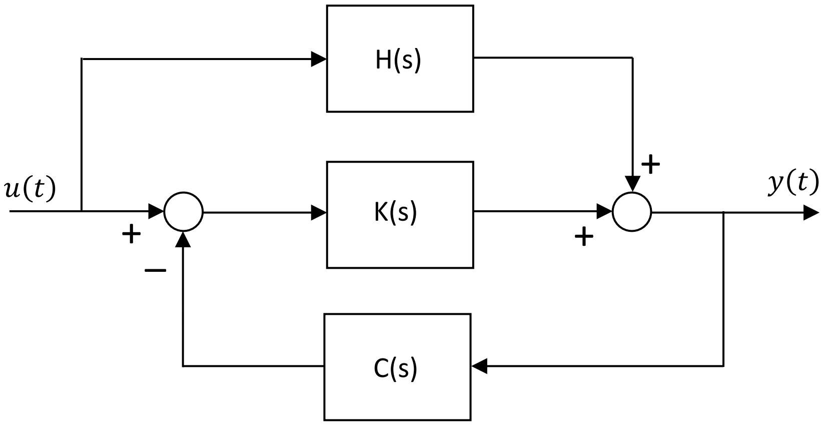
ESERCIZIO 1

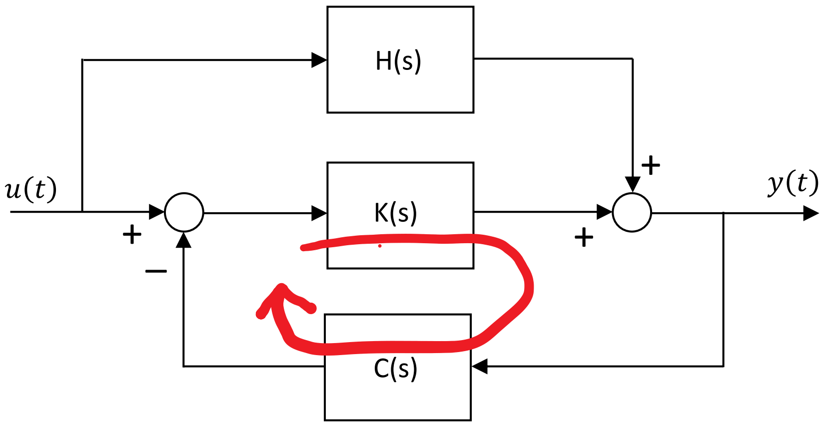
Si consideri il sistema dinamico a tempo continuo LTI SISO con ingresso $u(t)$ ed uscita $y(t)$ descritto dal seguente schema a blocchi



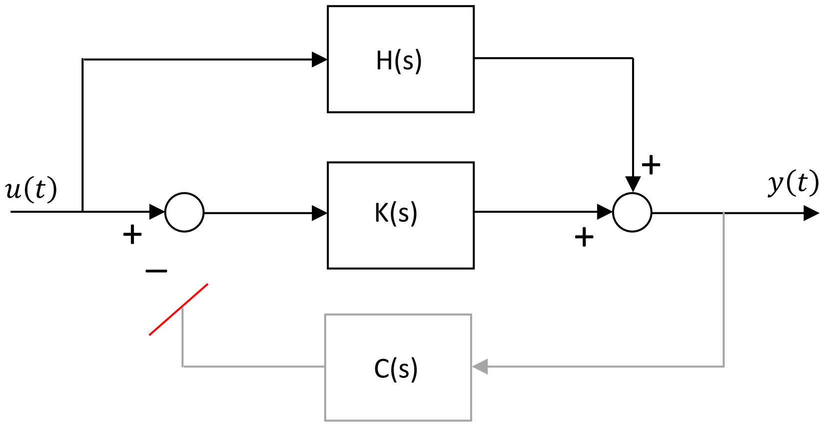
dove $H(s) = \frac{k}{1+s}$, $K(s) = \frac{1+5s}{1+s\tau}$, $C(s) = \frac{10}{1+sT}$ con $k, T, \tau > 0$

1) Si calcoli la funzione di trasferimento del sistema complessivo

Nello schema a blocchi è presente un anello di retroazione con funzione di trasferimento $L(s) = K(s)C(s)$.



Bisogna aprire l'anello, così da poter calcolare la funzione di trasferimento d'andata.



I blocchi $H(s)$ e $K(s)$ sono in parallelo (in andata) e la funzione di trasferimento di andata è quindi

$A(s) = K(s) + H(s)$.

Quindi la funzione di trasferimento complessiva dall'ingresso $u(t)$ all'uscita $y(t)$ è

$$G(s) = \frac{K(s) + H(s)}{1 + K(s)C(s)}$$

Sostituendo le espressioni delle singole funzioni di trasferimento si ha:

$$G(s) = \frac{K(s) + H(s)}{1 + K(s)C(s)} = \frac{\frac{1+5s}{1+s\tau} + \frac{k}{1+s}}{1 + \frac{1+5s}{1+s\tau}\frac{10}{1+sT}} = \frac{\frac{5s^2 + (6+k\tau)s + (k+1)}{(1+s\tau)(1+s)}}{\frac{T\tau s^2 + (T+\tau+50)s + 11}{(1+s\tau)(1+sT)}}$$
$$= \frac{(1+sT)[5s^2 + (6+k\tau)s + (k+1)]}{(1+s)[T\tau s^2 + (T+\tau+50)s + 11]}$$

2) **Determinare per quali valori dei parametri $k, T, \tau > 0$ il sistema complessivo è asintoticamente stabile**

I poli del sistema sono $p_1 = -1$ e le radici del polinomio $T\tau s^2 + (T+\tau+50)s + 11$. Avendo questo termine noto positivo, esso ha radici a parte reale negativa se e solo se

$$\begin{cases} T + \tau + 50 > 0 \\ T\tau > 0 \end{cases}$$

La seconda disequazione è verificata se T e τ sono concordi. Essendo entrambi positivi è sempre verificata. Per lo stesso motivo anche la prima disequazione è sempre verificata. Infine, i poli non dipendono dal valore di k.

Si può quindi concludere che il sistema è asintoticamente stabile per qualsiasi valore di $k, T, \tau > 0$.

3) **In corrispondenza di $k = 1, T = 60, \tau = 20$ calcolare un'approssimazione a poli dominanti per la funzione di trasferimento $G(s)$.**

In corrispondenza dei valori assegnati la funzione di trasferimento è

$$G(s) = \frac{(1+60s)(5s^2 + 26s + 2)}{(1+s)(1200s^2 + 130s + 11)} = \frac{1}{4}\frac{\left(s + \frac{1}{60}\right)\left(s^2 + \frac{26}{5}s + \frac{2}{5}\right)}{(s+1)\left(s^2 + \frac{13}{120}s + \frac{11}{1200}\right)}$$

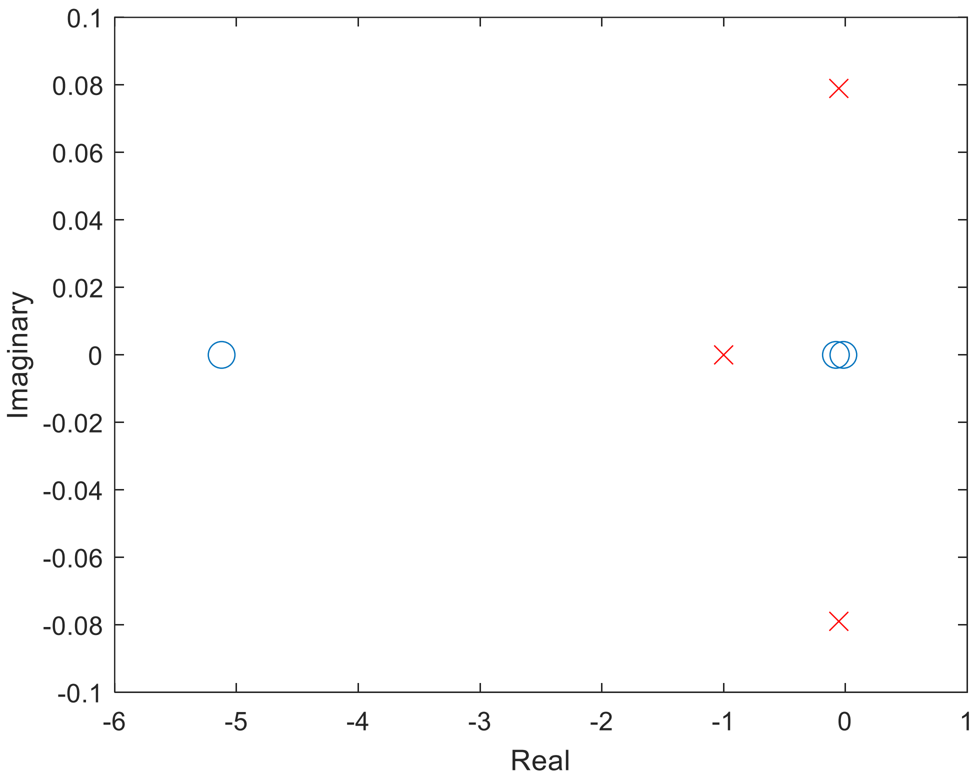
Essa ha tre poli, uno reale in $p_1 = -1$ e due complessi coniugati con pulsazione naturale $\omega_n = \sqrt{\frac{11}{1200}} \cong 0.096$ e smorzamento $\xi = \frac{\frac{13}{120}}{2\sqrt{\frac{11}{1200}}} \cong 0.57$. Inoltre, ha uno zero in $z_1 = -\frac{1}{60} \cong 0.017$ ed altri due in

$z_{2,3} = -\frac{13}{5} \pm \frac{\sqrt{159}}{5}$, cioè $z_2 = -0.078$ e $z_3 = -5.12$

Calcoliamo anche la posizione dei poli complessi coniugati per verificare se essi siano dominanti.

$$p_{2,3} = \frac{-\frac{13}{120} \pm \sqrt{\frac{169}{14400} - \frac{44}{1200}}}{2} \cong -0.054 \pm j0.079$$

Disegniamo tutte le singolarità sul piano complesso.



Si nota che i poli complessi coniugati sono dominanti rispetto al polo in $p_1 = -1$. Essi, infatti, hanno parte reale pari a circa -0.054.

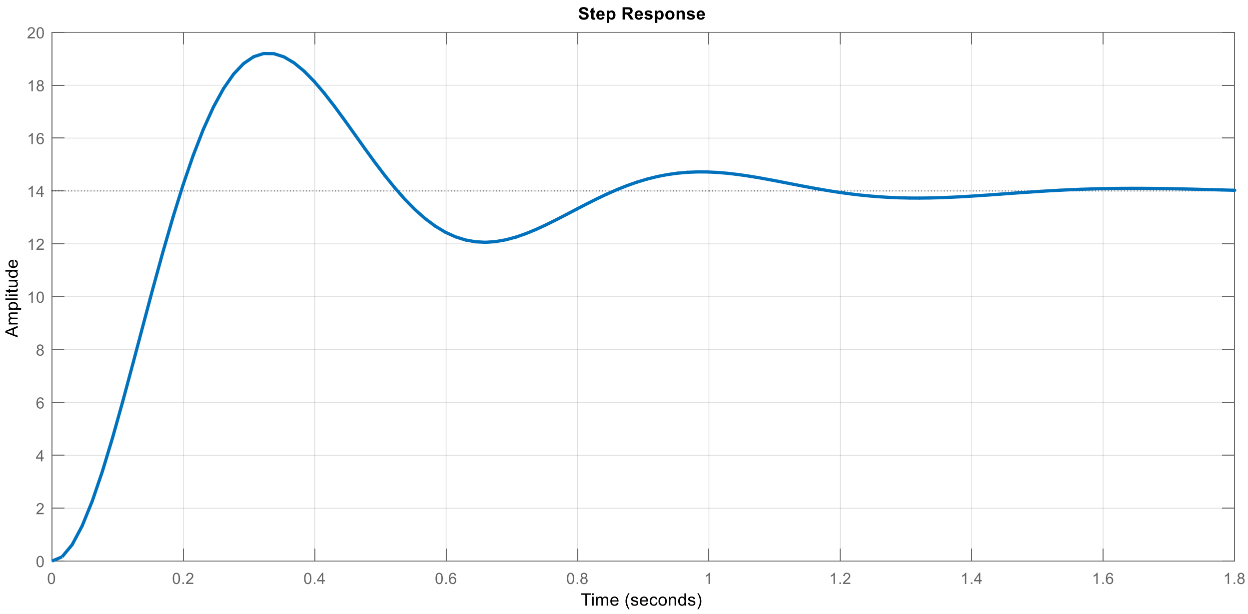
Si osservi che per ottenere un'approssimazione a poli dominanti almeno propria, oltre ad un polo è necessario cancellare anche uno zero ed in particolare si cancellerà quello più lontano dall'asse immaginario, cioè $z_3 = -5.12$.

L'approssimazione a poli dominanti è quindi

$$\hat{G}(s) = \frac{1}{4} \frac{\left(s + \frac{1}{60}\right)(s + 5.12)(s + 0.078)}{(s + 1)\left(s^2 + \frac{13}{120}s + \frac{11}{1200}\right)} = 1.28 \frac{\left(s + \frac{1}{60}\right)(s + 0.078)}{\left(s^2 + \frac{13}{120}s + \frac{11}{1200}\right)}$$

ESERCIZIO 2

Si consideri il sistema dinamico a tempo continuo LTI SISO con funzione di trasferimento $G(s)$ la cui risposta allo scalino unitario è visibile nella seguente figura



Sapendo che si tratta di un sistema del secondo ordine senza zeri, scrivere una possibile espressione della funzione di trasferimento del sistema.

Dal momento che la funzione di trasferimento è del secondo ordine, essa avrà due poli e, come detto, nessuno zero. Siccome la risposta allo scalino unitario mostra delle oscillazioni smorzate i due poli saranno certamente complessi coniugati. Quindi essa avrà una forma del tipo

$$G(s) = \frac{\rho}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{\mu}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n}s + \frac{s^2}{\omega_n^2}}$$

La risposta allo scalino unitario va a regime al valore $\bar{y} = 14$, perciò il guadagno è $\mu = 14$.

Dal grafico si puo' valutare la massima sovraelongazione relativa ed il periodo delle oscillazioni.

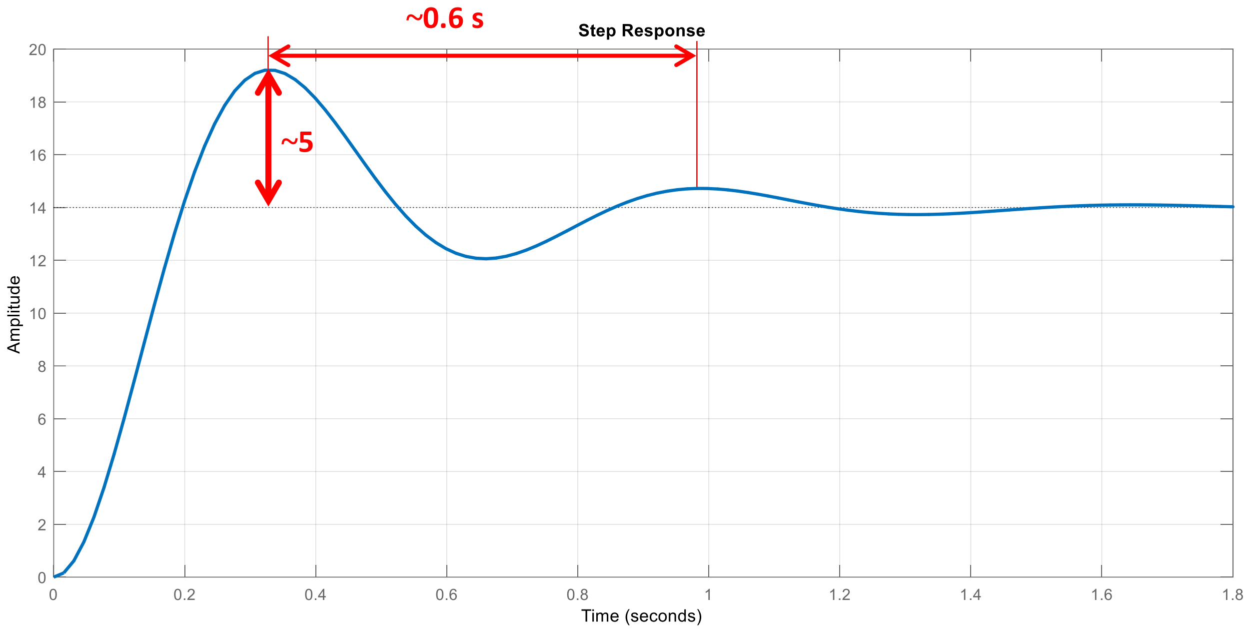
Si ha quindi che

$$e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = \frac{5}{14}$$

da cui si ottiene $\xi = 0.31$.

$$\frac{2\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} = 0.6$$

da cui si ottiene $\omega_n = 11\ rad/s$.



La funzione di trasferimento stimata è quindi

$$\hat{G}(s) = \frac{14}{1 + 0.0564s + \frac{s^2}{121}} = \frac{1694}{s^2 + 6.8s + 121}$$

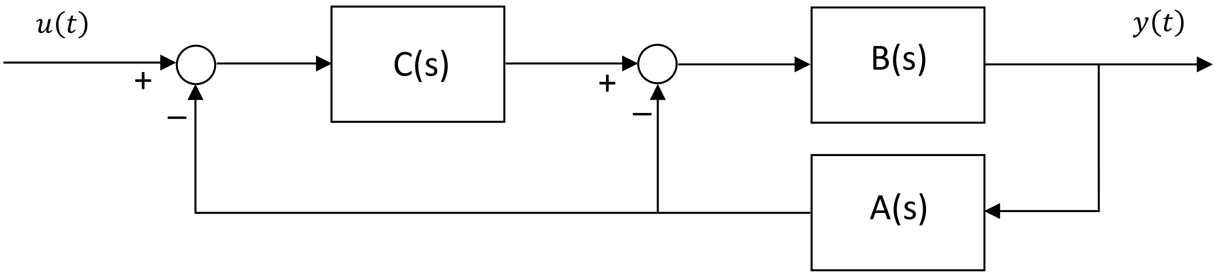
Quella vera è

$$\hat{G}(s) = \frac{1400}{s^2 + 6s + 100}$$

con $\omega_n = 10\, rad/s$ e $\xi = 0.3$.

ESERCIZIO 3

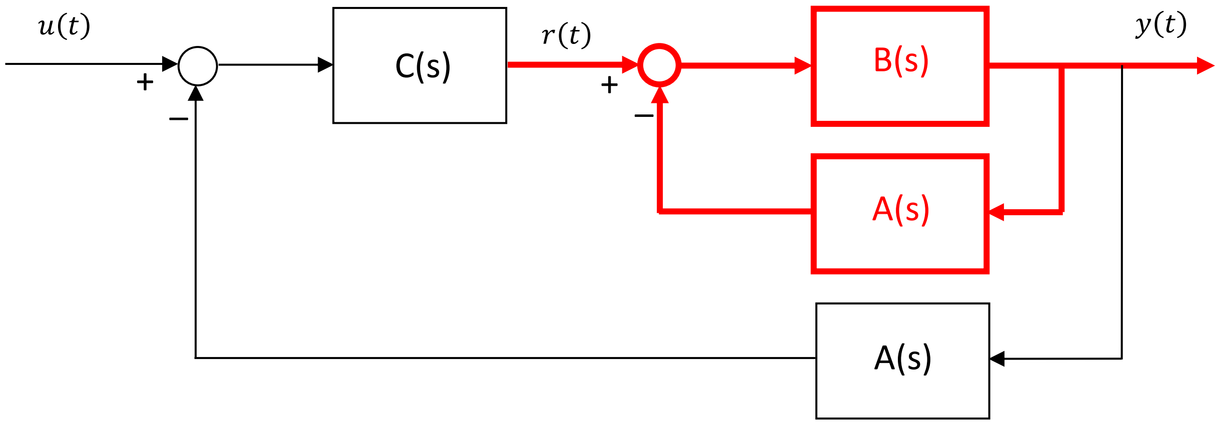
Si consideri il sistema dinamico a tempo continuo LTI SISO con ingresso $u(t)$ed uscita $y(t)$ descritto dal seguente schema a blocchi



dove $A(s) = \alpha$, $B(s) = \frac{1}{s+5}$, $C(s) = \frac{\mu}{s+1}$ con $\alpha, \mu > 0$

1) Si calcoli la funzione di trasferimento del sistema complessivo

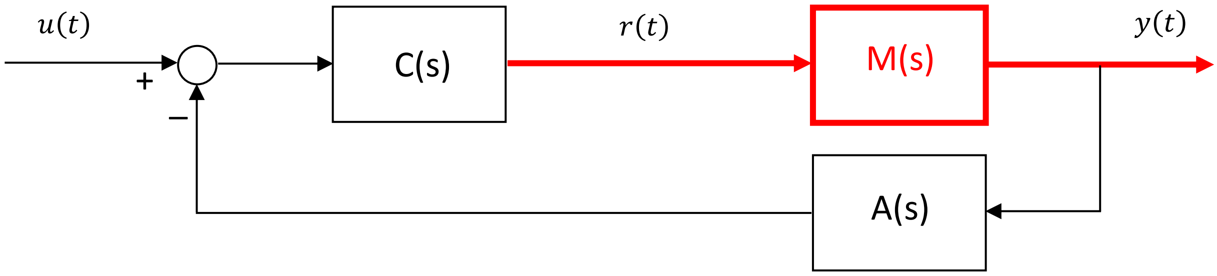
Si osservi che lo schema a blocchi in figura è equivalente al seguente, dove si è evidenziato il segnale $r(t)$.



La funzione di trasferimento da $r(t)$ a $y(t)$ è

$$M(s) = \frac{B(s)}{1 + B(s)A(s)}$$

Lo schema a blocchi diventa quindi



Quindi la funzione di trasferimento complessiva da $u(t)$ a $y(t)$ è

$$G(s)=\frac{M(s)C(s)}{1+M(s)C(s)A(s)}=\frac{\dfrac{B(s)C(s)}{1+B(s)A(s)}}{1+\dfrac{A(s)B(s)C(s)}{1+B(s)A(s)}}=\frac{B(s)C(s)}{1+B(s)A(s)+A(s)B(s)C(s)}$$

$$=\frac{\dfrac{1}{s+5}\dfrac{\mu}{s+1}}{1+\dfrac{\alpha}{s+5}+\dfrac{\alpha}{s+5}\dfrac{\mu}{s+1}}=\frac{\mu}{(s+5)(s+1)+\alpha(s+1)+\alpha\mu}$$

Quindi

$$G(s)=\frac{\mu}{s^2+(\alpha+6)s+(\alpha\mu+\alpha+5)}$$

2) **Determinare per quali valori dei parametri $\alpha,\mu>0$ il sistema complessivo è asintoticamente stabile**

Devono essere rispettate le seguenti condizioni

$$\begin{cases}\alpha+6>0\\ \alpha\mu+\alpha+5>0\end{cases}$$

che sono sempre verificate per $\alpha,\mu>0$.

3) **Si determinino i valori di $\alpha,\mu>0$ per cui la risposta allo scalino unitario del sistema presenta oscillazioni permanenti a regime.**

Un sistema del secondo ordine presenta oscillazioni permanenti se e solo se ha due poli immaginari coniugati.

Nel presente caso ciò accade se

$$\begin{cases}\alpha+6=0\\ \alpha\mu+\alpha+5>0\end{cases}$$

La prima condizione richiede che sia $\alpha=-6$, valore non accettabile in quanto $\alpha>0$.

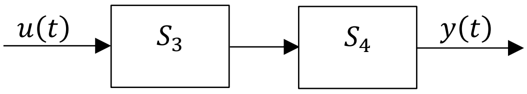
Quindi non esistono valori di $\alpha,\mu>0$ tali per cui la risposta allo scalino abbia oscillazioni permanenti a regime.

ESERCIZIO 4

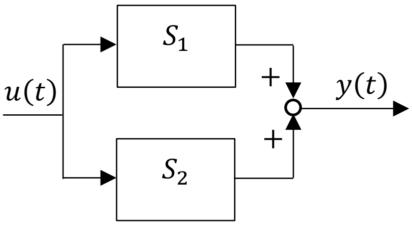
Si consideri il sistema dinamico a tempo continuo LTI SISO con ingresso $u(t)$ed uscita $y(t)$ descritto dalla seguente equazione differenziale con condizioni iniziali nulle sia per l'uscita che per l'ingresso:

$$\ddot{y}(t) + 5\dot{y}(t) + 6y(t) = \dot{u}(t) + u(t)$$

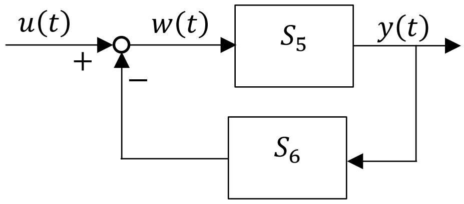
1) **Facendo riferimento alle figure sottostanti, determinare una possibile funzione di trasferimento per ciascuno dei sistemi S_i, sapendo che essi sono tutti sistemi del primo ordine strettamente propri ed in modo tale che il legame tra l'ingresso $u(t)$ e l'uscita $y(t)$ in ciascuno schema a blocchi sia quello dato dall'equazione differenziale assegnata.**



(B)



(A)



(C)

Applicando la trasformazione di Laplace all'equazione differenziale con condizioni iniziali nulle si ha

$$s^2Y(s) + 5sY(s) + 6Y(s) = sU(s) + U(s)$$

da cui la funzione di trasferimento

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{s+1}{s^2+5s+6} = \frac{s+1}{(s+2)(s+3)}$$

Siccome i sottosistemi S_i sono del primo ordine e strettamente propri, essi hanno funzione di trasferimento

$$S_i(s) = \frac{\alpha_i}{s+p_i}$$

Quindi, nel caso (A), essendo i sottosistemi in parallelo, si ha che

$$\hat{G}_A(s) = S_1(s) + S_2(s) = \frac{\alpha_1}{s+p_1} + \frac{\alpha_2}{s+p_2} = \frac{(\alpha_1+\alpha_2)s + (\alpha_1 p_2 + \alpha_2 p_1)}{(s+p_1)(s+p_2)}$$

Si ha quindi che $p_1 = 2, p_2 = 3$ e

$$\begin{cases} \alpha_1 + \alpha_2 = 1 \\ 3\alpha_1 + 2\alpha_2 = 1 \end{cases}$$

da cui $\alpha_1 = -1$ e $\alpha_2 = 2$ e quindi

$$S_1(s) = \frac{-1}{s+2} \qquad S_2(s) = \frac{2}{s+3}$$

Nel caso (B), essendo i sottosistemi in serie, si ha che

$$\hat{G}_B(s) = S_3(s)S_4(s) = \frac{\alpha_3}{s+p_3}\frac{\alpha_4}{s+p_4} = \frac{\alpha_3\alpha_4}{(s+p_3)(s+p_4)}$$

In questo caso il sistema complessivo non può avere zeri e quindi la funzione di trasferimento complessiva non potrà mai essere uguale a $G(s)$.

Nel caso (C) i sottosistemi sono in retrazione (negativa) e quindi si ha

$$\hat{G}_C(s) = \frac{S_5(s)}{1+S_5(s)S_6(s)} = \frac{\dfrac{\alpha_5}{s+p_5}}{1+\dfrac{\alpha_5\alpha_6}{(s+p_5)(s+p_6)}} = \frac{\alpha_5(s+p_6)}{s^2+(p_5+p_6)s+(\alpha_5\alpha_6+p_5p_6)}$$

Confrontando i numeratori di $\hat{G}(s)$ e $G(s)$ si ha che $\alpha_5 = 1$ e di conseguenza anche $p_6 = 1$, per cui si ha

$$\hat{G}_C(s) = \frac{s+1}{s^2+(p_5+1)s+(\alpha_6+p_5)}$$

da cui, confrontando i denominatori, si ha

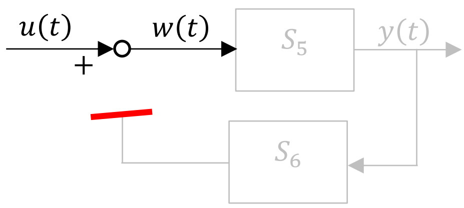
$$\begin{cases} p_5+1 = 5 \\ \alpha_6+p_5 = 6 \end{cases}$$

che ci fornisce i valori $p_5 = 4$ e $\alpha_6 = 2$. Quindi

$$S_5(s) = \frac{1}{s+4} \qquad S_6(s) = \frac{2}{s+1}$$

2) **Utilizzando il risultato ottenuto al punto precedente, calcolare analiticamente l'andamento nel tempo della variabile $w(t)$ (nello schema C) in risposta all'ingresso $u(t) = sca(t)$.**

Per calcolare la funzione di trasferimento dall'ingresso $u(t)$ al segnale $w(t)$ si procede determinando la funzione di trasferimento d'andata dopo avere aperto l'anello di retroazione



La funzione di trasferimento d'andata è quindi 1.

La funzione di trasferimento d'anello è $L(s) = G_5(s)G_6(s)$ e quindi la funzione di trasferimento è

$$H(s) = \frac{W(s)}{U(s)} = \frac{1}{1+G_5(s)G_6(s)} = \frac{1}{1+\dfrac{2}{(s+4)(s+1)}} = \frac{(s+4)(s+1)}{s^2+5s+6} = \frac{(s+4)(s+1)}{(s+3)(s+2)}$$

Essendo $u(t) = sca(t)$ si ha $U(s) = \frac{1}{s}$ e quindi

$$W(s) = \frac{s^2+5s+4}{(s+3)(s+2)}\frac{1}{s}$$

Per avere $w(t)$ bisogna calcolare l'antitrasformata di $W(s)$.

Scomponendo in addendi si ottiene

$$W(s)=\frac{\alpha}{s}+\frac{\beta}{s+2}+\frac{\gamma}{s+3}=\frac{\alpha(s+2)(s+3)+\beta s(s+3)+\gamma s(s+2)}{s(s+2)(s+3)}$$
$$=\frac{(\alpha+\beta+\gamma)s^2+(5\alpha+3\beta+2\gamma)s+6\alpha}{s(s+2)(s+3)}$$

da cui si ottiene il sistema

$$\begin{cases}\alpha+\beta+\gamma=1\\5\alpha+3\beta+2\gamma=5\\6\alpha=4\end{cases}$$

e quindi $\alpha=\frac{2}{3}\quad \beta=1\quad \gamma=-\frac{2}{3}$.

Si ha che

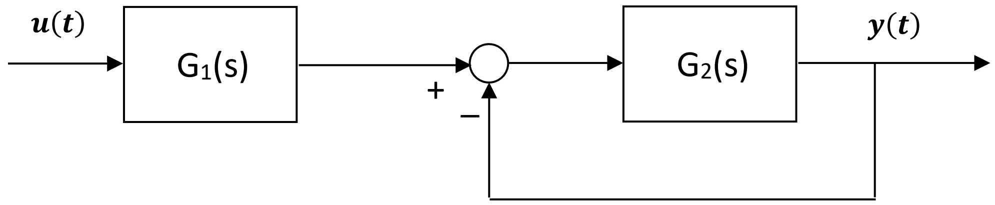
$$W(s)=\frac{2}{3}\frac{1}{s}+\frac{1}{s+2}-\frac{2}{3}\frac{1}{s+3}$$

E quindi l'andamento di $w(t)$ è

$$w(t)=\frac{2}{3}sca(t)+e^{-2t}-\frac{2}{3}e^{-3t}$$

ESERCIZIO 5

Si consideri il sistema dinamico a tempo continuo LTI SISO con ingresso $u(t)$ ed uscita $y(t)$ descritto dal seguente schema a blocchi



1. **Dire, motivando la risposta, quali condizioni devono soddisfare le funzioni di trasferimento $G_1(s)$ e $G_2(s)$ affinchè il sistema complessivo con ingresso $u(t)$ ed uscita $y(t)$ sia asintoticamente stabile.**

Il sistema $G_1(s)$ è in serie al sistema retroazionato con funzione d'anello $G_2(s)$.

La connessione in serie di due sottosistemi è asintoticamente stabile se e solo se lo sono entrambi i due sottosistemi.

Quindi $G_1(s)$ deve essere asintoticamente stabile, cioè avere poli a parte reale negativa ed anche il sistema retroazionato deve essere asintoticamente stabile. Questo accade se la sua funzione di trasferimento $\frac{G_2(s)}{1+G_2(s)}$ è asintoticamente stabile, cioè ha poli a parte reale negativa.

2. **Sia $G_1(s) = \frac{1}{1+2s}$. Calcolare la funzione di trasferimento $G_2(s)$ affinchè risulti $y(t) = \frac{1}{2} - \frac{5}{6}e^{-0.2t} + \frac{1}{3}e^{-0.5t}$ per $t \geq 0$ in corrispondenza di $u(t) = sca(t)$.**

Per quanto detto al punto precedente, la funzione di trasferimento complessiva dall'ingresso $u(t)$ all'uscita $y(t)$ è

$$G(s) = G_1(s)\frac{G_2(s)}{1+G_2(s)} = \frac{1}{1+2s}\frac{G_2(s)}{1+G_2(s)}$$

Essendo $u(t) = sca(t)$ si ha che $U(s) = \frac{1}{s}$.

Quindi

$$Y(s) = G(s)U(s) = \frac{1}{1+2s}\frac{G_2(s)}{1+G_2(s)}\frac{1}{s}$$

dove $Y(s)$ è calcolabile trasformando $y(t) = \frac{1}{2} - \frac{5}{6}e^{-0.2t} + \frac{1}{3}e^{-0.5t}$ e $G_2(s)$ è la nostra incognita.

Quindi

$$Y(s) = \frac{1}{2}\frac{1}{s} - \frac{5}{6}\frac{1}{s+0.2} + \frac{1}{3}\frac{1}{s+0.5}$$

da cui

$$Y(s)=\frac{1}{2}\frac{1}{s}-\frac{5}{6}\frac{1}{s+0.2}+\frac{1}{3}\frac{1}{s+0.5}=\frac{\frac{1}{2}\left(s+\frac{1}{5}\right)\left(s+\frac{1}{2}\right)-\frac{5}{6}s\left(s+\frac{1}{2}\right)+\frac{1}{3}s\left(s+\frac{1}{5}\right)}{s\left(s+\frac{1}{5}\right)\left(s+\frac{1}{2}\right)}$$

$$=\frac{\left(\frac{1}{2}-\frac{5}{6}+\frac{1}{3}\right)s^2+\left(\frac{1}{10}+\frac{1}{4}-\frac{5}{12}+\frac{1}{15}\right)s+\frac{1}{20}}{s\left(s+\frac{1}{5}\right)\left(s+\frac{1}{2}\right)}=\frac{\frac{1}{20}}{s\left(s+\frac{1}{5}\right)\left(s+\frac{1}{2}\right)}=$$

$$=\frac{\frac{1}{2}}{s(1+5s)(1+2s)}$$

Quindi, sostituendo, si ha

$$\frac{\frac{1}{2}}{s(1+5s)(1+2s)}=\frac{1}{1+2s}\frac{G_2(s)}{1+G_2(s)}\frac{1}{s}$$

Semplificando si ha

$$\frac{G_2(s)}{1+G_2(s)}=\frac{\frac{1}{2}}{1+5s}$$

$$G_2(s)\left(1-\frac{\frac{1}{2}}{1+5s}\right)=\frac{\frac{1}{2}}{1+5s}$$

$$G_2(s)\left(\frac{\frac{1}{2}+5s}{1+5s}\right)=\frac{\frac{1}{2}}{1+5s}$$

$$G_2(s)=\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2}+5s}=\frac{1}{1+10s}$$

ESERCIZIO 6

Si consideri il sistema dinamico a tempo continuo LTI SISO con ingresso $u(t)$ ed uscita $y(t)$ descritto dalla seguente funzione di trasferimento

$$\boldsymbol{G(s) = \frac{\mu(1+s\tau)}{(1+s)(1+12s)}}$$

1. Si assuma $\mu = 7$ e $\tau = 0$ e si risponda alle seguenti domande

1.1 Il tempo di assestamento della risposta allo scalino è approssimativamente

[a] $t_a \cong 1$ [b] $t_a \cong 5$ [c] $t_a \cong 12$ [d] $t_a \cong 24$ [e] $t_a \cong 60$

[e] – Il sistema ha due poli reali distinti ed uno ha una costante di tempo $\tau_1 = 12\ s$ molto maggiore di quella del secondo polo $\tau_2 = 1\ s$ ed è quindi il polo dominante, per cui il tempo di assestamento è circa 5 volte il valore della costante di tempo del polo dominante, ovvero $t_a \cong 60\ s$.

1.2 Il valore di regime dell'uscita in risposta allo scalino unitario è

[a] $\bar{y} = 0$ [b] $\bar{y} = 1$ [c] $\bar{y} = 7$ [d] $\bar{y} = 12$ [e] $\bar{y} = \infty$

[c] – Il valore di regime della risposta ad uno scalino di ampiezza $\bar{u}$ di un sistema asintoticamente stabile è $\bar{y} = \mu\bar{u}$ dove μ è il guadagno della funzione di trasferimento. Quindi la risposta allo scalino unitario va a regime al valore del guadagno medesimo, cioè $\bar{y} = 7$.

1.3 L'ampiezza della massima sovraelongazione percentuale nella risposta allo scalino è

[a] $\Delta\% = 0\%$ [b] $\Delta\% = 7\%$ [c] $\Delta\% = 12\%$ [d] $\Delta\% = 100\%$ [e] $\Delta\% = 125\%$

[a] – Il sistema ha due poli reali e nessuno zero per cui la risposta allo scalino non ha alcuna sovraelongazione

2. Si assuma ora $\mu = -7$ e $\tau = 0$ e si risponda alle seguenti domande.

Rispetto al caso considerato al punto 1:

2.1 Il valore di regime della risposta allo scalino unitario

[a] diminuisce [b] aumenta [c] rimane invariato

[a] – La risposta allo scalino va a regime al valore $\bar{y} = -7$ che è minore del valore del caso precedente.

2.2 Il valore iniziale della risposta allo scalino

[a] diminuisce [b] aumenta [c] rimane invariato

[c] – Il valore iniziale della risposta allo scalino non cambia. Infatti esso dipende solo dal grado relativo ed in particolare esso è sempre nullo per valori strettamente positivi del grado relativo, come in questo caso (grado relativo $r = 2$). Questo è facilmente verificabile applicando il teorema del valore iniziale ad un sistema con generica funzione di trasferimento $G(s)$. Infatti la risposta allo scalino è $Y(s) = G(s)\frac{1}{s}$ e quindi

$$y(0) = \lim_{s\to\infty} sY(s) = \lim_{s\to\infty} sG(s)\frac{1}{s} = \lim_{s\to\infty} G(s)$$

Siccome $G(s)$ è un rapporto di polinomi, tale limite è nullo se il grado del denominatore è strettamente maggiore al grado del numeratore (grado relativo strettamente positivo) ed è diverso da zero se il grado di denominatore e numeratore è uguale (grado relativo nullo).

2.3 Il tempo di assestamento della risposta allo scalino

[a] diminuisce [b] aumenta [c] rimane invariato

[c] – Il tempo di assestamento della risposta allo scalino dipende sempre e solo dalla posizione dei poli che non sono stati modificati.

3. Si assuma infine $\mu = 2$ e $\tau = -2$ e si risponda alle seguenti domande.

Rispetto al caso considerato al punto 1:

3.1. La presenza dello zero provoca

[a] una cancellazione nel semipiano sinistro

[b] una cancellazione nel semipiano destro

[c] nessuna cancellazione

[d] la perdita della stabilità asintotica

[c] – La funzione di trasferimento risulta

$$G(s) = \frac{2(1-2s)}{(1+s)(1+12s)}$$

Non ci sono cancellazioni ed inoltre la presenza di uno zero non altera la proprietà di asintotica stabilità.

3.2. La risposta allo scalino presenta

[a] una sottoelongazione

[b] una sovraelongazione

[c] una oscillazione smorzata

[d] una oscillazione divergente

[e] una oscillazione periodica

[a] – La risposta allo scalino di un sistema asintoticamente stabile con uno zero positivo presenta sempre una sottoelongazione.

3.3. Il valore di regime della risposta allo scalino unitario

[a] diminuisce [b] aumenta [c] rimane invariato

[a] – La risposta allo scalino va a regime al valore $\bar{y} = 2$ che è minore del valore del caso precedente.

3.4 il valore iniziale della risposta allo scalino

[a] diminuisce [b] aumenta [c] rimane invariato

[c] – Il valore iniziale della risposta allo scalino non cambia. Infatti esso dipende solo dal grado relativo ed in particolare esso è sempre nullo per valori strettamente positivi del grado relativo, come in questo caso (grado relativo $r = 1$).

3.5. Il tempo di assestamento della risposta allo scalino

[a] diminuisce [b] aumenta [c] rimane invariato

[c] – Il tempo di assestamento della risposta allo scalino dipende sempre e solo dalla posizione dei poli che non sono stati modificati.