FILTRI PASSIVI: FUNZIONAMENTO E MODALITA' DI PROGETTAZIONE.

DI RFC

Un filtro passivo è un circuito costituito da resistenze e condensatori, che consente di eseguire una selezione nei confronti dei segnali applicati ai suoi ingressi in base alle frequenze dei segnali stessi. Ovvero certe frequenze vengono fatte transitare dall'ingresso verso l'uscita, mentre altre vengono bloccate.

FILTRO PASSA BASSO RC

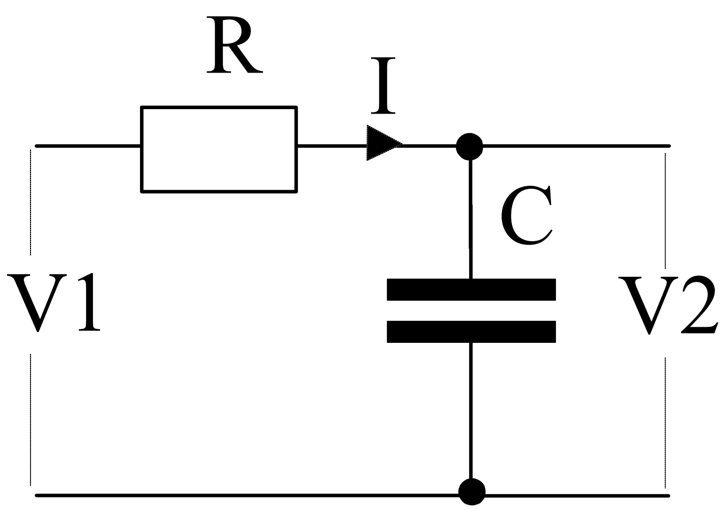

FIGURA A

Esaminiamo il cosiddetto PASSA BASSO R-C (fig. A); il funzionamento è intuitivo ricordando che il condensatore C si comporta come un ramo aperto per tensioni continue o a frequenze molto basse, mentre diventa un cortocircuito per segnali a frequenze molto elevate. Quindi per frequenze molto basse il condensatore è poco influente sul circuito e quindi $V2 \approx V1\text{-}RI$; per frequenze alte C tende a diventare un cortocircuito e quindi $V2 \approx 0$. Dovrebbe ora essere chiaro che un filtro passa basso è un circuito che consente il passaggio di segnali a frequenza bassa, mentre blocca/attenua segnali a frequenza elevata.
Approfondiamo il discorso calcolando la relazione tra tensione di ingresso (V1) e la tensione di uscita (V2). Applicando al circuito di fig.A la regola del partitore di tensione si ha:

$V2 = \dfrac{V1 \text{ x } Zc}{R + Zc}$ dove $Zc = \dfrac{1}{j\omega C}$ (impedenza capacitiva);

dall'espressione sopra, moltiplicando numeratore e denominatore del secondo membro dell'equazione per jωC si ottiene:

$$V2 = \frac{V1}{1 + j\omega RC}$$

quest'ultima è chiamata funzione di trasferimento, ma cosi com'è non ha un significato fisico ben preciso. Se eseguiamo il modulo dell'espressione otteniamo:

$$|V2| = \frac{|V1|}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}$$

Poiché $\omega = 2\pi f$, (ω è un parametro chiamato pulsazione angolare) l'espressione precedente diventa:

$$|V2| = \frac{|V1|}{\sqrt{1 + (2\pi)^2 f^2 R^2 C^2}} \quad (***)$$

quest'ultima espressione ha un significato fisico ben preciso, in quanto rappresenta l'andamento del valor massimo della tensione V2 in funzione della frequenza.
Utilizzando l'espressione (***) per tracciare un grafico di V2 in funzione della frequenza f, si ottiene quanto mostrato in figura B.

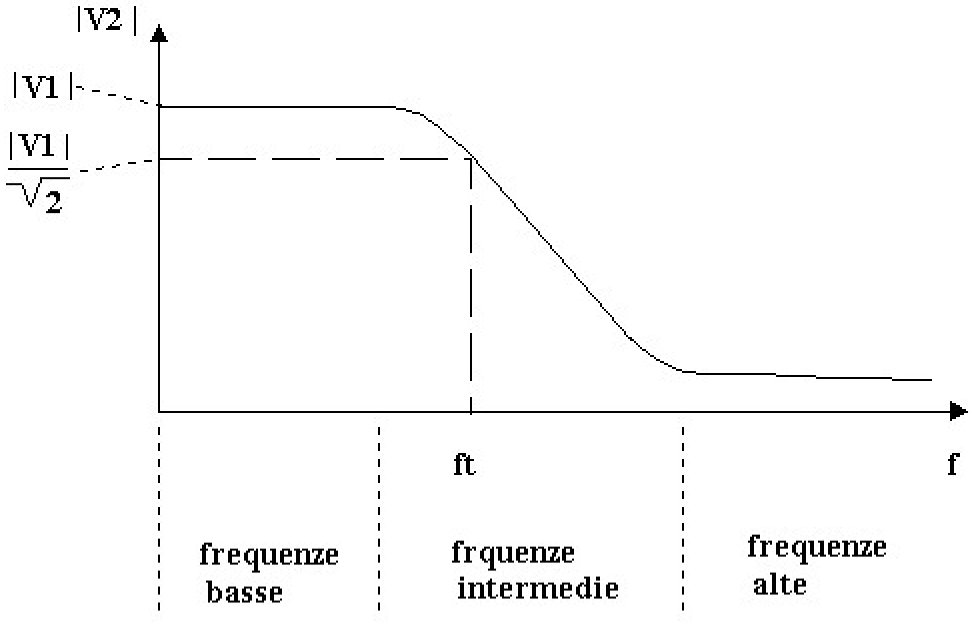

FIGURA B

Il grafico mostra quanto affermato intuitivamente: per frequenze molto basse V2 ≈ V1 - RI (V2 =V1 solo per f=0), mentre per frequenze alte V2 ≈ 0.

Se in (***) sostituiamo a f il valore $\frac{1}{2\pi RC}$ (chiamato frequenza di taglio ft) si ottiene:

$$|V2| = \frac{|V1|}{\sqrt{2}}$$

cioè per un valore di frequenza pari a $\frac{1}{2\pi RC}$ la tensione V1 viene ridotta in uscita di un fattore $\frac{1}{\sqrt{2}}$. In altri termini fino alla frequenza data dal valore $\frac{1}{2\pi RC}$ le tensioni V1 e V2 (ingresso e uscita) sono poco differenti tra loro, oltre tale valore di frequenza il cambiamento diventa sensibile. Dunque si può affermare con buona approssimazione che il filtro RC lascia transitare dall'ingresso verso l'uscita la banda di frequenza compresa tra 0 e $\frac{1}{2\pi RC}$, mentre blocca qualunque frequenza superiore a $\frac{1}{2\pi RC}$.

Il valore $\frac{1}{2\pi RC}$ è chiamato frequenza di taglio del filtro e si denota con:

$$ft = \frac{1}{2\pi RC}$$

PASSA ALTO CR

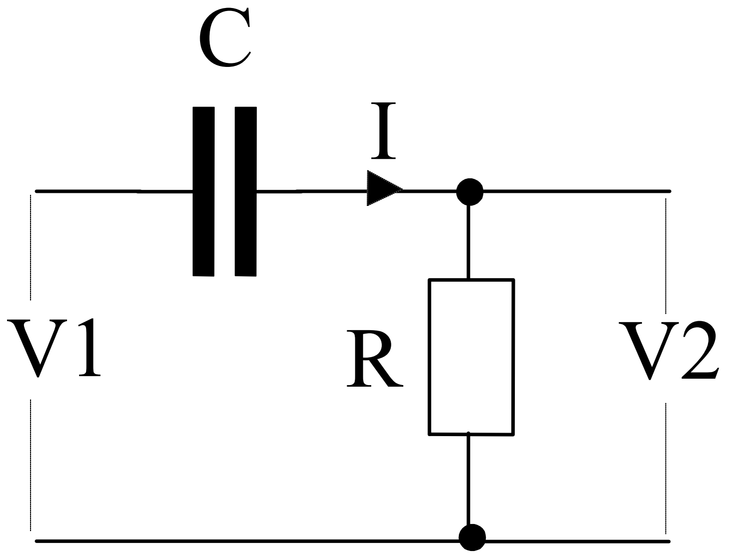

FIGURA C

Si consideri ora il circuito rappresentato in figura C; si osserva che rispetto al circuito precedente R e C sono stati invertiti fra di loro, dunque è intuitivo che il funzionamento sarà simile ma con conclusioni opposte. Ripetiamo il ragionamento:
il condensatore C si comporta come un ramo aperto per tensioni continue o a frequenza molto bassa, mentre diventa un cortocircuito per segnali a frequenza elevata. Dunque per frequenze basse il condensatore è poco influente sul circuito (cioè è come se non ci fosse) e quindi V2 $\approx$ 0 ; per frequenze alte C tende a diventare un cortocircuito e quindi V2 $\approx$ V1 - ZcxI. Dovrebbe ora essere chiaro che un filtro passa alto è un circuito che consente il passaggio di segnali a frequenza elevata, mentre blocca segnali a frequenza bassa.
Le considerazioni e i conti fatti per il circuito precedente (RC) si potrebbero ripetere di pari passo, i risultati sono simili. Il grafico che esprime come varia V2 in funzione della frequenza è rappresentato in figura D e la frequenza di taglio risulta essere:

$$\mathrm{ft} = \frac{1}{2\pi \mathrm{RC}}$$

quindi è lo stesso risultato matematico del caso precedente, ma il significato è opposto:
si può affermare con buona approssimazione che il filtro CR **non** lascia transitare dall'ingresso verso l'uscita la banda di frequenza compresa tra 0 e $\frac{1}{2\pi \mathrm{RC}}$ (cioè le frequenze basse), mentre qualunque frequenza superiore a $\frac{1}{2\pi \mathrm{RC}}$ viene trasferita dall'ingresso verso l'uscita.

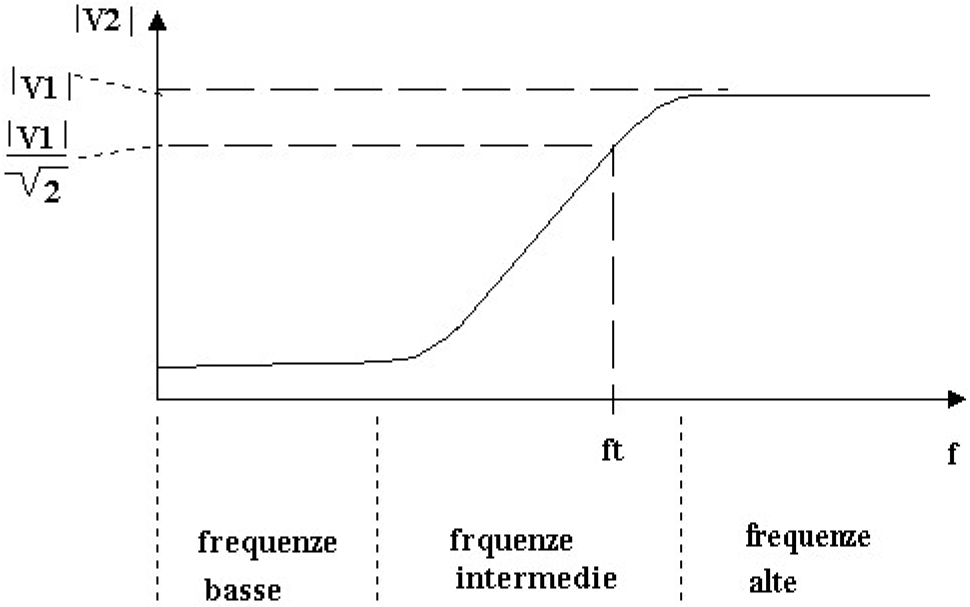

FIGURA D

PASSA BANDA

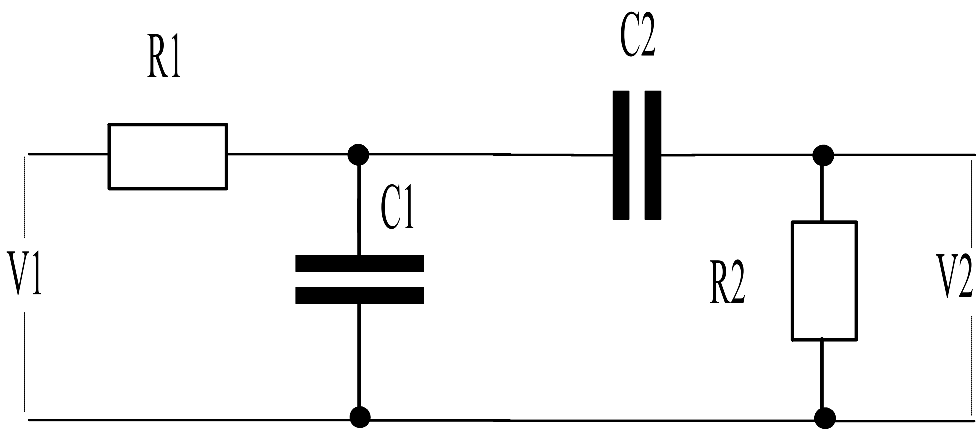

FIGURA E

Si supponga di collegare in cascata un filtro passa - basso RC e un filtro passa - alto CR, come mostrato in figura E. Quello che accade è deducibile dalle considerazioni fatte per i casi precedenti: il filtro passa - basso R1 - C1 blocca le frequenze alte, mentre il filtro passa - alto C2 - R2 blocca le frequenze basse. Dunque potrà transitare dall'ingresso V1 verso l'uscita V2 una banda di frequenze intermedie ne troppo basse ne troppo alte. L'andamento grafico di V2 in funzione della frequenza è mostrato in figura F e risulta essere una combinazione dei casi precedenti. Poichè il filtro passa - banda è costituito da due filtri in cascata risulteranno due frequenze di taglio fti (frequenza di taglio inferirore) e fts (frequenza di taglio superiore), con valori pari a:

$$\text{fti} = \frac{1}{2\pi R2C2} \qquad \text{fts} = \frac{1}{2\pi R1C1}$$

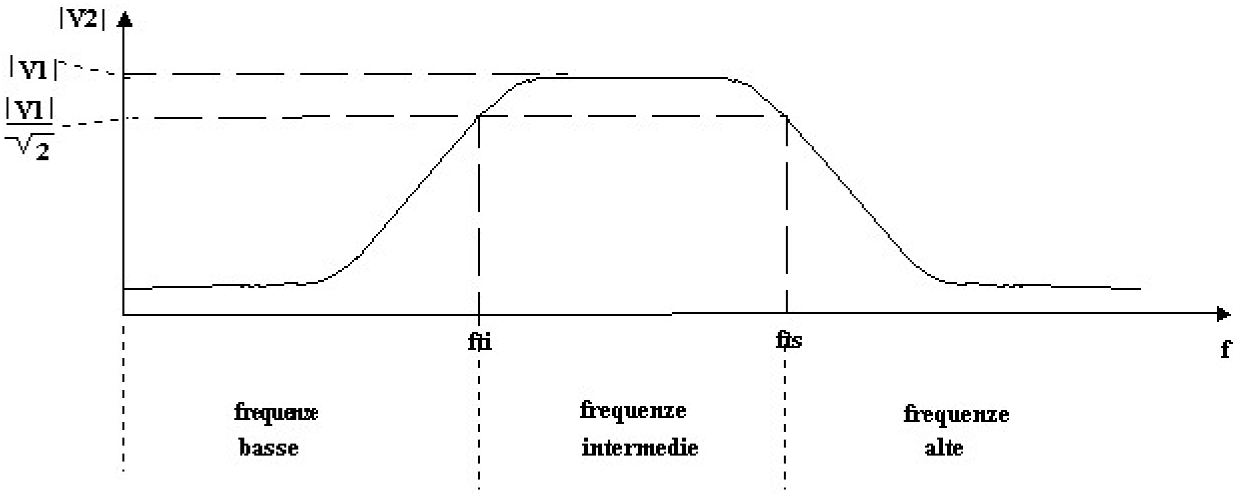

FIGURA F

In conclusione potranno "passare" dall'ingresso verso l'uscita i segnali con valori di frequenza compresi tra fti e fts, mentre verranno "bloccati" quei segnali con frequenza inferiore a fti o superiore a fts.

ESEMPI DI PROGETTO

Progettare un filtro passa - basso con frequenza di taglio pari a 500 Hz.

Nel calcolo di un qualunque tipo di filtro passivo di norma si sceglie arbitrariamente il valore della capacità e questo avviene a causa delle seguenti considerazioni: la formula della frequenza di taglio ha tre incognite ft, R e C. Ora il valore di ft è il dato assegnato come richiesta di progetto, dunque rimangono due incognite R e C, occorre definirne una delle due. Di norma si assegna il valore di C poichè un condensatore costa più di una resistenza e si cerca di utilizzare quelli che si hanno a disposizione.
Dunque si impone il valore della capacità C = 330 nF (si suppone di avere questo valore disponibile, ma la scelta può essere fatta con altri valori di capacità senza compromettere la funzionalità del filtro).
Dalla formula della frequenza di taglio

$\text{ft} = \frac{1}{2\pi RC}$ si ricava

$$R = \frac{1}{2\pi fC}.$$

Di quest'ultima relazione sono noti i valori di f (500 Hz) e di C (330 nF), dunque facendo i conti risulta:

$R = \frac{1}{2\pi fC}$ = 965.06 ohm. (se il risultato fosse stato assurdo, cioè valori troppo alti o troppo bassi della resistenza R, occorrerebbe ripetere il calcolo scegliendo un altro valore capacitivo).
Tale valore resistivo non si trova in commercio, si sceglie quindi R= 1K che è il valore di resistenza commerciale più vicino al valore 965.06 calcolato. Ricalcoliamo il valore di frequenza di taglio con C=330nF e R = 1K, risulta:

$ft = \frac{1}{2\pi RC}$ = 482.53 Hz.

Rispetto alla richiesta di ft=500 Hz c'è una variazione di circa 18 Hz che risulta accettabile. Dunque il filtro risulta composto da R = 1K e C = 330 nF.

<u>Progettare un filtro passa - alto con frequenza di taglio pari a 5000 Hz.</u>

Considerazioni e procedimento sono analoghe al caso precedente, riportiamo solo le formule:

Si impone il valore della capacità C = 3.3 nF, risulta:

$R = \frac{1}{2\pi fC}$ = 9650 ohm.

Tale valore resistivo non si trova in commercio, si sceglie quindi R= 10K
Ricalcoliamo il valore di frequenza di taglio con C=3,3nF e R = 10K, risulta:

$ft = \frac{1}{2\pi RC}$ = 4825.32 Hz.

Rispetto alla richiesta di ft=5000 Hz c'è una variazione di circa 180 Hz che risulta accettabile. Dunque il filtro risulta composto da R = 10K e C = 3.3 nF.

<u>PROGETTO DI FILTRI PASSA - BANDA</u>

Il procedimento di calcolo è del tutto analogo ai casi precedenti, l'unica differenza è che come dato di progetto si avranno le due frequenze di taglio fti e fts. Quindi si imporranno i valori di C1 e di C2 e si procederà al calcolo di R1 ed R2 con le stesse identiche modalità degli esempi precedenti.

I valori di R e di C ottenuti negli esempi, fanno parte del lavoro di progettazione svolto per realizzare le luci psichedeliche. In particolare il filtro passa basso con ft = 500 Hz è il primo filtro (R9 - C6) utilizzato, mentre il filtro passa - alto corrisponde all'ultimo (C10 - R15).