

# Filtri attivi e fogli di calcolo

## 1. Introduzione

Descrivo in questo articolo alcuni semplici circuiti, basati su amplificatore operazionale, per realizzare filtri passa-basso, passa-alto e passa-banda attivi. Anche se in pratica tutti i ricetrans commerciali sono dotati di efficaci filtri di media frequenza, i circuiti proposti possono essere utilizzati su autocostruzioni o semplicemente per scopi didattici.

## 2. Cenni sugli amplificatori operazionali

### 2.1 Descrizione

Gli amplificatori operazionali (op-amp) rappresentano un'importante famiglia di componenti elettronici, utili soprattutto, ma non solo, per la realizzazione di circuiti in bassa frequenza.

L'op-amp e' sostanzialmente un amplificatore differenziale dotato di un elevato guadagno in tensione, un'elevata impedenza di ingresso ed una bassa impedenza di uscita, caratteristiche molto desiderabili nella realizzazione di molti circuiti elettronici.

Gli ingressi differenziali sono contraddistinti dal segno meno (-) e dal segno più (+), ad indicare ingresso invertente e non invertente rispettivamente.

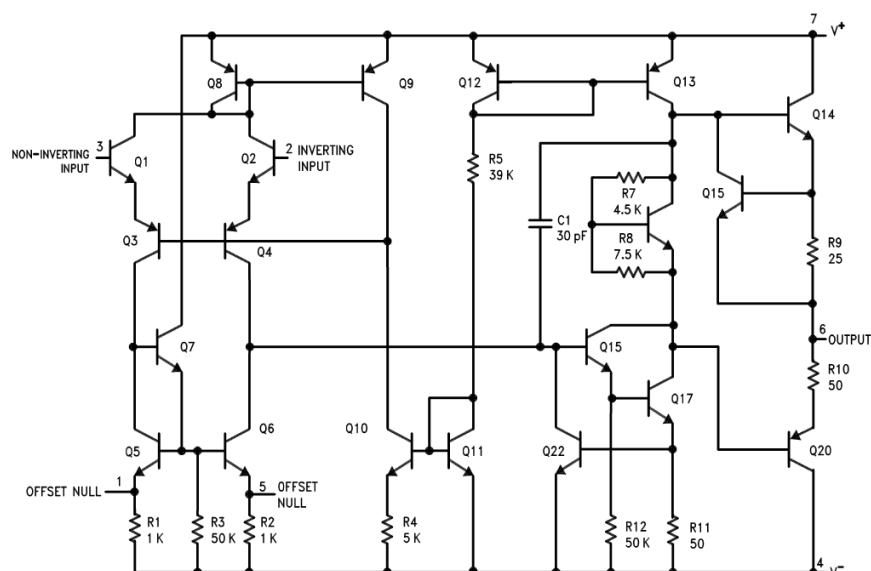
L'alimentazione richiesta è generalmente duale, nell'ordine di +/- 5 V fino a +/- 15 V. Verrà in seguito illustrato un metodo per utilizzare una singola alimentazione per questi circuiti.

La figura mostra lo schema di uno dei capostipiti degli op-amp integrati: il 741.

Questo integrato, disponibile in diversi package, e' ormai vecchio di oltre 40 anni, ma tuttora ampiamente utilizzato insieme ai suoi discendenti di varia natura.

C'e' da rilevare che se il 741 è il primo op-amp integrato e la sua prima versione risale al 1968, la realizzazione dei primi op-amp (a valvole naturalmente) risale al 1941!

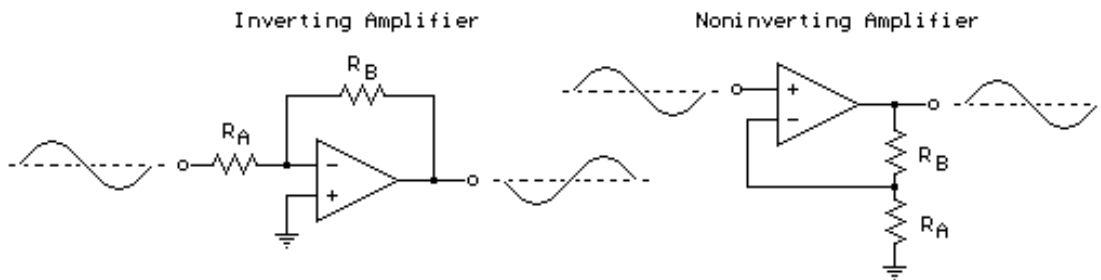
Nel circuito sono riconoscibili gli ingressi differenziali rappresentati dalle basi dei transistor Q1 e Q2.



## 2.2 Le configurazioni più comuni

Gli op-amp non vengono quasi mai utilizzati come amplificatori differenziali puri, ma sono piuttosto configurati con uno dei due ingressi in qualche modo riferito a massa e con il segnale da processare applicato all'altro ingresso.

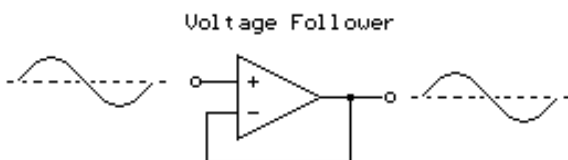
Le due configurazioni principali sono quelle da amplificatore invertente e amplificatore non invertente, mostrate in figura:



Nell'amplificatore invertente, il guadagno in tensione è dato dal rapporto tra  $R_B$  e  $R_A$  ( $G = R_B / R_A$ ). Il segnale in uscita è sfasato di  $180^\circ$  rispetto a quello in ingresso. L'impedenza in ingresso assume il valore di  $R_A$ .

L'amplificatore non invertente presenta invece un'impedenza d'ingresso molto elevata e in questa configurazione il guadagno in tensione è sempre di  $R_B / R_A$  superiore a 1 ( $G = 1 + R_B / R_A$ ).

Una terza configurazione talvolta utilizzata è quella d'inseguitore di tensione:



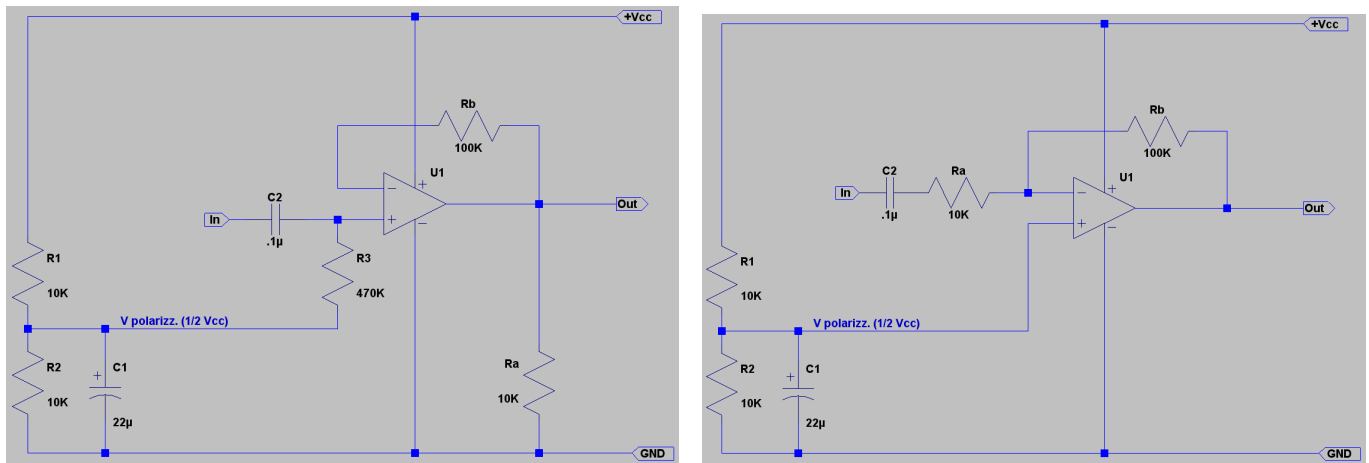
In questa configurazione il guadagno è unitario e il circuito presenta un'alta impedenza d'ingresso e una bassa impedenza di uscita, sfruttata generalmente nei circuiti buffer.

## 2.3 Alimentazione

Pur esistendo sul mercato op-amp a singola alimentazione (ad es. LM324), come accennato in precedenza, gran parte di questi integrati generalmente richiede alimentazione duale.

Oltre alla soluzione più ovvia (ad es. due batterie in serie o un alimentatore duale con il comune a massa), è possibile utilizzare l'op-amp con una singola alimentazione, polarizzando opportunamente gli ingressi a metà tensione. La tensione di polarizzazione è comunemente ricavata da un partitore resistivo, con un opportuno condensatore elettrolitico di filtro.

Le figure seguenti mostrano alcune soluzioni circuitali per ottenere la corretta polarizzazione utilizzando un'alimentazione non duale (ad es. i 9V di una batteria o i 12V di un alimentatore).



Entrambi i circuiti usano un partitore resistivo per polarizzare opportunamente un ingresso dell'operazionale.

Il circuito a sinistra, relativo a un amplificatore non invertente, polarizza l'ingresso a  $V_{cc}/2$ . L'impedenza d'ingresso sarà prossima alla resistenza di polarizzazione (470K).

Nell'amplificatore invertente dello schema di destra l'ingresso non invertente viene polarizzato a  $V_{cc}/2$  e l'impedenza di ingresso è prossima alla resistenza  $R_a$  (10K).

In seguito sarà dato per scontato che nelle realizzazioni pratiche il requisito di alimentazione duale sia soddisfatto tramite uno dei metodi descritti.

### 3. I filtri

#### 3.1 Concetti generali

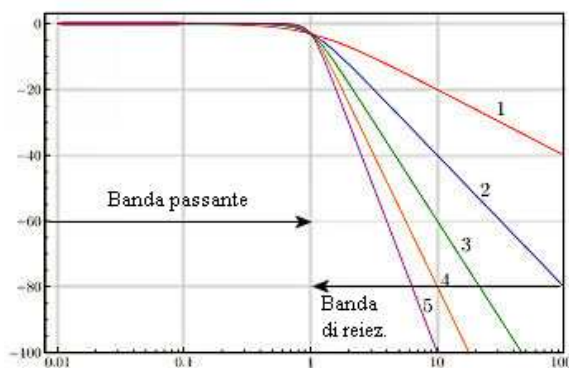
Senza troppo approfondire la parte teorica, possiamo tenere a mente che in un filtro la porzione di segnale non "filtrata" è detta banda passante (BW), mentre la parte filtrata è detta banda di reiezione.

L'ordine del filtro indica la pendenza della curva che rappresenta la banda di reiezione. Più è elevato l'ordine del filtro e più rapidamente sono eliminate le frequenze non desiderate. Un filtro di ordine infinito ha risposta ideale, eliminando totalmente le frequenze indesiderate.

È indicato con "ottava" il raddoppio o la divisione per due della frequenza (ad es. 2000 e 4000 Hz sono ottave superiori di 1000 Hz e 500 e 250 Hz ottave inferiori) e con "decade" l'incremento o decremento di 10 volte della frequenza (ad es. 10 e 100 kHz sono decenni superiori di 100 Hz e 10 Hz decenni inferiori).

Un filtro di primo ordine attenua le frequenze indesiderate di 6 dB/ottava e 20 dB/decade, uno di secondo ordine attenua di 12 dB/ottava e 40 dB/decade, e così via.

La figura mostra graficamente il comportamento teorico di filtri passa-basso di diverso ordine.



Il livello di segnale nella banda passante rimane intatto. Quello al di sopra della frequenza di taglio del filtro (trattandosi di un filtro passa-basso) viene ridotto più o meno rapidamente, secondo l'ordine del filtro. Il discorso è analogo per i filtri passa-alto e passa-banda. Per quest'ultimo le considerazioni sono valide sia per la frequenza di taglio inferiore che per quella superiore.

Per i filtri passa-banda esiste un'altra grandezza: il fattore di qualità (Q). Il Q rappresenta un metodo per misurare la distanza tra frequenza di taglio inferiore e superiore ed è definito come rapporto tra frequenza centrale e banda passante:  $Q = f_0 / BW$ .

### 3.2 I fogli di calcolo

L'impiego di op-amp facilita notevolmente la progettazione e la realizzazione di filtri passa-basso, passa-alto e passa-banda. Per i nostri scopi, un circuito con singolo op-amp, poche di resistenze e condensatori può soddisfare gran parte delle esigenze applicative.

Una singola unità di filtro viene generalmente indicata come "cella".

I tre circuiti illustrati nei fogli allegati sono tutti filtri di secondo ordine (attenuano le frequenze indesiderate di 12 dB/ottava o 40 dB/decade).

Per filtri di ordine superiore possono essere collegate più celle in cascata. È necessario però in questo caso ritoccare alcuni valori e la trattazione di questo caso è al di fuori dello scopo di questo articolo.

I fogli elettronici allegati permettono di procedere rapidamente al calcolo dei singoli componenti. Le istruzioni per l'inserimento dei valori sono contenute nei fogli stessi. I filtri passa-basso e passa-alto considerati sono a guadagno unitario, mentre per il filtro passa-banda esiste un vincolo tra Q e guadagno.

---

I miei migliori 73 e felici sperimentazioni!

Marco – IK0DWN