

Automatica (Laboratorio)

Silvio Simani

Dipartimento di Ingegneria
Università di Ferrara
Tel. 0532 293844
Fax. 0532 768602

E-mail: ssimani@ing.unife.it

URL: <http://www.ing.unife.it/~simani>

URL: <http://www.ing.unife.it/~simani/lessons.html>



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Automatica (Laboratorio)



Struttura delle lezioni

- 1.a Informazioni generali sul corso
- 1.b Introduzione a Matlab
2. Simulazione di Sistemi Dinamici
3. Introduzione a Simulink
4. Osservatori e retroazione uscita-stato-ingresso
5. Modelli approssimati di sistemi dinamici
6. Identificazione di Sistemi Dinamici
7. Progetto di Reti Correttrici
- ⇒ 8. **Sintonizzazione di Controllori PID**
9. Analisi di Sistemi a Dati Campionati



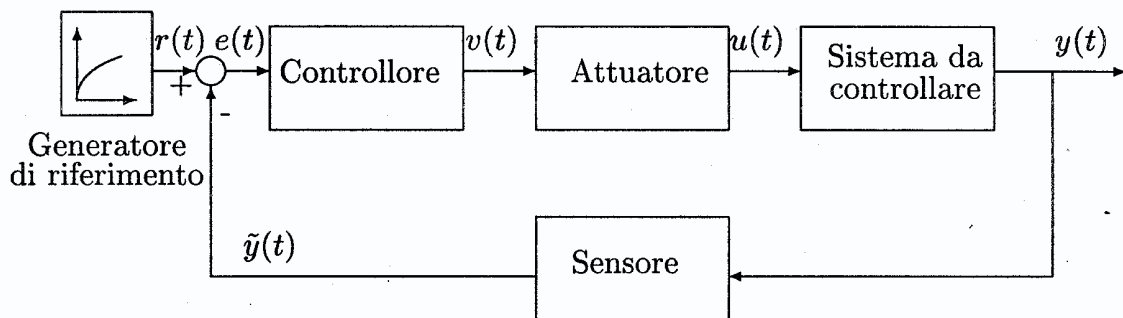
Bibliografia

- ⇒ Dispense del Corso di Laboratorio di Automatica. Sergio Beghelli, Cesare Fantuzzi, Silvio Simani. (Fotocopisteria, tutorato, www)
1. Matlab, The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. *Version 5.1* (In formato pdf su CD Matlab)
 2. MATLAB Primer. Second Edition. Kermit Sigmon. Department of Mathematics. University of Florida.
 3. The MathWorks Inc., Matlab User's Guide, 1993.
 4. L. F. Shampine and M. W. Reichel, "The Matlab Ode Suite", Tech. Rep., The MathWorks, Inc, 1997. (Disponibile anche come file in formato pdf).
 5. The MathWorks Inc., Simulink User's Guide, 1995.
 6. B. C. Kuo, Automatic Control Systems. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 7th ed., 1995.
 7. P. Bolzern, R. Scattolini, and N. Schiavoni, Fondamenti di controlli automatici. Milano: McGraw- Hill, I ed., Marzo 1998.
 8. G. Marro, TFI: insegnare e apprendere i controlli automatici di base con matlab. Bologna: Zanichelli, I ed., Ottobre 1998.
- ⇒ C. Fantuzzi, Controllori Standard PID. Versione 1.2, Appunti del Corso, 1a ed., Maggio 1997.



Sintonizzazione di Controllori PID

⇒ Schema di controllo in retroazione:



⇒ forzare $y(t)$ a seguire $r(t)$

⇒ Struttura del sistema di controllo in retroazione:

⇒ modello matematico del sistema controllato

⇒ attuatore, sensori e controllore

⇒ attuatore e sensori ideali ($v(t) = u(t)$ e $y(t) = \tilde{y}(t)$)

⇒ Utilizzo di controllori standard PID

⇒ struttura dei regolatori, analisi e sintesi



Struttura di un PID

⇒ **Elabora** $e(t) = r(t) - y(t)$ per generare $u(t)$:

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

⇒ **Parametrizzazione a tre coefficienti** K, T_i, T_d :

- ⇒ **Termine proporzionale (P)** $\hookrightarrow K$ elevato: riduce l'errore a regime ed incrementa la larghezza di banda del sistema retroazionato; diminuisce della stabilità del sistema
- ⇒ **Termine integrale (I)** $\hookrightarrow T_i$: annulla l'errore a regime per un ingresso a gradino; peggiora i margini di fase ed ampiezza del sistema retroazionato
- ⇒ **Termine derivativo (D)** $\hookrightarrow T_d$: migliora i margini di stabilità del sistema; amplifica i segnali con contenuto armonico a frequenze elevate



Modifiche alla struttura del PID

⇒ **Nelle applicazioni industriali il PID ha una struttura più complessa**

⇒ **Limitazione di banda del termine derivativo**

⇒ **Vantaggi:**

⇒ migliora i margini di stabilità dell'anello

⇒ correzione dell'errore $e(t)$ di tipo anticipativo

⇒ **Svantaggi:**

⇒ amplifica ed esalta i segnali a larga banda

⇒ non è fisicamente realizzabile

⇒ attraverso $e(t)$ introduce sollecitazioni potenzialmente dannose per gli organi di attuazione

⇒ **Utilizzo di un filtro del I ordine**

⇒ PID a derivata limitata



Modifiche alla struttura del PID (1)

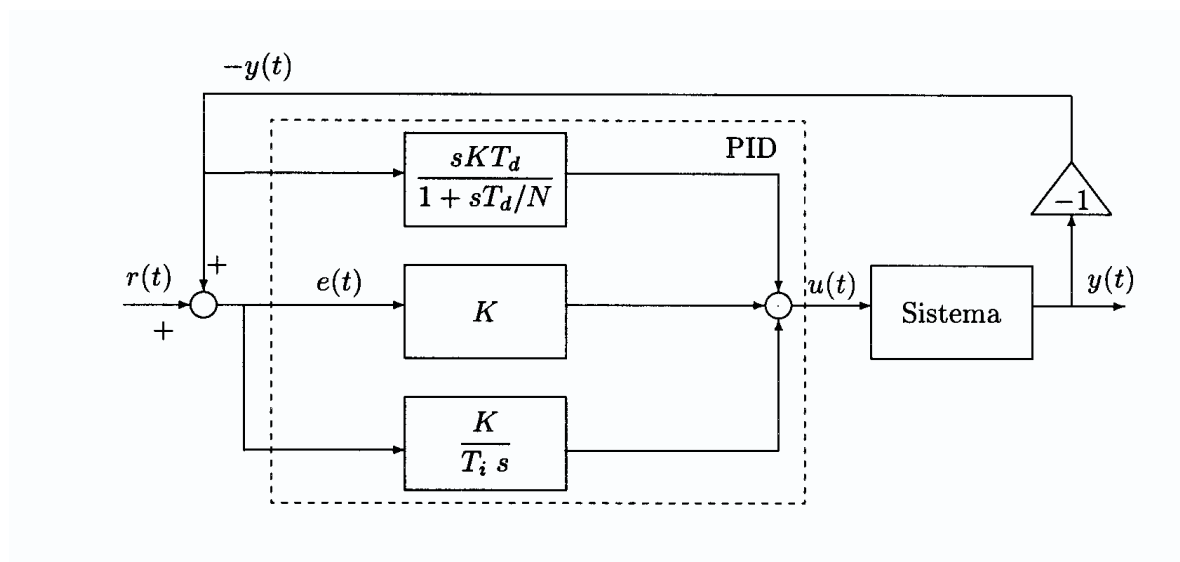
⇒ Filtrare $e(t)$ con un sistema del primo ordine:

$$D(S) = \frac{sKT_d}{1 + sT_d/N}$$

$$\Rightarrow T_d/N \simeq \frac{1}{10} \div \frac{1}{20} T_d$$

⇒ Ulteriore modifica dello schema di base del PID

⇒ Problemi con $r(t)$ a gradino:



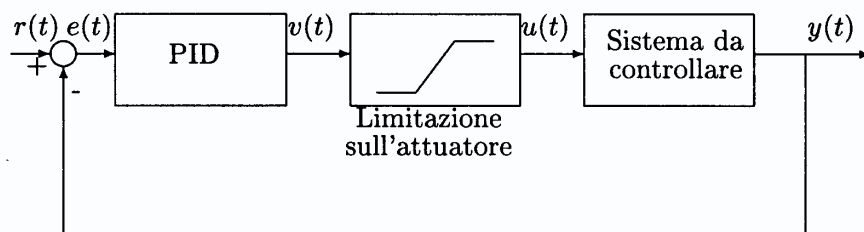
⇒ Derivata del segnale $y(t)$



Modifiche alla struttura del PID (2)

⇒ “Anti-Windup” del termine integrale

⇒ presenza di non linearità: limitazione fisica degli attuatori



⇒ saturazione dell'attuatore: $v(t) \neq u(t)$

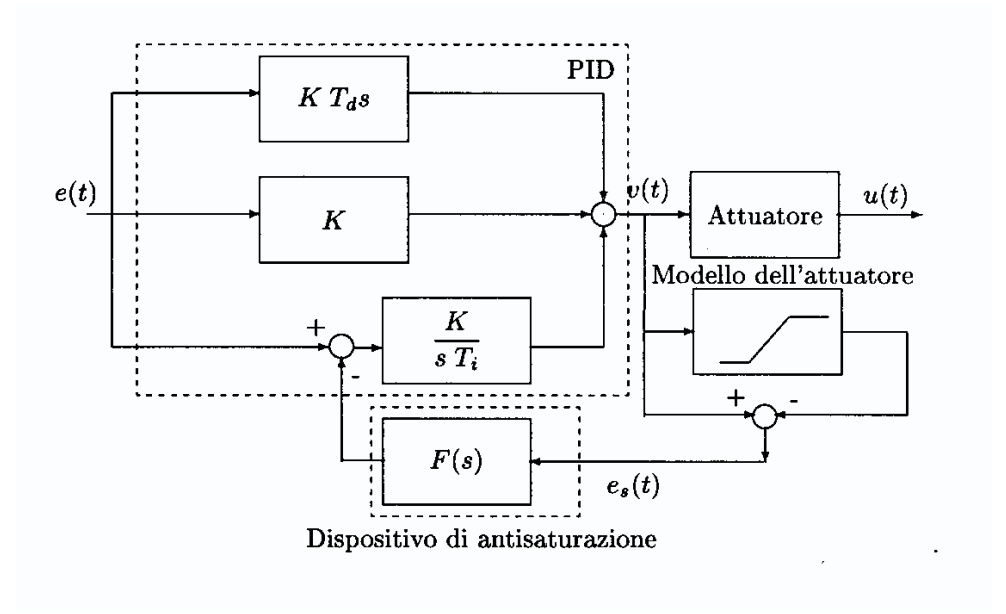
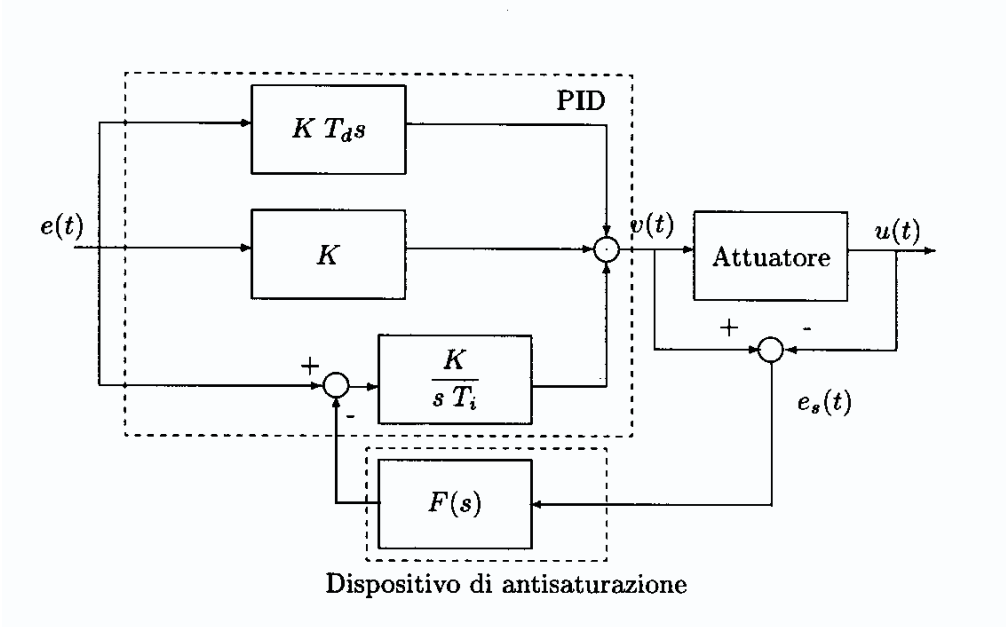
⇒ Esempio: $e(t) = 0$ e $r(t)$ a gradino: il controllore genera $v(t)$ opportuno

⇒ a causa della saturazione $u(t) < v(t)$ e $e(t)$ è inferiore rispetto al caso non limitato

⇒ Riduzione della velocità di decrescita di $e(t)$ ed azione di controllo più elevata: aumento della sovranelongazione e tempo di assestamento elevato



Dispositivi di antisaturazione (1)

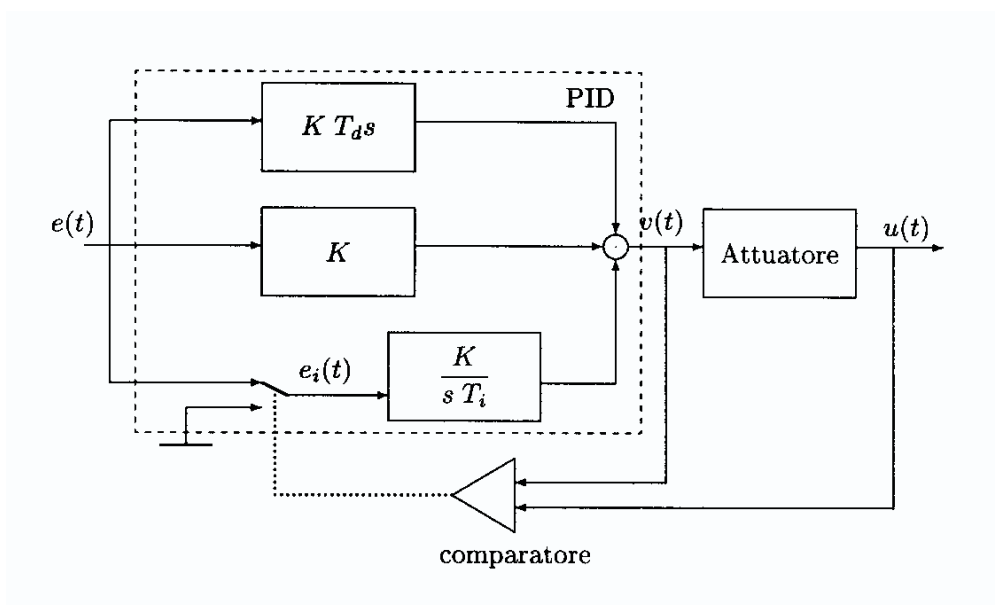


Controllore PID con dispositivo di anti-saturazione del termine integrale mediante ricalcolo del termine integrale



Dispositivi di antisaturazione (2)

⇒ Integrazione condizionata

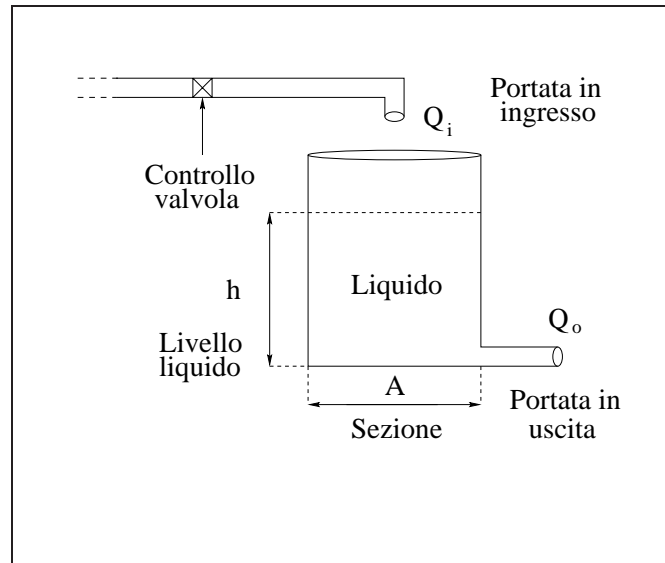


Schema di antisaturazione mediante integrazione condizionata

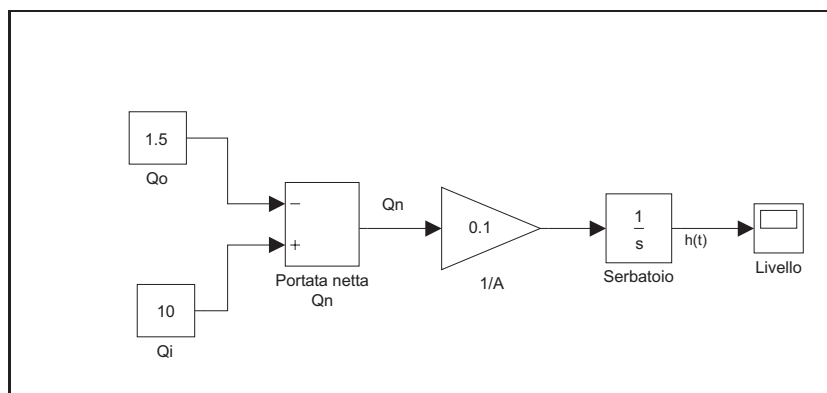


Controllo di livello di un serbatoio

➡ **Progetto di PID con specifiche sulla precisione statica**

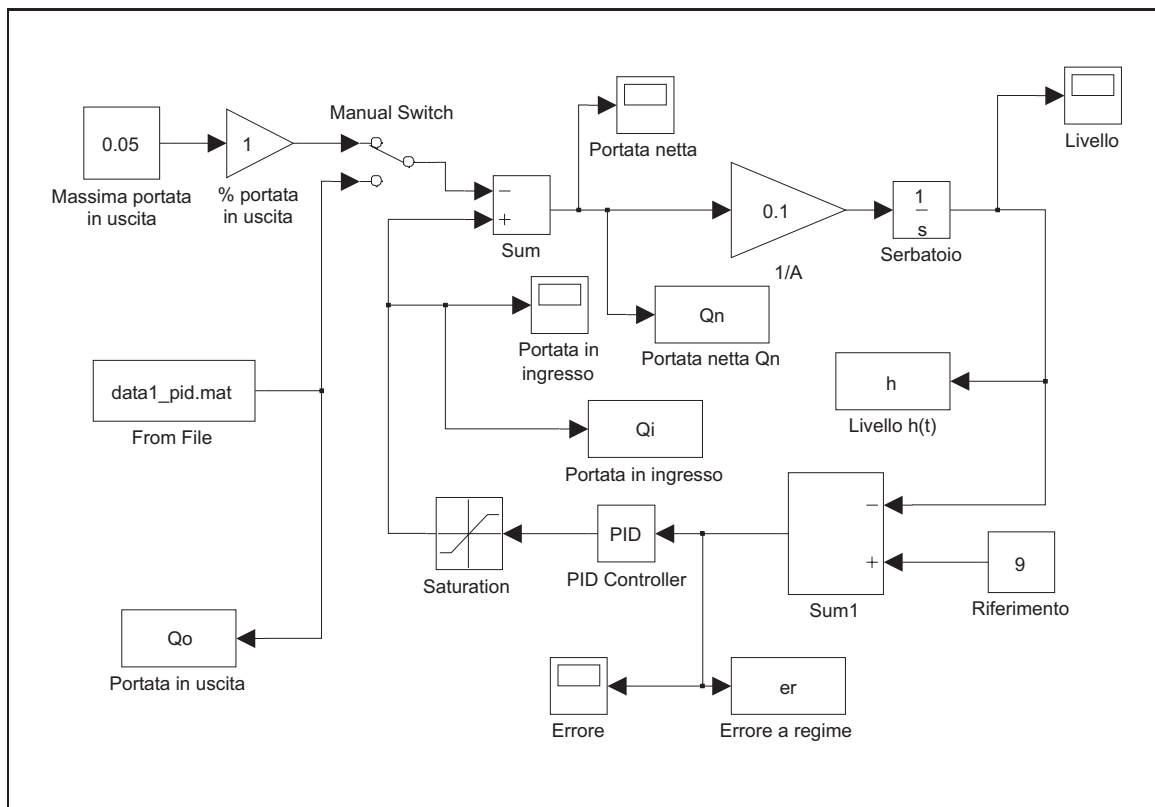


➡ **Schema *Simulink***

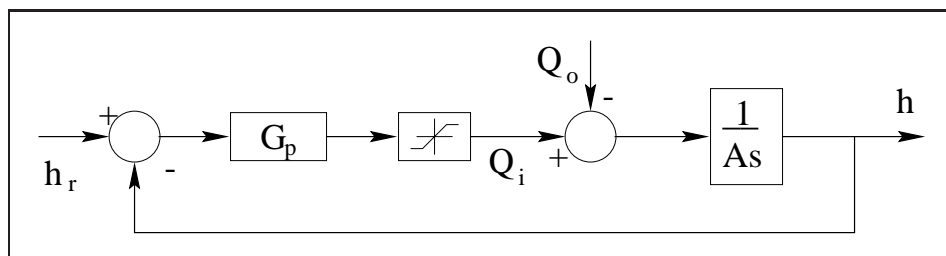


Controllo di livello di un serbatoio

Schema *Simulink* del controllo



Specifiche sulla precisione statica



Progetto di un PID con le formule di Ziegler-Nichols



Sistema descritto da una funzione di trasferimento

$$G(s) = \frac{1}{(1+s)(1+0.25s)(1+0.5s)(1+0.75s)}$$

- ⇒ relazioni di Ziegler-Nichols (modificate da Cohen e Coon)
- ⇒ funzione di trasferimento approssimata

$$G_a(s) = \frac{e^{-1.0652s}}{(1+1.4348s)}$$



Formule di Ziegler-Nichols in *Matlab*

```
function [P,I,D] = ziegler(tau,T,Mo,Co)

%
% function [P,I,D] = ziegler(tau,T,Mo,Co) per il
% calcolo dei parametri del PID. tau e' il tempo
% di ritardo, T la costante di tempo, Mo l'ampiezza
% del gradino applicato e Co l'ampiezza a regime
% della risposta.
%

R = tau/T;
Mo = 1;
Co = 1;
N = Co/T;

P = Mo*(4/3+R/4)/(N*tau);

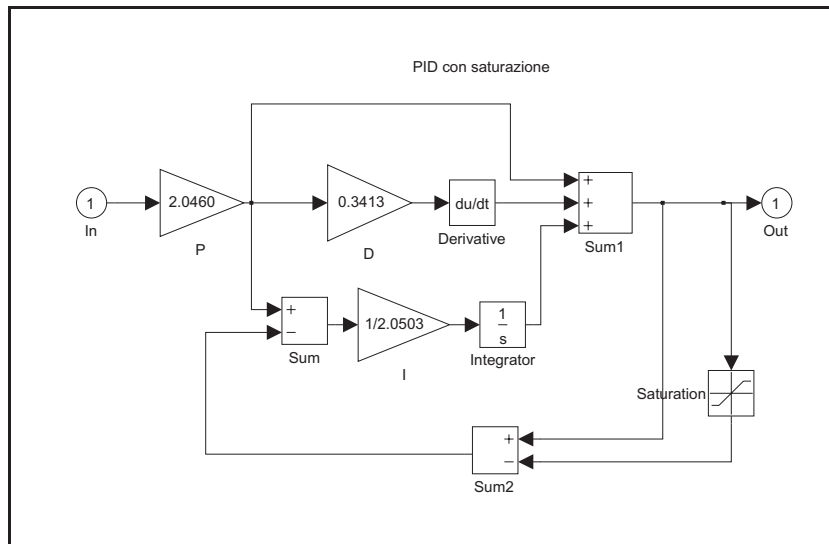
I = (tau*(32+6*R))/(13+8*R);

D = (4*tau)/(11+2*R);
```

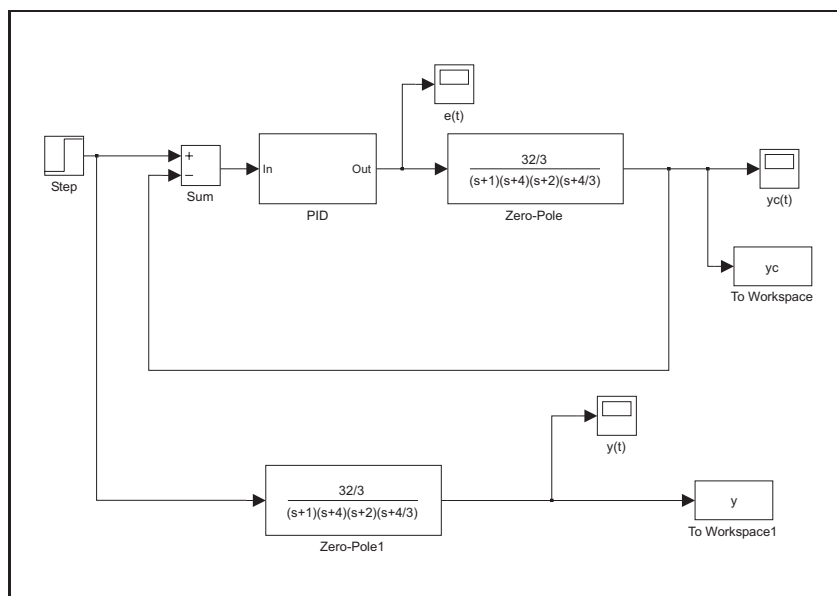


PID con Ziegler-Nichols in *Simulink*

➡ PID con saturazione (esclusa!)



➡ PID e sistema controllato



Progetto di un regolatore PID (esame)

Data la funzione di trasferimento $\frac{1}{(1+s)^3}$

1. progettare un regolatore PID utilizzando le formule di Ziegler-Nichols (funzioni del valore del guadagno in retroazione K_o che porta il sistema al limite della stabilità e del periodo delle oscillazioni ottenute T_o).
I parametri K_o e T_o possono essere ottenuti dal luogo delle radici del sistema chiuso in retroazione unitaria con un regolatore di tipo P secondo un guadagno proporzionale K_o . Con le formule di Ziegler-Nichols progettare quindi un PI, un PID ed un PID con limitazione della derivata ($N=10$) e confrontare i risultati ottenuti con i diversi regolatori.
2. Utilizzare un PID con limitazione dell'azione derivativa ($N=10$, cioè che effettui la derivata solo dell'uscita) e si confronti la risposta con quella ottenuta con PID in forma reale realizzato precedentemente.
3. Riprendendo lo schema che utilizza il PID con derivata reale della sola uscita, si introduca un disturbo sull'uscita stessa (rumore bianco con varianza 0.01) e si calcoli l'andamento nel tempo del segnale di controllo per $N = 10$ e $N = 30$. Fare prove con N diverso e giustificare teoricamente i risultati ottenuti.

