

PROGRAMMA in codice SCILAB SINTESI DEL REGOLATORE

* Definizione della funzione di trasferimento del sistema:

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

```
mi=10;  
den=10*poly([-1 -0.1], 's', 'r');  
giesse=syslin('c', mi, den);
```

* Definizione funzione di trasferimento $R_S(s)$ della parte statica del regolatore:

$$R_S(s) = \frac{2}{s}$$

```
mir=2;  
denr=poly([0 1], 's', 'c');  
regstat=syslin('c', mir, denr)
```

* Definizione della funzione di trasferimento ad anello aperto $L(s)$ con $R_D(s) = 1$

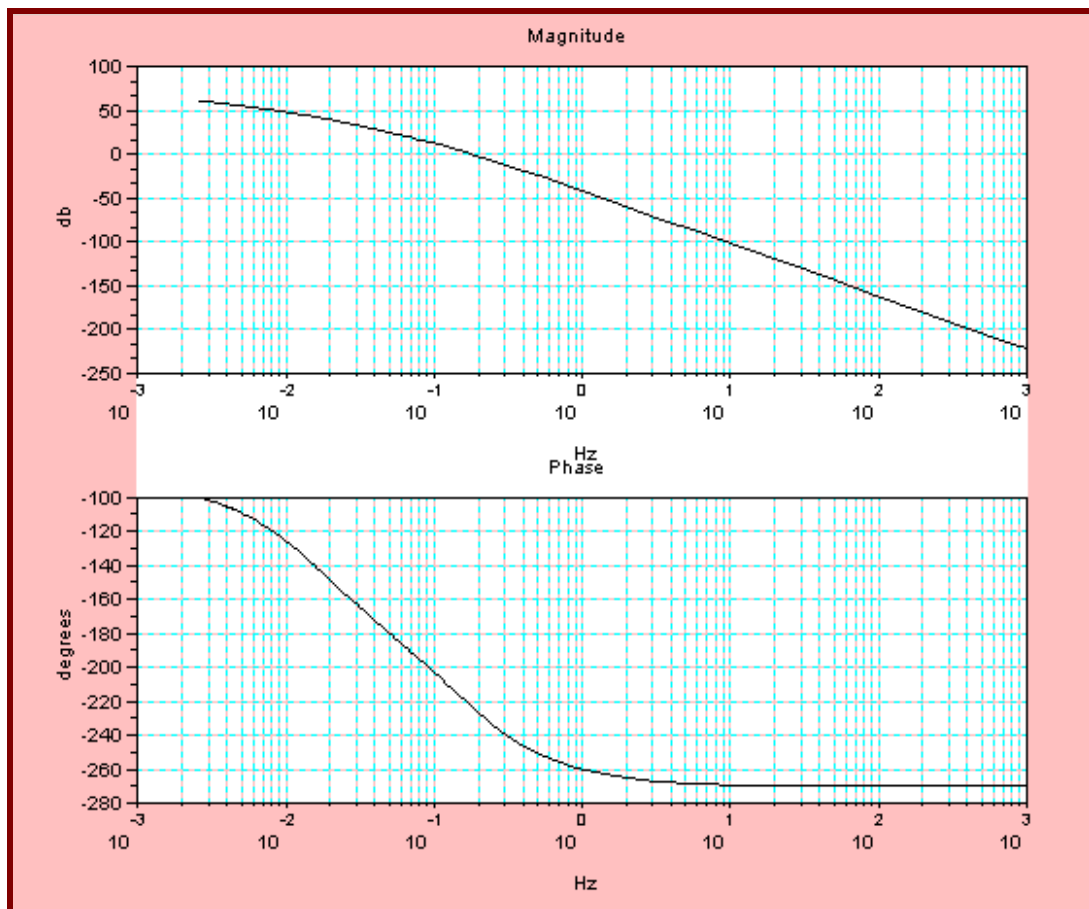
```
ellesse=regstat*giesse
```

* Tracciamento diagrammi di Bode

* della funzione di trasferimento $L(s)$ con $R_D(s) = 1$

```
bode(ellesse)
```

$$L(s) = \frac{20}{s \cdot (1+s) \cdot (1+10s)}$$



* Determinazione della fase critica Φ_C , del margine di fase Φ_M e del margine di guadagno G_M .

`[phm fr]=p_margin(ellesse)`

* si ottiene **fr = 0,1822106 Hz** $\rightarrow \omega_C = 0,1822106 \cdot 2 \cdot \pi = 1,144863 \text{ rad/sec}$
phm = 136.12808°

* **fr** è la frequenza critica f_C alla quale il diagramma di Bode del modulo della funzione di trasferimento ad anello aperto $L(s)$ taglia l'asse a 0dB (e corrisponde all'intersezione del diagramma di Nyquist con la circonferenza di raggio unitario e centro nell'origine).

* **phm** rappresenta la fase critica Φ_C , cioè la fase corrispondente alla frequenza critica f_C

* Sembra che il sistema a reazione negativa con F.d.T ad anello aperto $L(s)$ sia stabile.

* Se ciò fosse vero dovrei avere un guadagno margine maggiore di uno ovvero in dB positivo.

* Verifichiamo se quanto previsto si verifica.

`[db fr]=g_margin(ellesse)`

* si ottiene: **fr = 0,05033 Hz** $\rightarrow \omega_\pi = 0,05033 \cdot 2 \cdot \pi = 0,316 \text{ rad/sec}$
db = - 25.192746

* in questo ambito fr è la frequenza f_π , ovvero la frequenza alla quale la fase della F.d.T.

* ad anello aperto vale $\phi_L = -180^\circ$ (corrisponde alla frequenza alla quale il diagramma di

* Nyquist interseca il semiasse reale negativo.

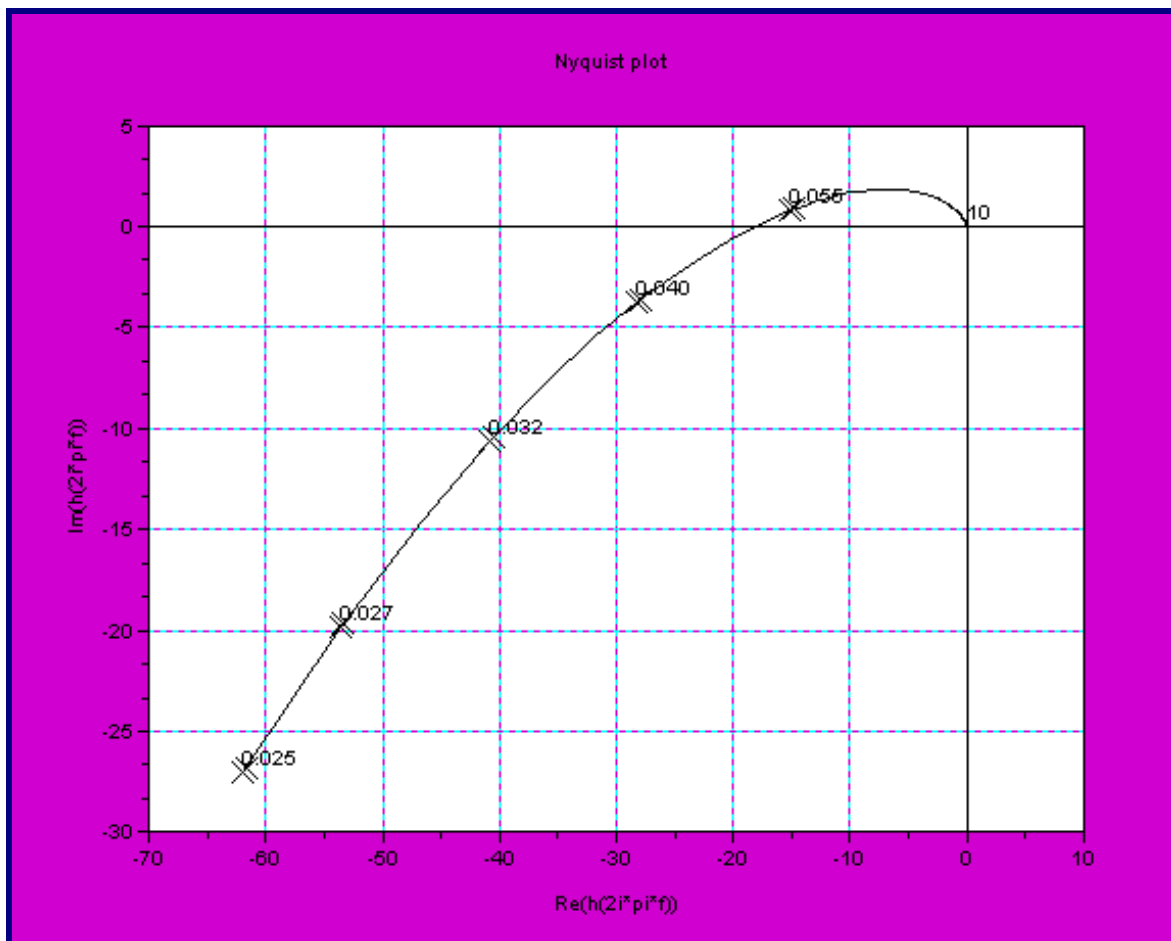
* Poiché il guadagno margine G_M , espresso in dB, è negativo significa che il diagramma di

* Nyquist interseca il semiasse reale negativo alla sinistra del punto $(-1+j0)$ il che acclara la
 * instabilità del sistema con reazione negativa.

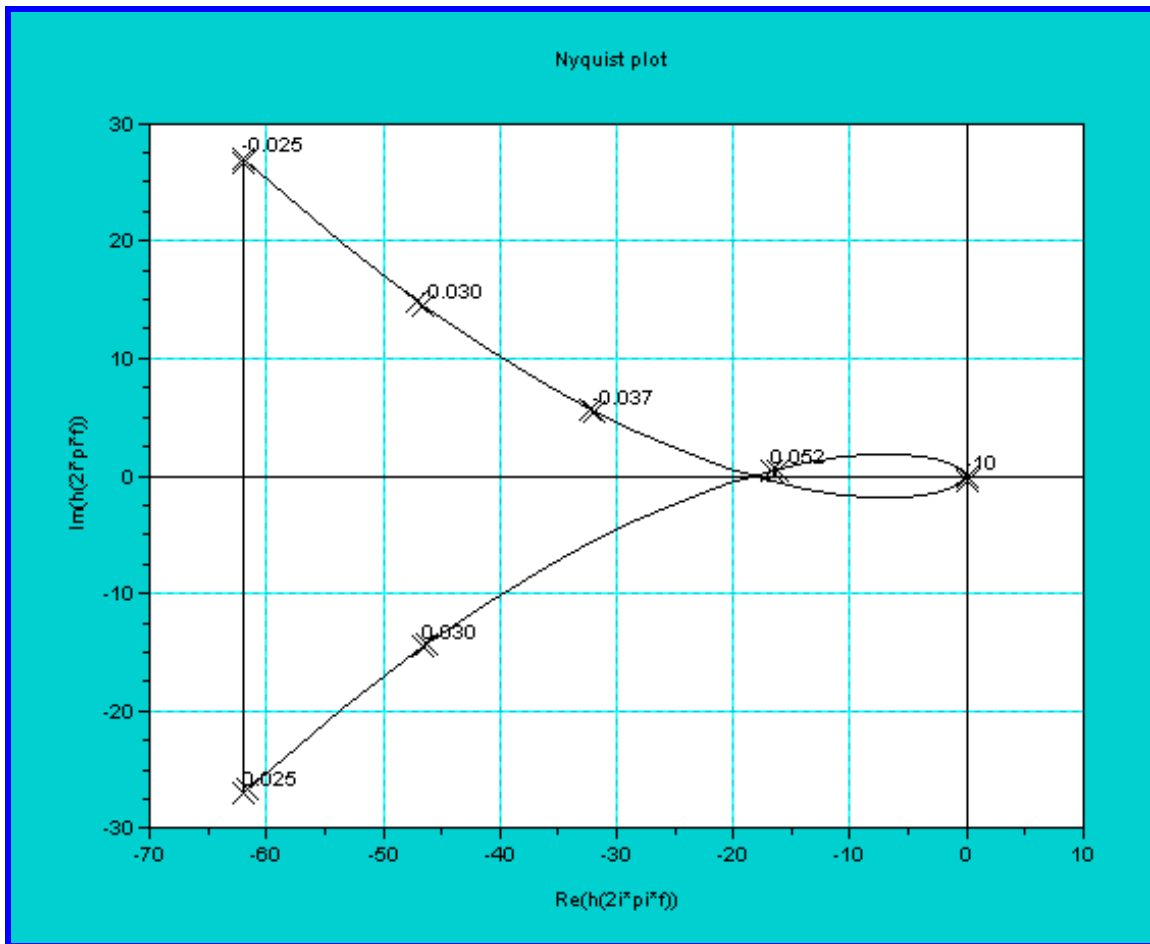
* Aiutiamoci a comprendere meglio i risultati con Nyquist (parziale)

`fp=linspace(0.025,10,4000);`

`nyquist(ellesse,fp)`



```
fn=linspace(-10,0.025,4000);
f=[fn fp]; nyquist(ellesse,f)
```



- * Primo tentativo di progetto della parte dinamica $R_D(s)$ del regolatore
- * Definizione della parte dinamica della funzione di trasferimento del Regolatore

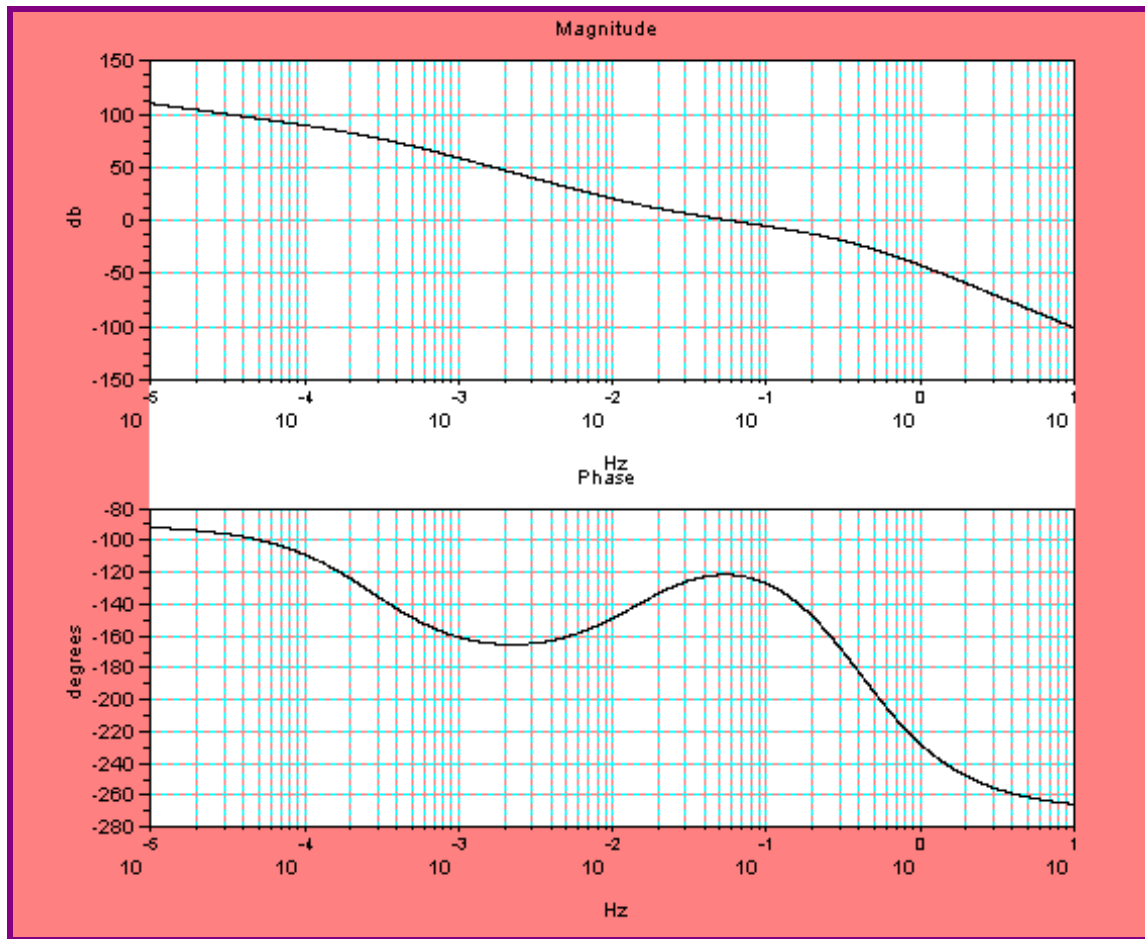
```
s=poly(0,'s')
numrd1=(1+10*s)*(1+10*s)
numrd2=(1+s)
denrd1=(1+555*s);
denrd2=(1+0.4*s)*(1+0.4*s)
regdin1=(numrd1*numrd2)/(denrd1*denrd2)
ellesse1=ellesse*regdin1
```

$$R_{D1}(s) = \frac{(1+10s)^2(1+s)}{(1+555s) \cdot (1+0.4s)^2}$$

- * Scilab, per default, traccia i diagrammi di Bode del modulo e delle fasi utilizzando un campo di frequenze esteso da 10^{-3} a 10^{+3} . La parte dinamica $R_{D1}(s)$ del regolatore introduce un **polo dominante al finito** (infatti sussiste sempre il polo nell'origine introdotto dalla parte statica $R_S(s)$ del regolatore stesso), **alla pulsazione $\omega_p = 1/555 = 0,0018 \text{ rad/sec}$** .
- * Ne consegue che per vedere adeguatamente rappresentata la **risposta in frequenza** fornita dai diagrammi di Bode del modulo e della fase della funzione di trasferimento dell'anello aperto $L_1(s)$, risulta necessario far iniziare il loro tracciamento ad una pulsazione almeno pari a 10^{-5} rad/sec . A tale obiettivo si perviene con le due istruzioni seguenti:

```
freg=logspace(-5,1,8000)    (definisce l'intervallo di frequenza in scala logaritmica)
bode(ellesse1,freg)          (traccia i diagrammi di Bode nell'intervallo freg)
```

- * nella finestra attiva di Scilab Graphic (n) sarà poi visibile il grafico di seguito riportato dal quale si evince l'ansa della fase introdotta dalla parte dinamica $R_{D1}(s)$ del regolatore.



- * Determinazione della fase critica Φ_C , del margine di fase Φ_M e del margine di guadagno G_M .

`[phm fr]=p_margin(ellesse1)`

* si ottiene: $f_r = f_C = 0,0582115 \text{ Hz} \rightarrow \omega_C = 0,0582115 \cdot 2 \cdot \pi = 0,36575 \text{ rad/sec}$
 $phm = \phi_C = -121,65598^\circ$

* pertanto, si perviene al conseguimento di una fase margine ϕ_M il cui valore è dato da:

$$\phi_M = 180^\circ - |\phi_C| = 180^\circ - 121,65598 = 58,344 < 70^\circ \text{ (fase richiesta dal progetto)}$$

`[db fr]=g_margin(ellesse1)`

* si ottiene: $f_r = f_\pi = 0,3819395 \text{ Hz} \rightarrow \omega_\pi = 0,3819395 \cdot 2 \cdot \pi = 2,3997967 \text{ rad/sec}$
 $db = 22,13377$

* si conclude che il sistema ad anello chiuso è **asintoticamente stabile** con un grado di

* stabilità espresso dal margine di fase $\phi_M = 58,34^\circ$ decisamente inferiore al margine di fase

* richiesto dalle specifiche afferenti al progetto del regolatore.

* verifichiamo, con il parziale tracciamento del diagramma di Nyquist (diagramma polare)

* la stabilità che l'attuale regolatore è in grado di fornire al sistema ad anello chiuso la cui

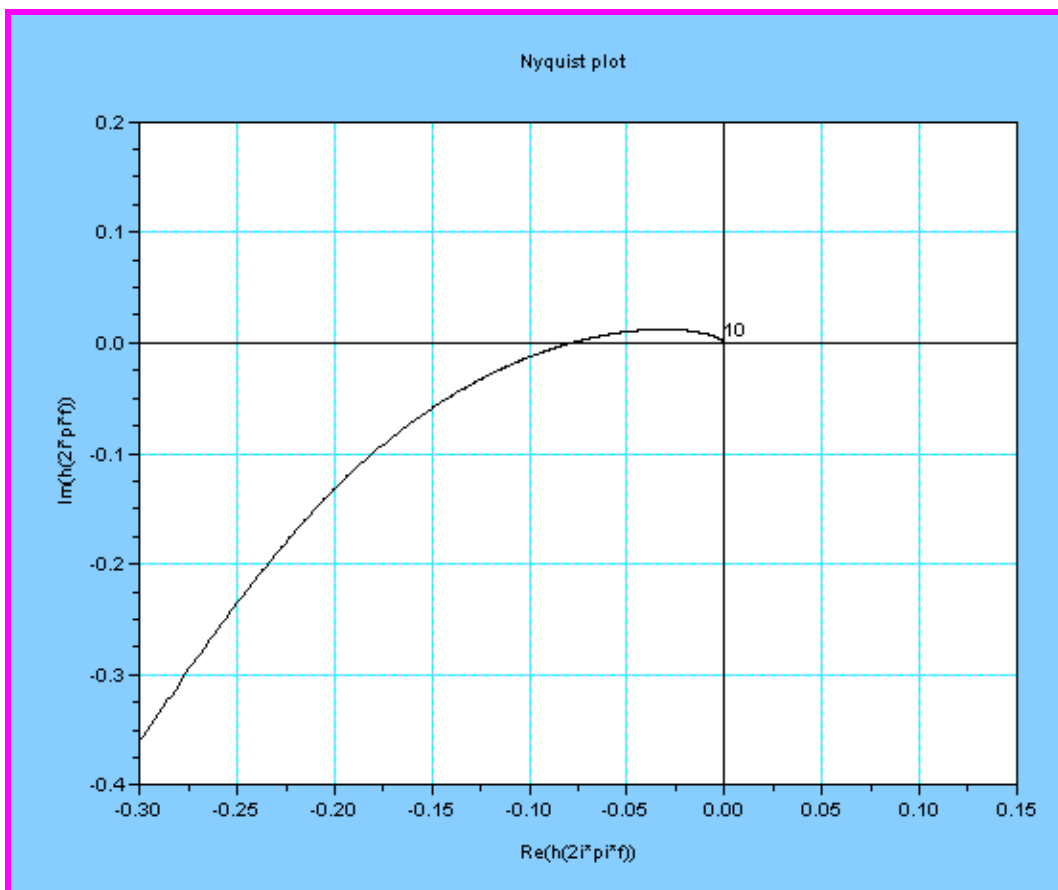
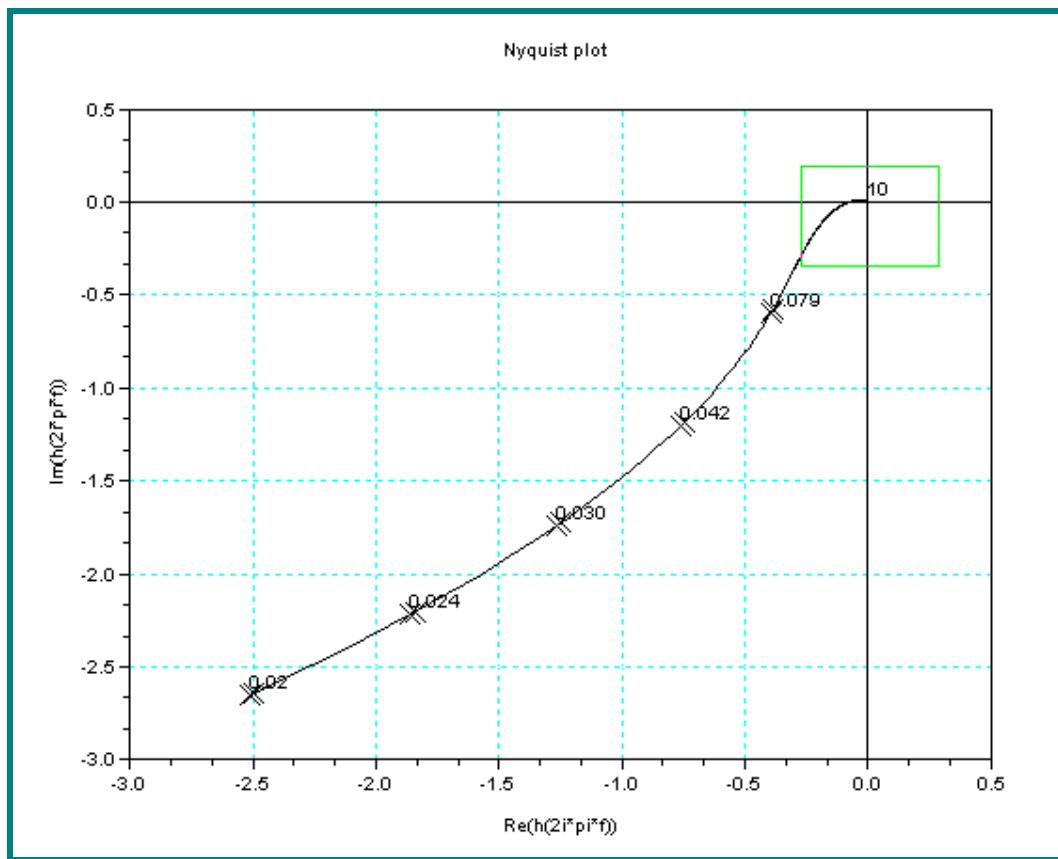
* funzione di trasferimento ad anello aperto è $L_1(s)$.

`fp=linspace(0.02,10,8000);` (intervallo di risposta in frequenza in hertz: $0.02 \leq fp \leq 10$)

`nyquist(ellesse1,fp)`

* si ottiene il diagramma di seguito mostrato del quale si è effettuato uno zoom al fine di

* osservare adeguatamente il suo andamento in prossimità del semiasse reale negativo.



- * Secondo tentativo di progetto della parte dinamica $R_D(s)$ del regolatore
- * Si riduce la pulsazione critica ω_C per cercare di aumentare il margine di fase ϕ_M .
- * Definizione della parte dinamica della funzione di trasferimento del Regolatore

`s=poly(0,'s')`

`numrd12=(1+10*s)*(1+50*s)`

`numrd22=(1+s)`

`denrd12=(1+5000*s);`

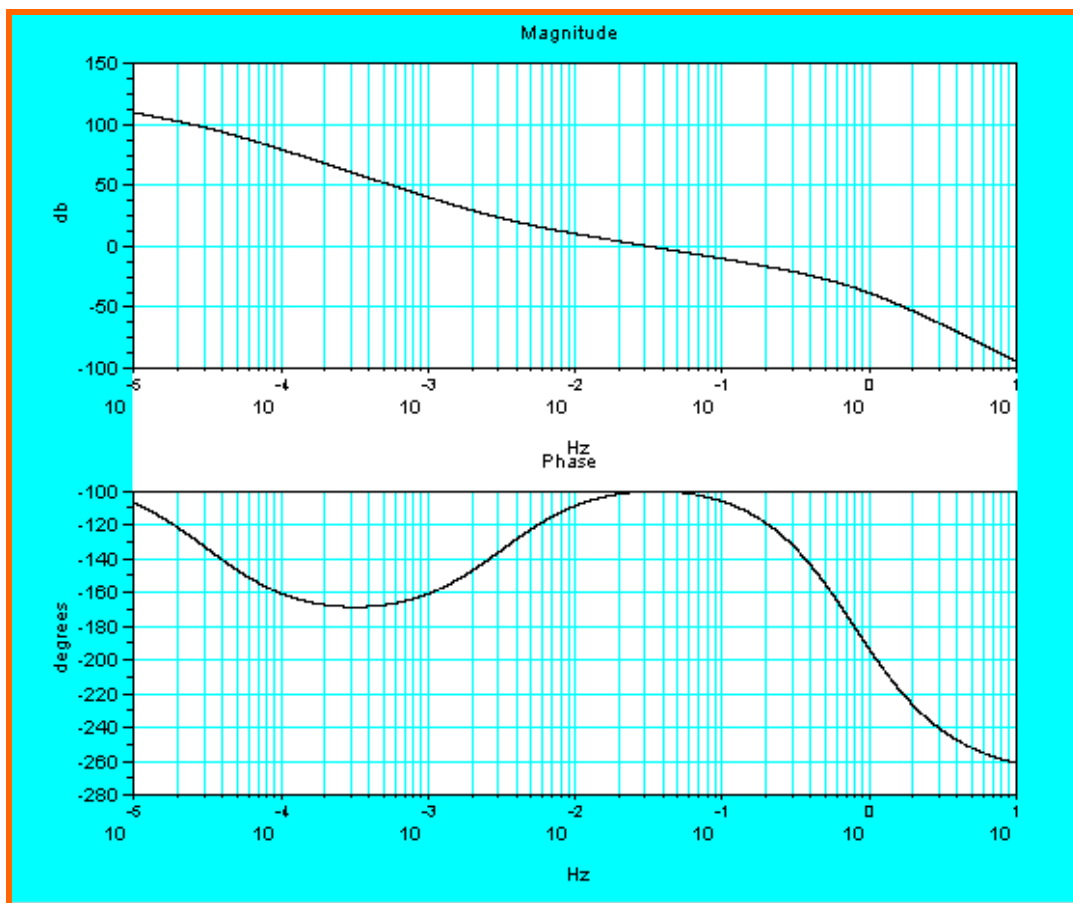
`denrd22=(1+0.2*s)*(1+0.2*s)`

`regdin2=(numrd12*numrd22)/(denrd12*denrd22)`

`ellesse2=ellesse*regdin2`

$$R_{D_2}(s) = \frac{(1 + 50s) \cdot (1 + 10s)(1 + s)}{(1 + 5000s) \cdot (1 + 0,2s)^2}$$

- * Definizione dell'intervallo di frequenza per la visualizzazione dei diagrammi di Bode
- `freg=logspace(-5,1,10000);` (definisce l'intervallo di frequenza in scala logaritmica)
- `bode(ellesse2,freg)` (traccia i diagrammi di Bode nell'intervallo freg)



- * Determinazione della fase critica Φ_C , del margine di fase Φ_M e del margine di guadagno G_M .

`[phm fr]=p_margin(ellesse2)`

* si ottiene: $f_r = f_C = 0,0319372 \text{ Hz} \rightarrow \omega_C = 0,0319372 \cdot 2 \cdot \pi = 0,2006676 \text{ rad/sec}$
 $phm = \phi_C = -100,23111^\circ$

* pertanto, si perviene al conseguimento di una fase margine ϕ_M il cui valore è dato da:

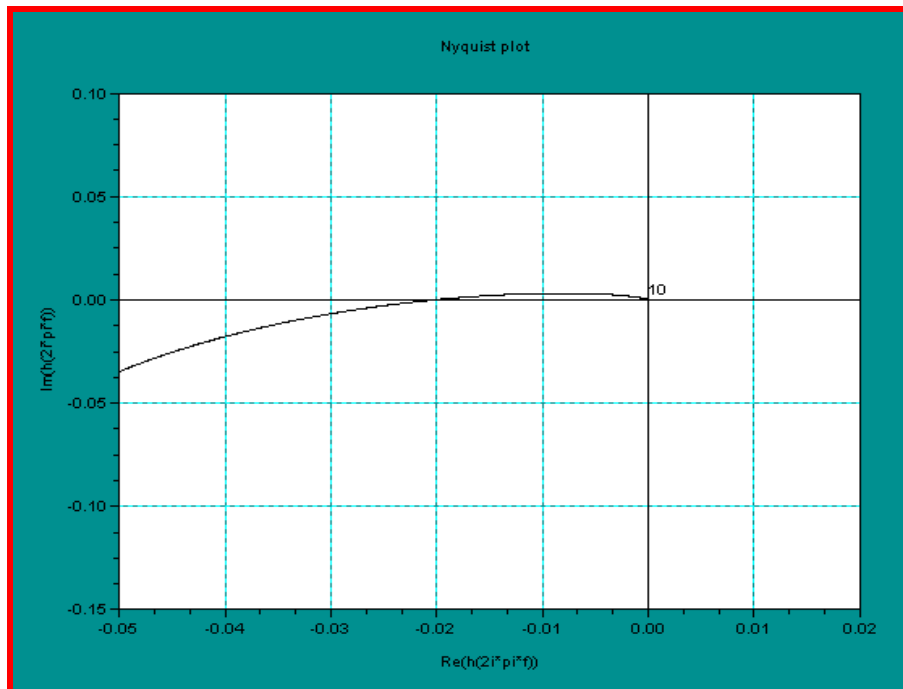
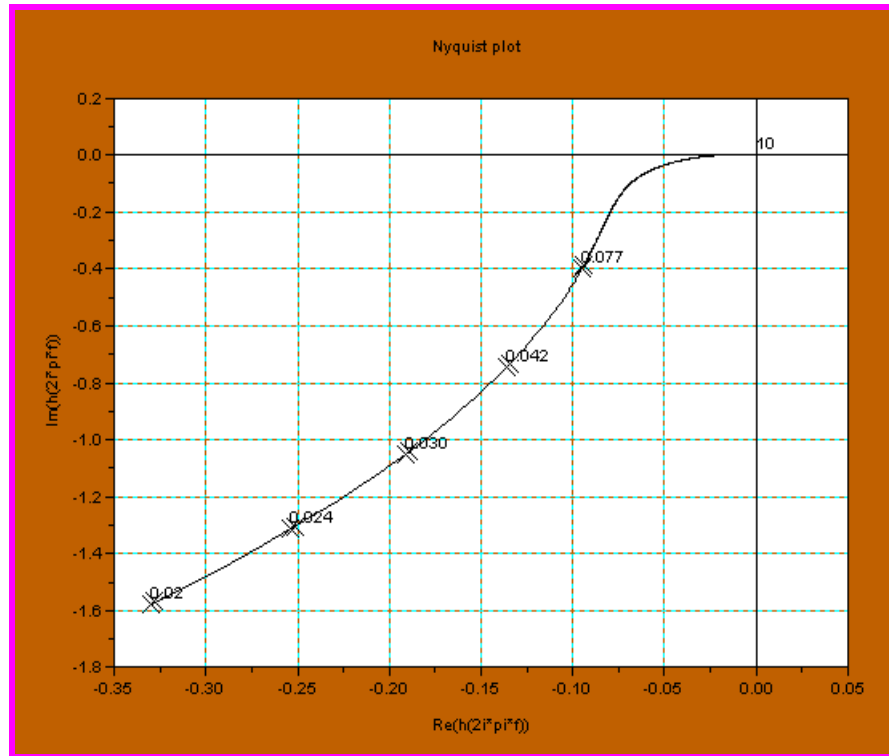
$$\phi_M = 180^\circ - |\phi_C| = 180^\circ - 100,23111 = 79,7688 > 70^\circ \text{ (fase richiesta dal progetto)}$$

`[db fr]=g_margin(ellesse2)`

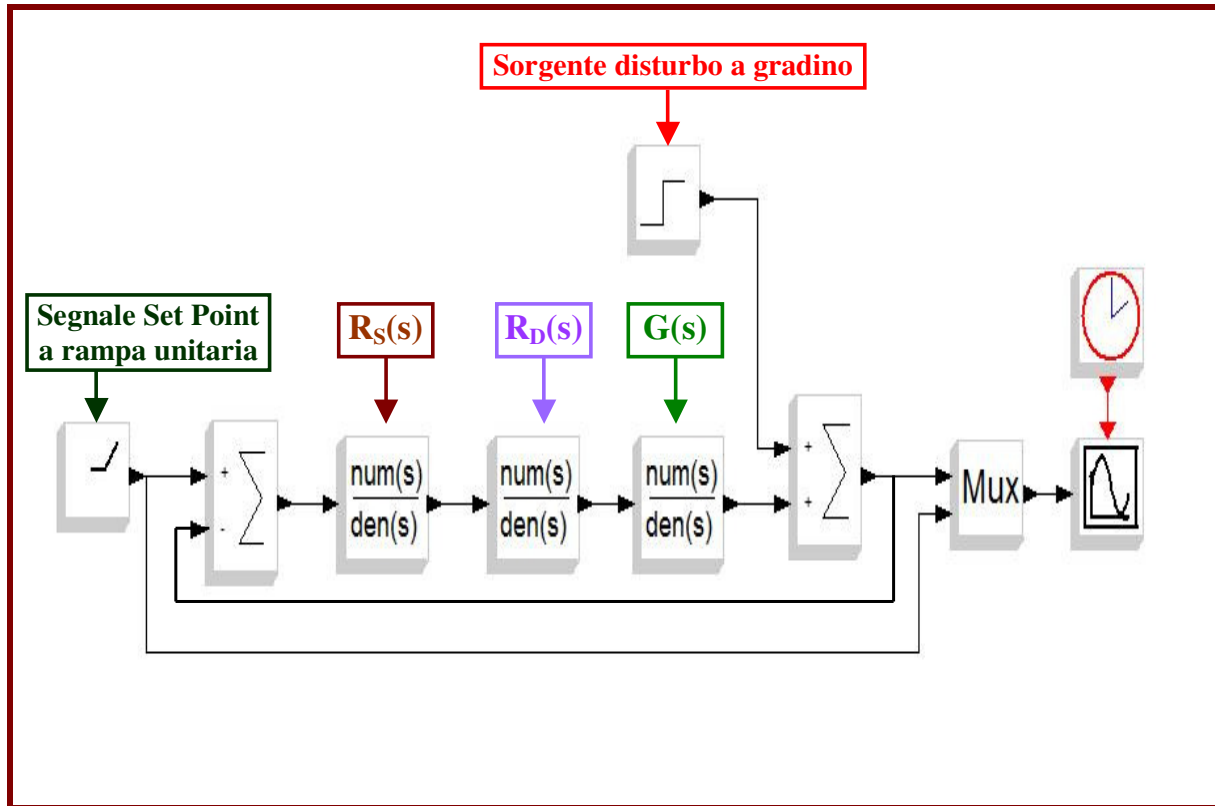
* si ottiene: $f_r = f_\pi = 0.7926172 \text{ Hz} \rightarrow \omega_\pi = 0,7926172 \cdot 2 \cdot \pi = 4,9801606 \text{ rad/sec}$
 $db = 33,910333$

- * si conclude che il sistema ad anello chiuso è **asintoticamente stabile** con un grado di
- * stabilità espresso dal margine di fase $\phi_M = 79,76889^\circ$ decisamente superiore al margine di
- * fase richiesto dalle specifiche afferenti al progetto del regolatore.
- * verifichiamo, con il parziale tracciamento del diagramma di Nyquist (diagramma polare)
- * la stabilità che l'attuale regolatore è in grado di fornire al sistema ad anello chiuso la cui
- * funzione di trasferimento ad anello aperto è $L_2(s)$.

`fp=linspace(0.02,10,8000);` (intervallo di risposta in frequenza in hertz: $0.02 \leq f_p \leq 10$)
`nyquist(ellesse2,fp)`



La correttezza dei risultati conseguiti in ambiente **SCILAB** tramite il “**progetto dinamico**” del regolatore, che si vuole ricordare ha come fine del soddisfacimento delle specifiche di stabilità e di banda passante, viene ora verificata facendo ricorso alla relativa simulazione in ambiente **SCICOS**.



(Simulazione in ambiente SCICOS realizzata dallo studente RICCARDO CIPOLLESCHI)

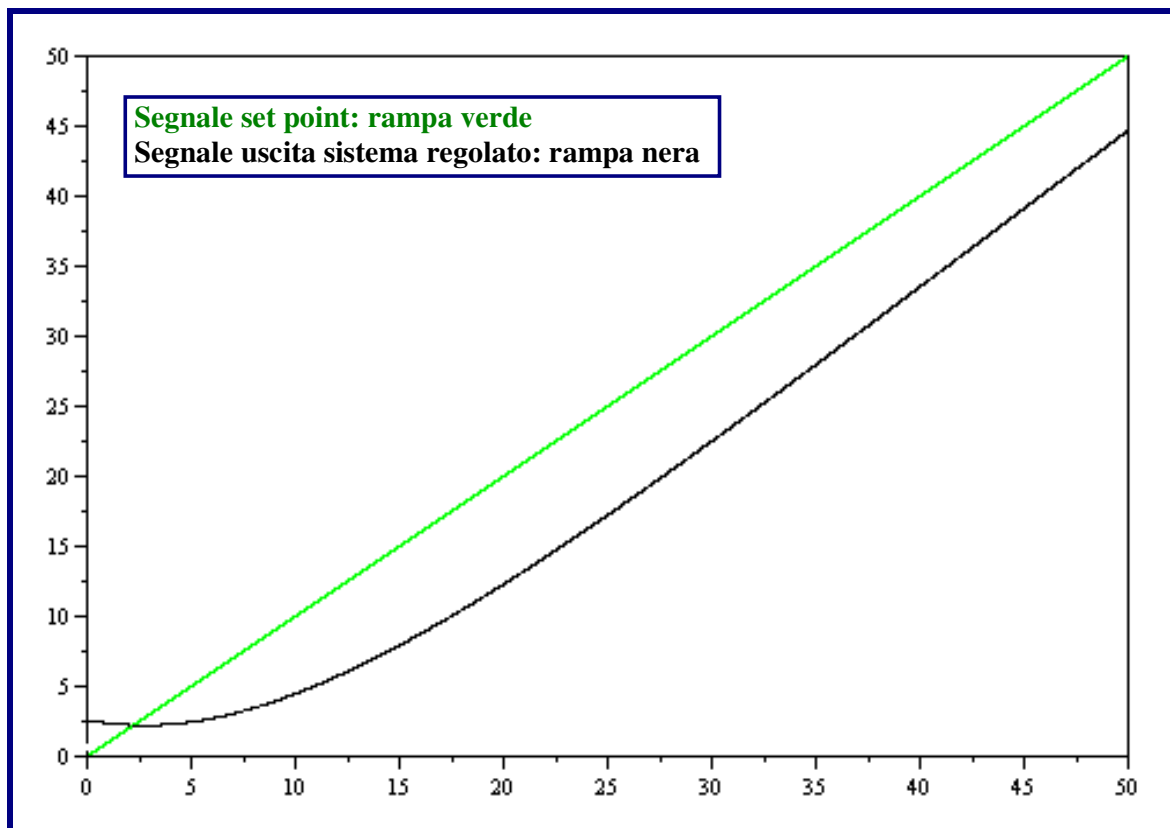
Prima d’aprire la finestra di lavoro relativa alla simulazione in **ambiente SCICOS** è necessario digitare in **ambiente SCILAB** l’istruzione che definisce la **variabile complessa s**; si procede come segue:

```
--> s=poly(0,'s');
--> scicos
```

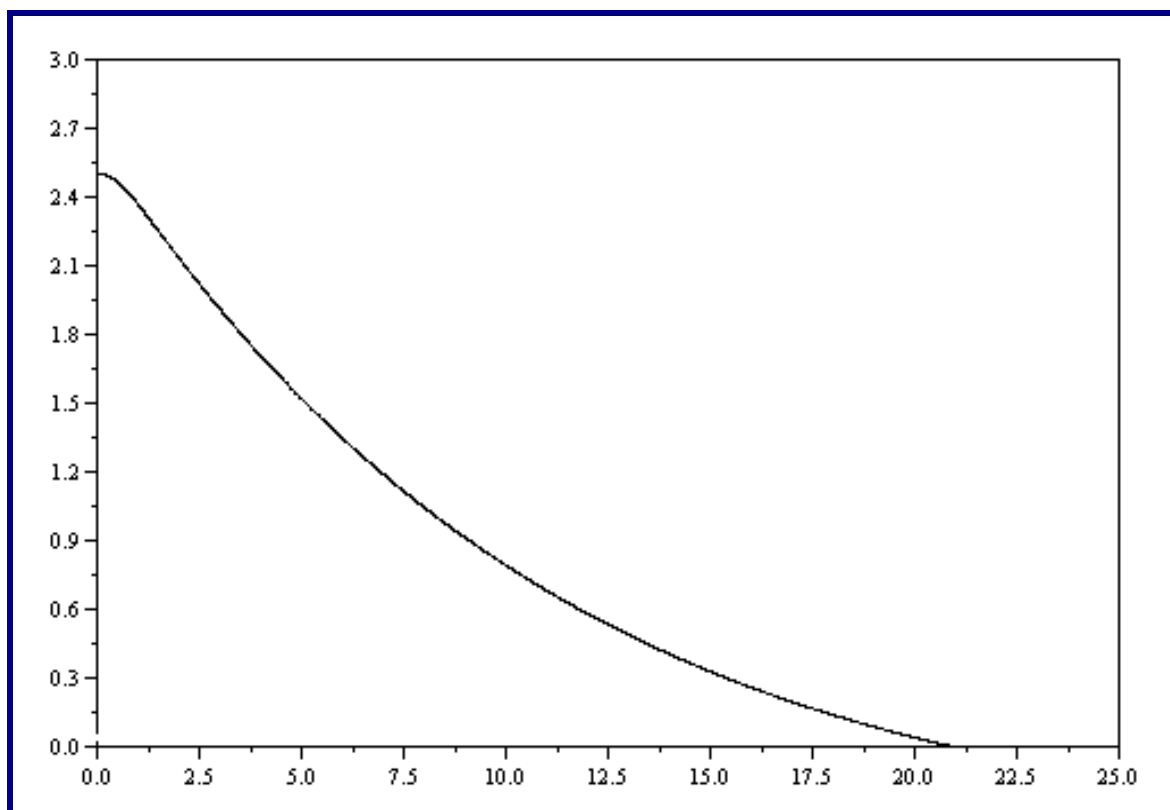
La definizione dei parametri dei blocchi di interesse è la seguente:

Sorgente disturbo gradino:	Step Time: 0	Initial value: 0	Final Value: 2.5
Blocco Set Point a rampa:	Slope: 1	Start Time: 0	Initial Output: 0
Oscilloscopio:	Ymin: 0	Ymax: 50	Refresh period: 50
Menù: → Simulate	Opzione: → Setup	Final Integration time: 50	
Funzione di Trasferimento Regolatore (statica) $R_S(s)$:	Numerator (s) 2	Denominator (s) s	
Funzione di Trasferimento Regolatore (dinamica) $R_D(s)$:	Numerator (s) (1+50*s)*(1+10*s)*(1+s)	Denominator (s) (1+5000*s)*(1+0.25*s)^2	
Funzione di Trasferimento Sistema da controllare $G(s)$:	Numerator (s) 10	Denominator (s) (1+s)*(1+10*s)	

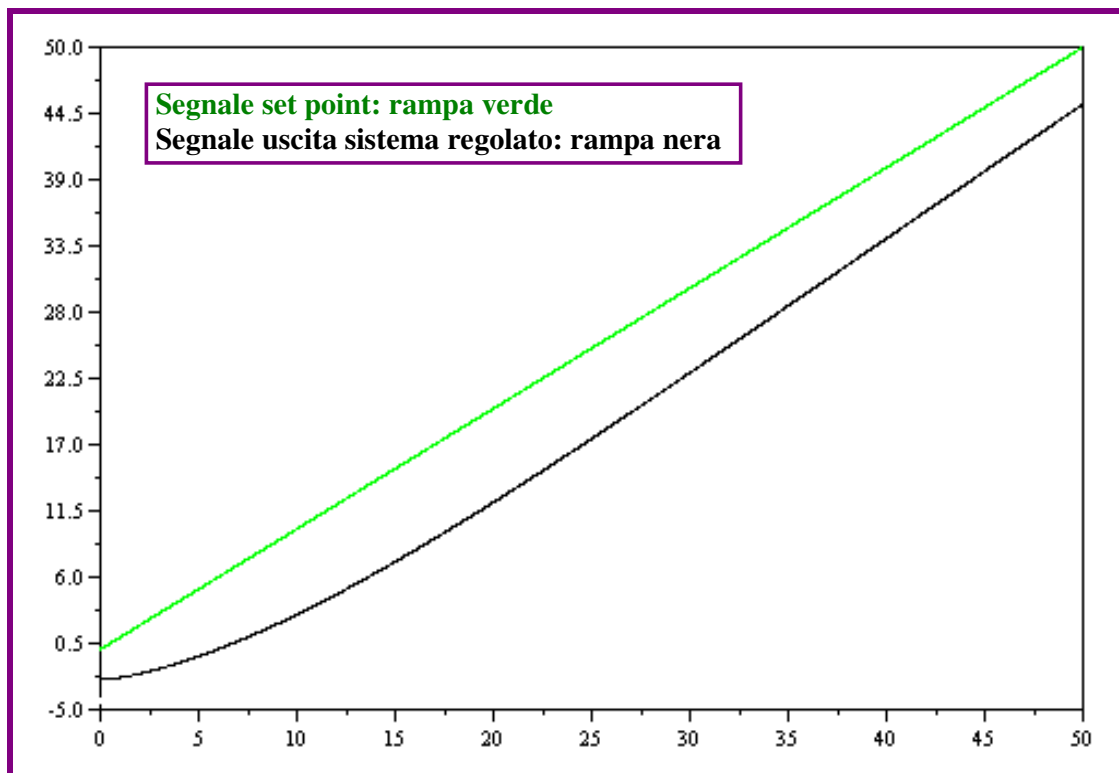
Il grafico corrispondente allo schema del sistema di regolazione simulato in ambiente SCICOS con segnale di Set point a rampa a pendenza unitaria e disturbo a gradino $\text{step}=2.5$ è il seguente:



*Il grafico corrispondente allo schema del sistema di regolazione simulato in ambiente SCICOS relativo all'azione operata sul disturbo a gradino $\text{step}=2.5$ ed in **assenza di setpoint** è il seguente:*



Il grafico corrispondente allo schema del sistema di regolazione simulato in ambiente SCICOS con un segnale di Setpoint a rampa a pendenza unitaria e con un disturbo a gradino di ampiezza pari a $\text{step} = -2.5$ è il seguente:



*Il grafico corrispondente allo schema del sistema di regolazione simulato in ambiente SCICOS relativo all'azione operata sul disturbo a gradino $\text{step} = -1,5$ ed in **assenza di setpoint** è il seguente:*

