

Controllori PID

Classico regolatore standard: Proporzionale Integrale Derivativo

Implementa la funzione

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad R(s) = k_p + \frac{k_I}{s} + k_D s$$

Possono essere implementate anche solo le versioni P e PI

Il 95% dei controllori industriali sono PI(D)

Controllori PID



Classico regolatore standard: Proporzionale Integrale Derivativo

Implementa la funzione

TEMPO

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

EXPULS

$$R(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s$$

Possono essere implementate anche solo le versioni P e PI

Il 95% dei controllori industriali sono PI(D)

Funzione di Trasferimento di un PID

$$\begin{aligned}R(s) &= k_p + \frac{k_I}{s} + k_D s = \frac{k_D s^2 + k_p s + k_I}{s} = \\&= k_p \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right) = \\&= k_p \frac{\tau_I \tau_D s^2 + \tau_I s + 1}{\tau_I s}\end{aligned}$$

k_p, k_I, k_D

Parametri di Progetto

τ_I, τ_D

(parametri equivalenti): costanti di tempo
integrale e derivativa

Funzione di Trasferimento di un PID

Un regolatore PID ideale ha una f.d.t con un polo nell'origine e due zeri in:

$$z_{1,2} = \frac{-\tau_I \pm \sqrt{\tau_I(\tau_I - 4\tau_D)}}{2\tau_I\tau_D}$$

Il comportamento ideale dei PID è mantenuto solo fino ad una pulsazione massima, al di sopra della quale la f.d.t. di un PID reale è caratterizzata da un roll-off dovuto a poli ad alta frequenza.

Nei PID digitali la pulsazione max è legata alla frequenza di campionamento max del dispositivo

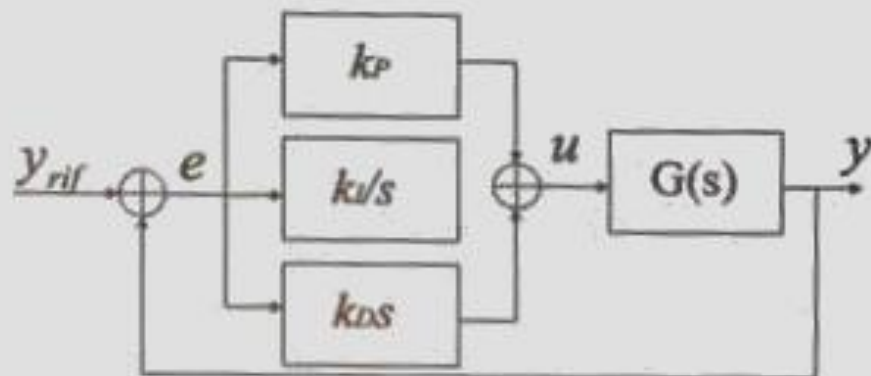
Perche' il PID

$$R(s) = k_p \frac{\tau_I \tau_D s^2 + \tau_I s + 1}{\tau_I s}$$

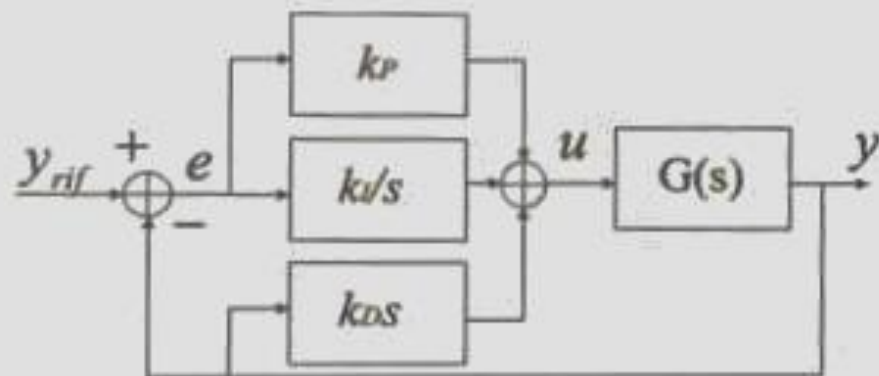
Qualitativamente, il polo nell'origine garantisce prestazioni di precisione a regime, mentre gli zeri consentono di recuperare fase e, assieme alla costante di guadagno, di soddisfare le specifiche di transitorio.

La disponibilità di un regolatore PID consente da un lato di poter usare una struttura standard per il controllo, dall'altro diminuisce i gradi di libertà nel progetto del regolatore

Montaggio di un PID

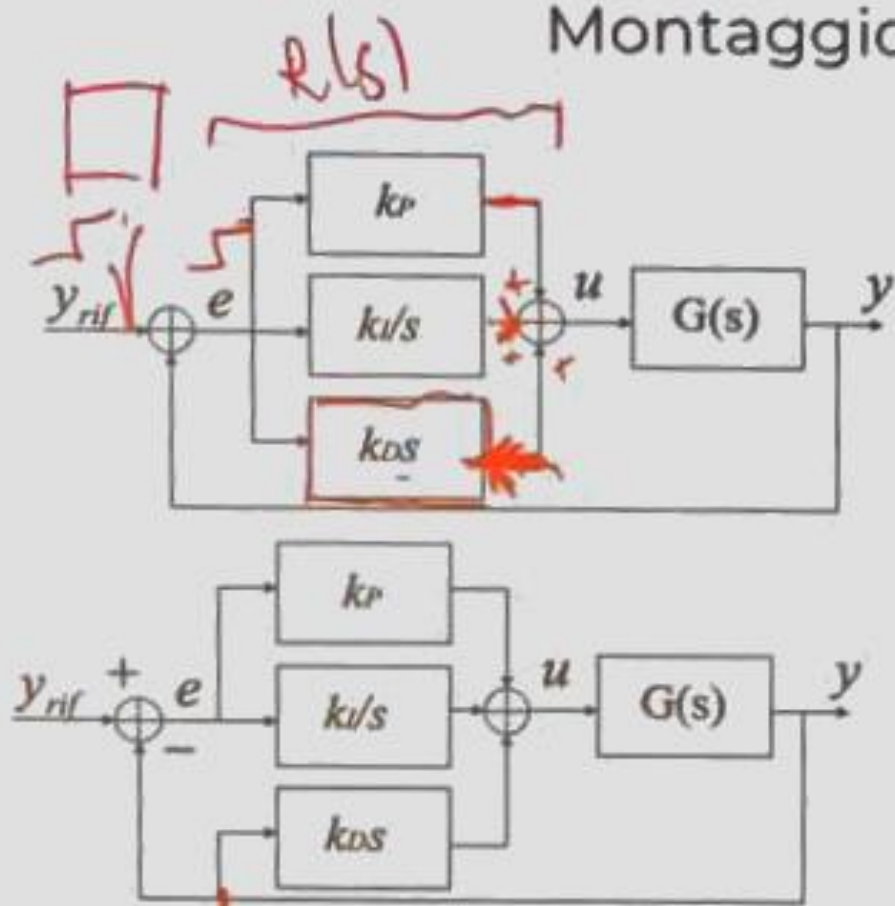


L'azione derivativa sul segnale di errore può causare segnali di controllo a frequenza molto elevata.



E' più conveniente derivare direttamente il segnale di uscita ($\dot{e} = \dot{y}$)

Montaggio di un PID

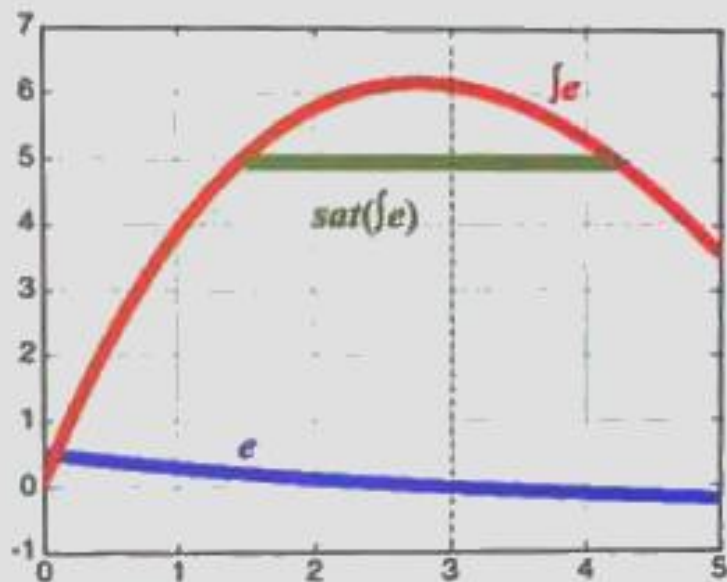


L'azione derivativa sul segnale di errore può causare segnali di controllo a frequenza molto elevata.



E' più conveniente derivare direttamente il segnale di uscita ($\dot{e} = \dot{y}$)

Wind-up dell'azione integrale



Se l'integrale dell'errore cresce eccessivamente, il controllo u raggiunge i limiti di saturazione degli attuatori

L'accumulo dell'azione integrale fa rimanere un termine residuale, anche quando l'errore raggiunge lo zero

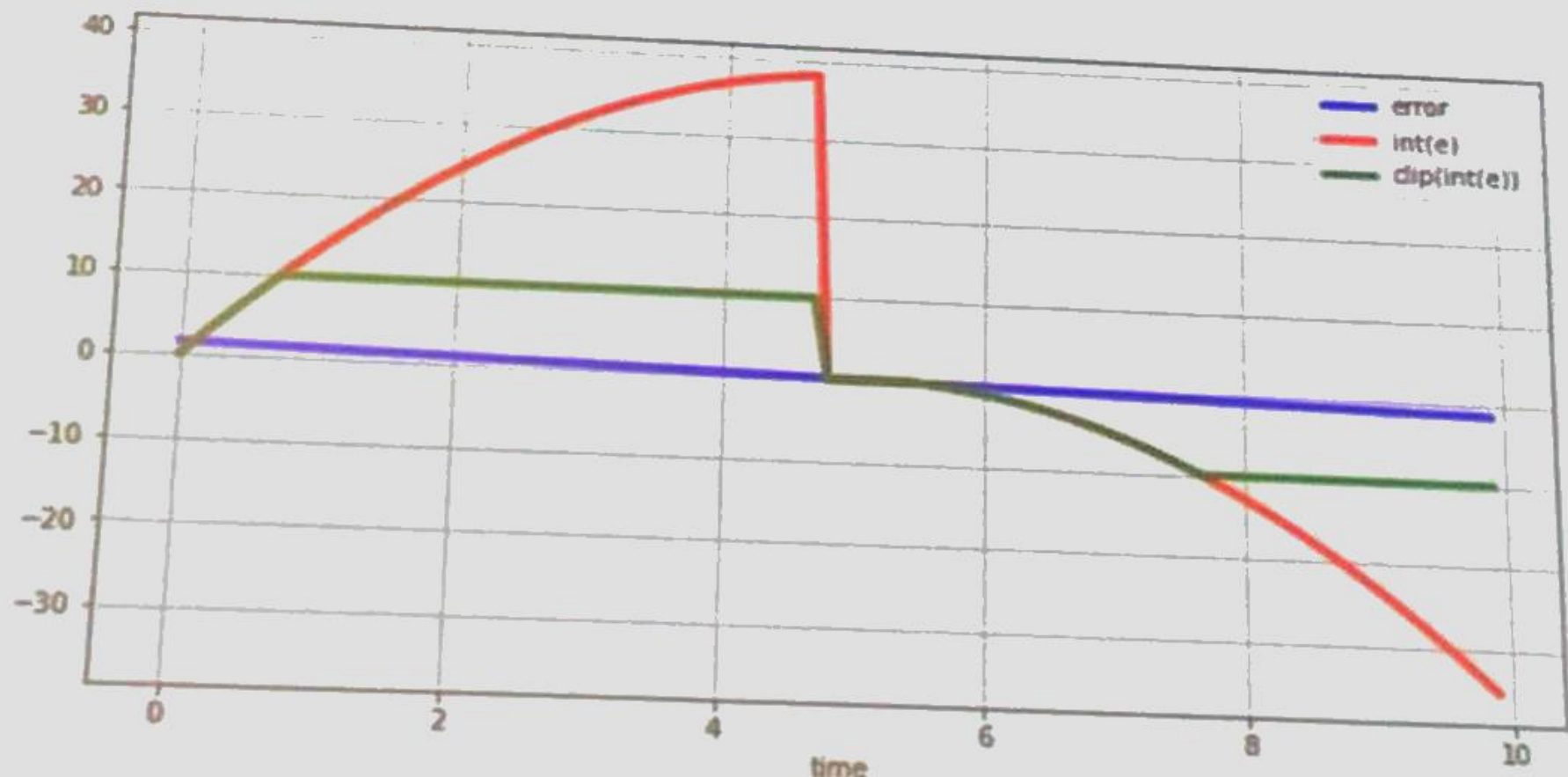
Procedure anti-wind-up

Esistono degli schemi analogici per la realizzazione di regolatori PID con compensazione dell'azione di wind-up e desaturazione.

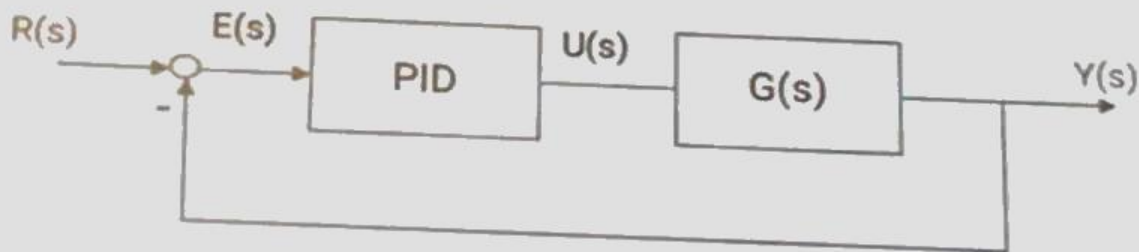
La disponibilità di regolatori digitali con funzione PID "built-in" rende possibile applicare procedure di desaturazione di tipo logico:

- bloccare l'azione integrale quando è raggiunta la soglia di saturazione (mantenendo l'attuatore al livello di saturazione);
- azzerare il contributo integrale non appena l'errore raggiunge lo zero e ricominciare

Procedure anti-wind-up



Taratura di un PID

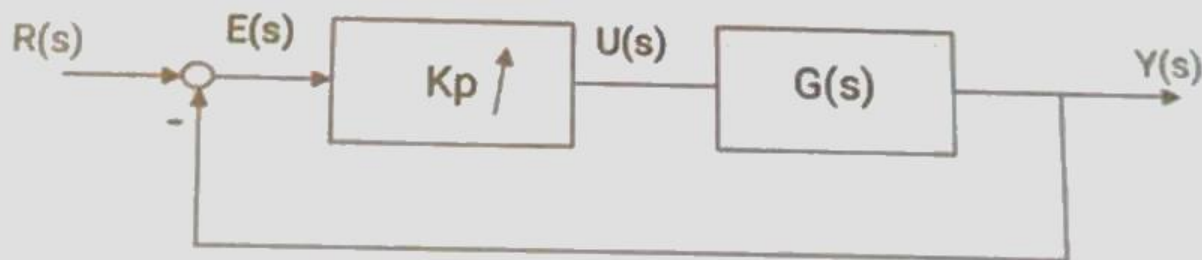


Tecniche relative a prove su impianti con f.d.t. non nota;
Prove semplici da realizzare in pratica e parametri scelti in base a regole standard che rappresentano un buon compromesso precisione/banda/robustezza per la maggior parte degli impianti caratterizzati da uno-due poli dominanti ed un ritardo di tempo
Regole da NON seguire se si è alla ricerca di prestazioni molto spinte da parte del sistema di controllo

Procedura di Ziegler e Nichols per la taratura automatica dei PID

$G(s)$ BIBO stabile; $G(0) > 0$

si chiude l'anello con la sola parte proporzionale del regolatore;
si dà un ingresso a gradino e si incrementa il guadagno fino che l'uscita
non inizia a oscillare



Siano k^* e t^* il guadagno critico e il corrispondente periodo di oscillazione

Tabella di Ziegler e Nichols

Sulla base dei parametri k^* e t^* individuati sperimentalmente si tarano i guadagni del regolatore PID secondo la tabella:

$R(s)$	k_P	τ_I	τ_D
P	$0.5k^*$		
PI	$0.45k^*$	$0.8\tau^*$	
PID	$0.6k^*$	$0.5\tau^*$	$0.125\tau^*$

Perche' le regole di Ziegler e Nichols

Il parametro k^* è il margine di guadagno del sistema con controllo proporzionale.

La pulsazione critica è $2\pi/t^*$.

La regola per il controllore P corrisponde a imporre un margine di guadagno di 6 dB

Il termine integrale, qualitativamente, migliora le prestazioni di regime ma diminuisce la banda passante e il margine di fase

Il termine derivativo aumenta la banda passante ed il margine di fase

Controllori Industriali



Nel settore dell'automazione industriale i produttori di componenti (Rockwell, Siemens, Mitsubishi, ...) forniscono prodotti già dotati di un controllore in forma standard, di cui vanno configurati i parametri

Oggi i controllori industriali sono tutti digitali, ed implementano inoltre una serie estesa di funzionalità di supervisione e controllo – cfr. PLC