



Sistemi di regolazione e controllo: PID

I sistemi di regolazione e controllo sono elementi complessi, costituiti da dispositivi meccanici o mecatronici che interagiscono tra loro in modo da svolgere una determinata funzione. Una valvola proporzionale, per esempio, è un sistema mecatronico in grado di regolare una portata. Al suo interno interagiscono tra loro in modo coordinato organi elettromeccanici e componenti elettronici, tali da controllare la direzione e la portata del flusso di un liquido in funzione della corrente proporzionale di alimentazione del magnete.



Valvola proporzionale.

La valvola è, inoltre, caratterizzata, come ogni sistema, da propri **parametri**: la resistenza a freddo e a caldo del solenoide, la massima corrente sopportabile, la costante elastica della molla antagonista, ecc.

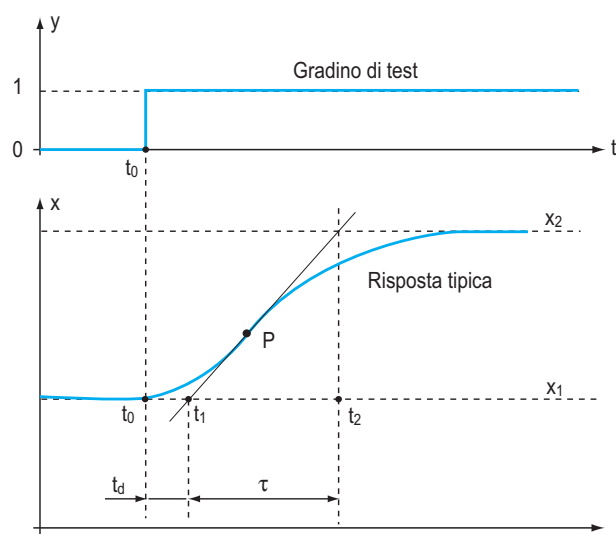
Ciò che interessa maggiormente l'utente finale è la relazione esistente tra la **grandezza di entrata** e la **grandezza di uscita** del sistema nel suo insieme, indipendentemente dal comportamento dei componenti interni presi singolarmente. Tale relazione, in situazione di regime a transitorio esaurito, è descritta dalla **caratteristica statica** del sistema.

Nella maggior parte delle applicazioni non è però sufficiente perché gli elementi interni possono o meno accumulare energia: un rubinetto idraulico o una superficie di dispersione termica non sono elementi di accumulo e pertanto sono assimilabili ad una resistenza elettrica, mentre un serbatoio idraulico, un tubo e un volano sono elementi di accumulo come un condensatore elettrico o un'induttanza.

Solo pochi sistemi sono composti da soli elementi senza memoria e sono perciò caratterizzati da una risposta immediata alle sollecitazioni.

La maggior parte dei **processi reali** è, invece, caratterizzata dalla presenza di molte capacità, cioè da serbatoi di materia (condensatori) o di energia (inerzie meccaniche), che determinano una risposta caratterizzata da **transitori** e **ritardi** di assestamento.

Se si testa il comportamento di un sistema reale, impiegando la funzione a gradino, si ottiene una risposta tipica assimilabile all'azione congiunta di un **tempo morto** (t_d) e di una **costante di tempo** (τ), ottenuta tracciando la tangente alla caratteristica di risposta nel punto di flesso. Più il sistema è complesso, più la risposta al gradino sarà caratterizzata da maggiore **indecisione alla partenza** (tempo morto) e da un più lento **assestamento** (costante di tempo).



Risposta al gradino di un sistema reale.



Controllori per sistemi lineari

Si definiscono **sistemi lineari** quei sistemi che, a transitorio esaurito, possono essere descritti mediante una costante di trasferimento (k) che lega la variabile di uscita (y) alla variabile di ingresso (x):

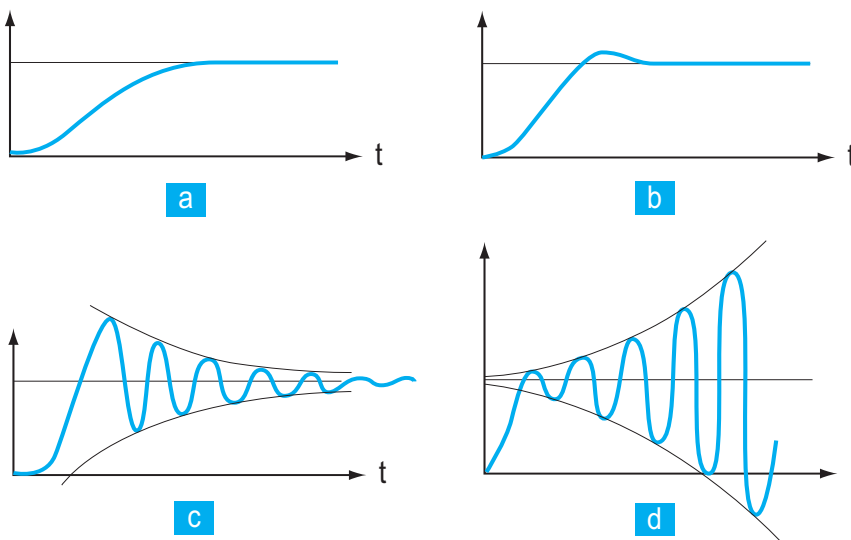
$$y = k \cdot x$$

Sono sistemi lineari, per esempio, le reti elettriche RLC, i sistemi meccanici (entro i limiti di elasticità), i sistemi termici, i sistemi idraulici (in regime laminare), i motori e i solenoidi (entro certi limiti).

Un sistema lineare si dice genericamente **stabile** se è in grado di raggiungere uno stato di equilibrio in corrispondenza di una perturbazione esterna, come, per esempio, un gradino di variazione del setpoint o un disturbo impulsivo.

Per testare il comportamento di un sistema lineare controllato, si può scegliere la funzione a gradino, ottenendo diversi tipi di risposte in relazione alla complessità del controllore.

I **controllori ideali** dovrebbero essere in grado di garantire, a transitorio esaurito, il valore richiesto della variabile di uscita (requisito statico), rendendo più veloce la risposta dell'intero sistema alle variazioni della grandezza di riferimento (requisito dinamico) e garantendo una ridotta sensibilità alle variazioni del carico (disturbi esterni).

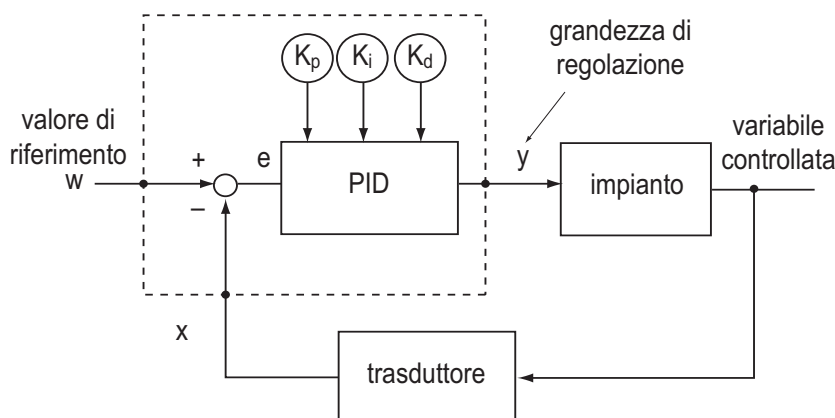


Esempi di risposte di un tipico sistema controllato, sollecitato con una funzione a gradino:

- a** risposta senza oscillazioni (subcritica);
- b** risposta con oscillazioni (ipercritica);
- c** oscillazione smorzata;
- d** oscillazione amplificata.

Controllori PID

I regolatori PID sono controllori lineari ad azione **proporzionale, integrale e derivativa**, caratterizzati da un ingresso per il valore di riferimento (*set point*), un secondo ingresso per il trasduttore in retroazione, l'uscita per l'attuatore e tre parametri di taratura.



Controllo con regolatore PID.



Per dimensionare il controllore PID, vengono messi a disposizione i parametri:

- k_p , coefficiente di azione proporzionale;
- k_i , coefficiente di azione integrale;
- k_d , coefficiente di azione derivativa.

I valori di tali parametri sono definiti generalmente in **maniera empirica**, attraverso una o più prove sperimentali sul processo.

L'uso di controllori PID e delle relative tecniche empiriche di taratura, pur con prestazioni non brillanti, presenta un basso costo di messa in opera, facilità di manutenzione, affidabilità e flessibilità. Le prestazioni ottenute dal sistema possono, però, presentare fenomeni critici, come risonanze a frequenze particolari o disturbi nel comportamento, eliminabili a posteriori con un po' di esperienza.

Un incremento dell'azione proporzionale (k_p) permette di aumentare la velocità di risposta, ma rende più nervoso il sistema, con uno sviluppo dell'ampiezza delle oscillazioni. Il contributo dell'azione integrale permette di eliminare progressivamente l'errore tra il valore di riferimento e la variabile controllata (errore statico).

L'azione derivativa (k_d), invece, valuta la pendenza dell'errore stesso e fornisce un contributo che ne anticipa le variazioni, con un effetto che finisce per smorzare le pendolazioni della variabile di uscita.

Correzione dei parametri

In automazione le azioni richieste al controllore sono di due tipi:

- rincorrere velocemente le variazioni del setpoint (asservimento);
- attenuare l'effetto dei disturbi esterni (regolazione).

Due richieste in contrasto tra loro, perché l'asservimento richiede un controllore sensibile e veloce, mentre la regolazione un controllore meno nervoso.

Si tratta quindi di scegliere le azioni più adatte per quella determinata applicazione (solo P, PI, PD, PID) e di aggiustare i parametri del regolatore fino ad ottenere un buon compromesso (tab. 1).

Tab. 1 – EFFETTO DELLA CORREZIONE DEI PARAMETRI DI UN PID

Correzione	Risposta		Comportamento
	Rapidità	Stabilità	
$\uparrow k_p$	\uparrow	\downarrow	più nervoso
$\uparrow k_i$	\uparrow	\downarrow	più nervoso
$\uparrow T_i = k_p/k_i$	\downarrow	\uparrow	meno nervoso
$\uparrow k_d$	\downarrow	\downarrow	meno nervoso
$\uparrow T_d = k_d/k_p$	\downarrow	\downarrow	meno nervoso

Il **regolatore PI** è il più utilizzato perché la presenza dell'azione integrale annulla l'errore a regime (presente nel regolatore P) e permette di aumentare k_p , con un aumento della velocità di risposta del sistema (la banda risulta più larga); un aumento eccessivo dell'azione integrale rende però il controllo troppo lento e può dare origine a instabilità. Il regolatore PI è detto **compensatore di ritardo** per la presenza del ritardo di integrazione che lo rende il più adatto per carichi con variazioni lente sull'uscita, quali riscaldatori e grossi motori.

Il **regolatore PD**, invece, è detto **compensatore di anticipo** perché tende ad anticipare l'errore, riducendo le oscillazioni a parità di k_p (aumenta il fattore di smorzamento), riducendo il tempo di assestamento. Grazie alla sua velocità, è adatto per piccoli motori, con rapide variazioni di carico. Per i processi difficilmente controllabili si utilizzano, infine, regolatori solo integrali.



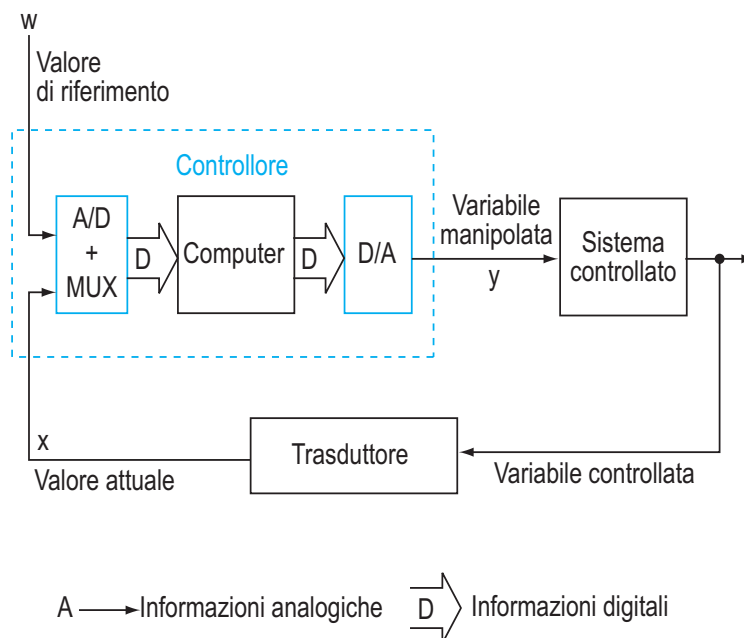
L'azione **PID completa** non è mai peggiore di qualunque altra soluzione ridotta, ma in certi casi l'aggiunta di un'azione di controllo non porta nessun vantaggio pratico significativo.

Controllori digitali

I controllori PID sono **dispositivi digitali**, nei quali la differenza (o confronto) tra il comportamento desiderato (w) e il valore misurato (x) viene realizzata solo dopo che tali valori analogici sono stati convertiti in forma digitale dal blocco di conversione analogico-digitale (ADC).

In modo analogo, il valore della variabile manipolata (y) è prima calcolato in forma digitale e poi fornito in forma analogica all'attuatore tramite un convertitore digitale-analogico (DAC).

La sostituzione del controllore da analogico a digitale risulta trasparente per il processo controllato, in quanto le informazioni scambiate rimangono di tipo analogico.



Schema a blocchi di un controllore digitale.

La variabile di controllo è aggiornata ad intervalli regolari Δt .

L'intervallo di elaborazione dell'algoritmo PID va scelto in relazione al tempo di risposta del processo.

Nel caso di un processo reale, dove coesistono sia il tempo morto sia la costante di tempo, è accettabile un aggiornamento della variabile in uscita con periodicità:

$$\Delta t = 1/10 \cdot t_d$$

Nella taratura dei controllori PID digitali, oltre alla costante k_p , anziché impostare le altre due costanti (k_i , k_d) si prediligono i due fattori:

- T_i , tempo dell'azione integrale;
- T_d , tempo dell'azione derivativa.

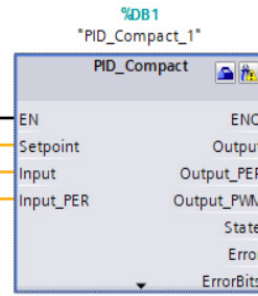
$$T_i = k_p/k_i$$

$$T_d = k_d/k_p$$



Funzione PID di TIA Portal

Il regolatore PID è utilizzato all'interno di un anello di regolazione per adeguare, in modo rapido e stabile, la grandezza di processo al valore desiderato di setpoint. La CPU 1200 mette a disposizione l'oggetto tecnologico *PID_Compact* (*Istruzioni* → *Tecnologia* → *PID_Control* → *PID_Compact*), da inserire in un OB di cyclic interrupt con intervalli pari al valore Δt calcolato. I parametri dell'istruzione *PID_Compact* sono riportati in tabella 2.



L'istruzione *PID_Compact* realizza un regolatore PID con auto taratura.

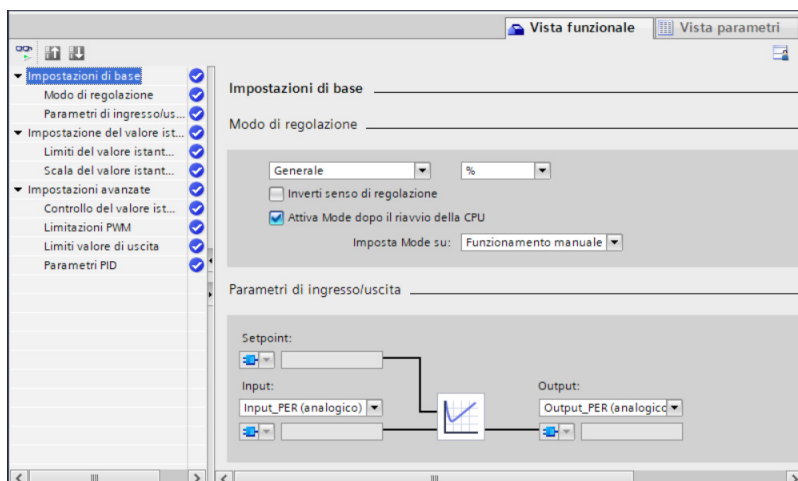
Tab. 2 – PARAMETRI DELL'ISTRUZIONE *PID_Compact*

Parametro e tipo	Tipo di dati	Descrizione	
Setpoint	IN	Real	Setpoint del regolatore PID nel modo automatico Valore di default: 0.0
Input	IN	Real	Valore istantaneo Valore di default: 0.0
Input_PER	IN	Word	Valore istantaneo analogico (opzionale) Valore di default: W#16#0
Output	OUT	Real	Valore di uscita Valore di default: 0.0
Output_PER	OUT	Word	Valore di uscita analogico Valore di default: W#16#0
Output_PWM	OUT	Bool	Valore di uscita per modulazione ampiezza impulsi Valore di default: falso
State	OUT	Int	Modo di funzionamento attuale del regolatore PID Valore di default: 0 (inattivo)
Error	OUT	DWord	Messaggi di errore Valore di default: 0 (nessun errore)

Per aprire la maschera di configurazione, occorre cliccare sull'apposita icona nel blocco di regolazione e definire nella finestra *Impostazioni di base* il tipo di regolazione e l'interconnessione della struttura interna del regolatore.

A seguire si impostano i dati relativi alla finestra *Impostazione del valore istantaneo*: limite superiore valore istantaneo, limite inferiore valore istantaneo, valore istantaneo superiore riportato in scala, valore istantaneo inferiore riportato in scala.

Salvare, infine, il programma e caricarlo nella CPU.



Impostazioni di base.



Al primo avvio della CPU il regolatore *PID_Compact* non sarà ancora attivo. Per avviarne la messa in servizio, è necessario cliccare con il mouse sull'icona *Messa in servizio*. Avviare, poi, l'impostazione automatica dei parametri, selezionando *Misura* → *Start* → *Modo di ottimizzazione* → *Ottimizzazione iniziale* → *Start*.

Attivando l'*Ottimizzazione iniziale*, un assistente istruzioni PID guida l'utente nella fase di caricamento dei parametri k_p , T_i e T_d di configurazione del loop, generando in modo automatico le routine di inizializzazione e di calcolo periodico. In aggiunta, è disponibile un *Pannello di controllo e di autotaratura PID* che permette la visualizzazione grafica in tempo reale delle grandezze coinvolte, l'eventuale taratura (modifica) dei parametri e la disponibilità di una funzione di autotaratura (*autotuning*) del sistema.

Attivando quest'ultima funzione, il PLC sollecita l'anello fino a provocare nel sistema pendolazioni di diversa ampiezza, dalle quali ricavare le caratteristiche del sistema stesso e suggerire, al termine, i valori da assegnare ai parametri.

