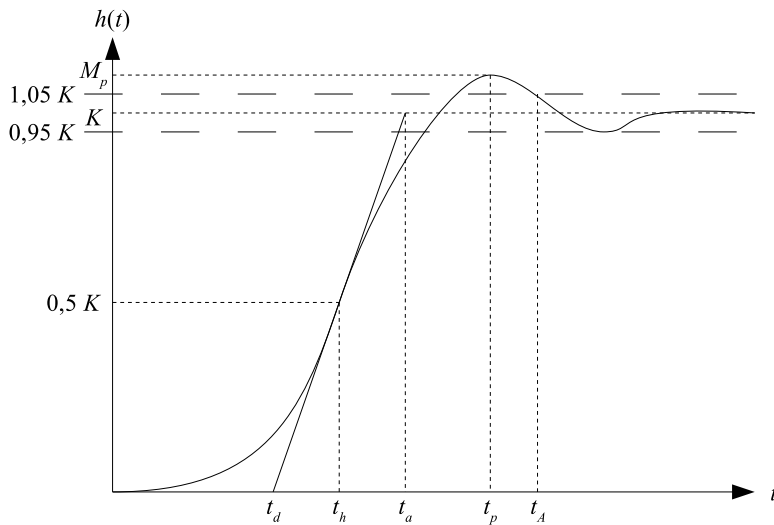
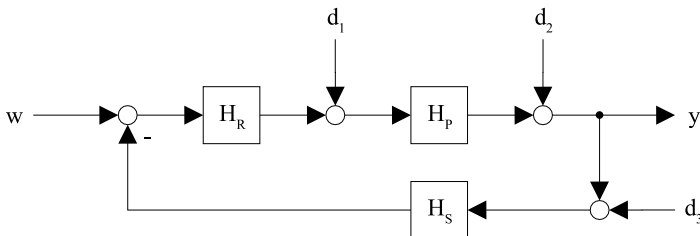
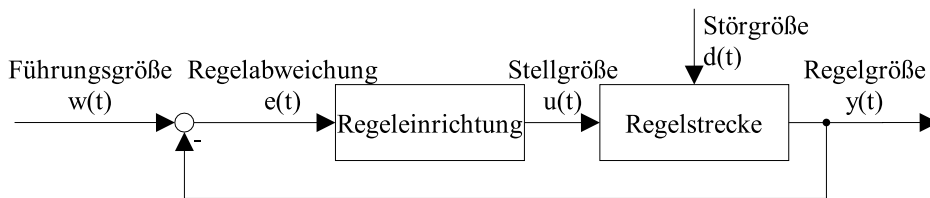


## Systemzeiten



- $h_0(\infty) = H(0) = K$  statische Verstärkung
- $M_p$  Überschwingweite
- $t_d = t_a - t_r$  Verzugszeit (delay time)
- $t_h$  Halbwertszeit
- $t_a = t_d + t_r$  Anregelzeit
- $t_r = t_a - t_d$  Anstiegszeit (rise time)
- $t_p$  peak time
- $t_A$  Ausregelzeit

## Regelkreis



Ausgangsgleichung

$$Y = H_w W + H_{d_1} D_1 + H_{d_2} D_2 + H_{d_3} D_3$$

Führungsübertragungsfunktion

$$H_w(s) = \left. \frac{Y(s)}{W(s)} \right|_{d_i=0} = H_R H_P S$$

Empfindlichkeitsfunktion, Regelfaktor

$$S = \frac{1}{1+H_0} = 1 - T$$

Schleifenübertragungsfunktion/-verstärkung ( $Z_0, N_0$  sind Polynome)

$$H_0 = H_R H_P H_S = \frac{Z_0}{N_0}$$

Störübertragungsfunktionen

$$H_{d_i}(s) = \left. \frac{Y(s)}{D_i(s)} \right|_{w=d_{j \neq i}=0}$$

$$H_{d_1} = H_P S \quad H_{d_2} = S \quad H_{d_3} = -H_P H_R H_S S = -T$$

Komplementäre Empfindlichkeitsfunktion

$$T = \frac{H_0}{1+H_0} = 1 - S$$

## Regler

$N_0 = N_w N_d N'_0$  Inneres-Modell-Prinzip  $\Rightarrow$  kein bleibender Regelfehler

$H_R = \frac{Z_R}{N_R} = \frac{Z_R}{\frac{N_w N_d N'_0}{N_P N_S}}$  Inneres-Modell-Prinzip ( $Z_R$  und  $N'_0$  wählbar)

$H_R = H_P^{-1} \frac{N_X}{1 - H_S H_X}$  Kompensationsregler ( $H_X$  gewünschtes Gesamtverhalten)

### PID-Regler ( $T_I$ Nachstellzeit, $T_D$ Vorhaltezeit)

$H_R = K_P + \frac{1}{s} K_I + s K_D = K_P \left( 1 + \frac{1}{s T_I} + s T_D \right) = V \frac{(1+sT_1)(1+sT_2)}{s}$

$\approx K_P + \frac{1}{s} K_I + \frac{s}{1+sT_0} K_D = K_P \left( 1 + \frac{1}{s T_I} + \frac{s T_D}{1+sT_0} \right) = V \frac{(1+sT_1)(1+sT_2)}{s(1+sT_0)}$

$K_P = V(T_1 + T_2) \quad T_I = T_1 + T_2 \quad T_D = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$

$H_R = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} \quad u_k = u_{k-1} + q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + q_2 e_{k-2}$

$q_0 = K_P \left( 1 + \frac{T_D}{T} \right) \quad q_1 = K_P \left( \frac{T}{T_I} - 2 \frac{T_D}{T} - 1 \right) \quad q_2 = K_P \frac{T_D}{T}$

## Wurzelortskurve

Schleifenverstärkung    Asymptotenschnittpunkt    Asymptotenwinkel

$H_0 = k \frac{b_R}{a_Q} \frac{\prod_{r=1}^R (s - s_{0r})}{\prod_{q=1}^Q (s - s_{1q})} \quad s_{\text{Asymp}} = \frac{\sum_{q=1}^Q s_{1q} - \sum_{r=1}^R s_{0r}}{Q - R} = \frac{b_{R-1} - a_{Q-1}}{Q - R} \quad \Phi_{\text{Asymp}} = \frac{\pi + 2n\pi}{Q - R}$

$k \frac{b_R}{a_Q} > 0 \Rightarrow n = 0 \dots Q_R - 1$   
 $k \frac{b_R}{a_Q} < 0 \Rightarrow n = 1 \dots Q_R$

## Parameterbestimmung (Strecke $PT_1 T_t$ )

Kontinuierliche Regelung (Ziegler/Nichols)    Diskrete Regelung (Takahashi)

	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P	$\frac{t_a}{K t_d}$		
PI	$\frac{0,9 t_a}{K t_d}$	$3,33 t_d$	
PID	$\frac{1,2 t_a}{K t_d}$	$2 t_d$	$0,5 t_d$

	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P	$\frac{t_a}{t_d + T}$		
PI	$\frac{0,9 t_a}{t_d + 0,5 T} - \frac{0,135 t_a T}{(t_d + 0,5 T)^2}$	$\frac{K_P (t_d + 0,5 T)^2}{0,27 t_a}$	
PID	$\frac{1,2 t_a}{t_d + T} - \frac{0,3 t_a T}{(t_d + 0,5 T)^2}$	$\frac{K_P (t_d + 0,5 T)^2}{0,6 t_a}$	$\frac{t_a}{2 K_P}$

Kritische Verstärkung und Periodendauer bekannt

	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P	$0,5 K_{\text{krit}}$		
PI	$0,45 K_{\text{krit}}$	$0,85 T_{\text{krit}}$	
PID	$0,6 K_{\text{krit}}$	$0,5 T_{\text{krit}}$	$0,12 T_{\text{krit}}$