

Traccia

SINGLE LOOP CUSTOM PROCESS con Process Model = Disturbance Model

1. adotta un controllore PID “ideale” ed effettuane il *tuning* ottimale;
2. ritorna alle condizioni iniziali, “chiudi” l’anello e fai in modo da ottenere una risposta dinamica “ad anello chiuso” che sia autoregolante ed *underdamped*, a seguito di una variazione nel disturbo a gradino, di un valore “18% a salire”;
3. facendo ricorso alla finestra “PID response” (v. figura), determina *settling time*, % *overshoot*, *decay ratio*, *IAE index*, *ITAE index*;
4. uno per uno, spiegate il significato e commentane il valore;
5. facendo rif. al diagramma della risposta dinamica *underdamped* “closed loop”, determina graficamente *rise time* e *oscillation period*;
6. uno per uno, spiegate il significato e commentane il valore.

Svolgimento

1.

La funzione di un controllore è quella di acquisire un valore proveniente da una linea di un processo, sia esso chiuso o aperto, e confrontarlo con dei valori prestabiliti, fornendo quindi in uscita il discostamento, ossia l’errore. Esso rappresenta la variabile manipolabile del processo. Il controllore PID (Proporzionale Integrale Derivativo), in particolare, consente un’azione di controllo tenendo conto dell’errore in sé (azione proporzionale), della velocità di variazione dell’errore (azione derivativa) e dell’errore nel tempo (azione integrale). Esso opera secondo la seguente legge di controllo:

$$o(t) = K_c \left[\varepsilon(t) + \tau_D \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t^*) dt^* \right] + c_s \qquad G_{PID} = K_c \left(1 + \tau_D s + \frac{1}{\tau_I s} \right)$$

Dominio del tempo

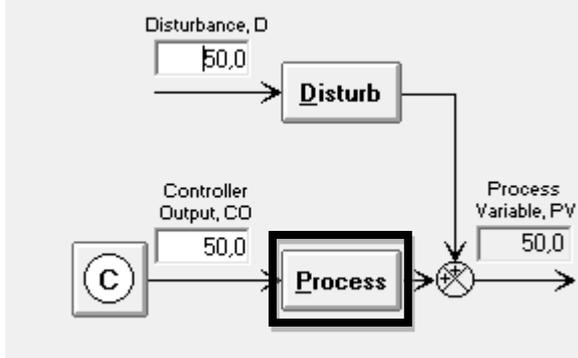
Dominio di Laplace

Il tuning consente di ricavare in maniera ottimale i parametri del controllore, cioè K_c , τ_D e τ_I . Esso viene effettuato direttamente dal software, attraverso l’opzione *Design Tools* e consiste nell’effettuare uno *step test*, cioè una variazione a gradino del Controller Output; una volta raggiunto il nuovo valore di stato stazionario e registrati i dati, si sceglie il modello di riferimento del processo; il software può quindi calcolare la rappresentazione grafica ottimale del sistema, sfruttando le formule di taratura IMC (lambda), e ricavare così i parametri ottimali.

Nel dettaglio, la procedura per realizzarlo è la seguente:

- Si avvia il software *Control Station Loop-Pro*;
- Si seleziona *Modules>Custom Process>Single Loop Process* (caso di interesse suggerito dalla traccia);

- Per il processo, si imposta il modello e si scelgono i parametri, cliccando su *Process*;



Nel caso in esame, si adotta un modello che abbia una FDT del 2° ordine, precisamente un modello *Underdamped (Underdamped Linear Model)*, e si suppone il processo autoregolante:

I parametri scelti, sono i seguenti:

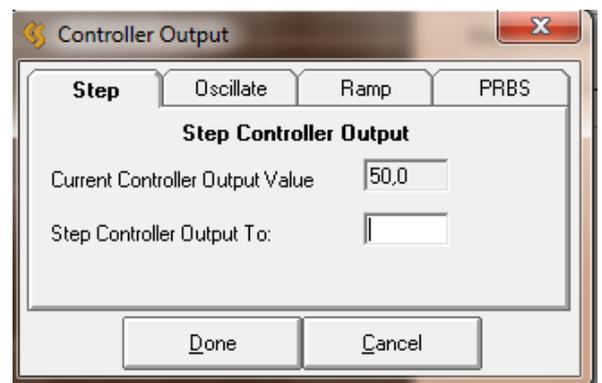
Process Gain, K_p	1,0	PV/CO
Natural Period, τ_{pN}	10,0	time units
Damping Factor, ζ_p	0,5	
Time Constant, τ_p	0,0	time units
Lead Time, τ_{pL}	0,0	time units
Dead Time, θ_p	0,0	time units

- Allo stesso modo, si procede per il disturbo, cliccando su *Disturb*. Anche in questo caso si adotta lo stesso modello del 2° ordine (*Underdamped Linear Model*) e si suppone il processo autoregolante. I parametri, stavolta, sono:

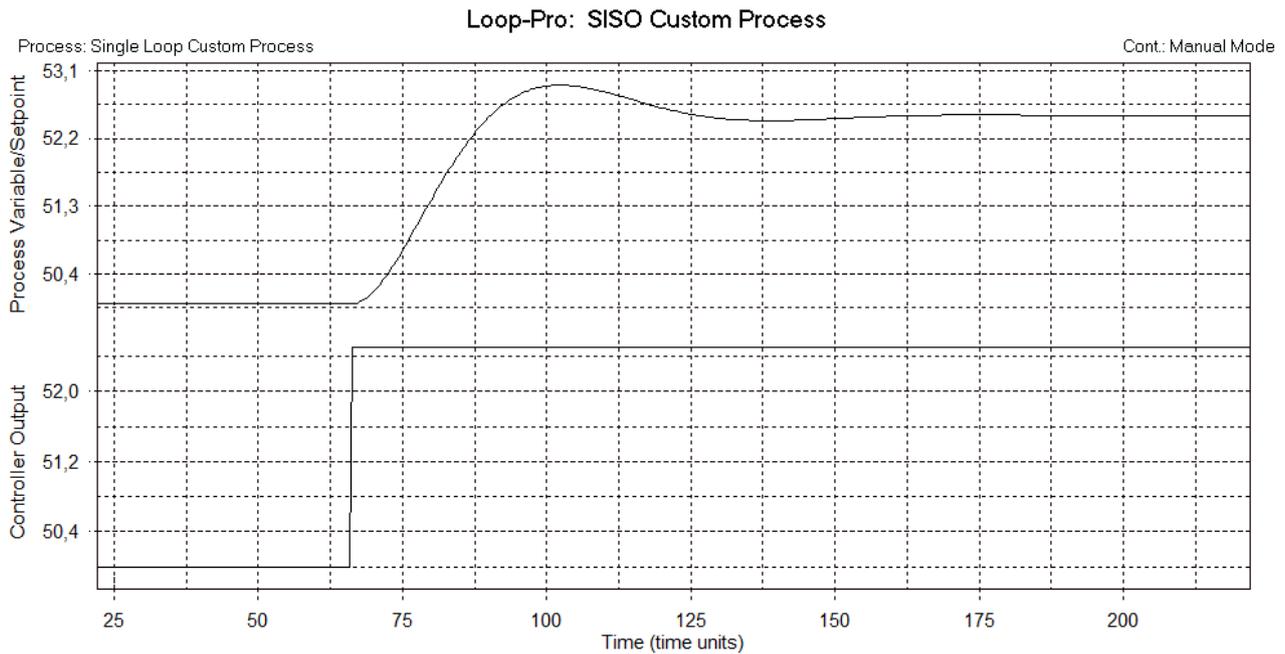
Disturbance Gain, K_D	1,0	PV/D
Natural Period, τ_{DN}	1000	time units
Damping Factor, ζ_D	0,5	
Time Constant, τ_D	0,0	time units
Lead Time, τ_{DL}	0,0	time units
Dead Time, θ_D	0,0	time units

- Si inizializza la registrazione dei dati, salvando tutto ciò che è stato impostato;

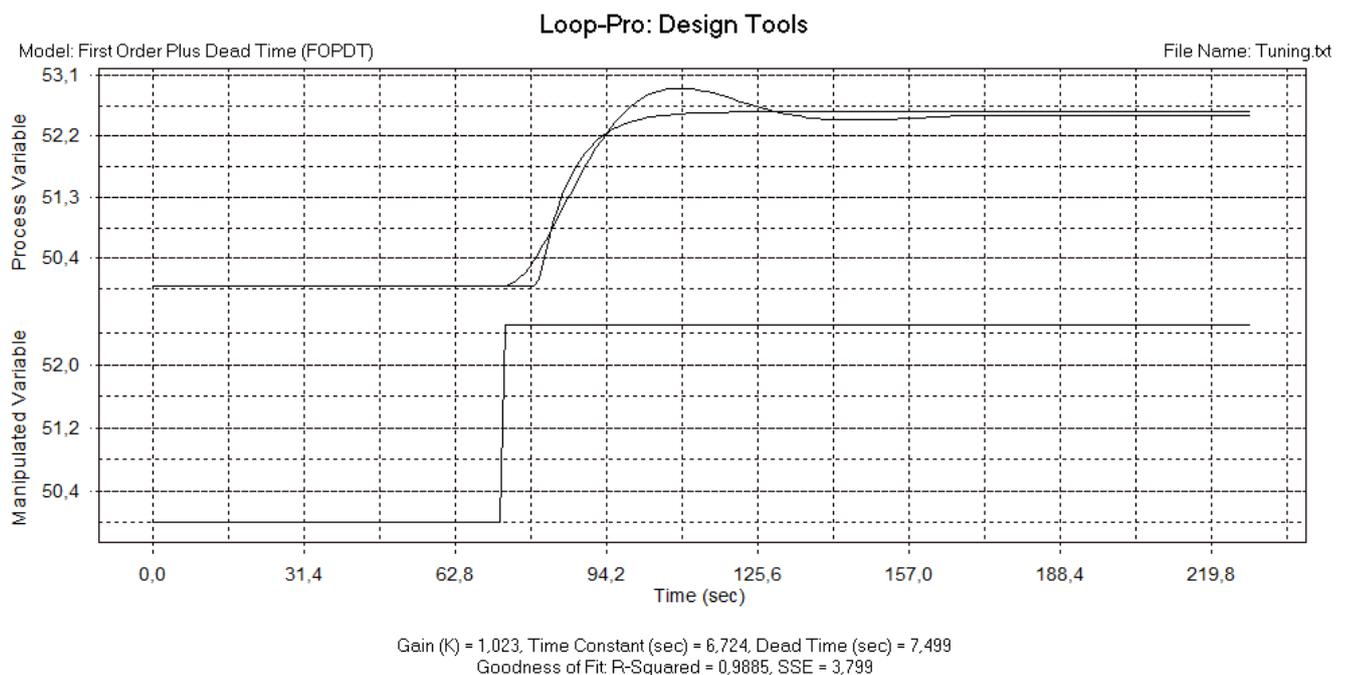
- Si avvia il processo, nel corso del quale si effettua uno *step test*: si impone al Controller Output una variazione a gradino, ad esempio del 5%, cliccando due volte sul riquadro di inserimento del CO, selezionando *step*, e immettendo il valore desiderato;



- Una volta raggiunto il nuovo valore di stato stazionario, la risposta al gradino che si ottiene è così rappresentata:



- Dalla sezione *Design Tools* si carica il file di testo relativo allo *step test*: si tratta di un file che contiene ciò che è avvenuto alle variabili (CO, PV, Set Point se presente, Disturbo) dal momento in cui è stato avviato il processo fino a quando lo si è fermato;
- Si approssima il modello con un modello FOPDT, tipico dei processi autoregolanti, cioè che raggiungono un nuovo valore di stato stazionario, come quello in oggetto;
- Si seleziona *start fitting*, in modo da trovare la curva che meglio rappresenta il processo, nell'ottica di minimizzare gli SSE; il grafico di fitting è il seguente:



I parametri del modello trovati sono:

- *Process Gain* = 1,023
- *Overall Time constant* = 6,724
- *Dead Time* = 7,499

- Si seleziona il controllore PID ideale, scegliendo quanto spinto deve essere il tuning; si trova che:

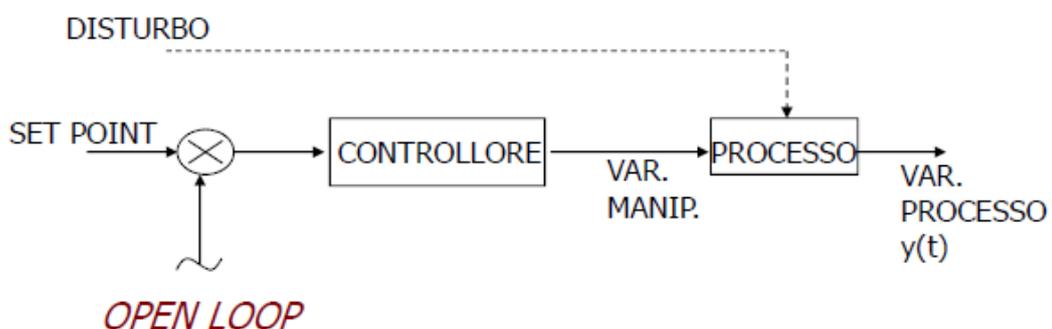
	K_C	τ_D	τ_I
Aggressive Tuning	1,12	2,41	10,5
Moderate Tuning	0,161	2,41	10,5
Conservative Tuning	0,0153	2,41	10,5

- Si sceglie un tuning moderato, e si implementa, cliccando su *Implement*, scegliendo il controllore PID.

Si nota che il controllore è ad azione inversa ($K_C > 0$) e il risultato è coerente con il fatto che il processo è ad azione diretta (ricordando che in un processo ad azione diretta, all'aumentare del Controller Output si ha un aumento della variabile di processo PV, come accade nel caso in esempio).

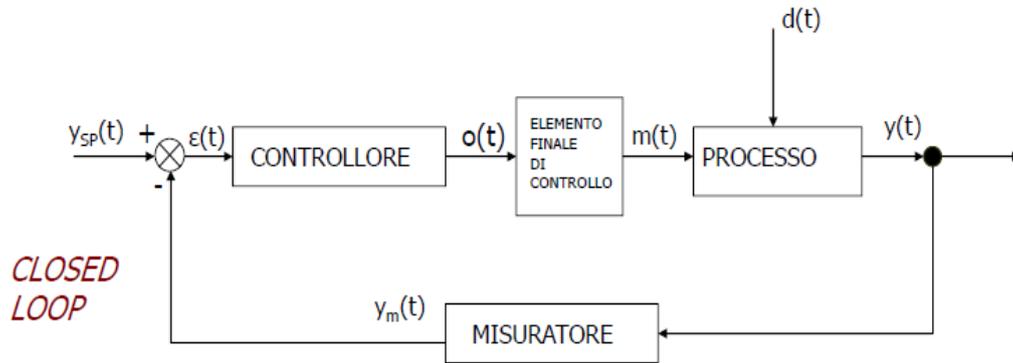
2.

E' possibile tornare alle condizioni iniziali cliccando *Run>Restart process keeping your values*. A questo punto, si deve passare da un anello aperto ad un anello chiuso.

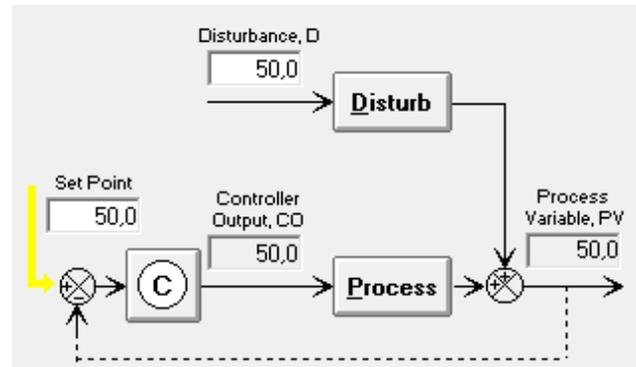


In un Open Loop, il controllore opera in modalità manuale. Chiudendo l'anello, invece, il controllore opera in modalità automatica, il che significa che è la presenza di un set point a determinare in maniera automatica le azioni del controllore. Questo implica che, passando dalla

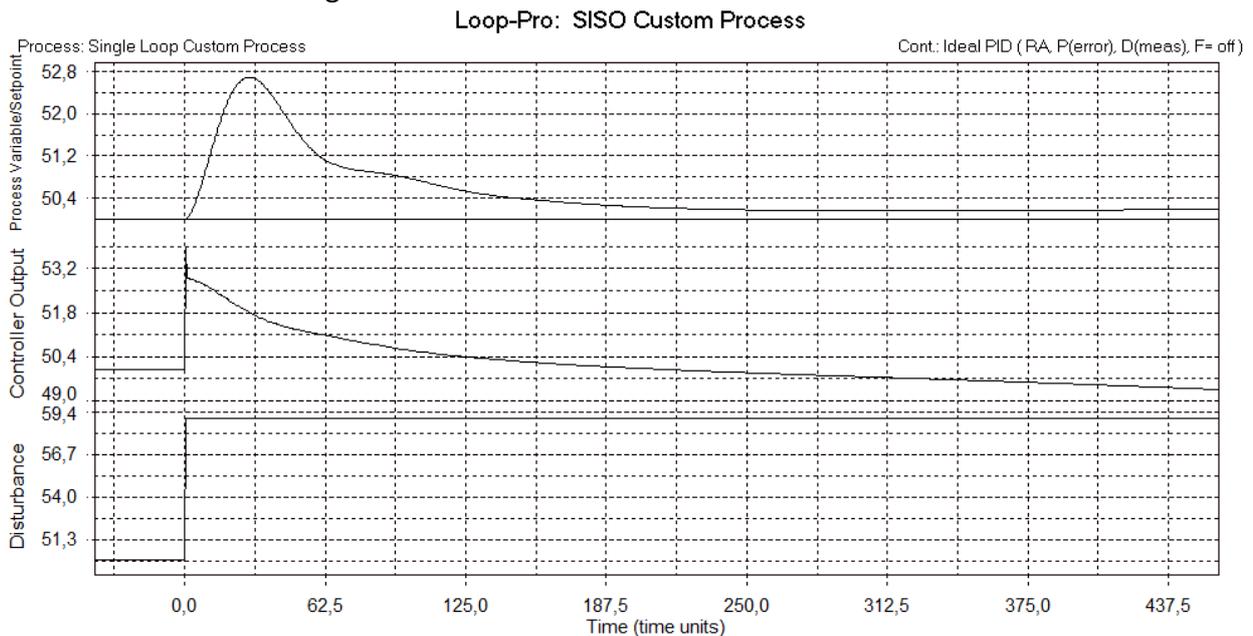
modalità manuale alla modalità automatica nel caso in analisi, non sarà più possibile operare variazioni del Controller Output (cioè manualmente), ma sarà possibile agire sul set point (che pur essendo un valore prestabilito, può comunque variare), oltre che sul disturbo.



Si procede innanzitutto alla chiusura dell'anello. Per fare ciò, si apre la finestra di controllo del controllore, cliccando sull'apposita icona (Ⓢ); quindi si seleziona il controllore PID al posto di *Manual Mode*; controllando che i parametri del controllore precedentemente trovati siano stati effettivamente mantenuti ($K_C = 0,161$, $\tau_D = 2,41$ e $\tau_I = 10,5$) La rappresentazione schematica del processo è quindi già cambiata, poiché presenta una linea di processo ad anello chiuso e consente di inserire un *set point*.



Quindi è possibile effettuare la variazione a gradino del disturbo del 18% a salire (quindi passando da $D = 50$ a $D = 59$), in maniera analoga a quanto fatto in precedenza per il CO. La risposta dinamica ottenuta è la seguente:



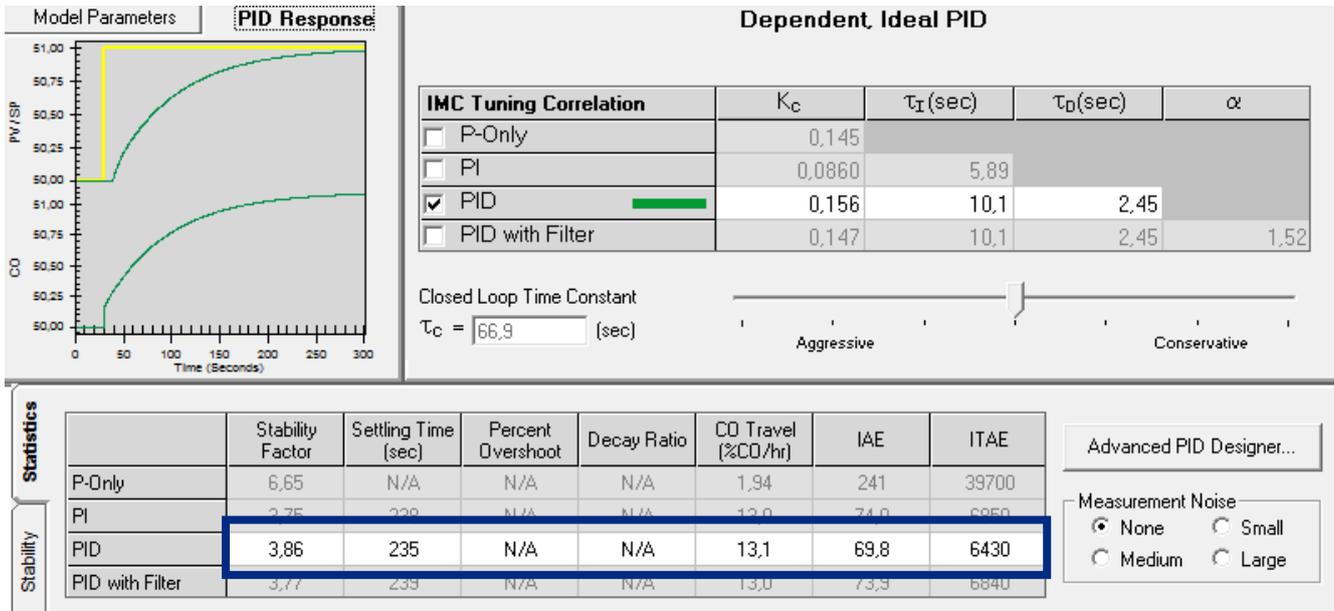
Tuning: Cont Gain = 0,16, Reset Time = 10,5, Deriv Time = 2,41, Sample Time = 1,0

Si tratta di un problema del regolatore (disturbo varia nel tempo e Set Point costante).

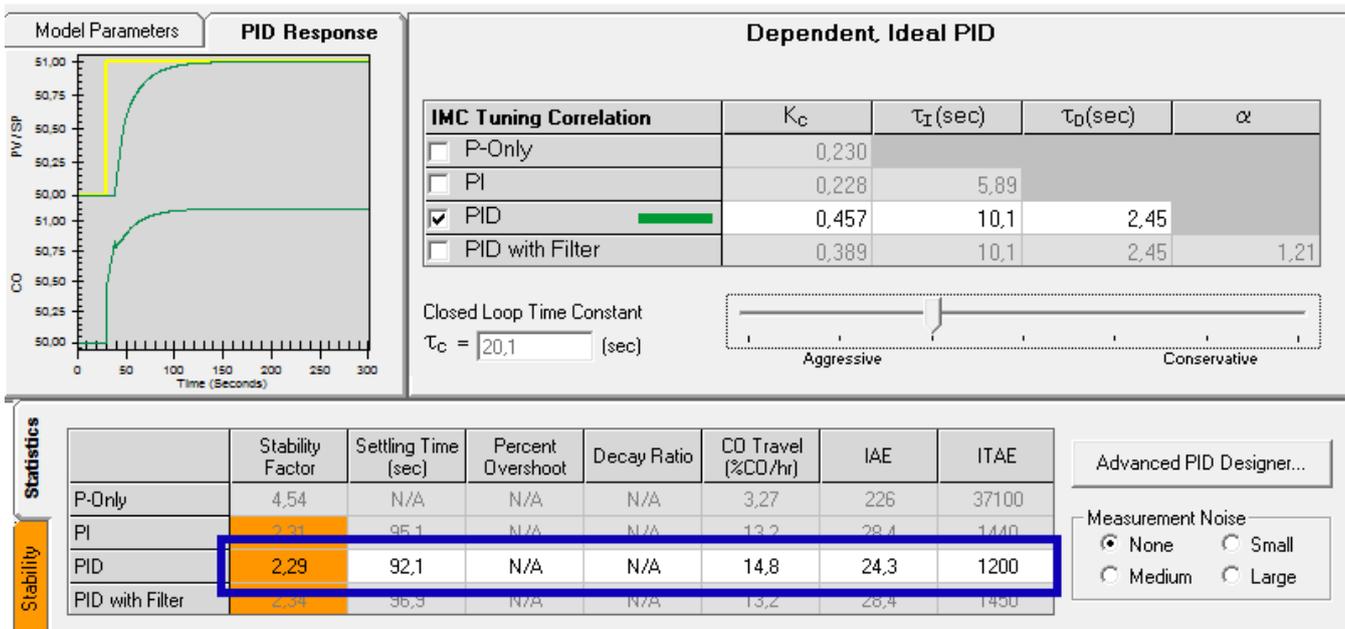
3.

Accendendo alla sezione *Design Tools*, è possibile determinare i parametri caratteristici della risposta underdamped ottenuta a seguito della variazione a gradino del disturbo. Facendo ricorso alla finestra *PID Response*, si trovano i seguenti valori per diverse modalità di tuning:

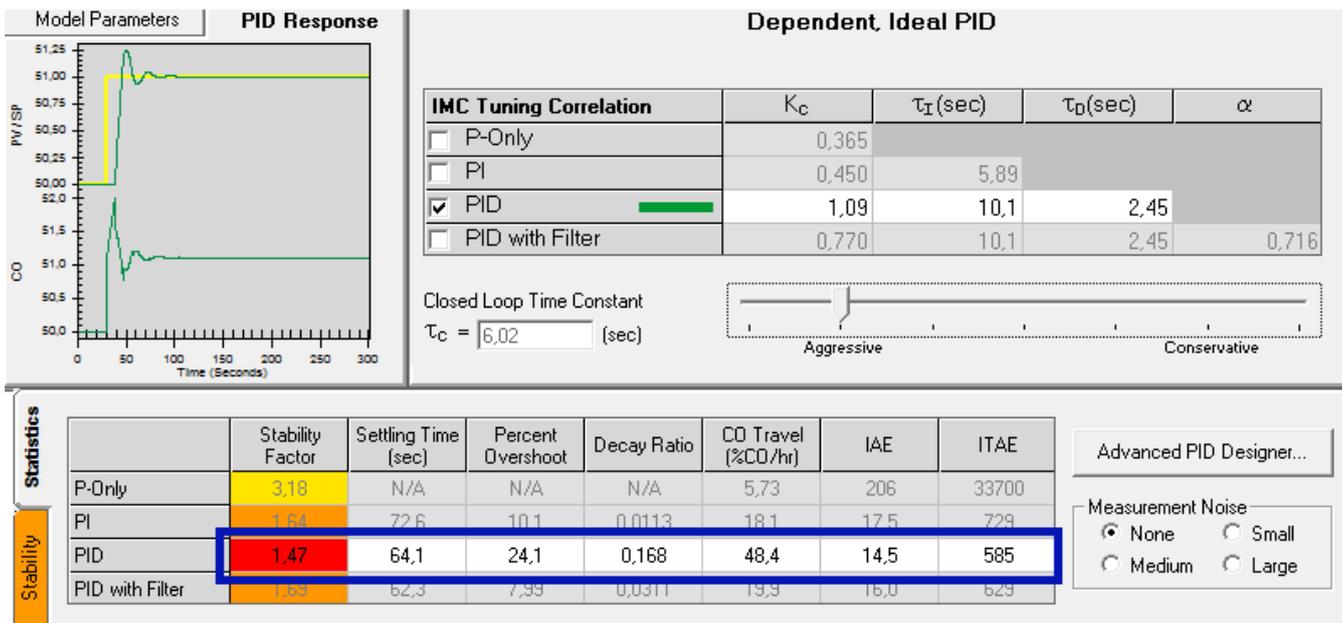
➤ Moderate Tuning



➤ Moderately Aggressive Tuning



➤ Aggressive Tuning



4.

- **Settling Time:** tempo dopo il quale la curva della risposta dinamica raggiunge il suo valore finale e si stabilizza su di esso (entro un range che va dal 2% al 5%).

Nel caso in esame, il *settling time* è quantificato in 235 secondi per un moderate tuning, 92.1 secondi per un moderately aggressive tuning e 64.1 secondi per un aggressive tuning. Questo è in linea con le aspettative, perchè più ci si allontana da un tuning conservativo, meno lenta sarà la risposta, e di conseguenza meno tempo occorre per ottenere il valore finale della risposta.

- **% Overshoot:** rapporto tra l'altezza della prima onda (misurata a partire dal valore finale) e il valore finale della risposta dinamica.

Nel caso in esame si ha un *overshoot* percentuale di 24.1 solo per un tuning aggressivo. Questo è il "prezzo da pagare" per avere una risposta più pronta: un tuning conservativo, infatti, fornisce un controllo più affidabile e stabile, quindi meno oscillatorio e con meno fastidi; è per questo che non ritroviamo un overshoot apprezzabile nel moderate tuning e nel moderately aggressive tuning.

- **Decay Ratio:** rapporto tra l'altezza della seconda onda (misurata a partire dal valore finale) e il valore finale della risposta dinamica; indica il decadimento della risposta dinamica.

Nel caso in esame, è presente una seconda onda solo per un aggressive tuning, per via del comportamento più repentino di cui si è parlato in precedenza; pertanto il *decay ratio* non è calcolabile negli altri due casi.

- **IAE index:** integrale del modulo dell'errore: $IAE = \int_0^{\infty} |e| dt$.

Nel caso in esame, si ha che l'IAE index è 69.8 per un moderate tuning, 24.3 per un moderately aggressive tuning e 14.5 per un aggressive tuning.

- **ITAE index:** integrale dell'errore pesato con il tempo: $ITAE = \int_0^{\infty} t|e| dt$.

Nel caso in esame, si ha che l'ITAE index è 6430 per un moderate tuning, 1200 per un moderately aggressive tuning e 585 per un aggressive tuning.

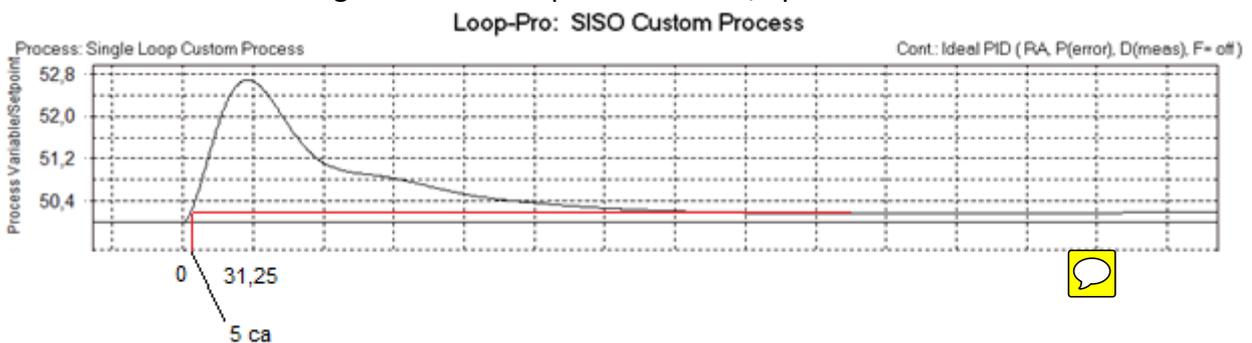
L'errore, definito come $e(t) = y_{SP}(t) - y_m(t)$ (cioè valore di set point – valore misurato) è una grandezza che varia nel tempo. ITAE e IAE (insieme a ISE e ITSE) sono *performance criteria* (cioè criteri di prestazione focalizzati sui vari aspetti della risposta) basati sulla minimizzazione dell'errore. Essi non guardano all'errore ad un tempo preciso, bensì tengono conto dell'errore in un arco di tempo e per questo contemplano un integrale. Ciascuno dei 4 criteri si concentra su un aspetto diverso della risposta ad anello chiuso. In particolare:

- IAE : tiene conto dell'errore in sé (in valore assoluto, per non considerare i valori negativi). E' utile quando si intende minimizzare o sopprimere gli errori piccoli (se ad esempio si usasse l'ISE, elevare al quadrato un errore già piccolo, lo renderebbe ancora più piccolo).
- ITAE : penalizza di più gli errori nella parte finale del transitorio (l'errore è moltiplicato per il tempo t , quindi maggiore sarà il tempo trascorso, maggiore sarà l'indice ITAE).

Come prevedibile, quindi, troviamo un ITAE molto grande rispetto all'IAE in ogni caso, poiché la risposta dinamica è considerata in un arco di tempo molto ampio. Inoltre, per i diversi casi considerati, si nota che tutti e tre gli indici tendono a diminuire man mano che si "forzano" i parametri verso un tuning aggressivo. In particolare, l'indice dell'errore basato sul tempo (ITAE Index) diminuisce notevolmente nell'ultimo caso, poiché ottenere prima il valore definitivo della risposta implica una riduzione dell'errore per tempi lunghi.

5.

Facendo riferimento al diagramma della risposta dinamica, quello che si osserva è:



Rise time	Oscillation Period
~5 sec	-

6.

- **Rise time:** tempo per cui la risposta dinamica raggiunge per la prima volta il suo valore finale.



- **Oscillation Period:** distanza tra i picchi raggiunti dalla risposta dinamica.

Nel caso in esame la risposta che si registra, non presenta alcuna oscillazione e, dopo aver raggiunto un massimo, si stabilizza intorno a un valore prossimo a quello di partenza. Il *rise time* dunque è molto basso (circa 5 secondi).

Il periodo di oscillazione invece è molto largo e in sostanza non si apprezza, perché la funzione va “subito” ad asintotizzarsi sul valore finale. Questo può essere dovuto al fatto che, per il modello applicato al disturbo, la costante di tempo scelta (*Natural Period*, τ_p) è molto grande (1000) e influisce per questo molto lentamente, dilatando così il periodo dell'oscillazione.

Con una costante di tempo più piccola (ad esempio pari a 100), si evidenzia maggiormente il carattere della risposta underdamped, pur restando comunque l'oscillazione molto ampia:

Federico Fabbricatore
matr. 0612200629