
SINTESI DEI SISTEMI DI CONTROLLO

Obiettivi
Procedure di sintesi
Specifiche

OBIETTIVI DEL CONTROLLO

“ L'andamento dell'uscita segua quello dell'ingresso per quanto possibile ! ”

$$y_d(t) = K_d u(t)$$

Ingressi: rappresentativi di situazioni reali e “worst case”.

- costanti problemi di regolazione
- gradini, rampe problemi di asservimento..
- sinusoidi con specifiche in t o in ω

Possibile: Quali fenomeni si oppongono?

- Disturbi
- Inerzie dei componenti (\equiv limitate bande passanti)
- Limitazioni fisiche (\equiv saturazioni) degli attuatori
- Incertezze sul valore dei parametri del processo.

OBIETTIVI DEL CONTROLLO (2)

Soluzione principe:

Controreazione con elevato guadagno d'anello

Effetti Positivi di un guadagno elevato: (*costante in frequenza*)

Riduzione degli errori di tracking: $W(s) \cong K_d$

- Riduzione degli effetti dei disturbi: $W_z(s) \cong 0$
 - Riduzione degli effetti delle variazioni parametriche
- Aumento della banda passante.

Effetti Negativi:

Riduzione dei margini di stabilità

Aumento degli "sforzi" negli attuatori

Aumento della sensibilità ai rumori entranti nella catena di misura

Oggi forse le caratteristiche più importanti sono quelle con •.

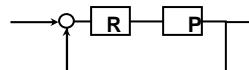
Si richiede un comportamento prevedibile.

SINTESI (PROGETTAZIONE) 1

Non vede tutta la progettazione, l'implementazione dipende dalla tecnologia

Metodi analitici (un cenno)

$$W = \frac{RP}{1 + RP} \Rightarrow R = \frac{W_d}{P(1 - W_d)}$$



scegliendo W_d in modo che R sia causale. Vantaggi: elegante, semplice, oggettivo.

Ma: $P(s)=?$ e $W_d(s)=??$

Esistono infinite $W_d(s)$ che soddisfano le specifiche usuali, qual'è la migliore ?

- come varia $W(s)$ al variare di $P(s)$?
- $R(s)$ risulta molto complicato.
- Solo alcune zone di $P(j\omega)$ sono importanti per la progettazione.

Si preferisce la sintesi per tentativi che permette

- Comprensione degli effetti delle scelte fatte
- Concentrazione sulle specifiche d'interesse

SINTESI PER TENTATIVI

Passi della sintesi per tentativi per gli asservimenti

- Soddifacimento delle specifiche a regime individuando:
 - poli nell'origine eventualmente da aggiungere
 - guadagno in catena diretta e in controreazione
- Soddifacimento delle specifiche dinamiche tramite una rete compensatrice in frequenza più o meno complessa

SPECIFICHE A REGIME

Legame ingresso-uscita / Errore a regime= $K_d u(t) - y(t) \quad t \rightarrow \infty$

Ingresso

Gradino $\left\{ \begin{array}{l} \leq e : \text{Richiesta debole} \\ 0 \Rightarrow 1 \text{ polo nell'origine} \end{array} \right. \quad \frac{K}{s} \dots\dots$

Rampa lineare $\left\{ \begin{array}{l} \leq e : \text{Richiesta normale negli asservimenti} \\ 0 \Rightarrow 2 \text{ poli nell'origine} \end{array} \right. \quad \frac{K}{s^2} \dots\dots$

Rampa parabolica $\left\{ \begin{array}{l} \leq e : \text{Richiesta forte} \\ 0 \text{ mai visto} \end{array} \right. \quad \frac{K}{s^3} \dots\dots$

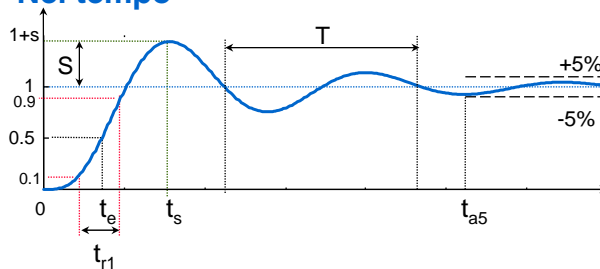
Tipo del Sistema	Ingresso	Errore
0	$\delta_{-1}(t)$	$K_d^2 / (K_d + K)$
1	$t \cdot \delta_{-1}(t)$	K_d^2 / K
2	$\frac{t^2}{2} \cdot \delta_{-1}(t)$	K_d^2 / K

SPECIFICHE AL TRANSITORIO

- Normalmente date a ciclo chiuso, nel dominio del tempo o della frequenza
- “Legami globali” espressioni approssimate per passare tra i due domini
- Da quelle in frequenza si passa a quelle a ciclo aperto con ulteriori espressioni approssimate

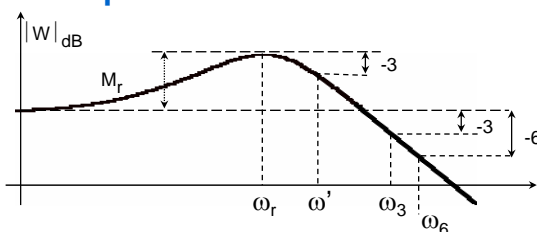
SPECIFICHE AL TRANSITORIO

Nel tempo



t_{r1} : tempo di salita
 t_e : tempo all'emivale
 S : sovralongazione
 t_s : tempo al picco
 t_{a5} : tempo di assestamento
 T : pseudo periodo

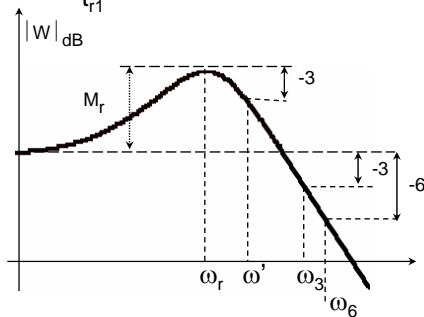
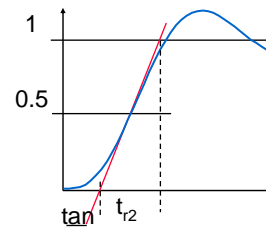
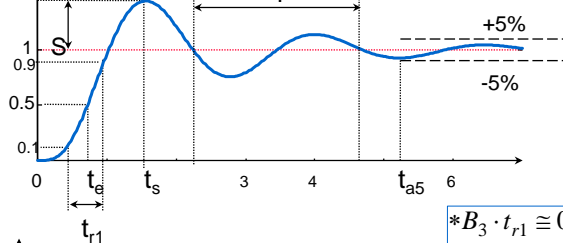
In frequenza



ω_r : pulsazione di risonanza
 ω_3 : banda a -3 dB (B3)
 ω_6 : banda a -6 dB (B6)
 M_r : Modulo alla risonanza

LEGAMI GLOBALI

Relazioni approssimate la risposta indiciale e risp. armonica



$*B_3 \cdot t_{r1} \cong 0.4 \text{ (Hz, sec)}$	<i>se $S \leq 0.1$</i>
$B_6 \cdot t_{r2} \cong 0.45$	<i>sempre valida</i>
$S \cong \log 1.5 \frac{M_r B_3}{B_6}$	<i>Mr: valore assoluto</i>
$B_6 \cdot t_{a5} \cong 2.16 \frac{M_r B_3}{B_6}$	<i>" " "</i>
$B' \cdot T \cong 1.22 \text{ (Hz, s)}$	<i>unica che riguardi T</i>
$*1 + S \cong 0.85 M_r _{\text{assol.}}$	<i>utili ma meno esatte</i>
$*B_r \cdot t_{r1} \cong 0.2 \text{ (Hz, s)}$	$M_r = 1.3 \div 1.5$

06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U -FdA- Sintesi 9

TRANSITORIO → ANELLO APERTO

Passaggio da $W(j\omega)$ a $F(j\omega)$ a ciclo aperto.

E' più semplice perché nel dominio di ω

$$W = \frac{F}{1+F} \quad \text{e} \quad F = \frac{W}{1-W}$$

per ogni valore di ω .

Non avendo l'espressione di $W(j\omega)$ si usano $|F|$

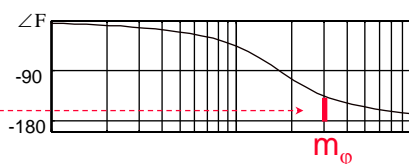
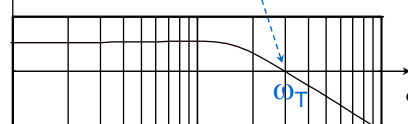
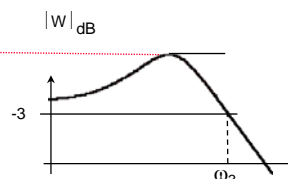
i legami approssimati (vedi Nichols)

$$1.26\omega_T < \omega_3 < 2.52\omega_T$$

$$m_\phi > 60^\circ \cdot (1 - M_r |_{\text{dB}} \cdot 0.1)$$

Con: $\omega_T: |F(j\omega_T)| = 1$

ω_3 : ciclo chiuso



06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U -FdA- Sintesi 10

SPECIFICHE PER I DISTURBI

In genere si considerano disturbi $\left\{ \begin{array}{l} \text{a gradino} \\ \text{aleatori} \end{array} \right.$

Disturbi a gradino (esempio: coppia resistente in un servomeccanismo, variazioni di carico)

$$\Sigma \text{ statico } e(t \rightarrow \infty) < \varepsilon$$

$$\Sigma \text{ astatico } [e(t \rightarrow \infty) = 0]$$

In genere nessuna specifica sul comportamento transitorio, perché il tempo di assestamento al disturbo è legato a quello relativo all'ingresso.

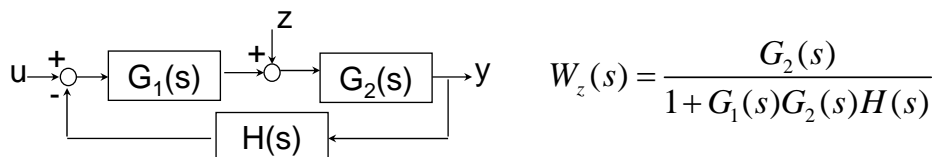
Disturbi aleatori (esempio: vento su un antenna).

Occorre conoscere la massima frequenza significativa.

Specifica tipica: Riduzione di un fattore K del loro effetto sull'uscita

REIEZIONE DISTURBI COSTANTI (RICHIAMO)

Disturbo in Catena Diretta



Astatismo: $G_1(s)$ ha un polo in $s=0$

($G_2(s)$ con uno zero in $s=0$ non è compatibile con il carattere proporzionale del controllore)

altrimenti in uscita si ha a regime, per un disturbo unitario

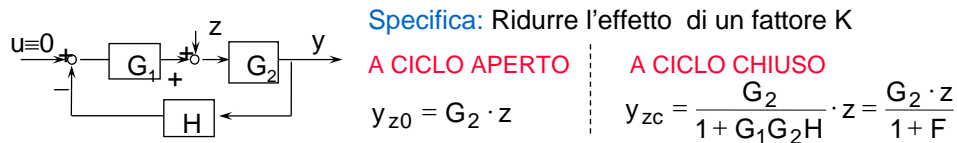
$y_z = \frac{k_{G_2}}{1 + k_{G_1} k_{G_2} k_H}$ <p>(se G_2 non ha poli in $s = 0$)</p>	$y_z = \frac{1}{k_{G_1} k_H}$ <p>(se G_2 ha poli in $s = 0$)</p>
--	--

REIEZIONE DISTURBI ALEATORI

Esempi: Ridurre l'effetto del vento su un'antenna, quello delle onde su una nave, quello di una raffica su un aereo

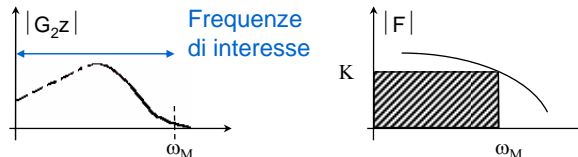
Problema: Il disturbo non è misurabile

Soluzione: L'effetto c'è e si può misurare



Dalla specifica:

$$\left| \frac{y_{zc}}{y_{z0}} \right| < \frac{1}{k} \Rightarrow \left| \frac{y_{z0}}{y_{zc}} \right| = |1 + F| > k, \text{ che si può approssimare con } |F| > k \text{ (agendo su } G_1)$$



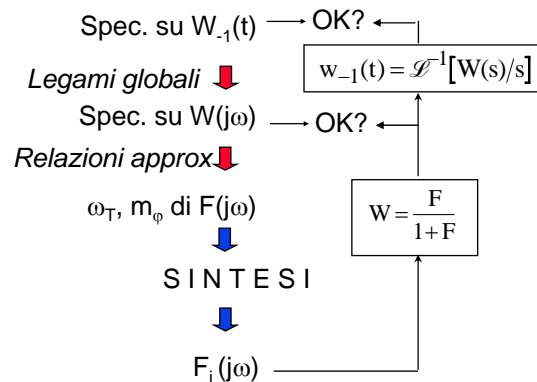
06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U -FdA- Sintesi 13

SINTESI PER TENTATIVI

- Specifiche più dettagliate \Rightarrow procedimento più complesso
- Dalle specifiche su $W_{-1}(t)$ si passa a quelle su $W(j\omega)$ e quindi a quelle su $F(j\omega)$ a ciclo aperto (ω_T, m_ϕ).
- Procedimento impreciso, richiede una verifica a ritroso.



06/05/2010

Terza Università degli studi di Roma

G.U -FdA- Sintesi 14

ALTRE CONSIDERAZIONI

Altri fenomeni da considerare, anche se non espressamente precisati nelle specifiche:

- **Sforzo di controllo**
i.e. uscita del controllore in condizioni tipiche di dimensionamento e fatica degli attuatori
- **Robustezza**
i.e. capacità di conservare le caratteristiche (in part. la stabilità) se il processo si modifica
- **Interazioni nascoste**
i.e. considerare come disturbo qualche grandezza che dipende dallo stato del sistema
- Possibili **saturazioni** dei vari organi
- Numero di **trasduttori**
- Sensibilità a **rumori** in alta frequenza

REGOLAZIONE VS. ASSERVIMENTO

ASSERVIMENTO

OBIETTIVO: inseguimento
dell'ingresso.

ENFASI: fedeltà di risposta

- Richiedono la progettazione delle Reti di Compensazione che talvolta possono essere sostituite da regolatori standard.
- Se le specifiche sono stringenti il progettista dell'impianto deve interagire con il controllista.

ESEMPIO: macchina utensile a controllo numerico

ma se basta tenere costante l'uscita?

REGOLAZIONE

OBIETTIVO: costanza dell'uscita
facilità di installazione

ENFASI:

- effetto dei disturbi
- costo: si impiegano spesso dispositivi di controllo standard (Regolatori)

ESEMPIO: controllo di livello o di temperatura

(vedi Regolatori Standard)