## ERRORI A REGIME

- Nel caso di segnali di ingresso a gradino, a rampa e a parabola:

$$r(t) = R_0\, u(t), \qquad r(t) = R_0\, t, \qquad r(t) = \frac{R_0}{2} t^2$$

per il calcolo degli errori a regime si utilizzano le seguenti formule:

$$\boxed{e_p = \frac{R_0}{1+K_p}}, \qquad \boxed{e_v = \frac{R_0}{K_v}}, \qquad \boxed{e_a = \frac{R_0}{K_a}}$$

dove $K_p$, $K_v$ e $K_a$:

$$K_p = \lim_{s\to 0} G(s), \qquad K_v = \lim_{s\to 0} sG(s), \qquad K_a = \lim_{s\to 0} s^2 G(s)$$

## ZIEGLER-NICHOLS

valori di primo tentativo dei parametri del regolatore in funzione di alcuni parametri della risposta al gradino

$$G(s) \simeq \frac{K\, e^{-t_0 s}}{1 + T\, s}$$

banda proporzionale di pendolazione:
porta il sistema in oscillazione permanente
Aumentiamo K fino a quel punto. Poi si riusa Zielger-Nichols

STAB. ASINTOTICA: |Pi| < 1
STAB. SEMPLICE: |Pi| <= 1

- Criterio di Nyquist I

Sia data una funzione di guadagno d'anello $G(z)$ con tutti i poli stabili (a modulo minore di uno), con l'eventuale eccezione di un polo semplice o doppio in $z = 1$. Condizione necessaria e sufficiente perchè il sistema in retroazione sia asintoticamente stabile è che il diagramma polare completo della funzione $G(e^{j\omega T})$ tracciato per $-\pi/T \le \omega \le \pi/T$ non circondi nè tocchi il punto critico $-1 + j0$.

## SENSIBILITA' AI DISTURBI

VARIAZIONE IN G

$$\boxed{\frac{\Delta G_0(s)}{G_0(s)} = \frac{1}{1 + G(s)\, H(s)}\, \frac{\Delta G(s)}{G(s)}}$$

VARIAZIONE IN H

$$\boxed{\frac{\Delta G_0(s)}{G_0(s)} = \frac{-G(s)\, H(s)}{1 + G(s)\, H(s)}\, \frac{\Delta H(s)}{H(s)}}$$

**UN SISTEMA E' ROBUSTO SE GUADAGNO E' ALTO**

## DISCRETIZZAZIONE

1) differenze all'indietro:

$$D_1(z) = D(s)|_{s=\frac{1-z^{-1}}{T}} = \frac{T + \tau_1 - \tau_1 z^{-1}}{T + \tau_2 - \tau_2 z^{-1}}$$

2) differenze in avanti:

$$D_2(z) = D(s)|_{s=\frac{z-1}{T}} = \frac{\tau_1 + (T - \tau_1)\, z^{-1}}{\tau_2 + (T - \tau_2)\, z^{-1}}$$

3) trasformazione bilineare:

$$D_3(z) = D(s)|_{s=\frac{2}{T}\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}} = \frac{T + 2\tau_1 + (T - 2\tau_1)\, z^{-1}}{T + 2\tau_2 + (T - 2\tau_2)\, z^{-1}}$$

4) corrispondenza poli-zeri:

$$D(s) \quad \rightarrow \quad D_4(z) = \frac{(1-\beta) - \alpha\,(1-\beta)\, z^{-1}}{(1-\alpha) - \beta\,(1-\alpha)\, z^{-1}}$$

## CONTROLLO DIGITALE

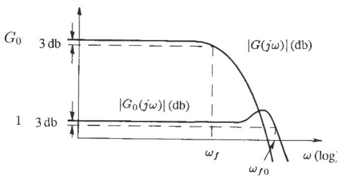
### RICOSTRUTTORE ORDINE ZERO

$$\boxed{G_r(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s}}$$

### Z TRASFORMATA

$$\boxed{X(z) = \mathcal{Z}[x_k] = \sum_{k=0}^{\infty} x_k\, z^{-k} = x_0 + x_1\, z^{-1} + \cdots + x_k\, z^{-k} + \cdots}$$

## LARGHEZZA DI BANDA




**Ts = 1/w**

LINEARITA' $\boxed{X(z) = a\, F(z) + b\, G(z)}$

MOLT. PER A^K

$\boxed{\mathcal{Z}[x(k-n)] = z^{-n} X(z)}$ (ritardo)

$\boxed{\mathcal{Z}[x(k+n)] = z^n \left[ X(z) - \sum_{k=0}^{n-1} x(kT) z^{-k} \right]}$ (anticipo)

VAL. INIZIALE $\boxed{x(0) = x(k)|_{k=0} = \lim_{z\to\infty} X(z)}$

VAL. FINALE $\boxed{\lim_{k\to\infty} x(k) = \lim_{z\to 1} \left[ (1 - z^{-1}) X(z) \right]}$

## SISTEMI A RITARDO FINITO

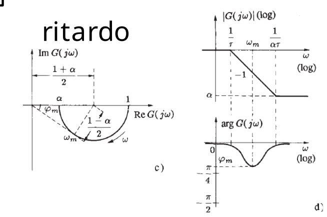
$$\boxed{K = \omega_0 = \frac{1}{t_0} \left( \frac{\pi}{2} - M_F \right)} \qquad \left| \frac{K\, e^{-t_0 s}}{s} \right|_{s=j\omega_0} = 1$$

**VALORE MAX**

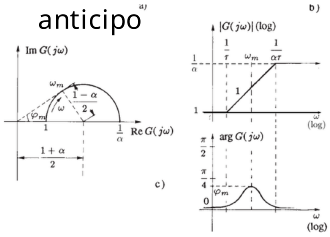
$$\boxed{K^* = \omega_0 = \frac{\pi}{2t_0} = \omega^*}$$

## RETI CORRETRICI

ritardo




anticipo




### FRATTI SEMPLICI

$$\bar{c}_i = \left[ (z - p_i) X(z) \right]_{z=p_i}$$

### LEGAME Z-S

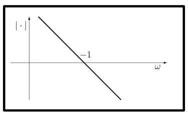
$$\boxed{z = e^{sT}}$$

### RISPOSTA FREQUENZIALE

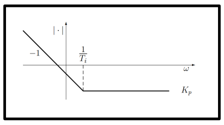
$$\boxed{G(e^{j\omega T}) = G(z)|_{z=e^{j\omega T}}}$$

## REGOLATORI

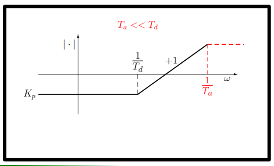
**I** $\boxed{G(s) = \frac{K_p}{T_i s}}$



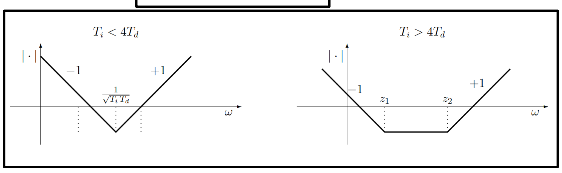
**PI** $\boxed{K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)}$



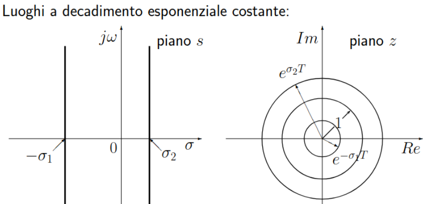

**PD** $\boxed{K_p (1 + T_d s)}$



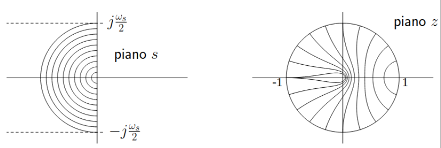

**PID** $\boxed{K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d\, s \right)}$




- Luoghi a decadimento esponenziale costante:




- Luoghi a pulsazione naturale $\omega_n$ costante:




- Luoghi a coefficiente di smorzamento $\delta$ costante: