



Filtro ellittico e a capacità commutate

1 Filtro ellittico

Quando i requisiti di selettività sono molto stringenti, le soluzioni classiche Butterworth e Chebyshev risultano di ordine troppo elevato, complesse da realizzare e difficili da tarare. Per queste applicazioni si ricorre al **filtro ellittico** (ET), il quale, a parità di ordine, offre una pendenza al taglio (BES, *band-edge selectivity*) nettamente migliore.

La funzione di trasferimento di un filtro ellittico è più complessa: contiene sia poli sia zeri, poiché associa al passa banda un filtro selettivo (*notch-filter*) con coefficienti tali che quest'ultimo lavori a ridosso della frequenza di taglio del primo, aumentandone la pendenza al taglio. All'incirca, l'ordine n in un filtro ellittico incide sulla pendenza con un fattore n^2 . La funzione di trasferimento di un ellittico passa basso del terzo ordine, per esempio, è del tipo:

$$A(s) = A_0 \cdot \frac{s^2 + a_{02}}{(s^2 + b_{01} \cdot s + b_{02}) \cdot (s + b_{12})}$$

In essa si può riconoscere la presenza contemporanea di un passa basso del primo ordine:

$$A(s) = A_0 \cdot \frac{a_{02}}{s + b_{02}}$$

e di un elimina banda del secondo:

$$A(s) = A_0 \cdot \frac{s^2 + a_{02}}{s^2 + b_{01} \cdot s + b_{02}}$$

La funzione di trasferimento che si riesce a comporre presenta però sia ripple in banda, sia ripple in stop-band (**fig. 1**), per la presenza degli zeri.

La risposta in frequenza in **fig. 1** è doppia, poiché il filtro riportato può essere impostato con due frequenze di taglio diverse, 500 kHz e 1 MHz.

Come si può vedere, a una frequenza doppia rispetto al taglio, cioè dopo una ottava, l'attenuazione è a -50 dB. Considerato che un filtro di primo ordine presenta una pendenza di:

$$-20 \text{ dB/decade} \quad (20 \cdot \log_{10} \frac{1}{10} = -20)$$

ovvero:

$$-6 \text{ dB/ottava} \quad (20 \cdot \log_{10} \frac{1}{2} = -6)$$

il filtro appare più che di ottavo ordine ($50/6 > 8$).

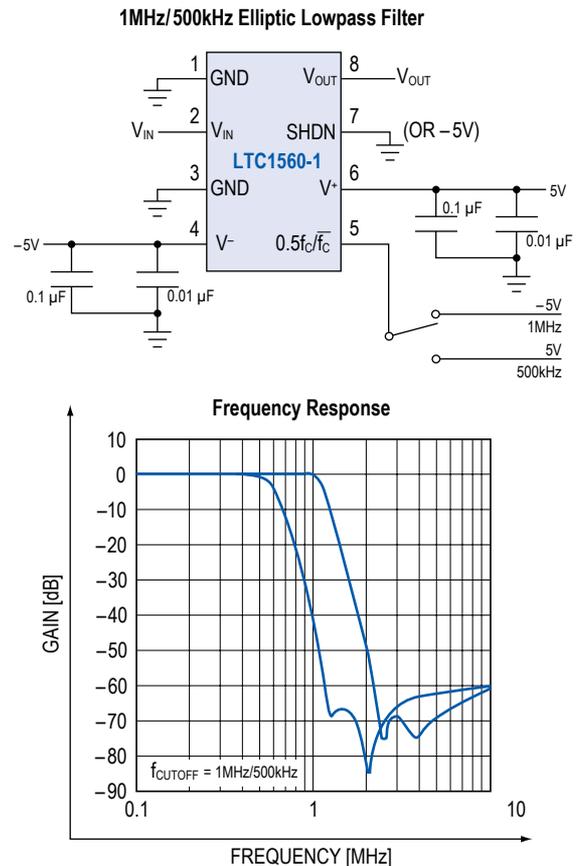


Fig. 1. Filtro ellittico passa basso LTC1560 e risposta in frequenza.



ESERCIZIO A

Sul catalogo della Linear Technology il dispositivo LTC1564, riportato in **fig. 2**, è presentato in questo modo:

- 4 bit digitally controlled 8th-order antialiasing lowpass filter;
- f_{cutoff} adjustable from 10 kHz to 150 kHz in 10 kHz steps;
- -100 dB attenuation at $2,5 \times f_{\text{cutoff}}$;
- 4 bit digitally controlled programmable gain amplifier;
- $G = 1$ to 16 in 1 V/V steps.

Individuare il tipo di filtro e verificare la pendenza al taglio [dB/ottava] indicata.

SOLUZIONE

Si tratta di un filtro analogico (antialiasing) ellittico, perché presenta ripple in stop-band. La pendenza al taglio reclamizzata vale:

$$\frac{100 \text{ dB}}{2,5 f_{\text{cutoff}}} = \frac{80 \text{ dB}}{2 f_{\text{cutoff}}} = 80 \text{ dB/ottava}$$

Sul grafico del guadagno con $f_{\text{cutoff}} = 10 \text{ kHz}$, la pendenza nella prima ottava ($10 \text{ kHz} \div 20 \text{ kHz}$) vale -65 dB (ottavo ordine), ma poi recupera portandosi a -110 dB a 25 kHz .

Low Noise Programmable Filter with Variable Gain

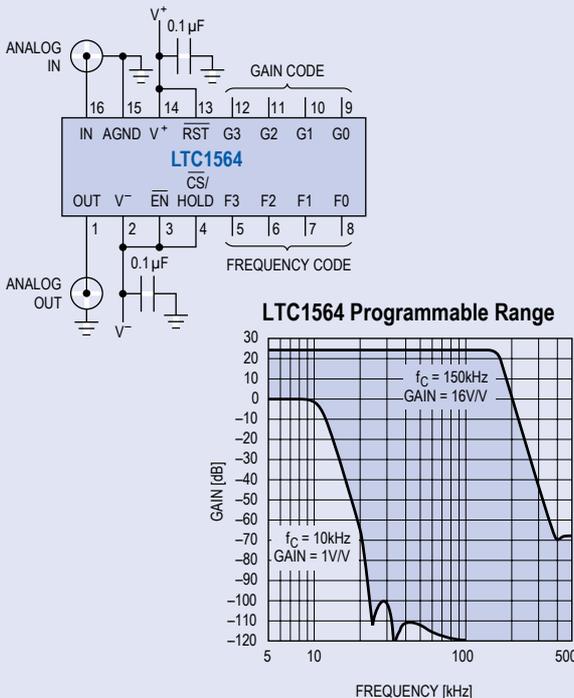


Fig. 2. LTC1564.

ESERCIZIO 1

Verificare i valori indicati nel diagramma del guadagno del dispositivo LTC1564 riportato in fig. 2 alla massima frequenza programmabile ($f_{\text{cutoff}} = 150 \text{ kHz}$) e al massimo guadagno ($G = 16 \text{ V/V}$) e valutare la pendenza al taglio.

[Ris.: $G = 20 \cdot \text{Log}_{10}16 = 24 \text{ dB}$, pendenza -70 dB/ottava , ordine superiore a 11]

2 Filtro a capacità commutate

I filtri visti in UdA 2 sono detti **continui** (non campionati) in contrapposizione a una seconda categoria detta **a capacità commutate** (*switched-capacitor*). Questi ultimi emulano il funzionamento degli integratori a operazionali presenti nei filtri continui mediante reti di commutazione che operano su condensatori interni, senza aggiunta di componenti esterni; la costante di tempo di integrazione risulta così proporzionale alla frequenza del clock di commutazione tanto che il filtro può essere sintonizzato semplicemente cambiando tale frequenza. La relazione tra frequenza di taglio e clock è tipicamente $1/50, 1/100$, perciò il rumore dovuto al clock presente in uscita, essendo di frequenza cento volte maggiore, può essere facilmente eliminato. Come in tutti i dispositivi digitali, per evitare fenomeni di aliasing, il segnale da filtrare va preventivamente limitato in frequenza al di sotto della metà della frequenza di clock. Questi dispositivi sono disponibili in tutte le versioni, universali, Bessel, ecc., singoli e doppi, LP e BP.

In fig. 3 è riportata la risposta del dispositivo Maxim MAX291, filtro LP Butterworth di ottavo ordine, piatto in banda e con 48 dB/ottava di pendenza al taglio.

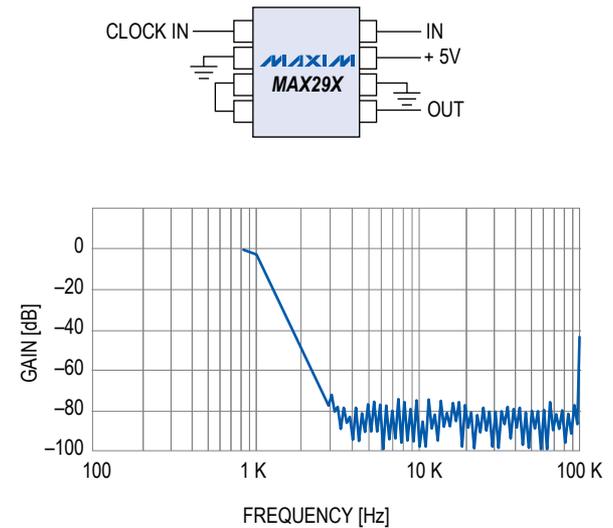


Fig. 3. Filtro Butterworth LP di ottavo ordine MAX291.



ESERCIZIO B

Analizzando lo schema funzionale del dispositivo filtro MAX260 in **fig. 5**, individuarne tipo e prestazioni.

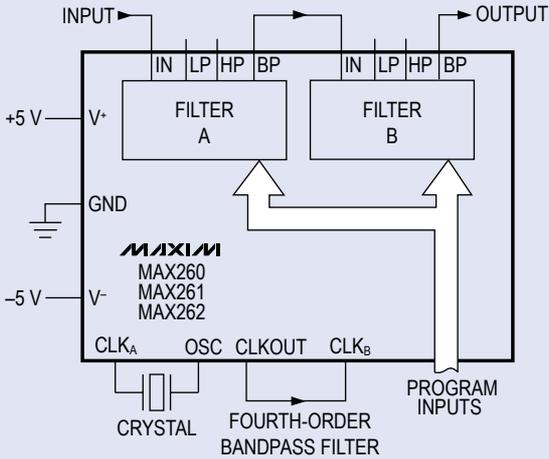


Fig. 5. MAX260, schema funzionale.

SOLUZIONE

Si tratta di un doppio filtro attivo universale, perché ciascun blocco presenta tutte le uscite LP, HP e BP. La presenza di un ingresso di clock per ciascun blocco porta a supporre che si tratti di un filtro a capacità commutate. Gli ingressi di programmazione lasciano intendere che il tipo (BT, BL, CH) e la frequenza di taglio siano presettabili.

ESERCIZIO 1

Analizzando lo schema funzionale del dispositivo filtro MAX260 in **fig. 5**, individuare l'ordine di ciascun blocco interno.

[Ris.: secondo ordine]

ESERCIZIO 2

Verificare l'ordine del filtro Butterworth LP in **fig. 3**

[Ris.: -50 dB/ottava, ottavo ordine]

ESERCIZIO 3

In un filtro LP a capacità commutate con $\frac{f_{clock}}{f_0} = 100$ si vuole posizionare la frequenza di taglio a 2 kHz; quale scelta bisogna operare?

[Ris.: $f_{clock} = 200$ kHz]



ESERCIZIO C

Da un segnale periodico deformato composto da tre sinusoidi di pari ampiezza ± 1 V e con frequenza, rispettivamente, 200 Hz, 1 kHz e 2 kHz, si vuole estrarre la sola componente a 1 kHz. Sono state proposte due soluzioni basate sul dispositivo MAX260, i cui diagrammi sono riportati in **fig. 6**. Individuare la soluzione con il miglior rapporto S/N in uscita.

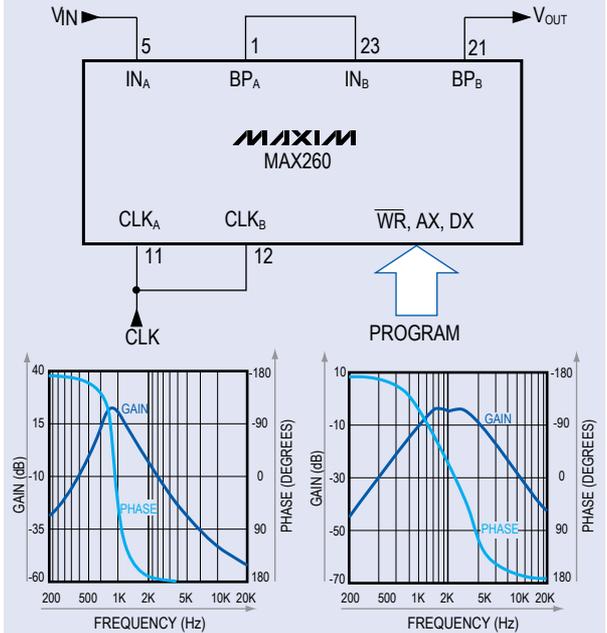


Fig. 6. Filtri passa banda.

SOLUZIONE

Confrontando tra loro i guadagni rilevati dai rispettivi grafici in corrispondenza delle frequenze di interesse (**tab. 1**) la soluzione più favorevole appare la prima.

Tab. 1 – Confronto tra filtri passa banda			
Guadagno [dB]	200 Hz	1 kHz	2 kHz
Soluzione 1	-30	+20	-5
Soluzione 2	-30	-5	-10

Nel primo caso, la tensione di uscita risulta composta da un segnale principale ± 10 V (+20 dB), 1 kHz, con sovrapposti due contributi di rumore:

$$\pm \frac{1 \text{ V}}{31,62} = \pm 31,6 \text{ mV}, 200\text{Hz}$$

$$\pm \frac{1 \text{ V}}{1,778} = \pm 0,562 \text{ V}, 2 \text{ kHz}$$