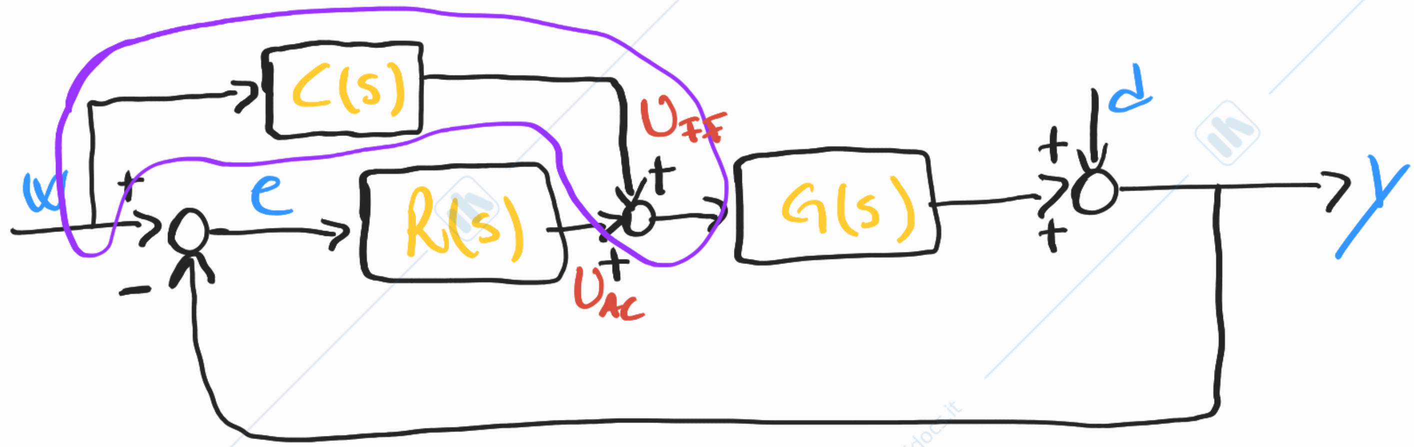
Compensatori in FEED-FORWARD

(configurazioni NON standard di schemi di controllo)

FEED-FORWARD $\Longleftrightarrow$ anello aperto

Azione in feed-forward del riferimento



schema standard + ——

azione diretta che dipende dal cambio di riferimento (+ tempestivo)

Presenza di C(s):

- non cambia legame d - y

• cambia legame w - y

! No C(s) INSTABILE → genererebbe un'instabilità complessiva :

Attenzione : C(s) deve essere AS. STAB

$$G_{yw}(s) = \frac{(C(s) + R(s))\,G(s)}{1 + R(s)G(s)} \overset{?}{=} 1$$

sensitività complement.

• se $C(s) = 0$ (no compensatore) $\Longrightarrow$ $G_{yw}(s) = F(s) = \frac{L(s)}{1+L(s)}$

⊙ se $\boxed{C^{o}(s) = \frac{1}{G(s)}}$ (rendo unitaria la FdT tra w e y)

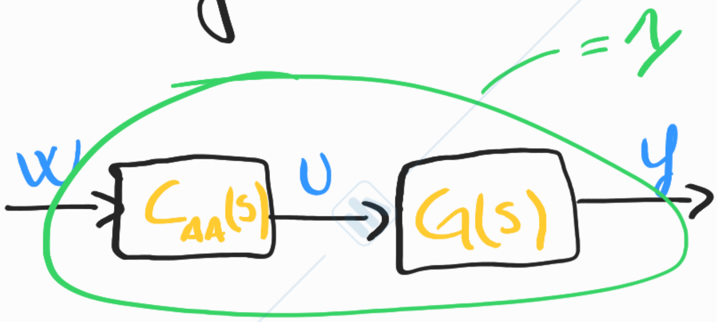
→ qualunque sia il riferimento viene seguito perfettamente dall'uscita (in assenza di disturbo)

$\Rightarrow G_{yw}(s) = 1$ — situazione ideale!

Osservazioni:

1. coincide con il progetto in an. aperto

$\Rightarrow$ Progetto in A.A.



Miglior controllore: $C_{AA}(s) = \frac{1}{G(s)}$

Soluz in A.A poco robusta: condizioni ideali (no disturbo, no incertezza su $G(s)$)

$\Rightarrow$ Progetto di $C(s)$ $\perp$ dal progetto di $R_r(s)$

2. Realizzabilità (# poli $\geq$ # zeri)

(sistema causale)

FdT NON causale é NON realizzabile

Esempio :

$$G(s) = \frac{1}{1+s} \implies C^{\circ}(s) = 1+s$$

non realizzabile

$<$ 1 zero : $s = -1$

0 poli

$\longrightarrow$ NON sempre é realizzabile

$$C(s) = \frac{1}{G(s)} \qquad (1^{\circ} \text{ problema})$$

3. Stabilità

(problemi di stabilità con $C(s) = \frac{1}{G(s)}$)

Esempio :

$$G(s) = \frac{1-s}{1+s} \implies C^{\circ}(s) = \frac{1+s}{1-s}$$

$\longrightarrow$ $C^{\circ}(s)$ INSTABILE se $G(s)$ ha zeri $\mathrm{Re}>0 \Rightarrow$ NO

$$C(s) = \frac{1}{G(s)}$$ → sarebbe INSTABILE

⇒ tutto sistema INSTABILE

4. Con queste problematiche ci possiamo accontentare di un'approssimazione:

$$C(j\omega) = \frac{1}{G(j\omega)}$$ per le ω di interesse

(identificare da info a priori quale banda di pulsazione per ottenere risultato)

Se riferimento COSTANTE a tratti (controllo di temperatura) ⇒ qual è pulsaz interesse? freq 0

→ condiz equil in cui tutte le

variabili sono costanti

$\omega = 0$ $\left(\begin{smallmatrix}\text{steady}\\ \text{state}\end{smallmatrix}\right)$: $C(0) = \frac{1}{G(0)} = \frac{1}{\mu_a}$

AZIONE IN FEED-FORWARD STATICA

($C(s)$ qualsiasi basta che guadagno soddisfi questa identità)

5. Robustezza soluzioni in A.A.

Attenuatore : Soluzione POCO ROBUSTA (rispetto alle incertezze)

→ qualunque incertezza ho su G la ritrovo come perdita di prestazioni

[FdT propria # poli ≥ # zeri
se # poli = # zeri FdT è strettamente propria]

Esempio:

$$G(s) = \frac{1}{1+s} \qquad R(s) = 10$$

$$\Rightarrow \quad L(s) = \frac{10}{1+s}$$

- $g = 0$
- $\mu_F = \frac{\mu}{1+\mu}$

$\mu_F = \frac{10}{11} \neq 1$ (sist no buona precisione statica)

Progettiamo $C^\circ(s)$:

$\Rightarrow \quad C^\circ(s) = 1+s$ NON realizzabile!

2 tipi di approssimazione (soluzione):

Ⓐ $\quad C_A(s) = \frac{1+s}{1+s\tau}, \quad \tau \ll 1$

$C_A(s) \simeq C^\circ(s)$ in $[0, \frac{1}{\tau}]$

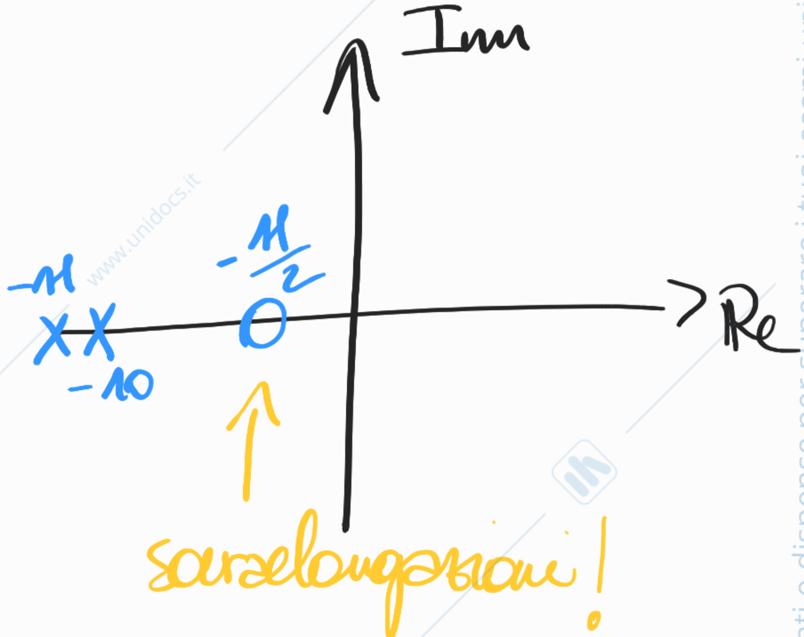
↳ approx di $C^\circ(s)$

$$G_{yw}(s) = (*) = \frac{1 + \overbrace{\frac{1+10\tau}{11}}^{T} s}{(1+s\tau)\left(1+\frac{s}{11}\right)}$$

$G_{yw}(0) = 1$ compensatore $C_A(s)$ sembra essere un'ottima approssimazione

$\tau = 0.1$

↳ sovraelongazione (risp allo scalino)



$$(*)\quad \frac{(C(s)+R(s))G(s)}{1+R(s)G(s)} = \frac{\left(\frac{1+s}{1+s\tau}+10\right)\frac{1}{1+s}}{1+\frac{10}{1+s}} = \frac{\frac{1+s+10+10s\tau}{(1+s\tau)\cancel{(1+s)}}}{1+s+10}$$

$$= \frac{11+s+10s\tau}{(1+s\tau)(s+11)} = \frac{1+\frac{1+10\tau}{11}s}{(1+s\tau)\left(1+\frac{s}{11}\right)}$$

B

$$C_B(s) = \frac{1}{G(0)} = 1$$

(considero solo il guad statico)

$$G_{yw}(s) = \dots = \frac{1}{1+\frac{s}{11}}$$

$G_{yw}(0) = 1$

Confrontiamo prestazioni dei compensatori (A) e (B)
(aggiustare le cose almeno e transit esaurito)

Grafico
risposta allo scalino
(condiz id → no incertezza su G(s))

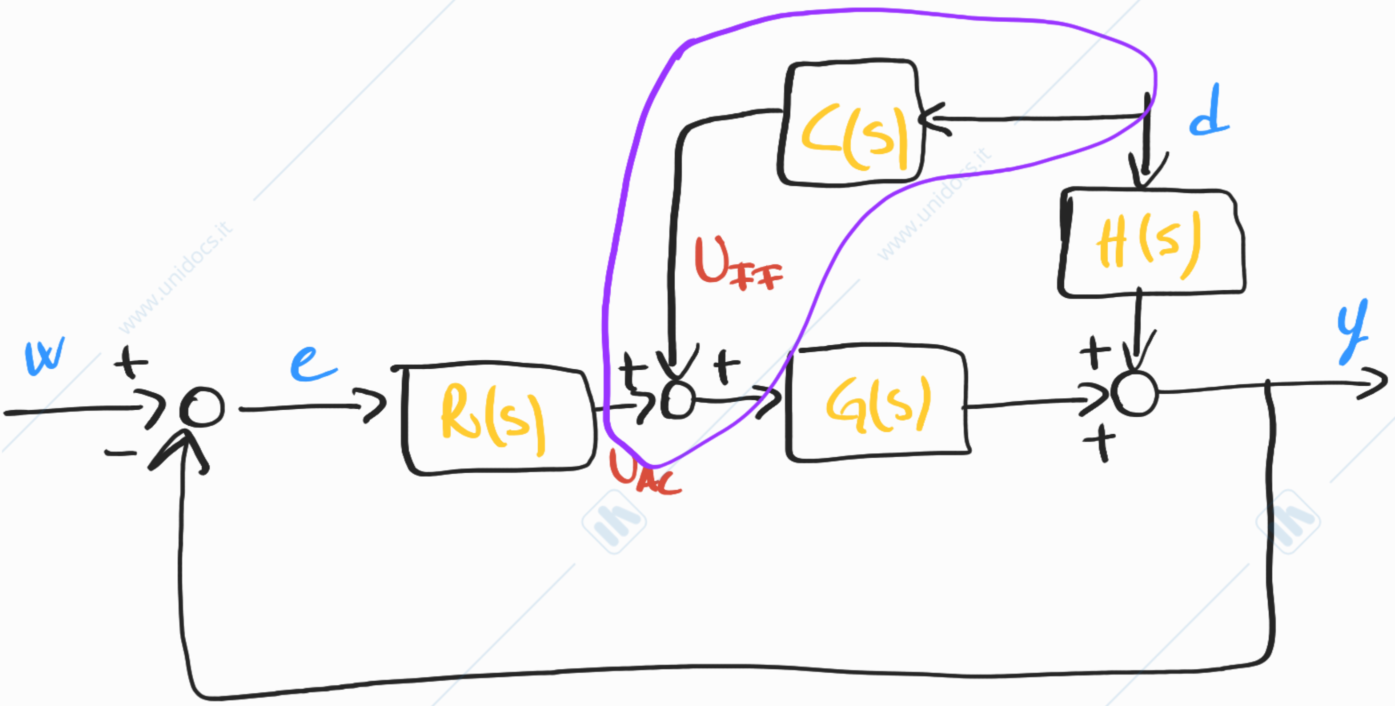
- senza compensatore no buona precisione statica → $y_\infty = \frac{10}{11}$
- $C_A(s)$: $y_\infty = 1$ ma sovraelong
- $C_B(s)$: $y_\infty = 1$ no sovraelong

⇒ sia $C_A(s)$ che $C_B(s)$ ottenuto il risultato voluto in termini di precisione a regime → ma in questo caso (risposta allo scalino) il compensat.

stato si comporta meglio di quello dinamico

($C_A(s)$ sarebbe + efficace di $C_B(s)$ se $w(t)$ fosse, per esempio, sinusoidale con pulsaz inferiore a $\frac{1}{\tau}$)

- Compensatore in A.A. di un DISTURBO (misurabile)



conosco il disturbo → elaboro la misura

U somma di 2 pezzi : $U_{an.\ chiuso}$ e $U_{an\ aperto}$

$C(s)$ no effetto tra w e y

Attenzione! $C(s)$ deve essere AS. STAB

$$G_{yd}(s) = \frac{H(s) + C(s)G(s)}{1 + R(s)G(s)} \overset{?}{=} 0$$

- se $C(s) = 0$ (assenza anore FF) $\Rightarrow G_{yd}(s) = \dfrac{H(s)}{1+R(s)G(s)} = H(s)\, S(s)$

sensitività

- se $C(s) = -\dfrac{H(s)}{G(s)} \Rightarrow G_{yd}(s) = 0$

situazione ideale

Soluzione Ideale:

$$\boxed{C^{o}(s) = -\frac{H(s)}{G(s)}}$$

Osservazioni:

1. Coincide con il progetto in A.A.

2. Realizzabilità?

3. Stabilità?

se $G(s)$ zeri $\mathrm{Re}>0$ $\Rightarrow$ poli di $C^{\circ}(s)$

se $H(s)$ poli $\mathrm{Re}>0$ $\Rightarrow$ poli di $C^{\circ}(s)$

$\Downarrow$

4. Ci si può accontentare di avere forma approssimata:

$$C(j\omega) = -\frac{H(j\omega)}{G(j\omega)}$$ per le ω di interesse

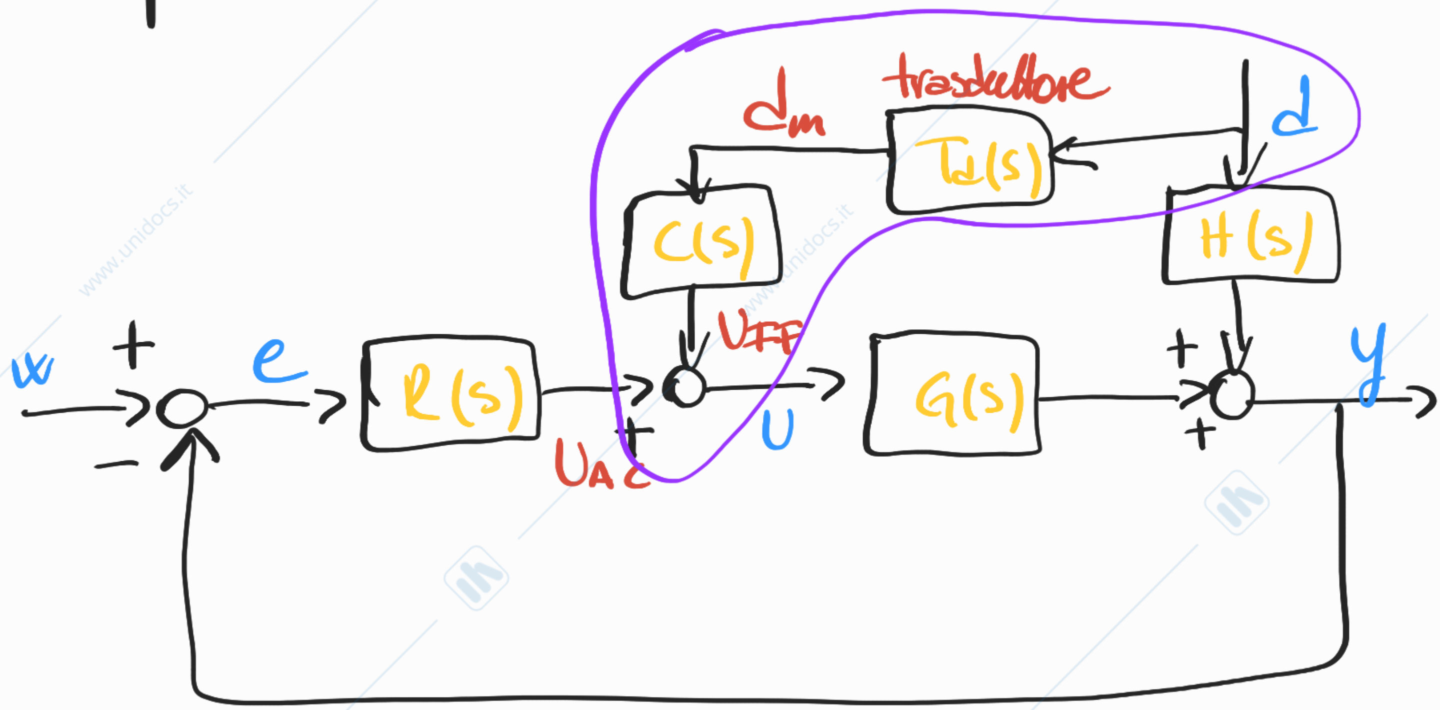
per esempio: $\omega = 0$ $\quad C(0) = -\frac{H(0)}{G(0)} = \frac{-\mu_H}{\mu_G}$

compensazione statica

5. Attenzione! È soluzione POCO ROBUSTA

6. Se c'è un trasduttore ⇒ VA CONSIDERATO

Compensatore con trasduttore:



$$C^{o}(s) = -\frac{H(s)}{G(s)\,T_d(s)}$$

compensat IDEALE

Esempio 2 :

$$G(s) = \frac{10}{(1+s)(1+2s)}$$

$$H(s) = \frac{1}{1+4s}$$

$$R_I(s) = \frac{0{,}02}{s}$$

reg. integrale (I)

↳ risponde bene ai disturbi costanti

Progettare $C(s)$ in modo da compensare

(A) $d(t) = sca(t)$

(B) $d(t) = sen(3t)$

$$C^\circ(s) = -\frac{H(s)}{G(s)} = -\frac{0{,}1(1+s)(1+2s)}{1+4s}$$

compensatore IDEALE

non realizzabile !

Compensatore finalizzato a dist a scalino

(A) $d(t) = sca(t) \Rightarrow$ è sufficiente

COMPENSAZIONE STATICA

serve guad statico : $C^\circ(s) = -0,1$

$$\Rightarrow C_A(s) = -\frac{\mu_H}{\mu_G} = -0,1$$

Simulazioni:

1. $R_i(s) = 0$, $C(s) = 0$ anello aperto
2. $R_i(s) = \frac{0,02}{s}$, $C(s) = 0$ solo reg A.C.
3. $R_i(s) = \frac{0,02}{s}$, $C(s) = -0,1$ reg A.C + compens
4. $R_i(s) = 0$, $C(s) = -0,1$ solo compens (curiosità)

1. exp crescente si assesta a 1
2. transitorio fino $t = 15\,s$ e poi rende immune il sistema a d (per $t \to \infty$ $y = 0$)
3. uscita subisce contraccolpo dal

disturbo ma effetto è mitigato
⇒ compens aiuta il regolatore anche nel transitorio → utile aggiungere compens anche se non sono necessari per la mitigazione a regime dell'errore

4. simile alla 3. ma condiz ideali
⇒ quando ci sarebbe incertezza POCO ROBUSTO e non saprei come si comporta

Compensatori per aumentare prestazioni
Regolatori per mantenere buon livello di robustezza
(ridurre disturbi + inseguim riferimento)

(B) $d(t) = \sin(3t)$ $\omega = 3 > 0,\ 2 = \omega_c$

→ è sufficiente un compensatore

specifico per $\omega = 3$ (pulsazione precisa)

$$C(j3) = -\frac{H(j3)}{G(j3)} \Longrightarrow \begin{cases} |C(j3)| = |C^{\circ}(j3)| \simeq 0{,}16 \\ \angle C(j3) = \angle C^{\circ}(j3) \simeq -113^{\circ} \end{cases}$$

$C(s)\big|_{\omega=3}$

Per Teo Risp in freq

Attenzione ai vincoli dati dalla fase

$\to$ es $\quad C(s) = \dfrac{\mu}{(1+sT)^2}, \quad \mu > 0$

almeno 2 poli per ottenere fase $\simeq -113^{\circ}$ (li prendo coincidenti)

$\mu = ?\ ,\ T = ?$

$$\begin{cases} |C(j3)| = \dfrac{\mu}{1+9T^2} \overset{\text{impongo}}{=} 0{,}16 \\ \angle C(j3) = -2\,\mathrm{arctg}(3T) = -113^{\circ} \end{cases}$$

$\longrightarrow |1+j3T|^2 = (\sqrt{1+9T^2})^2$

$$\Longrightarrow T = \frac{1}{3}\,\mathrm{tg}\,\frac{113^{\circ}}{2} \simeq 0{,}5$$

$\Longrightarrow$ sostituisco T nell'eq I $\quad \mu = 0{,}16\,(1+2{,}25) \simeq 0{,}52$

$$\Rightarrow C(s) = \frac{0{,}52}{(1+0{,}5s)^2}$$

Simulazioni: (ideali)

1. $R_i(s) = \frac{0.02}{s}$, $C(s) = 0$ solo reg A.C.
2. $R_i(s) = \frac{0{,}02}{s}$, $C(s) = \frac{0{,}52}{(1+0{,}5s)^2}$
3. $R_i(s) = 0$, $C(s) = \frac{0{,}52}{(1+0{,}5s)^2}$ solo comp A.A.

1. senza compensatore c'è oscillazione residua
2. a regime si assesta sullo 0, dopo un transitorio iniziale
3. miglior soluzione → compensatore da solo riesce ad attenuare il disturbo meglio