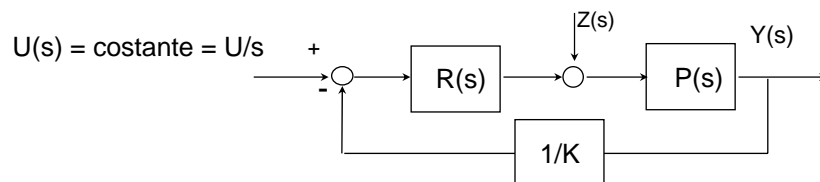


## SISTEMI DI REGOLAZIONE

- Regolatori standard
- Metodo di Ziegler - Nichols

## REGOLATORI STANDARD



$$Y(s) = KU(s) + W_z(s)Z(s)$$

- Nella regolazione si vuole che  $\lim_{s \rightarrow 0} s(W_z(s) \frac{1}{s}) = 0$   
(o almeno un valore molto piccolo)

- Il più completo è il **PID**

$$PID(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s}$$

## ANALISI DELLE AZIONI

assumendo  $K_d=1$

$K_p$ : azione Proporzionale

$$W = \frac{K_p P(s)}{1 + K_p P(s)} \quad K_p \rightarrow \infty \quad W \rightarrow 1$$

- + Aumenta la banda passante
- + Riduce l'effetto di variazioni parametriche e disturbi
- Riduce i margini di stabilità

$\frac{K_I}{s}$ : azione Integratale

$$W = \frac{\frac{K_I}{s} \cdot P(s)}{1 + \frac{K_I}{s} \cdot P(s)} = \frac{K_I P}{s + K_I P} \quad s \rightarrow 0 \equiv t \rightarrow \infty \quad W(s) \rightarrow 1$$

- + Azzerata l'effetto di disturbi e variazioni parametriche a valle, sull'uscita a regime
- Riduce la banda passante
- Riduce molto i margini di stabilità

## ANALISI DELLE AZIONI

$K_D s$ : azione Derivativa

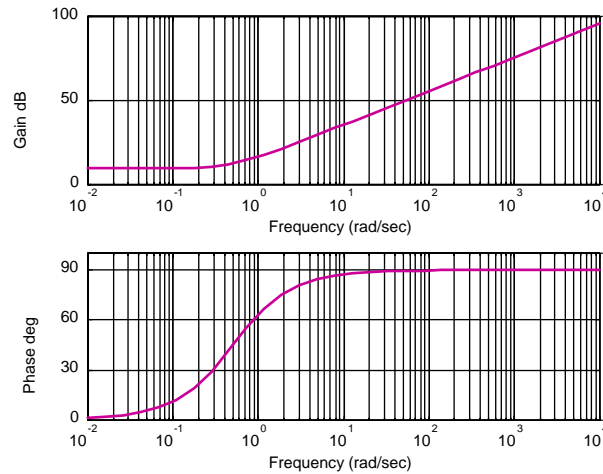
"Prevede l'andamento dell'errore"

- + Migliora i margini di stabilità ( $m_\phi + 90^\circ$ )
- + Riduce la sovraelongazione e i transitori
- Usato da solo (MAI!), azzererebbe il guadagno per  $\omega \rightarrow 0$  ( $\equiv$  anello aperto).
- Enfatizza le alte frequenze (rumori ?)
- Sollecita gli attuatori.
- Non è realizzabile,  $\text{approx} = \frac{K_D s}{1 + \varepsilon s}$

In genere si usa un mix di azioni: P, PI, PD, PID

## REGOLATORE PROPORZIONALE DERIVATIVO

$$PD = K_P + s K_D = K_P(1 + \tau_1 s)$$



```
num=[6,3];  
den=1;  
bode(num,den)
```

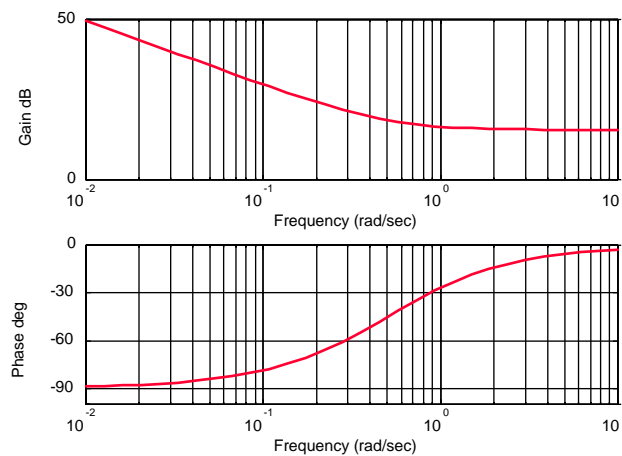
06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U. -FdA- 5

## REGOLATORE PROPORZIONALE INTEGRALE

$$PI = K_P + \frac{K_I}{s} = \frac{K_I}{s}(1 + \tau_1 s)$$



```
num=[6,3];  
den=[1,0]  
bode(num,den)
```

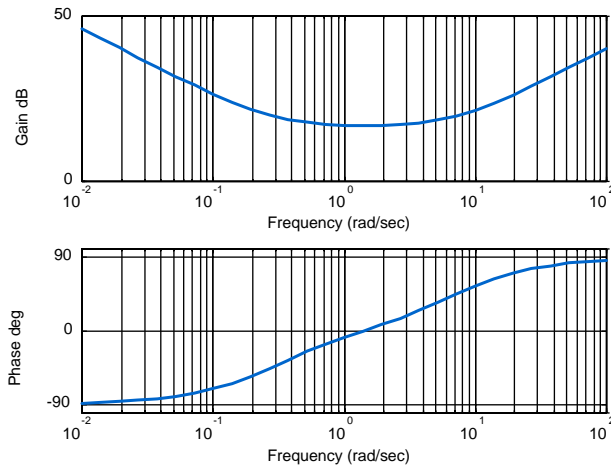
06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U. -FdA- 6

## REGOLATORE PROPORZIONALE INTEGRALE DERIVATIVO

$$PID = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_I}{s} (1 + \tau_1 s)(1 + \tau_2 s)$$



```
num=[1,7,2];  
den=[1,0]  
bode(num,den)
```

06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U. -FdA- 7

## PREDISPOSIZIONE DEI REGOLATORI

Premessa:

- a) Sappiamo poco del processo
- b) Abbiamo specifiche generiche
- c) Il comportamento a regime dipende da  $F(j\omega)$  per  $\omega \cong 0$
- d) Il comportamento al transitorio dipende da  $F(j\omega)$  per  $\omega \cong \omega_T$

Spesso ci basta determinare un guadagno accettabile (quindi un  $\omega_T$ ) e qualche informazione su  $F(j\omega)$ .

06/05/2010

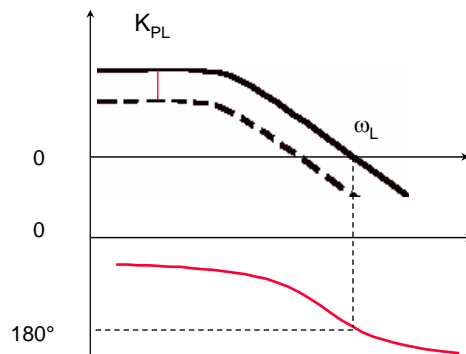
Terza Università degli studi di Roma

G.U. -FdA- 8

## 1° METODO DI ZIEGLER - NICHOLS

1)  $K_D=K_I=0$ ;

2) Aumentare  $K_P$  da 0 fino a  $K_{PL}$  quando si hanno oscillazioni persistenti di periodo  $T_L$ . Si ha:  $\omega_L = 2\pi/T_L$ ;  $m\phi = m_G = 0$ .



$$R(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right)$$

Utilizzare i valori che

soddisfano:

	$K_p/K_{PL}$	$\tau_D/T_L$	$\tau_I/T_L$
P	0.5	-	-
PD	0.5	0.2	-
PI	0.45	-	0.85
PID	0.6	0.125	0.5

06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

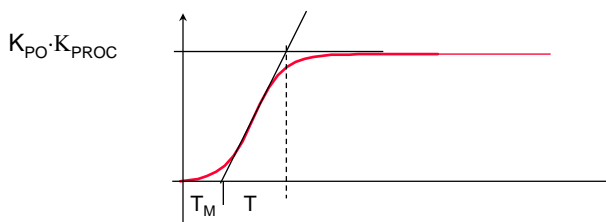
G.U. -FdA- 9

## 2° METODO DI ZIEGLER - NICHOLS

1)  $K_I=K_D=0$

2)  $K_P=K_{PO}$  qualsiasi

3) Applicare un gradino all'ingresso, registrare l'uscita



Si assume  $T_L=4T_m$ ;

$$K_L = \frac{2T}{T_m \cdot K_{PROC}}$$

- Valori più approssimati del precedente però non si innescano oscillazioni.
- Entrambi danno solo valori di massima anche a causa della difficoltà di misura.
- Oggi: vedi relais

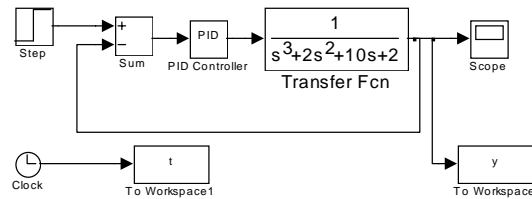
06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

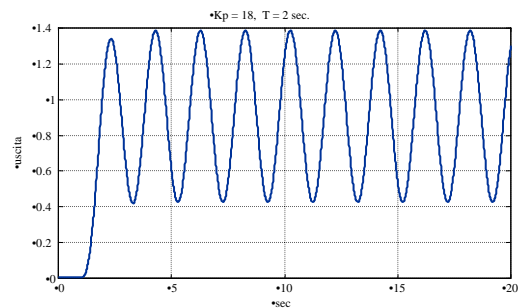
G.U. -FdA- 10

## ESEMPIO

- Impianto stabile con un polo reale e due poli compl. coniugati



- Portato all'oscillazione fornisce  $K_{pL}=18$  e  $T_L=2$



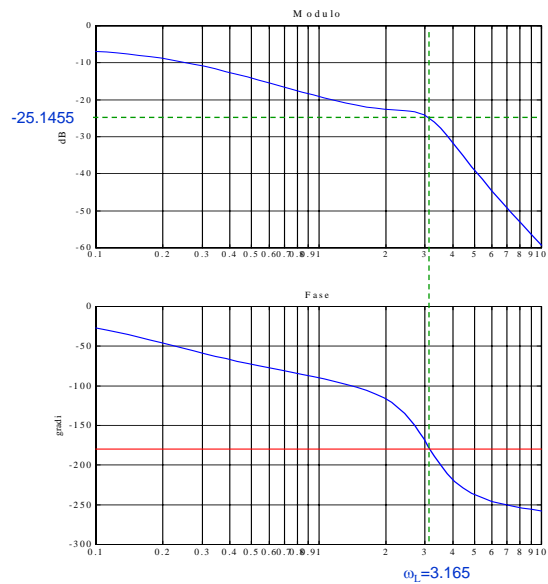
06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U. -FdA- 11

## ESEMPIO (CONTINUA)

- Dai diagrammi di Bode si deducono le stesse grandezze:  
 $K_{pL}=18.08$  e  $T_L=1.98$

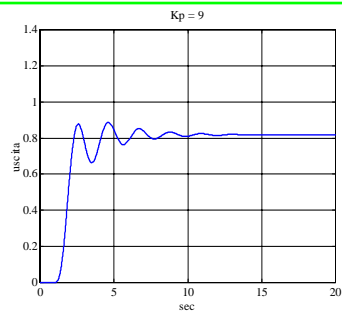


06/05/2010

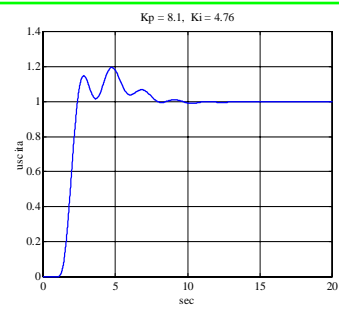
Terza Università degli studi di Roma

G.U. -FdA- 12

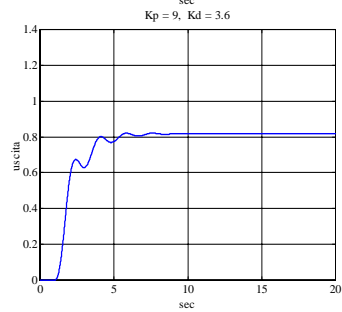
## ESEMPIO (CONTINUA)



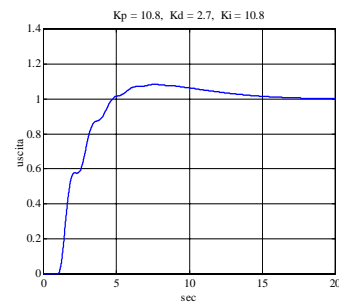
**P**



**PI**



**PD**



**PID**

06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

6.U -FdA- 13