

Tecnologie dei Sistemi di Automazione

Prof. Gianmaria De Tommasi

Lezione 5

Regolatori PID industriali: Taratura dei guadagni e problemi implementativi

Corso di Laurea Codice insegnamento Email docente Anno accademico Ingegneria dell'automazione 14746 detommas@unina.it 2007/2008

Lezione numero: 5

Parole chiave: Regolatori PID industriali, Ziegler & Nichols, anti wind-up, bumpless















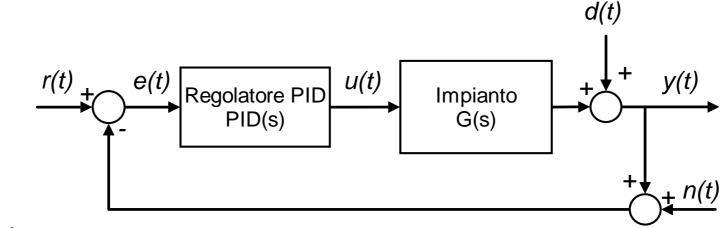
Sommario della lezione

- Metodi di taratura dei regolatori PID
 - Metodo di taratura ad anello aperto
 - Metodo di taratura ad anello chiuso
- Problemi implementativi dei regolatori PID
 - Limitazione dell'azione derivativa
 - Desaturazione dell'azione integrale





Schema di riferimento



• r(t) - riferimento

back

- e(t) errore di controllo
- u(t) variabile di controllo
- y(t) grandezza da controllare
- d(t) disturbo additivo sull'uscita
- n(t) rumore di misura





Metodi di taratura dei PID 1/14 Introduzione

- Una delle ragioni del successo dei regolatori PID è che il loro utilizzo non necessita di un modello dettagliato del processo da controllare.
- Quando non si conosce il modello dell'impianto si devono utilizzare delle **procedure di taratura**, per poter scegliere i guadagni del controllore.
- Queste procedure sono basate su semplici prove sperimentali da eseguire sull'impianto e sull'utilizzo di formule semi-empiriche che consentono di scegliere i valori dei parametri del controllore



Metodi di taratura dei PID 2/14 Metodo di taratura ad anello aperto o primo metodo di Ziegler e Nichols

Si suppone che il modello semplificato dell'impianto sia un modello del primo ordine con ritardo:

$$G(s) = \frac{\mu}{1 + sT} e^{-s\tau} \text{ con } T > 0 \text{ e } \tau > 0$$

Dove:

- μ è il guadagno statico del processo
- τè il ritardo apparente in ingresso
- Tè la costante di tempo del processo



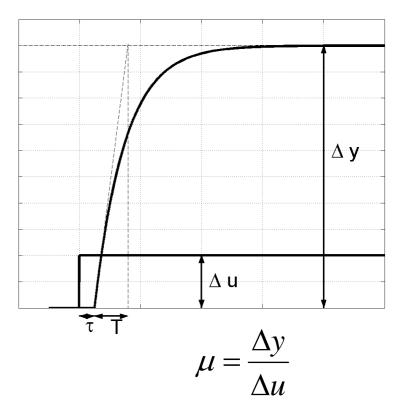


Metodi di taratura dei PID 3/14 Metodo di taratura ad anello aperto - Risposta al gradino del modello dell'impianto

La risposta al gradino di G(s) è riportata in figura.

Dalla risposta al gradino è possibile stimare i parametri dell'impianto, utilizzando il metodo della tangente (riportato in figura), oppure il metodo delle aree.

Per stimare i parametri del modello deve essere possibile, quindi, effettuare una prova ad anello aperto sul processo (senza controllore).





Metodi di taratura dei PID 4/14 Metodo di taratura ad anello aperto – parametri del regolatore

Una volta stimati i parametri dell'impianto è possibile calcolare i valori dei guadagni del regolatore secondo le relazioni riportate in questa tabella

| | K _P | T ₁ | T _D |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Regolatore P | Τ/(μ τ) | | |
| Regolatore PI | 0.9Τ/(μ τ) | 3 τ | |
| Regolatore PID | 1.2Τ/(μ τ) | 2 τ | 0.5 τ |





Metodi di taratura dei PID 5/14 Metodo di taratura ad anello aperto Esempio 1/5

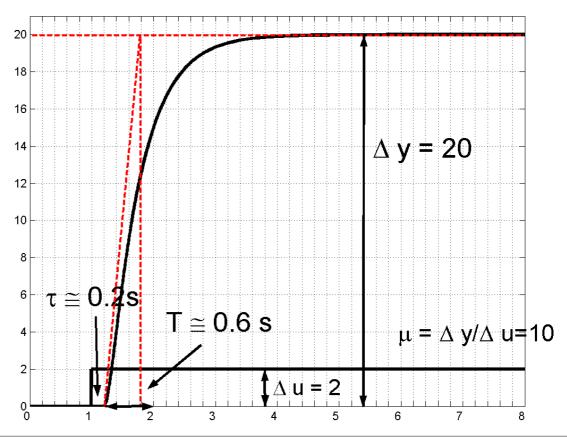
Si supponga che la risposta 20 dell'impianto ad un gradino 18 di ampiezza $U_0=2$ sia quella riportata in figura. 16

Una possibile stima dei parametri del modello dell'impianto è la seguente

$$T \approx 0.6 \text{ s}$$

$$\tau \approx 0.2 \text{ s}$$

$$\mu = 10$$





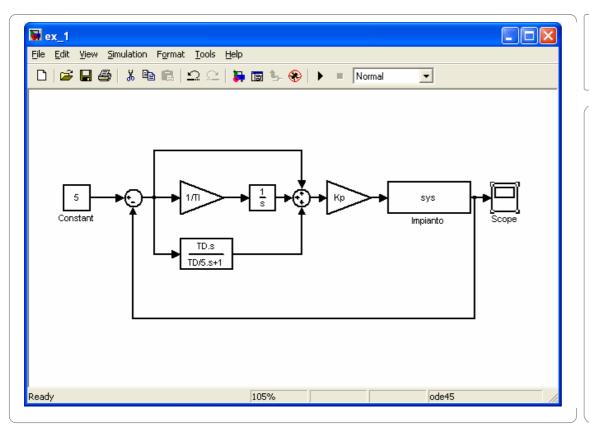
Metodi di taratura dei PID 6/14 Metodo di taratura ad anello aperto Esempio 2/5

Dati i parametri dell'impianto stimati nella slide precedente, i guadagni per i tre tipi di regolatori P, PI e PID sono riportati in tabella.

| | K _P | T ₁ | T _D |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Regolatore P | 0.3 | | |
| Regolatore PI | 0.27 | 0.6 | |
| Regolatore PID | 0.36 | 0.4 | 0.1 |



Metodi di taratura dei PID 7/14 Metodo di taratura ad anello aperto Esempio 3/5



Risorse:

Nel file Lesson_5_ex_1.mat è contenuto il modello dell'impianto.

Per non utilizzare l'azione integrale nello schema Simulink, porre TI = Inf

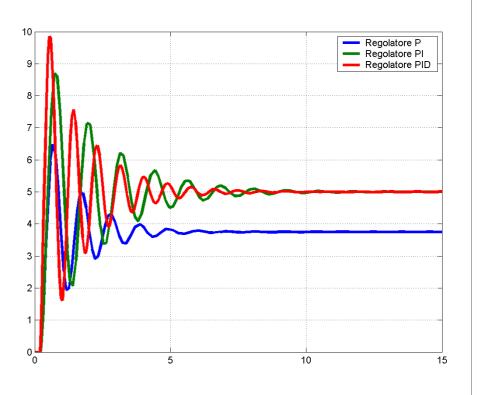




Metodi di taratura dei PID 8/14 Metodo di taratura ad anello aperto Esempio 4/5

Effettuando le simulazioni è possibile osservare che:

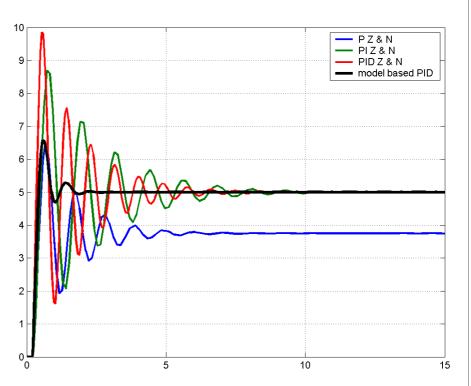
- nel caso di regolatore puramente proporzionale l'errore a regime è diverso da zero;
- per i regolatori PI e PID l'errore a regime è zero;
- il regolatore PID va a regime più velocemente ma con una sovraelongazione maggiore.





Metodi di taratura dei PID 9/14 Metodo di taratura ad anello aperto Esempio 5/5

- La regole di taratura vengono effettuate basandosi sulla stime sperimentale dei parametri del modello.
- Con un modello dettagliato dell'impianto è possibile ottenere prestazioni migliori utilizzando un PID.
- La **traccia nera** in figura mostra la risposta di un PID progettato partendo dal modello dettagliato dell'impianto $(K_p=0.225, T_I=0.5 e T_D=0.125)$.





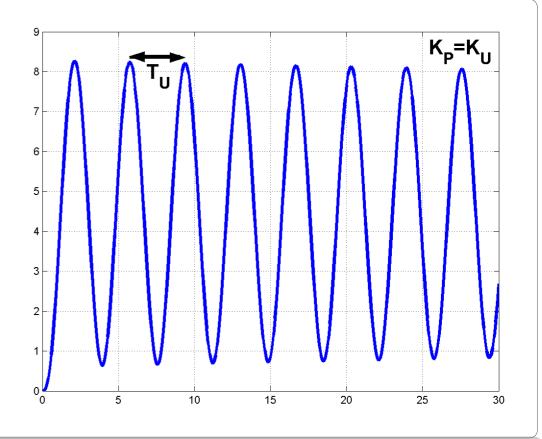
Metodi di taratura dei PID 10/14 Metodo di taratura ad anello chiuso o secondo metodo di Ziegler e Nichols

- Il secondo metodo di taratura per i PID è basato su una prova a ciclo chiuso sull'impianto (con il controllore) che prevede di:
- 1) chiudere l'anello inserendo un regolatore puramente proporzionale con basso guadagno K_P
- 2) Aumentare progressivamente K_P fino a che si innesca un'oscillazione permanente.



Metodi di taratura dei PID 11/14 Metodo di taratura ad anello chiuso – parametri K_U e T_U

- K_U è il valore del guadagno proporzionale per il quale si hanno oscillazioni permanenti
- T_U è il periodo di oscillazione





Metodi di taratura dei PID 12/14 Metodo di taratura ad anello chiuso – parametri del regolatore

Una volta stimati K_U e T_U è possibile calcolare i valori dei guadagni del regolatore secondo le relazioni riportate in questa tabella

| | K _P | T ₁ | T _D |
|----------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Regolatore P | 0.5K _U | | |
| Regolatore PI | 0.45K _U | T _U /1.2 | |
| Regolatore PID | 0.6K _U | T _U /2 | T _U /8 |



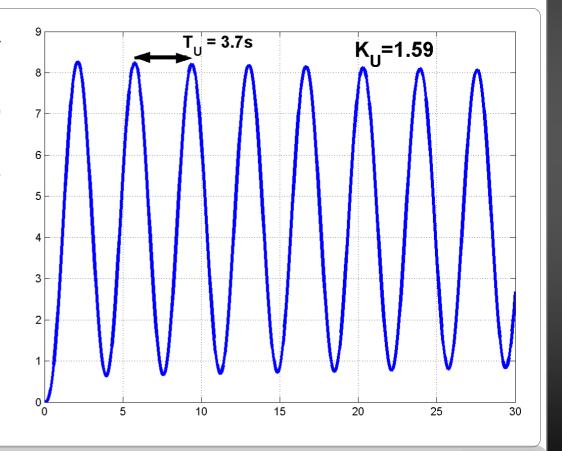


Metodi di taratura dei PID 13/14 Metodo di taratura ad anello chiuso Esempio 1/2

Si supponga di aver effettuato le prove a ciclo chiuso sull'impianto e di aver stimato i seguenti valori per K_U e T_U

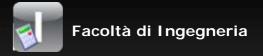
$$K_U \approx 1.59$$

$$T_{\rm U} \approx 3.7 \text{ s}$$





Federica



Metodi di taratura dei PID 14/14 Metodo di taratura ad anello chiuso Esempio 2/2

Dati i valori di K_U e T_U , i guadagni per i tre tipi di regolatori P, PI e PID sono riportati in tabella.

| | K _P | T ₁ | T _D |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Regolatore P | 0.3 | | |
| Regolatore PI | 0.27 | 0.6 | |
| Regolatore PID | 0.36 | 0.4 | 0.1 |

Risorse:



Problemi implementativi dei PID 1/10 Introduzione

Nella realizzazione pratica dei regolatori PID vengono adottati vari accorgimenti volti a migliorare le prestazioni del sistema.

In questa lezione verranno trattate le seguenti problematiche:

- limitazione dell'azione derivativa
- desaturazione dell'azione integrale (sistema di anti wind-up)
- commutazione manuale/automatico e automatico/manuale (sistema bumpless)



Problemi implementativi dei PID 2/10 Limitazione dell'azione derivativa

Nello schema classico l'azione derivativa viene effettuata sulla variabile d'errore:

$$U_D(t) = \frac{K_P T_D s}{1 + \frac{T_D}{N} s} E(s)$$

- In presenza di un gradino nel segnale di riferimento r(t), l'uscita del derivatore, e quindi la variabile di controllo u(t), avrebbe un andamento di tipo impulsivo.
- Questa brusca variazione può provocare la saturazione dell'attuatore e, al limite, il suo danneggiamento.
- Inoltre il sistema si potrebbe allontanare dalla condizione di linearità con riferimento alla quale si è progettato il sistema di controllo.

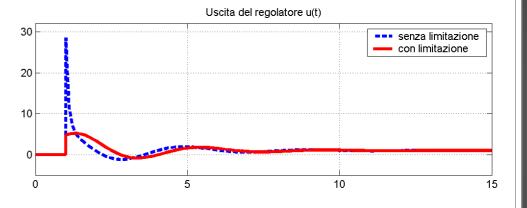


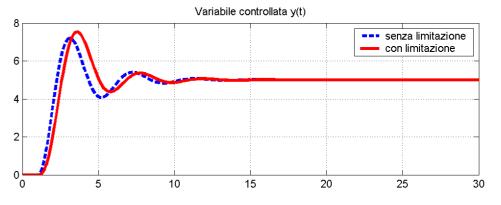


Problemi implementativi dei PID 3/10 Azione derivativa solo sull'uscita y(t)

Si preferisce esercitare l'azione derivativa sulla sola variabile controllata y(t)

$$U_D(t) = -\frac{K_P T_D}{1 + \frac{T_D}{N} s} Y(s)$$





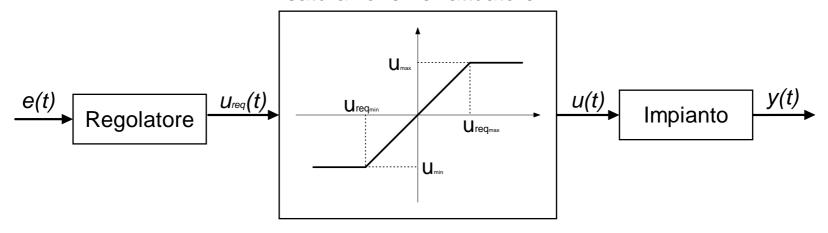




Problemi implementativi dei PID 4/10 Saturazione dell'azione integrale 1/2

- Uno schema realistico di un sistema di controllo prevede sempre la presenza di una saturazione nell'attuatore.
- Se il sistema di controllo è ben progettato, a regime la variabile di controllo u(t) dovrebbe essere lontana dai livelli di saturazione.

saturazione nell'attuatore





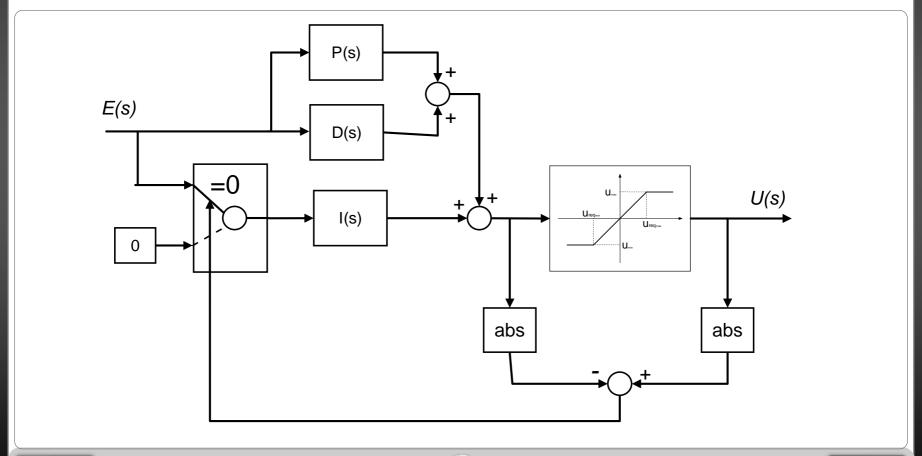
Problemi implementativi dei PID 5/10 Saturazione dell'azione integrale 2/2

- Durante i transitori, però, può capitare che u(t) superi i livelli di saturazione.
- Quando u(t) è saturata il processo evolve con ingresso costante come se fosse a ciclo aperto e quindi non controllato.
- Quando l'uscita del controllore u(t) è saturata l'azione integrale continua ad integrare l'errore e quindi la richiesta di controllo $u_{req}(t)$ continua a crescere, casuando il **fenomeno chiamato saturazione o wind-up dell'azione integrale**.





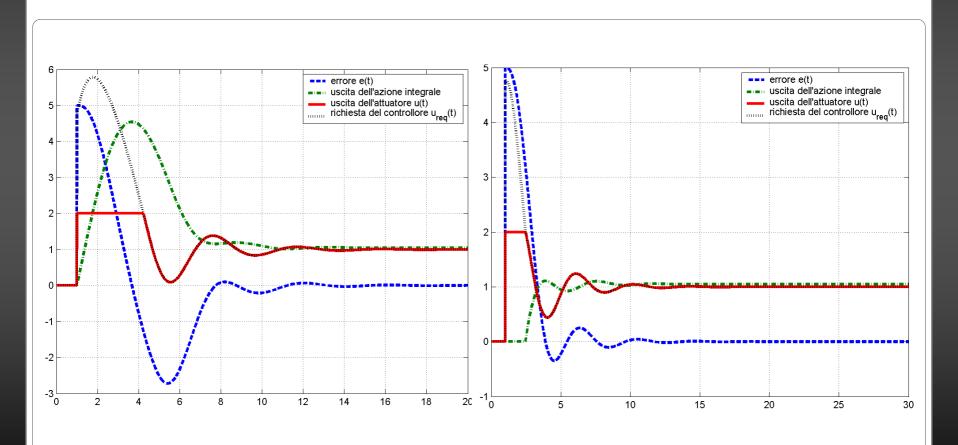
Problemi implementativi dei PID 6/10 Sistema di desaturazione (anti wind-up)







Problemi implementativi dei PID 7/10 Anti wind-up









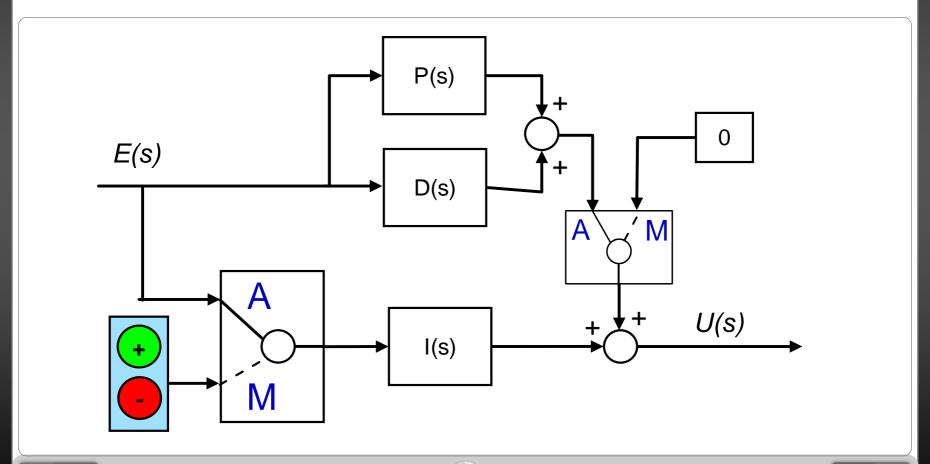
Problemi implementativi dei PID 8/10 Commutazione manuale/automatico automatico/manuale

- Un regolatore può essere messo in qualsiasi momento in modalità di funzionamento manuale, in cui è un operatore umano a selezionare manualmente la variabile di controllo.
- In qualsiasi momento è possibile effettuare la commutazione dalla modalità manuale a quella automatica e viceversa.
- Queste commutazioni devono avvenire senza brusche variazioni della variabile di controllo (*commutazioni bumpless*).
- In questo modo si possono evitare transitori indesiderati e danni agli attuatori.

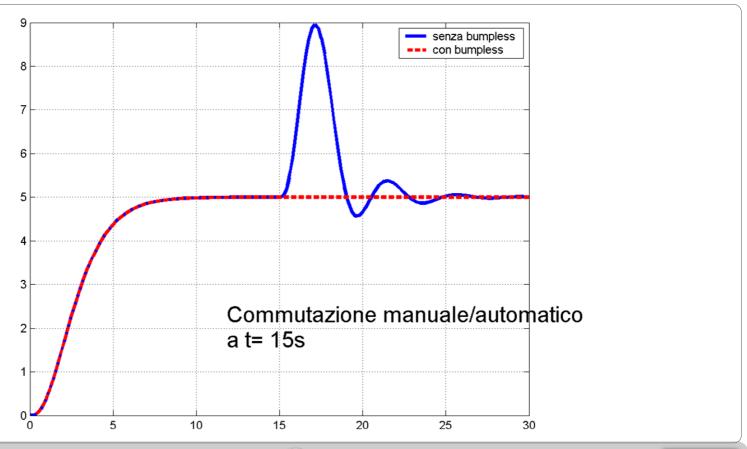




Problemi implementativi dei PID 9/10 PID con sistema di commutazione bumpless



Problemi implementativi dei PID 10/10 Commutazione manuale/automatico bumpless





ederica

Esercizi proposti 1/2

- 1. Utilizzando <u>i guadagni dei regolatori progettati nel primo</u> esempio e lo schema Simulink fornito, si controlli l'impianto con un regolatore ISA e si provino a variare i valori dei parametri b e c. Come varia il comportamento dell'uscita y(t)?
- 2. Si realizzi, utilizzando Simulink, uno regolatore PID con limitazione dell'azione derivativa. Come si può ottenere tale limitazione utilizzando un regolatore PID ISA?
- 3. Cosa succede alla variabile di controllo u(t) di un regolatore PID ISA al variare di b tra 0 e 1?
- 4. Si realizzi, utilizzando Simulink, un regolatore PID ISA con sistema di anti wind-up



Federica

Esercizi proposti 2/2

5. Si realizzi, utilizzando Simulink, un regolatore PID ISA con sistema bumpless.





Indice Letture

Materiali di studio

☐ G. Magnani, G. Ferretti, P. Rocco, Cap. 7 par.7.4 (solo primo e secondo metodo di Ziegler e Nichols) e 7.5

