STABILITA' DI SISTEMI LTI

(1) LINEARITA'

(2) TEMPO INVARIANZA

Se $y(t)$ è uscita con input $u(t)$, allora $y(t-\tau)$ è uscita di $IN = u(t-\tau)$

CONCETTO DI STABILITA'

- Un sys LTI si dice Asintoticamente Stabile $\Leftrightarrow$ Tutti i poli della sua T.F. sono a parte reale < 0.

  ↑ Strettamente

- È STABILE se la T.F. ha poli $Re\{\} < 0$

  $Re\{\} = 0$ con molteplicità semplice

ES

↳ 1 polo in origine $\rightarrow G(s) = \frac{1}{s}$ con $u(t) = \delta(t) \rightleftarrows U(s) = 1$

$$\Rightarrow Y(s) = G(s)\,U(s) = \frac{1}{s} \Rightarrow y(t) = 1\!\!1(t)$$

↑ gradino

- È INSTABILE quando non è nessuno dei prec

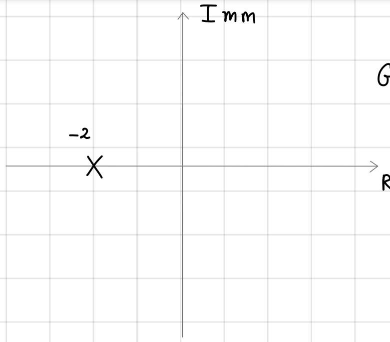
RAMPA $\rightarrow \infty$

$$G(s) = \frac{1}{s^2} \Rightarrow u(t) = \delta(t) \rightleftarrows U(s) = 1 \Rightarrow Y = G \cdot U = \frac{1}{s^2} \rightleftarrows y(t) = t \leftarrow \text{INSTABILE}$$

In altre parole:

- **Stabile:** in questo caso **tutti i poli** devono trovarsi nella parte sinistra del piano complesso; questa zona del piano complesso *è associata al comportamento nel tempo*, quindi avere i poli in questa regione significa avere un andamento stabile nel dominio del tempo. in questi casi la funzione raggiunge il valore finale **senza oscillazioni**.

- **Asintoticamente stabile**: in questo caso i poli devono sempre trovarsi nella parte sinistra del piano complesso, ma devono **avvicinarsi** sempre di più all'asse reale nel lungo termine; *idealmente* affinché una f.d.t. Sia asintoticamente stabile, **la parte reale dei poli deve essere zero.** In questo caso la funzione raggiunge il valore finale con un transitorio **caratterizzato da oscillazioni.**



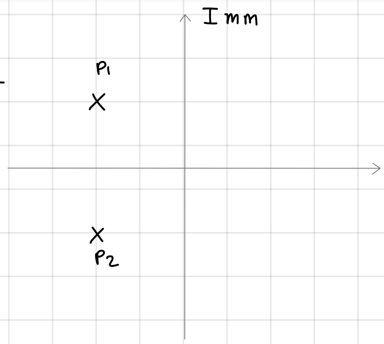
$G(s) = \frac{1}{s+2}$

↳ $P_1 = -2$

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

$\rightarrow P_{1,2} = \frac{-2 \pm \sqrt{4-4\cdot 2}}{2}$

$P_{1,2}$: $-1+2j$, $-1-2j$



RISPOSTA DI UN SYS LTI

"Steady State"

$y(t)$ = USCITA $\rightsquigarrow$ $y(t) = y_{tr}(t) + y_{ss}(t)$

↑ TRANSITORIA REGIME

Siccome i sys che ci interessano sono Asint. Stabili, $y_{tr}(t) \rightarrow \infty$

$\Rightarrow y(t) \simeq y_{ss}(t)$ ovvero $\lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{t\to\infty} y_{tr}(t) = 0$

RISPOSTA DI SYS DEL 1° ORDINE

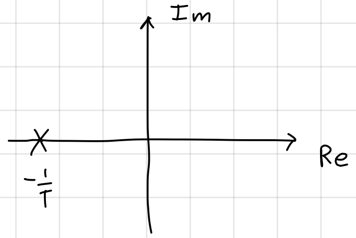
PRIMO ES:

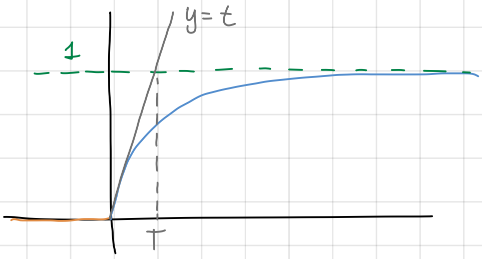
$G(s) = \frac{1}{sT+1}$ con T = costante di Tempo , $u(t) = 1\!\!1(t) \rightleftharpoons U(s) = \frac{1}{s}$

$Y(s) = G(s) \cdot U(s) = \frac{1}{sT+1} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1/T}{(s+\frac{1}{T})\, s} = \frac{\varepsilon_1}{s} + \frac{\varepsilon_2}{s+\frac{1}{T}}$

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \lim\limits_{s\to 0} s \cdot Y(s) = \lim\limits_{s\to 0} \cancel{s} \cdot \frac{1/T}{(s+1/T)\cancel{s}} = 1 \\ \varepsilon_2 = \lim\limits_{s\to -\frac{1}{T}} (s+1/T) \cdot Y(s) = \lim\limits_{s\to -\frac{1}{T}} \cancel{(s+1/T)} \cdot \frac{1/T}{\cancel{(s+1/T)}\, s} \to -1 \end{cases}$$

$\Rightarrow \quad Y(s) = \frac{1}{s} - \frac{1}{s+\frac{1}{T}} \rightleftharpoons y(t) = 1 - e^{-t/T} \qquad t \geq 0$





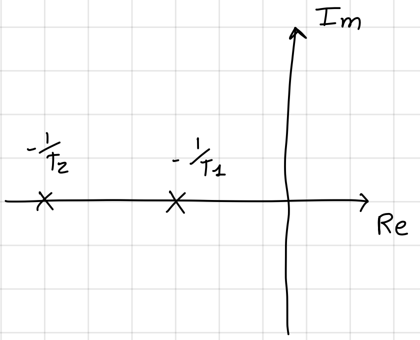
(1) $y(t) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T} e^{-t/T}\Big|_{t=0} \cdot t + \dots\right) = 1 - 1 + \frac{t}{T} + \dots \underset{t \ll T}{\cong} t$

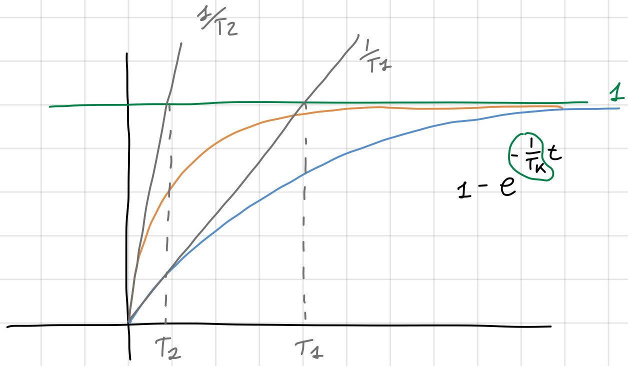
(2) Teorema V.F. L T. :

$\lim\limits_{t\to\infty} y(t) = \lim\limits_{s\to 0} s\, Y(s) = \lim\limits_{s\to 0} s \, \frac{1}{s(sT+1)} = 1$ Valore a regime

(3) $\mathcal{L}[\dot{y}] = s\,Y(s) = s \cdot \frac{1}{s(sT+1)} = \frac{1}{sT+1}$

T.V.I : $\lim\limits_{t\to 0} \frac{dy}{dt} = \lim\limits_{s\to\infty} s \cdot \frac{1}{sT+1} \to 1/T$ Derivata in origine





IMPO: Quanto più il polo è vicino allo zero, tanto più impiegherà il sys ad andare a regime.

TEMPO PER ARRIVARE A REGIME

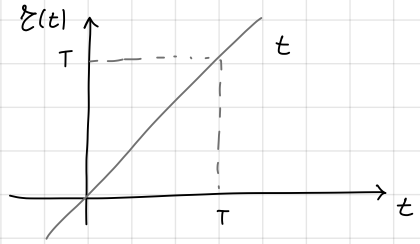
Ovviamente dipende dalla costante di Tempo → Prendiamo $\boxed{4T}$

$$e(t) = 1 - y(t) = 1 - 1 - e^{-\frac{t}{T}} = e^{-\frac{t}{T}} \qquad \text{se} \quad e(4T) = e^{-\frac{4T}{T}} \cong \boxed{0.018 < 2\% \ y_{ss}}$$

errore ⇌ Distanza da 1

* Come scegliere l'intervallo visualiz. MATLAB.

Risposta alla Rampa



$$R(s) = \mathcal{L}[t \cdot 1\!\!1(t)] \rightleftarrows R(s) = \frac{1}{s^2}$$
$$G(s) = 1/(sT+1)$$
$$Y(s) = ?$$

Il Sys è A Stabile

è instabile a seguito dell'input

$$Y = R \cdot G = \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{sT+1} = \frac{1/T}{s^2(s+\frac{1}{T})} = \frac{r_1}{s} + \frac{r_2}{s^2} + \frac{r_3}{s+1/T}$$

Pow Max

Potenza MAX

$$r_2 = \lim_{s\to 0} s \cdot Y = \lim_{s\to 0} \cancel{s} \cdot \frac{1/T}{s^{\cancel{2}}(s+\frac{1}{T})} \to 1$$

r_2

$$r_3 = \lim_{s\to -\frac{1}{T}} \cancel{(s+\tfrac{1}{T})} \cdot \frac{1/T}{s^2\cancel{(s+\frac{1}{T})}} = \frac{1/T}{(-\frac{1}{T})^2} = T$$

r_3

$$r_1 = \text{SOSTITUZIONE} \to \frac{r_1}{s} + \frac{1}{s} + \frac{T}{s+1/T} = \frac{1/T}{s^2\,(s+\frac{1}{T})} = \frac{r_1 s(s+\frac{1}{T}) + s + \frac{1}{T} + s^2 T}{s^2(s+\frac{1}{T})}$$

$$\rightsquigarrow \frac{\cancel{(r_1+T)}s^2 + \cancel{(\frac{r_1}{T}+1)}s + \frac{1}{T}}{s^2(s+\frac{1}{T})} = \frac{1/T}{s^2(s+\frac{1}{T})} \Rightarrow r_1 + T = 0 \Rightarrow r_1 = -T$$

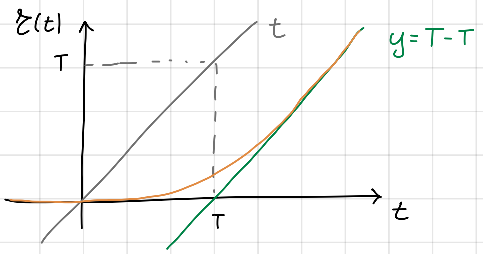
$\emptyset \quad \emptyset \quad r_1$

$$\Rightarrow Y = -\frac{T}{s} + \frac{1}{s^2} + \frac{T}{s+1/T} \rightleftarrows y(t) = -T + t + Te^{-\frac{t}{T}} \quad t \geq 0$$

Trovare l'andamento a regime e Transitorio

$$y_{ss}(t) = \lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{t\to\infty} -T + t + Te^{-\frac{t}{T}} = \lim_{t\to\infty} (t - T)$$

$\to \emptyset$



Valore iniziale se valutato in $t = \emptyset$

$$\frac{dy}{dt} = 1 - \frac{T}{T}e^{-\frac{t}{T}} = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$$

la derivata della risposta alla RAMPA è la risposta al gradino!

$\Rightarrow$ Per la linearità:

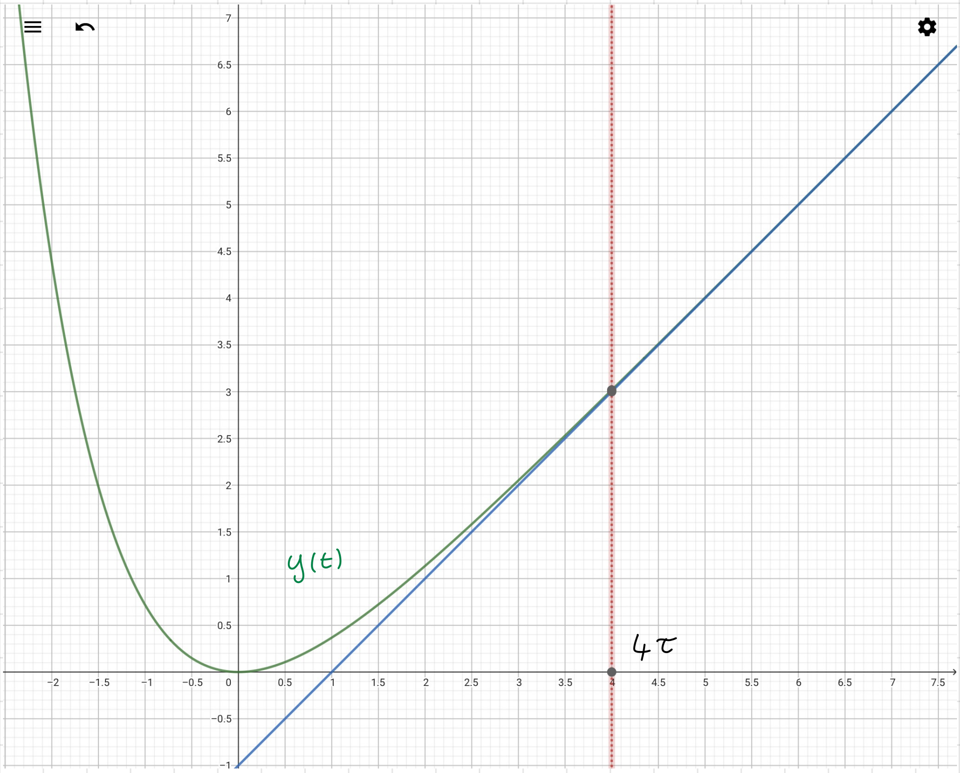
$$\boxed{\frac{d\,U(s)}{dt} \cdot G(s) = \frac{d\,Y(s)}{dt}}$$

Valore iniziale (con Teorema)

$$\lim_{s\to\infty} s \cdot \mathcal{L}\left[\frac{dy}{dt}\right] = \lim_{s\to\infty} s \cdot s \cdot Y(s) = \lim_{s\to\infty} \cancel{s^2} \cdot \frac{1/T}{\cancel{s^2}(s+\frac{1}{T})} = \emptyset$$

Errore

$$e(t) = t - y(t) = t - (-T + t + Te^{-\frac{t}{T}}) = T(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

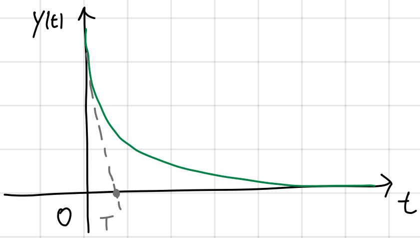


RISPOSTA IMPULSIVA

$$G(s) = \frac{1}{sT+1} = \frac{1/T}{s+\frac{1}{T}}$$

c'è 1 ma ha una dimensione!!

$$u(t) = \delta(t) \rightleftarrows R(s) = 1 \Rightarrow Y(s) = R(s)\cdot G(s) = G(s) \Rightarrow y(t) = \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}} \quad t>0$$



V.I = ...

V.F. = ...

Taylor

T.V.I.

DISCONTINUA

$$y(t) = \frac{1}{T} e^{-\frac{1}{T}t}, \quad t \geq 0$$

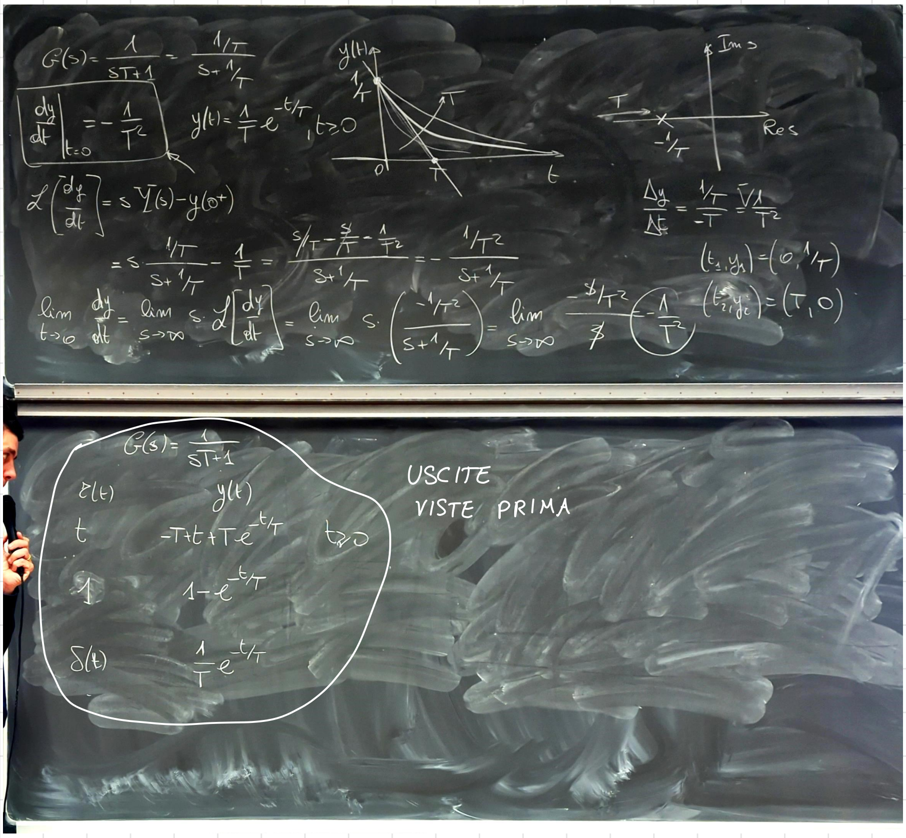
$$\left.\frac{dy}{dt}\right|_{t=0} = -\frac{1}{T^2}$$

$$\rightsquigarrow \mathcal{L}\left[\frac{dy}{dt}\right] = s\,Y(s) - y(0^+) = s\cdot\frac{1/T}{s+1/T} - \frac{1}{T} = \frac{s/T - \frac{s}{T} - \frac{1}{T^2}}{s+1/T} = -\frac{1/T^2}{s+\frac{1}{T}}$$

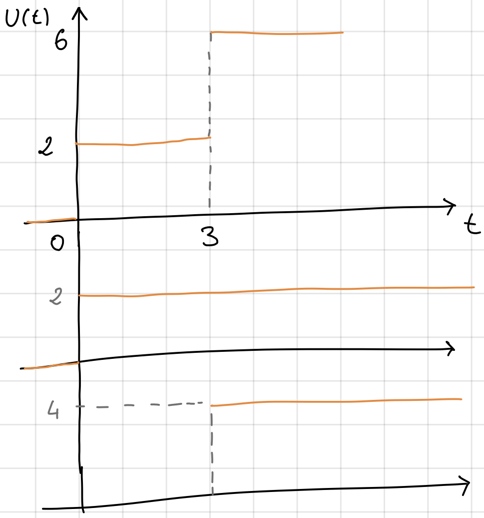
$$\rightsquigarrow \text{Teorema} \quad \lim_{t\to 0}\frac{dy}{dt} = \lim_{s\to\infty} s\cdot Y(s) = \lim_{s\to\infty} -s\cdot\frac{1/T^2}{s+\frac{1}{T^2}} \to -\frac{1}{T^2}$$

QED

FOTO


G(s) = 1/(sT+1) = (1/T)/(s+1/T)
y(t) = 1/T e^{-t/T}, t≥0
Im s
Re s
G(s) = 1/(sT+1)
USCITE
VISTE PRIMA
δ(t)

RISPOSTA DI UN SYS (1th) ad un segnale composto



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

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) \quad \text{con} \quad \begin{cases} u_1(t) = 2 \cdot 1(t) \\ u_2(t) = 4 \cdot 1(t-3) \end{cases}$$

$$Y_1(s) = G \cdot U_1 = \frac{1}{s+10} \cdot \frac{2}{s} = \frac{r_1}{s} + \frac{r_2}{s+10}$$

$$r_1 = \lim_{s \to 0} s \cdot Y_1(s) = 1/5 \quad \sim \quad r_2 = \lim_{s \to -10} s \cdot Y_1(s) = -\frac{1}{5}$$

$$\Rightarrow Y_1(s) = \frac{1}{5}\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s+10}\right) \rightleftharpoons y_1(t) = \frac{1}{5} \cdot \left(1 - e^{-10t}\right), \; t \geq 0$$

$y_1(t)$

$$\hat{u}_2(t) = 4 \cdot 1(t) = 2 \cdot \left(2 \cdot 1(t)\right) = 2\, u_1(t) \Rightarrow \hat{y}_2(t) = 2\, y_1(t) = \frac{2}{5}\left(1 - e^{-10t}\right), \; t \geq 0$$

senza ritardo

$$\Rightarrow y_2(t) = \hat{y}_2(t-3) = \frac{2}{5}\left(1 - e^{-10(t-3)}\right), \; t \geq 3$$

!!!

$y_2(t)$

$$\Rightarrow y(t) = \frac{1}{5}\left(1 - e^{-10t}\right) \cdot 1(t) + \frac{2}{5}\left(1 - e^{-10(t-3)}\right) \cdot 1(t-3)$$

Ans