ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE "M. PANETTI" - BARI

Prof. Ettore Panella

Esercitazione di Laboratorio

APPLICAZIONE DI UN RETE CORRETTRICE

Assegnata la risposta armonica data in **figura 1**:

1. Progettare un circuito che la realizza.
2. Inserire e progettare un equalizzatore in modo che la risposta in frequenza diventi come quella di fig.2

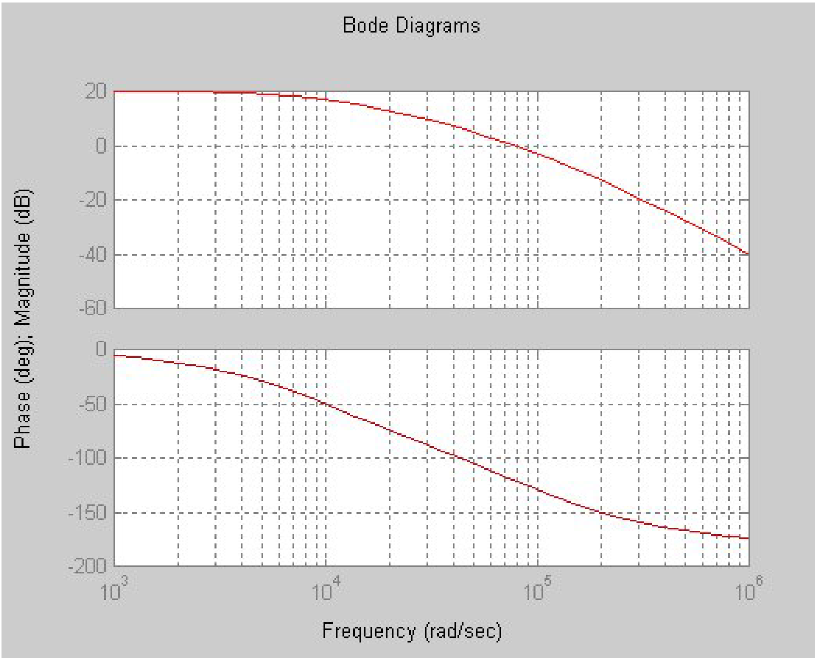

Fig.1

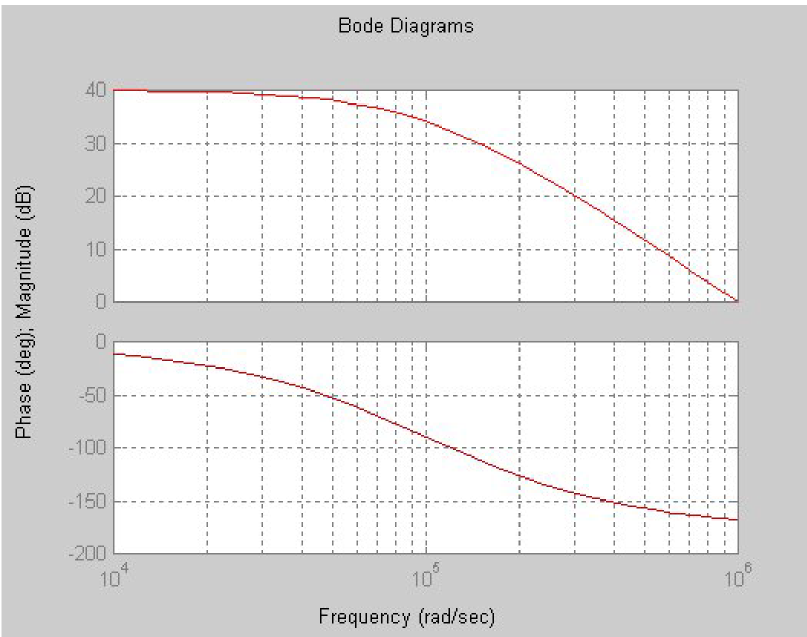

Fig.2

1. Progettazione del circuito

Dal diagramma di Bode di Fig.1, si ricava la funzione di trasferimento G(s). La funzione è caratterizzata da due poli reali.

$$G(s) = \frac{10}{(1 + s \cdot 100 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 + s \cdot 10 \cdot 10^{-6})}$$

Dall'analisi della funzione di trasferimento si nota che il sistema è caratterizzato da un guadagno statico pari a:
Ovvero, in dB (K_{ST})dB =20dB

$$\mathrm{K_{st}} = \lim_{\mathrm{S} \to 0} \frac{10}{(1 + \mathrm{s} \cdot 100 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 + \mathrm{s} \cdot 10 \cdot 10^{-6})} = 10$$

La G(s) presenta 2 poli reali distinti e negativi con pulsazione d'angolo:

$$\omega_{p1} = 10 Krad/s \text{ , mentre } \omega_{p2} = 100 Krad/s$$

Il sistema pur avendo due poli ha un comportamento analogo a quello di un filtro passa-basso del primo ordine. La frequenza di taglio f_t dominante è quella associata al primo polo e vale:

$$f_t = \frac{\omega_{pl}}{2\pi} = 1.56 kHz$$

Per valutare con maggiore precisione la frequenza di taglio superiore del sistema si deve impiegare il metodo della **costante di tempo**. Si calcolano le frequenze di taglio associate ai singoli poli.
Nel nostro caso:

$$f_{t1} = \frac{\omega_{P1}}{2\pi} = 1.56 KhZ \text{ e } f_{t2} = \frac{\omega_{p2}}{2\pi} = 15.6 kHz$$

Ricordando che in generale deve essere:

$$f_t = \frac{1}{2\pi \cdot \tau} \text{ e } t_S = 2.2\tau$$

si ricava:

$$t_S \cdot f_t = 0.35$$

dove t_S è il tempo di salita.
Si ricava:

$$t_S \cdot f_{t1} = 0.35 \text{ ; quindi: } t_{S1} = \frac{0.35}{f_{t1}} = \frac{0.35}{1.56 \cdot 10^3} = 224 \mu s$$

$t_S \cdot f_{t2} = 0.35$; quindi: $t_{S2} = \dfrac{0.35}{f_{t2}} = \dfrac{0.35}{15.6 \cdot 10^3} = 22.4 \mu s$

Il tempo di salita totale è la media quadratica dei tempi di salita:

$$t_{st} = \sqrt{t_{S1}{}^2 + t_{S2}{}^2} = 226\ \mu s \cong t_{S1}$$

La frequenza di taglio totale è quindi uguale a $f_t = \dfrac{0.35}{226 \cdot 10^{-6}} = 1.54 kHz$ praticamente coincidente con f_{t1}. Ciò giustifica l'asserto di **polo dominante** per il primo polo.

Si ricava il circuito che implementa la funzione $G(s) = \dfrac{10}{(1 + s \cdot 10 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 + s \cdot 100 \cdot 10^{-6})}$

Il circuito si può assimilare al collegamento in serie di due integratori in configurazione non invertente.
In fig. 3 si riporta lo schema elettrico disegnato in ambiente Pspice:

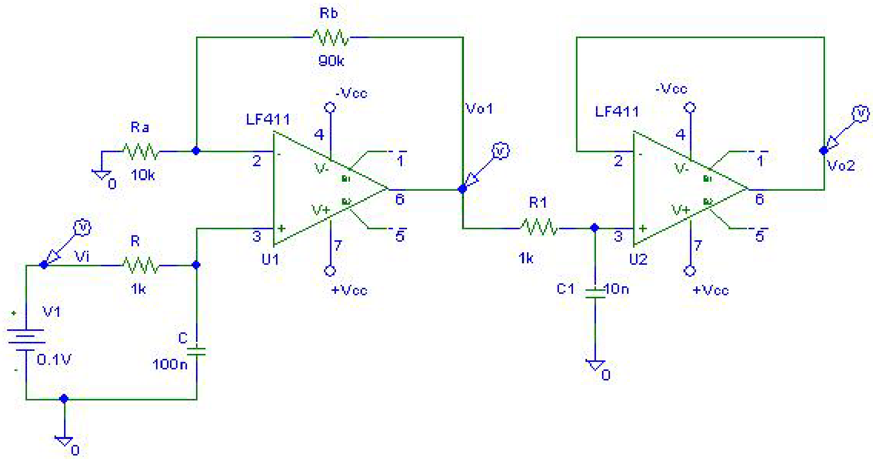

Fig. 3

Il primo stadio presenta un guadagno: $A_1 = 1 + \dfrac{R_b}{R_a} = 1 + \dfrac{90 \cdot 10^2}{10 \cdot 10^3} = 10$

e una costante di tempo $\tau_1 = RC = 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 100 \mu s$

Il secondo stadio presenta: $A_2 = 1$ e $\tau_2 = R_1 \cdot C_1 = 10 \mu s$

Si riporta la schermata relativa alle impostazioni *Transient*:

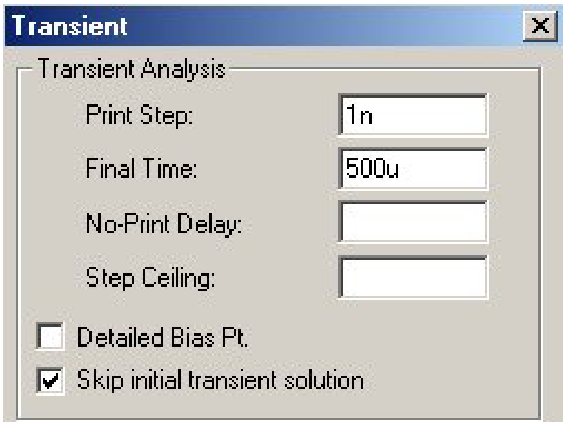

Fig.4: Configurazione in setup di Pspice

In fig.5 si mostra la risposta al transitorio da cui si ricava il tempo di salita.

RISPOSTA AL TRANSITORIO

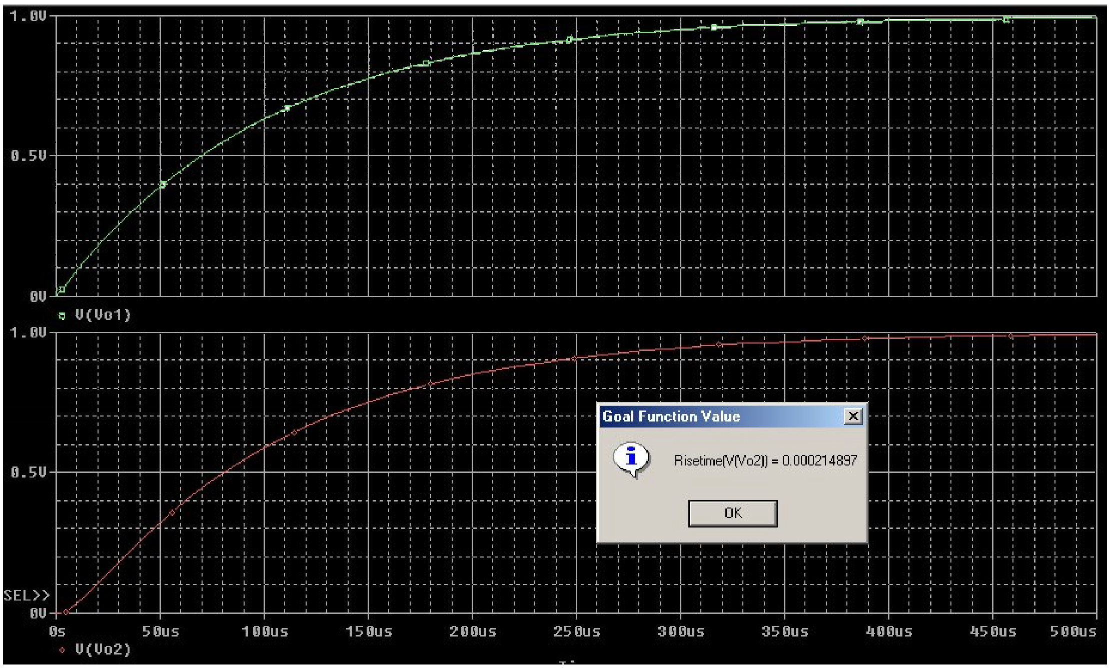

Fig. 5

In fig. 6 è riportato il grafico della risposta al transitorio ottenuta in ambiente Matlab utilizzando il seguente codice:

```
NUM=[10];
DEN1=[10e-6,1];
DEN2=[100e-6,1];
DEN=conv(DEN1,DEN2);
bode(NUM,DEN)
step(NUM,DEN)
```

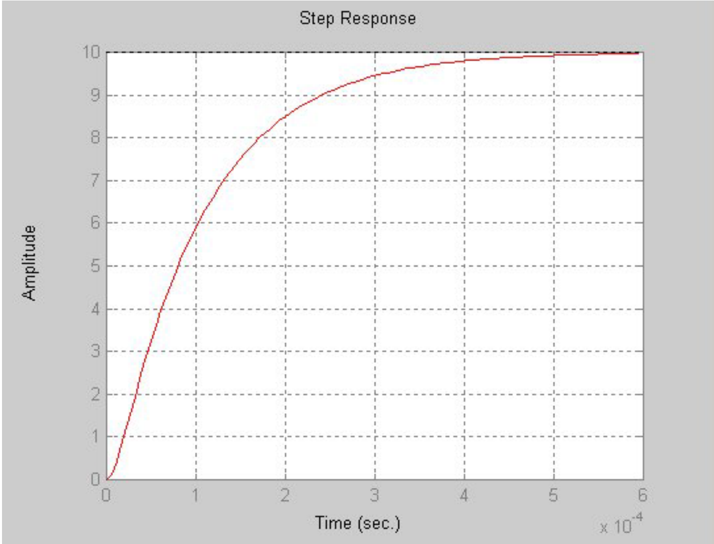

Fig. 6

2. Rete correttrice

Per modificare la risposta armonica come richiesto dalla traccia si utilizza una rete anticipatrice di fase, come mostrato in fig. 7:

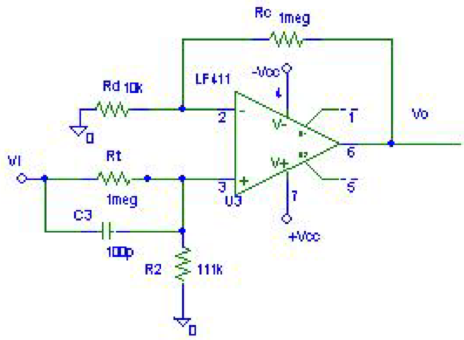

Fig. 7

L'anticipatrice è caratterizzata da una funzione di trasferimento pari a:

$$G_R(s) = \frac{10 \cdot (1 + s \cdot 100 \cdot 10^{-6})}{(1 + s \cdot 10 \cdot 10^{-6})}$$

Ciò consente uno spostamento dei poli. Infatti la nuova funzione di trasferimento diventa:

$$G(s) = \frac{10}{(1 + s \cdot 10 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 + s \cdot 100 \cdot 10^{-6})} \cdot \frac{10 \cdot (1 + s \cdot 100 \cdot 10^{-6})}{(1 + s \cdot 10 \cdot 10^{-6})} = \frac{100}{(1 + s \cdot 10 \cdot 10^{-6})^2}$$

In questo caso il sistema con rete correttrice presenta due poli coincidenti con pulsazione d'angolo:

$$\omega_p = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6}} = 100 Krad / s$$

Il guadagno statico è 100, corrispondente a 40dB.
In fig. 8 si riporta lo schema complessivo:

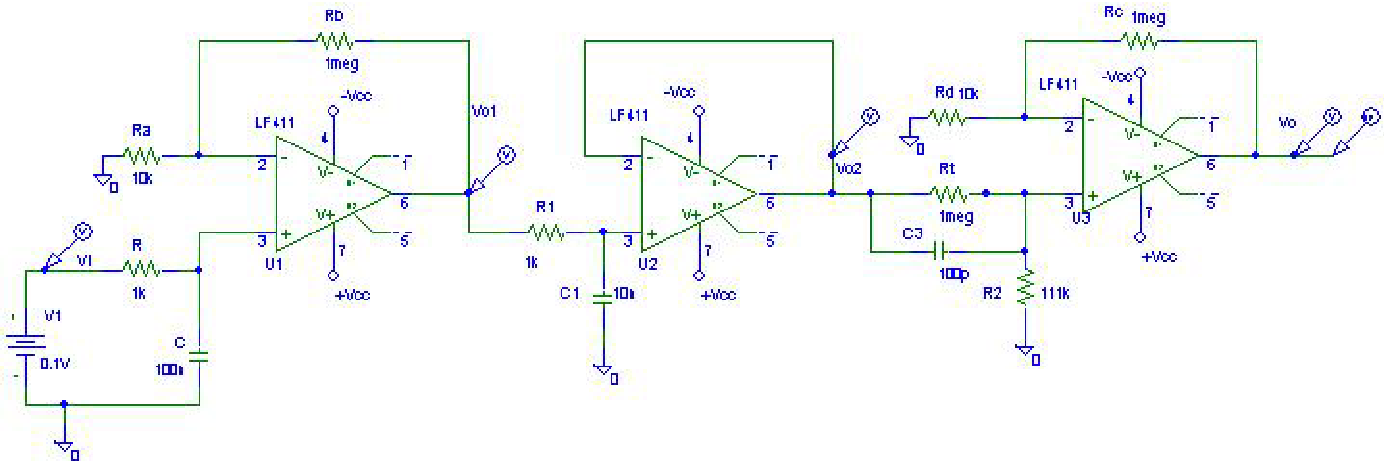

Fig. 8

Come fatto precedentemente, si effettua l'analisi della risposta armonica in ambiente Pspice (Fig.9) e Matlab (Fig.10). Il setup dei *transient* è lo stesso di quello usato in predenza.

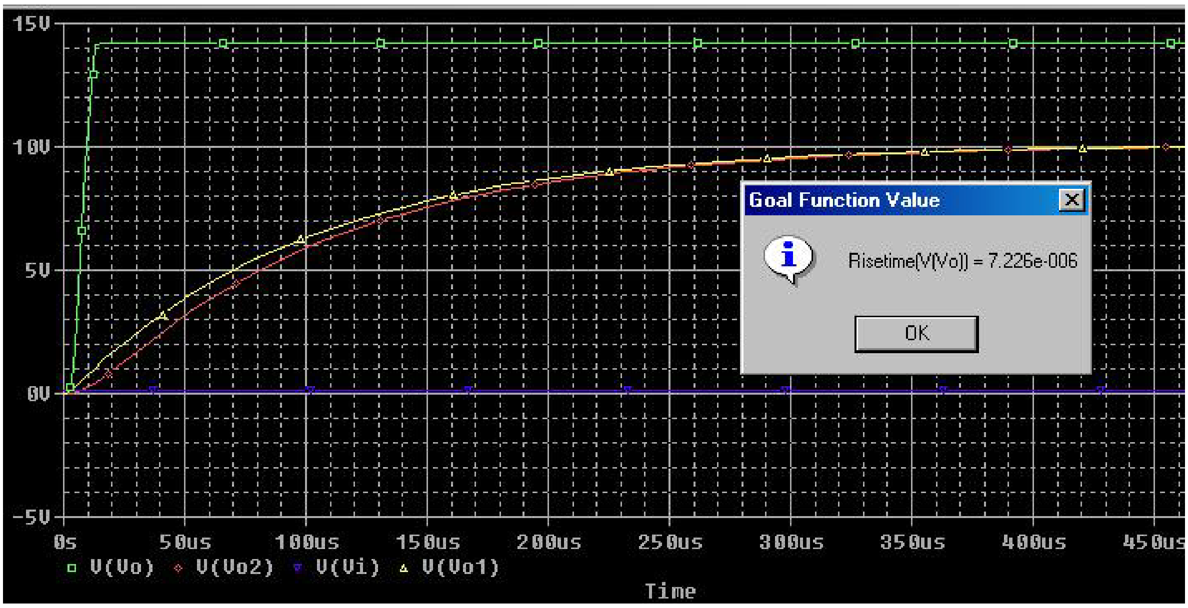

Fig. 9

Fig. 10

Per ottenere il grafico della risposta al transitorio in ambiente Matlab ho utilizzato il seguente codice:

```
NUM=[100];
DEN1=[10e-6,1];
DEN2=[10e-6,1];
DEN=conv(D1,D2);
bode(NUM,DEN)
step(NUM,DEN)
```

Per la progettazione della rete correttrice ho dovuto assegnare i seguenti valori alle varie resistenze e hai condensatori per poter ottenere la funzione di trasferimento G(s): Ra = 10 KΩ

Rb = 1 MΩ
Rc = 1 MΩ
Rd = 10 KΩ
Rt = 1 MΩ
R = 1 KΩ
R1 = 1 KΩ
R2 = 111 KΩ
C = 100 nF
C1 = 10 nF
C3 = 100 pF

Possiamo notare che se prima avevamo un circuito che amplificava 10 (0.1V era diventato 1V), adesso il circuito completo di rete correttrice amplifica 100 (0.1V è diventato 10V). Inoltre l'aggiunta della rete correttrice ha fatto sì che il tempo di salita del circuito totale sia nettamente diminuito infatti, se prima il circuito base impiegava $224\mu s$ per portarsi al 90% del valore finale, adesso, con la rete anticipatrice impiega circa $22.4\mu s$.