SISTEMI DI CONTROLLO

Angelo Bisceglia

DEFINIZIONI

Processo: L’insieme delle trasformazioni chimico e/o fisiche che avvengono in un sistema attraverso cambiamenti continui e graduali che richiedono scambi di energia, di materiali e di informazioni.

Impianto: L’insieme dei componenti in cui ha sede il processo.

Sistema di controllo: Apparato che consente di variare o di mantenere costante la grandezza o le grandezze di uscita in relazione ad una evoluzione temporale prefissata.

Classificazione dei sistemi di controllo

Una classificazione dei sistemi di controllo è:

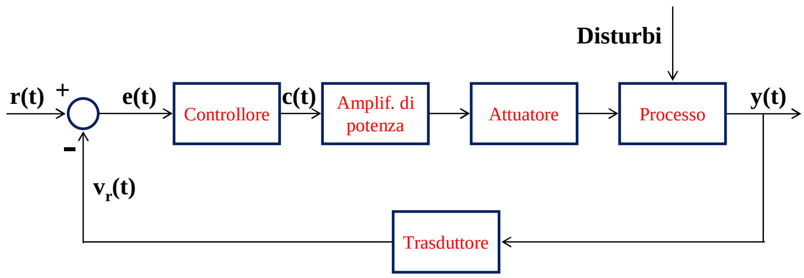
- Sistemi ad anello aperto
- Sistemi ON-OFF
- Sistemi ad anello chiuso (o con feedback)
- Sistemi di previsione (o di controllo feed-forward)
- Sistemi programmati
- Sistemi a microprocessore

SISTEMI DI CONTROLLO A CATENA APERTA

Il segnale di riferimento è generalmente predeterminato mediante un congegno di controllo tarato all'origine.

Un sistema a catena aperta è molto sensibile alle variazioni del carico, alle variazioni dei parametri del processo ed ai disturbi additivi.

SISTEMI DI CONTROLLO A CATENA CHIUSA

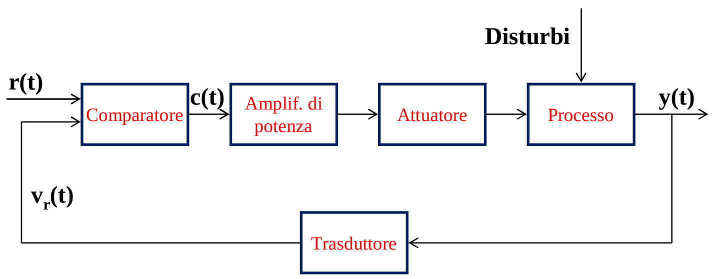


Blocco di retroazione: costituito da trasduttore e circuiti di condizionamento; genera un segnale proporzionato al valore istantaneo della grandezza controllata.

Nodo sommatore (o di confronto): generalmente un Amplif. differenziale; genera il confronto (la differenza) tra il valore attuale della grandezza controllata e quello della grandezza di riferimento.

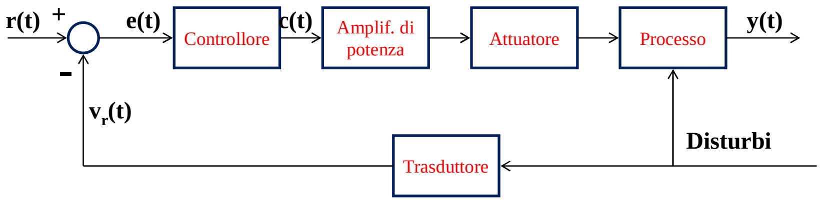
Controllore: circuito elettronico che genera un segnale che deve ridurre gradualmente lo scostamento del valore della grandezza controllata da quello prefissato.

SISTEMI DI CONTROLLO ON-OFF



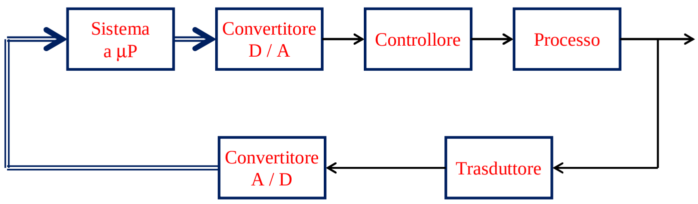
Il nodo sommatore ed il controllore sono costituiti da un circuito comparatore e comandano un amplificatore di potenza in configurazione ON-OFF.

SISTEMI DI CONTROLLO FEED-FORWARD

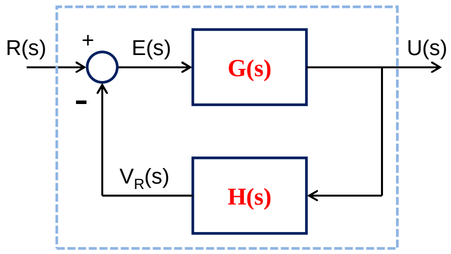


Sono misurati i disturbi ed il controllo agisce in modo da prevenire gli effetti della loro azione.

SISTEMI DI CONTROLLO A MICROPROCESSORE



FUNZIONE DI TRASFERIMENTO AD ANELLO CHIUSO



$$W(s) = \frac{U(s)}{R(s)}$$

$$U(s) = G(s)\,E(s)$$

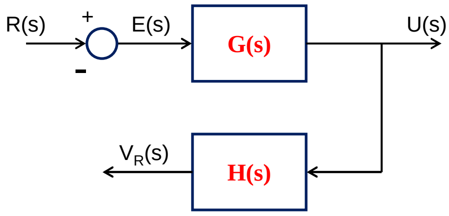
$$U(s) = G(s)\,[R(s) - H(s)\,U(s)]$$

$$U(s) + G(s)\,H(s)\,U(s) = G(s)\,R(s)$$

$$U(s)\,[1 + G(s)\,H(s)] = G(s)\,R(s)$$

$$\frac{U(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)\,H(s)} = W(s)$$

Aprendo l'anello di retroazione si ottiene:



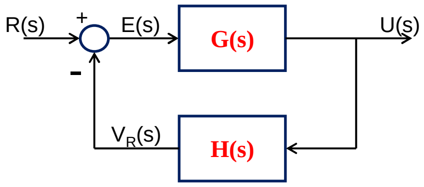
$$V_R(s) = R(s)\,G(s)\,H(s)$$

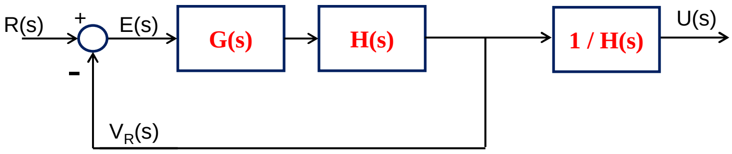
La f.d.t. ad anello aperto :

$$\frac{V_R(s)}{R(s)} = G(s)\,H(s)$$

La f.d.t. ad anello aperto è fondamentale nell'analisi e nella progettazione dei sistemi di controllo ad anello chiuso.

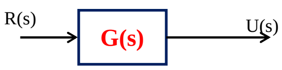
In molti casi conviene modellare un sistema retroazionato nel modo seguente:

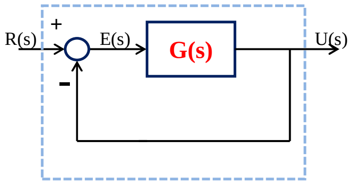




RISPOSTA AL GRADINO NEL DOMINIO DEL TEMPO

SISTEMI DEL 1° ORDINE





$$G(s)=\frac{k}{1+\tau s}$$

$$W(s)=\frac{G(s)}{1+1\,G(s)}=\frac{\frac{k}{1+\tau s}}{1+\frac{k}{1+\tau s}}$$

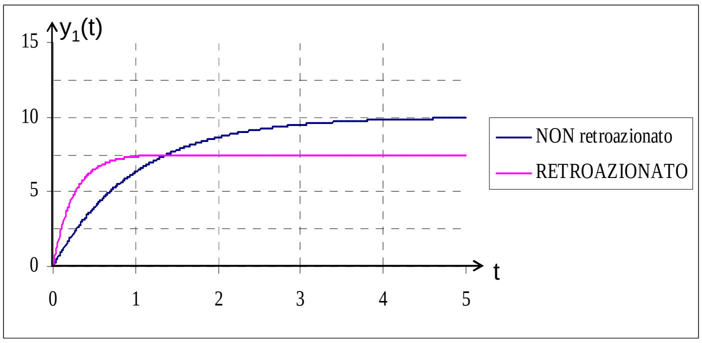
$$Y_1(s)=\frac{R}{s}\,\frac{k}{1+\tau s}$$

$$Y_1(s)=\frac{R}{s}\,\frac{\frac{k}{1+\tau s}}{1+\frac{k}{1+\tau s}}$$

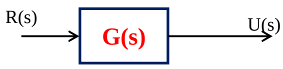
$$y_1(t)=R\left(1-e^{-t/\tau}\right)$$

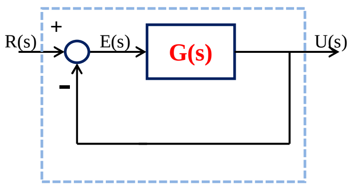
$$y_1(t)=R\,\frac{k}{k+1}\left(1-e^{\frac{-t/\tau}{k+1}}\right)$$

Un sistema retroazionato si porta a regime in un tempo minore rispetto a quello impiegato dal medesimo sistema non retroazionato.
L'aumento della velocità di risposta è controbilanciato da una diminuzione dell'ampiezza del segnale di uscita.



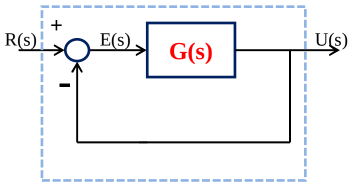
RISPOSTA AL GRADINO NEL DOMINIO DEL TEMPO
SISTEMI DEL 2° ORDINE





$$G(s) = \frac{k\,\omega_n^2}{s^2 + 2\,\delta\,\omega_n\,s + \omega_n^2}$$

$$W(s) = \frac{G(s)}{1 + 1\,G(s)} = \frac{\dfrac{k\,\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2}}{1 + \dfrac{k\,\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2}} = \frac{k\,\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 + k\,\omega_n^2}$$



$$W(s) = \frac{k\,\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 + k\,\omega_n^2}$$

$$\omega_{n\ \text{retroaz.}}^{\ 2} = \omega_n^{\ 2}\,(1+k) \;\Rightarrow\; \omega_{n\ \text{retroaz.}} = \omega_n\,\sqrt{1+k}$$

$$2\,\delta_{\text{retroaz.}}\,\omega_{n\ \text{retroaz.}} = 2\,\delta\,\omega_n \;\Rightarrow\; \delta_{\text{retroaz.}} = \frac{\delta\,\omega_n}{\omega_n\sqrt{1+k}} = \frac{\delta}{\sqrt{1+k}}$$

Sistema retroazionato valore a regime:

$$y_1(\infty) = \lim_{s\to 0}\ s\,\frac{R}{s}\,W(s) = \lim_{s\to 0} R\,\frac{k\,\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 + k\,\omega_n^2} = R\,\frac{k\,\omega_n^2}{\omega_n^2 + k\,\omega_n^2} = R\,\frac{k}{1+k}$$

Sistema non retroazionato valore a regime

$$y_1(\infty) = \lim_{s\to 0} s\,\frac{R}{s}\,G(s) = \lim_{s\to 0} R\,\frac{k\,\omega_n^2}{s^2 + 2\,\delta\,\omega_n\,s + \omega_n^2} = R\,k$$

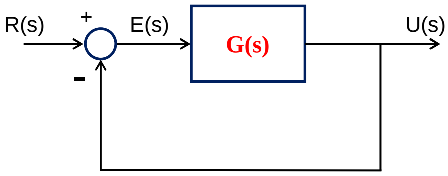
COMPORTAMENTO A REGIME

Per valutare un sistema di controllo bisogna studiare anche il suo comportamento a regime.

Le specifiche della risposta a regime sono:

❑ errore a regime **ε** nella risposta (ai segnali tipici)

❑ insensibilità ai disturbi



Si definisce **errore a regime** (dal teorema del valor finale)

$$\varepsilon = \lim_{s \to 0} s\, E(s) = \lim_{s \to 0} s \frac{1}{1 + G(s)} R(s)$$

Il sistema si dice:

• di tipo 0: G(s) non ha poli nell'origine

• di tipo 1: G(s) ha un polo semplice nell'origine

• di tipo 2: G(s) ha un polo doppio nell'origine

Nell'ipotesi che G(s) è di tipo 0, si definisce **guadagno statico**:

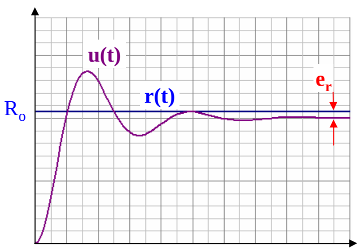
$$k_{st} = \lim_{s\to 0} G(s)$$

Nell'ipotesi che G(s) è di tipo 1, si definisce **costante di velocità**:

$$k_v = \lim_{s\to 0} s\,G(s)$$

Nell'ipotesi che G(s) è di tipo 2, si definisce **costante di accelerazione**:

$$k_a = \lim_{s\to 0} s^2\,G(s)$$



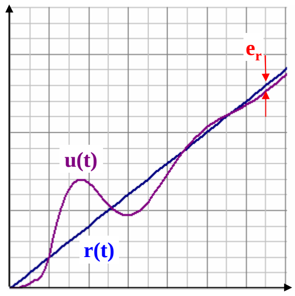
Errore a regime nella risposta al gradino

$$r(t) = R_0 \quad \text{per } t > 0 \quad \leftrightarrow \quad R(s) = R_0 \frac{1}{s}$$

$$\varepsilon = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+G(s)} R(s) = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+G(s)} \frac{R_0}{s} = \frac{1}{1+\lim_{s\to 0} G(s)} R_0$$

Per cui si ha:

- sistema di tipo 0: ε = costante (guadagno statico k_{st})
- sistema di tipo 1: $\varepsilon = 0$
- sistema di tipo 2: $\varepsilon = 0$



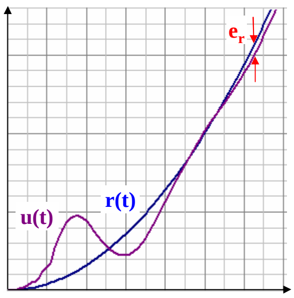
Errore a regime nella risposta alla rampa

$$r(t) = R_0 t \quad \text{per } t > 0 \quad \leftrightarrow \quad R(s) = R_0 \frac{1}{s^2}$$

$$\varepsilon = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+G(s)} R(s) = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+G(s)} \frac{R_0}{s^2} = \frac{1}{\lim_{s\to 0} s\, G(s)} R_0$$

Per cui si ha:

- sistema di tipo 0: $\varepsilon \to \infty$
- sistema di tipo 1: ε = costante (costante di velocità k_v)
- sistema di tipo 2: $\varepsilon = 0$



Errore a regime nella risposta alla parabola

$$r(t) = \frac{1}{2} R_0 t^2 \quad \text{per } t > 0 \quad \leftrightarrow \quad R(s) = R_0 \frac{1}{s^3}$$

$$\varepsilon = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+G(s)} R(s) = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+G(s)} \frac{R_0}{s^3} = \frac{1}{\lim_{s\to 0} s^2\, G(s)} R_0$$

Per cui si ha:

- sistema di tipo 0: $\varepsilon \to \infty$
- sistema di tipo 1: $\varepsilon \to \infty$
- sistema di tipo 2: ε = costante (costante di accellerazione k_a)

Risulta così che il comportamento a regime è tanto migliore quanto più è elevato il tipo del sistema.

Un sistema di tipo elevato però presenta notevoli problemi per la stabilità.

DISTURBI

I disturbi possono essere:

- ❑ Disturbi additivi (esterni)
- ❑ Disturbi parametrici

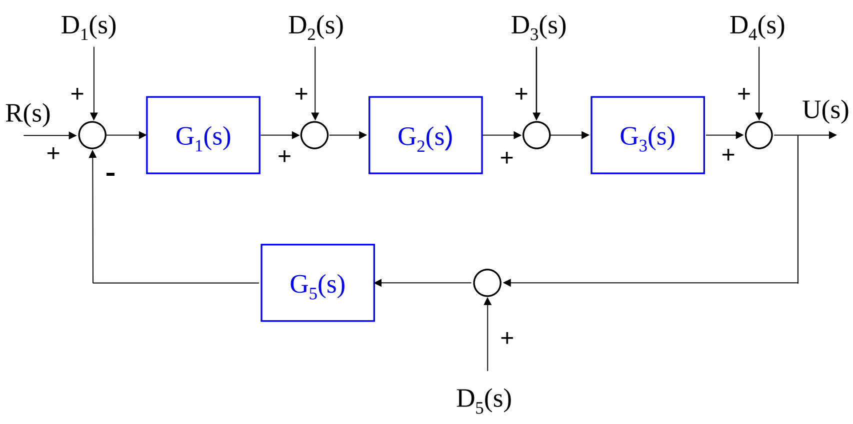
DISTURBI PARAMETRICI

I disturbi parametrici sono provocati da variazioni dei parametri del sistema.

Si definisce **sensibilità** di una funzione G(s) rispetto al parametro p il rapporto tra la variazione percentuale della funzione e la variazione percentuale del parametro:

$$S_p^{G(s)} = \frac{\dfrac{\Delta G(s)}{G(s)}}{\dfrac{\Delta p}{p}} = \frac{\Delta G(s)}{\Delta p} \frac{p}{G(s)}$$

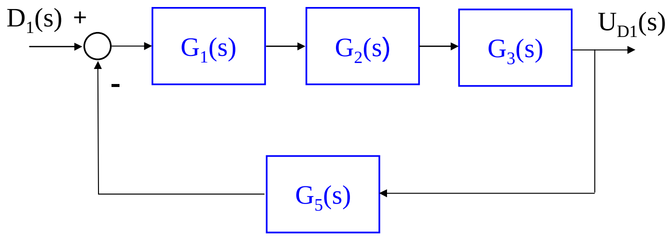
DISTURBI ADDITTIVI



Un buon sistema di controllo deve ridurre il più possibile i disturbi esterni che possono introdursi in qualunque punto della catena.

Per studiare l'effetto di un disturbo si applica il principio di sovrapposizione degli effetti:
es. per valutare l'effetto di $D_1(s)$ si annullano gli effetti dell'ingresso e degli altri disturbi [$R(s)=0$; $D_2(s)=D_3(s)=D_4(s)=D_5(s)=0$]

$$D_1(s) = \frac{k_{d1}}{s}$$



In effetti si può così dimostrare che:

Il disturbo all'inizio del ramo diretto può essere trasmesso integralmente all'uscita: è necessario che i primi stadi siano il più possibili esenti da rumore.

È importante che il trasduttore ed i relativi circuiti di condizionamento abbiano una elevata insensibilità ai disturbi perché la retroazione non attenua l'effetto dei disturbi.