

A completamento della serie di articoli sulla rivista Costruire Hi-Fi sui filtri attivi (numeri 246, 247, 248, 250, 253, 254, 256, 258, 260 e 262 e 264 per la realizzazione di un compatto subwoofer da 8" ho ritenuto di dover rendere disponibili per gli autocostruttori i circuiti stampati necessari alla costruzione dei filtri, senza i quali la realizzazione è piuttosto laboriosa. Ringrazio diBirama per la disponibilità, e la Redazione, che sta approntando la pubblicazione di un "Quaderno" di Costruire Hi-Fi che raccoglierà tutte le puntate.

I circuiti stampati sono stati progettati per realizzare la massima modularità e flessibilità d'uso, quindi sarà possibile implementare una grande varietà di filtri, grazie all'uso di connettori sulle schede madri e schedine "Piggy Back" per i soli componenti delle celle di filtro, in modo da potere variare la configurazione dei filtri molto rapidamente, con la sola sostituzione delle schedine.

Viene illustrata la realizzazione pratica di un filtro completo per subwoofer, fermo restando che sarà possibile realizzare i più disparati tipi di filtro.

LO SCHEMA DI PRINCIPIO DEL FILTRO PER IL SUB

Nelle puntate precedenti abbiamo passato in rassegna i principali filtri che vengono solitamente utilizzati, e che potremo impiegare per un subwoofer, ed in particolare per un SUB di volume estremamente contenuto (10 litri, con frequenza di risonanza naturale attorno ai 100 Hz – che normalmente costituirebbe un grave problema, ma di cui abbiamo indicato la soluzione, grazie ad una specifica equalizzazione).

Lo schema di principio dei collegamenti dei componenti del filtro completo è stato pubblicato in CHF n° 256; nel caso si volesse utilizzare anche il filtraggio attivo dei satelliti, è necessaria la separazione dell'ingresso del Finale dal Preamplificatore – per beneficiare dello stesso controllo di volume, o, in alternativa, se non fosse disponibile l'uscita PRE, come spesso capita negli amplificatori integrati, si potrebbe utilizzare l'uscita cuffia – o metter mani all'interno e ricavarci l'uscita desiderata.

In figura 1a vediamo in alto lo schema a blocchi del filtro passabasso ed equalizzatore – nonché subsonico - per il subwoofer, e in basso i due filtri passa-alto per le casse satellite.

A seconda del caso e della configurazione voluta, alcuni blocchi potrebbero risultare superflui, e potranno essere omessi.

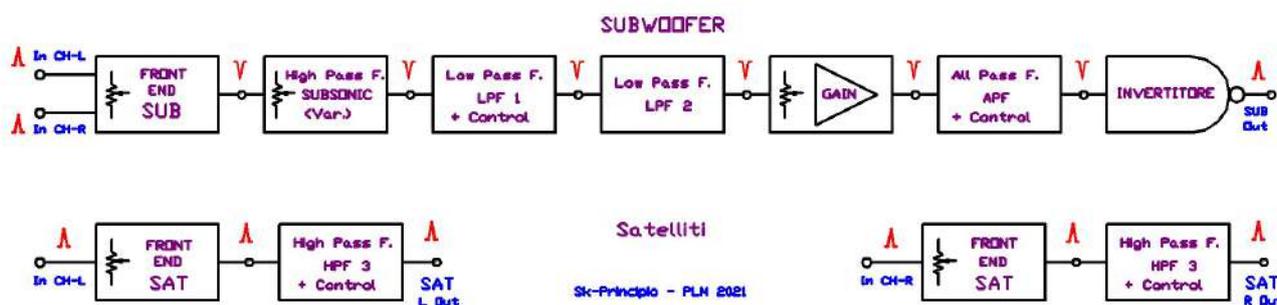


Fig. 1 - Schema di principio dei componenti del filtro completo. In alto lo schema del filtro passabasso ed equalizzatore – nonché subsonico - per il subwoofer, e in basso i due filtri per le casse satellite.

Nella parte alta della figura vediamo lo schema dei filtri per il SUB; si noti che il primo blocco (Front End) effettua la somma dei segnali del canale destro e sinistro (il canale SUB è sempre MONO-fonico) evitandone la miscelazione a monte; nella parte bassa vi è lo schema per i due satelliti, canale sinistro e destro (L e R).

I due sistemi sono totalmente indipendenti, per cui, nel caso in cui i satelliti non venissero filtrati, la parte bassa potrà essere completamente eliminata, e il segnale – quindi intonso – potrà essere prelevato direttamente dai loro terminali (opportunamente attenuato).

LO SCHEMA ELETTRICO DEL FILTRO-EQUALIZZATORE DI BASE

In figura 2 è riportato lo schema elettrico del filtro/equalizzatore; la descrizione dettagliata del funzionamento dei singoli blocchi è stata trattata nella puntata (CHF n° 256 – Filtri-6), a cui rimando gli interessati.

Lo schema è stato concepito per realizzare la massima modularità: è suddiviso in blocchi funzionali; i cerchietti con le lettere all'interno identificano l'ingresso e l'uscita di ogni blocco, ed è possibile di collegarlo – o meno – agli altri blocchi, secondo l'ordine voluto, per mezzo dei *Jumper* (J) color fucsia.

Allo scopo il circuito prevede l'uso di connettori femmina passo 2,5 mm sulla scheda del circuito stampato, come illustrato nella foto del prototipo in figura 2, in modo da poter effettuare rapidi collegamenti con corti spezzoni di filo di rame *solid core* (pieno – attenzione alla sezione, che deve essere compatibile con il foro del connettore, pena un contatto inaffidabile ed il malfunzionamento del tutto), oltre che per inserire schedine *Piggyback* (v. fig. 4) per un rapido cambio del tipo di filtro (Passa-Alto o Passa-Basso), della frequenza di taglio, Q e della pendenza (ordine).

I connettori dei blocchi funzionali (CNX) sono racchiusi nei rettangolini color viola, il numero nel cerchietto indica il pin corrispondente sul Circuito Stampato.

Le cuspidi rosse in corrispondenza degli ingressi e uscite indicano la fase del segnale lungo il percorso.

SCHEMA FINALE COMPLESSIVO PCB SUBWOOFER (9.2)

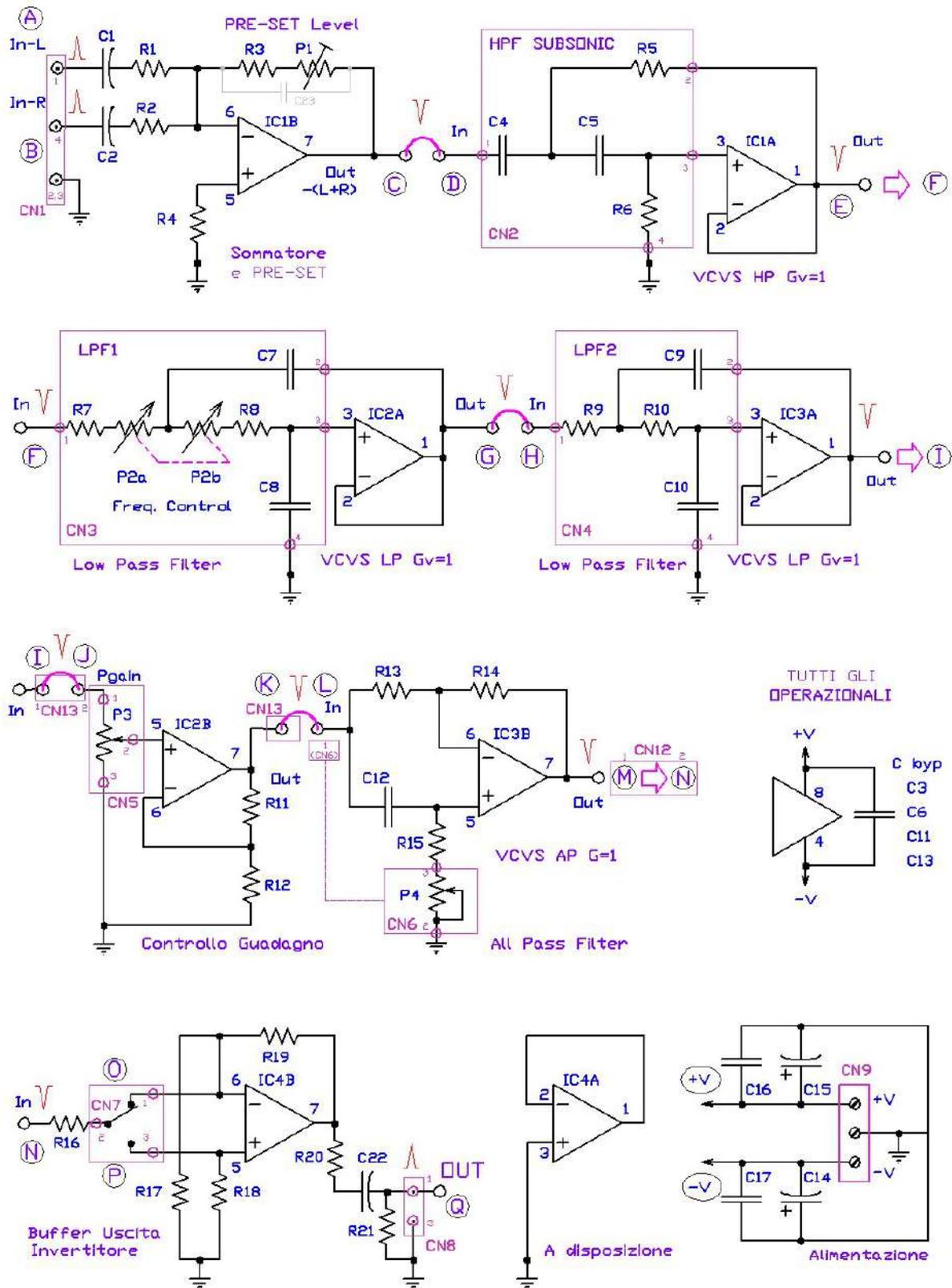


Fig. 2 - Schema elettrico e funzionale dei componenti del filtro/equalizzatore per il Subwoofer (V. 9.2).

La Tabella 1 riporta l'elenco dei componenti utilizzati nel prototipo, configurato come esempio per filtrare ed equalizzare il piccolo subwoofer da 8", in un mini-box da 10 litri; i valori indicati permettono di pilotare diversi altoparlanti (subwoofer) da 8", di caratteristiche simili al Tang Band TB W8-1363BF ed SB Acoustics SB23MFCL45-4; per configurazioni differenti potrebbe essere necessaria qualche modifica, utilizzando le formule di calcolo presentate riassunte nella tavola 2 in appendice.

Elenco Componenti Filtro/Equalizzatore per il Subwoofer (V. 9.2)

R1 - 10 k Ω 1% Metal Film	C1 - 22 μ F ElKo 25VI
R2 - 10 k Ω 1% Metal Film	C2 - 22 μ F ElKo 25VI
R3 - 2,7 k Ω	C3 - 0,1 μ F 25VI Ceramico
R4 - 3,3 k Ω	C4 - 0,1 μ F MKT
R5 - 15 k Ω	C5 - 0,1 μ F MKT
R6 - 56 k Ω	C6 - 0,1 μ F 25VI Ceramico
R7 - 10 k Ω + Pot 22k (v. Testa)	C7 - 0,1 μ F MKT (v. Testa)
R8 - 10 k Ω + Pot 22k (v. Testa)	C8 - 0,33 μ F MKT (v. Testa)
R9 - TBD (v. Testa)	C9 - TBD (v. Testa)
R10 - TBD (v. Testa)	C10 - TBD (v. Testa)
R11 - 10 k Ω	C11 - 0,1 μ F 25VI Ceramico
R12 - 1 k Ω	C12 - 0,1 μ F MKT
R13 - 18 k Ω	C13 - 0,1 μ F 25VI Ceramico
R14 - 18 k Ω	C14 - 47 μ F ElKo 25VI
R15 - 8,2 k Ω	C15 - 47 μ F ElKo 25VI
R16 - 10 k Ω 1% Metal Film	C16 - 0,1 μ F MKT
R17 - 10 k Ω 1% Metal Film	C17 - 0,1 μ F MKT
R18 - 10 k Ω 1% Metal Film	C18 - 47 μ F ElKo 25VI
R19 - 10 k Ω 1% Metal Film	C19 - 0,1 μ F 25VI Ceramico
R20 - 560 Ω	C20 - 47 μ F ElKo 25VI
R21 - 22 k Ω	C21 - 0,1 μ F 25VI Ceramico
P1 - 50 k Ω Trimmer Cermet	C22 - 47 μ F ElKo 25VI
P2 - 22 k Ω Potenziometro Doppio	C23 - TBD (v. Testa)
P3 - 10 k Ω Pot. Logaritmico	CN1 - Conn. Maschio 4 poli
P4 - 100 k Ω Potenziometro	CN2 - Conn. Femmina 4 poli
IC 1 - 4 - NE5532	CN3 - Conn. Femmina 4 poli
SW1 - Interruttore 1 via 2 posizioni	CN4 - Conn. Femmina 4 poli
	CN5 - Conn. Maschio 3 poli
Nota: tutte le resistenze da 1/4 W.	CN6 - Conn. Femmina 3 poli
TBD: To Be Defined (da definirsi)	CN7 - Conn. Maschio 3 poli
ElKo: Condensatore Elettrolitico	CN8 - Conn. Maschio 2 poli
CN: connettori da C.S. passo 2,5 mm	CN9 - Conn. a vite 3 poli
Jn * - Conn. Femmina 2+1 poli	CN10 - Conn. Maschio 1 polo
Tagliare pin centrale conn. 3 poli	CN12 - Conn. Femmina 2 poli
J1: (E) -> (F); J2 (G) -> (H)	CN13 - Conn. Femmina 3 poli

Tabella 1 – Elenco componenti utilizzati nel prototipo del filtro del subwoofer (V. 9.2)

Utilizzando i valori dei componenti riportati tabella si ottengono le seguenti caratteristiche dei filtri:

- Passa-Alto (Subsonico): 20 Hz – Q=1
- Passa-Basso a Freq. Variabile: 20 – 100 Hz – Q=0,7
- Passa-Basso Aux (1° Ordine): 39 Hz

I valori sono indicativi, sono infatti condizionati dalla precisione dei componenti passivi, scelti nella serie di valori E12, ma rimangono ampiamente entro un 5% di tolleranza, più che sufficiente alla bisogna.

In figura 3 si può vedere il Prototipo della *Motherboard* per il filtro del subwoofer montato:



Fig. 3 – Prototipo della *Motherboard* per il filtro del subwoofer con un *Piggyback* e connettori montati. Si noti al centro, sopra il terzo *Ic* (da sx) lo spazio per l'eventuale montaggio fisso dei componenti di un modulo di filtro.

Sulla sinistra si trova il connettore per il *flat cable* per l'ingresso dei canali, quindi la scheda *Piggyback* del filtro subsonico; più a destra la scheda che collega con un *flat cable* il filtro Passa-Basso a frequenza variabile (a destra, in figura 2), quindi un'altra scheda per una eventuale seconda cella di filtro ausiliario.

In basso, il controllo del guadagno, quindi il controllo della fase col filtro Passa-Tutto, con potenziometro remotizzato, infine lo switch per l'inversione della fase; accanto, il connettore di uscita, ed infine il connettore di alimentazione.

Avrete notato l'uso diffuso di *flat cable*, molto comodo nei prototipi (Fig. 4) per una veloce configurazione, grazie anche alla disponibilità sul web di cavetti pre-cablati (basta cercare "*Jumper cables*"), altrimenti si diventa matti a realizzarseli da soli.



Fig. 4 – Flat cable Maschio-Maschio, Femmina-Femmina e Maschio-Femmina, per tutte le esigenze, e prototipi delle schede Piggyback per le celle di filtro programmabili

I valori riportati nella Tabella 1 sono indicativi – si riferiscono all'impiego specifico del filtro come equalizzatore per il Subwoofer con mini-cassa e woofer da 8" descritti in precedenza come esempio, ma possono essere facilmente adattati a diverse esigenze, ad esempio con altoparlanti/casse differenti, o semplicemente come filtro subsonico o anche passa-basso - senza equalizzazione alcuna, semplicemente ricalcolando il valore dei componenti delle celle di filtro con le formule spiegate in precedenza, e riassunte anche nell'ultima puntata (CHF n° 258).

LA SCHEDA MADRE (MB)

La descrizione dettagliata del circuito della scheda madre (*Motherboard* – **MB**) è stata illustrata nel numero 258 di *Costruire Hi-Fi*; in figura 5 si può vedere il prospetto del circuito stampato (**PCB** – Printed Circuit Board); nel seguito, ne abbrevieremo i nomi in MB e PCB.

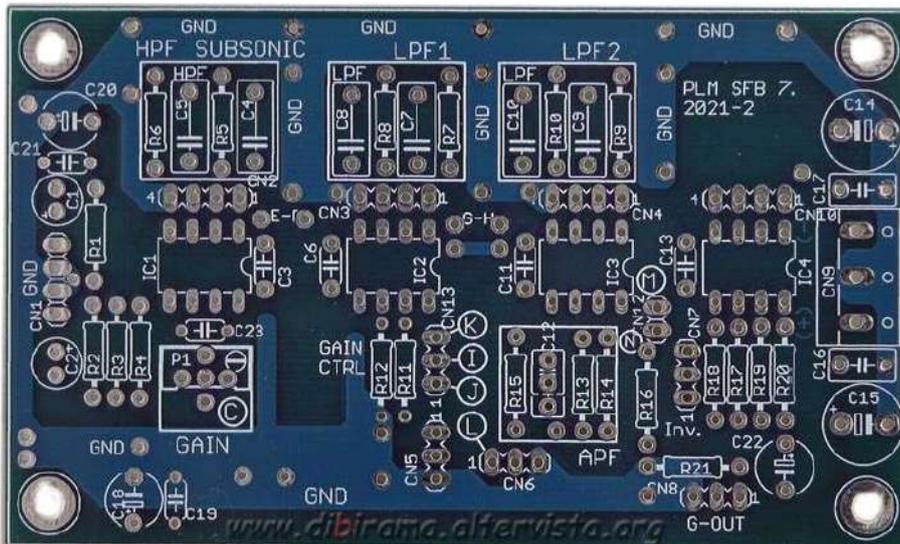


Fig. 5 – Prospetto della PCB Scheda Madre.

Sulla parte alta della MB noterete dei rettangolini di colore bianco, che circoscrivono l'area della PCB dove si trovano le predisposizioni per i filtri, che potranno essere implementati sia tramite le schedine *Piggyback*, inserite nei connettori CN2, CN3 e CN4, sia direttamente sul circuito stampato, una volta trovata la migliore configurazione dei filtri, per una migliore affidabilità delle connessioni.

Gli ingressi e uscite dei diversi blocchi circuitali fanno capo a connettori femmina, che permettono di collegare tra loro i moduli nel numero e ordine previsto, ottenendo così una totale flessibilità e configurabilità del circuito per le più disparate esigenze. I connettori per i *Jumper* (J) sono ricavati da connettori femmina a tre *pin* passo 2,5 mm, a cui verrà rimosso il pin centrale, allo scopo di permettere al disotto il passaggio delle piste del CS lato rame; il *Jumper* è realizzato con uno spezzone di rame solido diametro 0,8 mm – attenti alla corretta sezione, altrimenti il contatto sarà aleatorio e inaffidabile.

La MB è disponibile anche una versione semplificata, con soli tre operazionali e senza *Piggyback*, per chi desidera solamente un normale filtro per subwoofer, come da figura 6.

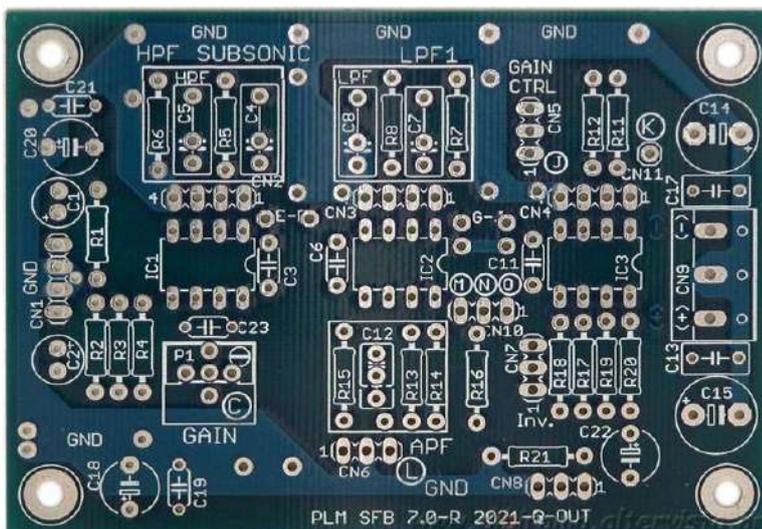


Fig. 6 – Prospetto della PCB MB semplificata.

ANALISI DELLO SCHEMA ELETTRICO

Seguendo lo schema di figura 2, a sinistra troviamo il connettore d'ingresso che conduce al **circuito sommatore**, che permette di miscelare il segnale dei due canali dal PRE senza ritorni, ed effettuare un preset del livello (con il *trimmer* P1) esplicando anche la funzione di *buffer* per fornire al filtro dello stadio successivo la necessaria impedenza bassa e costante.

Nel caso in cui il segnale non venisse prelevato dall'uscita del preamplificatore, ma dall'uscita cuffia o dall'uscita per altoparlanti dell'amplificatore, sarà necessario attenuarlo con un partitore o potenziometro doppio, a cui andranno collegati singolarmente i due canali; attenzione alla resistenza dell'attenuatore, perché verrà a trovarsi in serie alle resistenze R1 ed R2 dello stadio invertente, quindi andranno a diminuirne il guadagno. Anche per questo motivo ho previsto il *trimmer* "PREset".

Un valore di 10 k Ω si traduce, nel caso peggiore di metà corsa del potenziometro, in una resistenza aggiuntiva di 2,5 k Ω in serie alle resistenze d'ingresso, perfettamente gestibile dal PREset grazie al *trimmer* P1, che andrà regolato in modo da fornire al punto (C) un segnale di alcuni volt. L'integrato NE5532 è in grado di fornire all'uscita un segnale di quasi 10 V_{RMS} e comunque è silenziosissimo, quindi il livello di segnale all'interno del circuito non è critico.

Ho previsto una predisposizione per inserire un condensatore (C23) in parallelo alle resistenze di feedback R3-P1, nel caso insorgesse qualche problema di stabilità quando il guadagno si avvicina all'unità – solo in caso di necessità, si può trovare il valore ottimale osservando il ringing di un'onda quadra; un valore di pochi pF dovrebbe essere sufficiente. Tale problema può originarsi da un layout e cablaggio inadeguato; nelle schede prototipali non sono stati riscontrati problemi.

All'uscita del sommatore (C) troviamo il **filtro subsonico**, un Passa-Alto del 2° ordine con frequenza di taglio a 25 Hz, e, dopo varie prove, Q=1.

Scendere ancora più in basso con la frequenza di taglio farebbe venir meno la ragion d'essere di questo filtro, e già 25 Hz è una frequenza molto impegnativa per un piccolo altoparlante da 8", per cui praticamente sarebbe più opportuno un innalzamento della frequenza di taglio a 32 Hz, ricordando che l'escursione della membrana del woofer è inversamente proporzionale alla frequenza, quindi, da 40 a 20 Hz raddoppia.

La valutazione è molto facile da farsi, basta preparare una seconda schedina *Piggyback*, con i nuovi componenti, sostituirla sul connettore CN2, ed il cambio è presto fatto.

Seguono i due moduli per i filtri Passa-Basso, che limiteranno al risposta del Sub verso le frequenze più alte per il migliore incrocio con i satelliti.

Per una migliore comprensione del funzionamento ricordo che vi sono due modalità di utilizzo del filtro Passa-Basso:

- **Uso NORMALE**
- **EQUALIZZATORE**

L'**Uso NORMALE** prevede l'utilizzo di un subwoofer che scende naturalmente ad una frequenza confacente (es. 25 – 32 Hz) con un taglio alla desiderata frequenza per l'incrocio con i satelliti, in linea di massima alla frequenza dove la risposta verso il basso dei satelliti cala di 6 dB.

L'**Uso EQUALIZZATORE**, come spiegato approfonditamente nella quinta e sesta puntata (CHF n° 253 e 254) invece serve a utilizzare un box con frequenza di taglio inferiore piuttosto alta a causa delle ridotte dimensioni e volume, che potrebbe variare – indicativamente - da 50 Hz a 100 Hz.

Il risultato dell'uso di questi filtri risponde perfettamente alle aspettative progettuali, ed è riportato nella figura 6 di CHF 258, a cui rimando per la comprensione del funzionamento del circuito di equalizzazione.

Ricordo che in questo modo la frequenza di taglio superiore (**F_H**) della risposta in frequenza rimane strettamente vincolata alla frequenza di taglio naturale della cassa **f_c** (che potrebbe risultare troppo alta - es. 100 Hz): è il motivo per cui ho previsto un secondo filtro, in cascata al primo, per implementare un taglio intermedio che permetterà di abbassare la **F_H** finale.

Questo filtro andrà "tagliato" sulla effettiva **risposta acustica** del subwoofer, per cui non sarà necessario equipaggiarlo con un controllo per la variazione della frequenza elettrica di taglio f_t , e potrà essere definitivamente montato sulla PCB madre.

Questo primo filtro LP è dotato di un **potenziometro doppio (P2)** che sarà utilissimo in fase di taratura; il comando della frequenza serve a configurare la Risposta in Frequenza (RF) del sub e non dovrà essere accessibile liberamente, perché si andrebbe a starare irrimediabilmente la risposta del sub. Preciso che P2 andrà collegato a mo' di resistore variabile, cortocircuitando il terminale centrale con quello laterale **DALLO STESSO LATO**, in modo che la resistenza aumenti/diminuisca parimenti su entrambe le sezioni (deve rimanere identica). Il verso corretto è tale per cui ruotando l'alberino in senso orario, la frequenza di taglio aumenta.

Il filtro viene remotizzato dalla PCB con un connettore multifilare (*Flat Cable*), ed è realizzato su una basetta millefori, data la sua semplicità (Fig. 7). I componenti sulla millefori sono montati su zoccolino, per poterne facilmente modificare i valori, in fase definitiva andranno saldati.

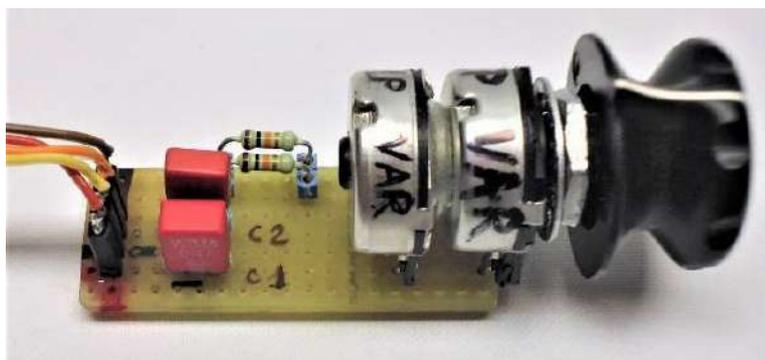


Fig. 7 – Schedina Filtro Passa-Basso con controllo di frequenza. I componenti sono montati su zoccoli a tulipano per la fase di messa a punto, andranno poi eliminati saldando i componenti definitivi sulla basetta millefori.

Segue il modulo di **Controllo Guadagno**, normalissima configurazione non invertente con guadagno $G=11$, che può venire modificato per specifiche esigenze ($G=1+R11/R12$). L'elevato guadagno è necessario a compensare l'attenuazione causata dal particolare filtraggio dell'equalizzatore.

Troviamo quindi il modulo "**All Pass**", il filtro passa-tutto per lo sfasamento del segnale, tramite il potenziometro P4 ed infine il **Buffer di Uscita** e **Invertitore**, per ripristinare la fase corretta del segnale in uscita – uguale a quella di entrata (salvo l'intervento del filtro All Pass). Ricordo che i filtri All Pass possono sfasare al massimo di 180° , quindi, per una rotazione di fase completa, si dovrà ricorrere ad un invertitore di segnale (180°). In serie all'uscita una resistenza da 560 ohm protegge il circuito integrato da possibili cortocircuiti.

La PCB madre è alimentata da un modulo esterno standard da ± 15 V regolati.

Il connettore di alimentazione on board è bypassato da condensatori elettrolitici Low ESR e ceramici, e tutti i circuiti integrati dovranno essere bypassati sui piedini di alimentazione (4 e 8) da un condensatore ceramico da 0,1 μ F, ad evitare auto-oscillazioni.

Le schede *Piggyback*

Nella fase iniziale della realizzazione sarà conveniente montare i componenti del filtro sulle schede rimovibili (v. Fig. 4), in modo da poter riconfigurare immediatamente il filtro, cosa utilissima specie in fase di sperimentazione.

A seconda dell'implementazione Passa-Basso piuttosto che Passa-Alto, cambierà la disposizione dei componenti (Z1, Z2, Z3, Z4) sulla schedina, come indicato in figura 8.

In pratica, per il Passa-Alto, C1 e C2 vanno al posto di Z1 e Z3, mentre le resistenze R1 ed R2 andranno al posto di Z2 e Z4, mentre per il Passa-Basso si scambierà il posto la R con C.

Eventuali diverse configurazioni potranno essere realizzate con basetta millefori, come il filtro ausiliario PB del primo ordine, o anche filtri di ordine superiore.

Le schedine PiggyBack presentano il pin di massa al n° 4, al n° 3 il nodo interno, al n° 2 l'uscita, e al n° 1 l'ingresso (vedere sullo schema di figura 1 la corrispondenza dei componenti da montare nelle posizioni ZX).

Una nota sul montaggio del connettore a pettine, lato rame: per poterlo saldare, i pin andranno appena infilati nei fori lato rame, con il connettore in plastica dall'altro lato, come mostrato in figura 8. Si potrà così procedere alla saldatura, curando di lasciare poco stagno perché successivamente, con l'aiuto di una piccola pinza, si farà scorrere il supporto di plastica fino a renderlo aderente alla basetta, in modo da poterlo inserire nel connettore femmina.

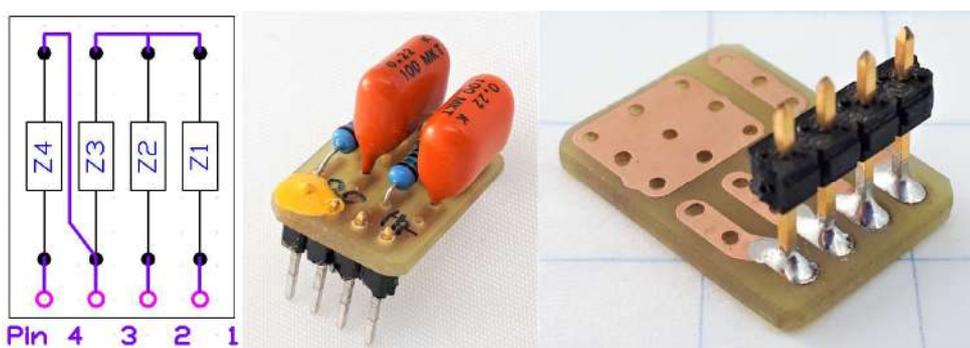


Fig. 8 – Disposizione dei componenti sulle schedine Piggyback, es. Passa-Alto, e montaggio del connettore a pettine sulla schedina Piggyback.

I FILTRI PASSA-ALTO per i SATELLITI

Per una corretta integrazione del Subwoofer nell'ambiente, è necessario che l'emissione dei diffusori acustici principali (i Satelliti) non vada a sovrapporsi all'emissione del Subwoofer, pena cancellazioni o enfasi sulle frequenze più basse; dovranno quindi essere dotati anch'essi di specifici filtri.

I filtri passa-alto per i satelliti sono stati descritti nella terza puntata (CHF n° 248) e sono realizzati su circuito stampato dotato di connettore per schedine *Piggyback*.

Chiaramente, occorrerà una scheda per canale; entrambe le schede sono alimentate a +/- 15V come la scheda madre, e ciascuna assorbe una decina di mA; eventualmente l'alimentatore potrà essere in comune con la MB del Sub.

Lo schema elettrico (Fig. 9) rimane identico a quello descritto nel n° 248, ma ho ritenuto di dover modificare leggermente il layout, per poter condividere le stesse schedine *Piggyback* della MB, che purtroppo avevano un *pinout* differente: le schedine diventano così effettivamente compatibili per i due sistemi.

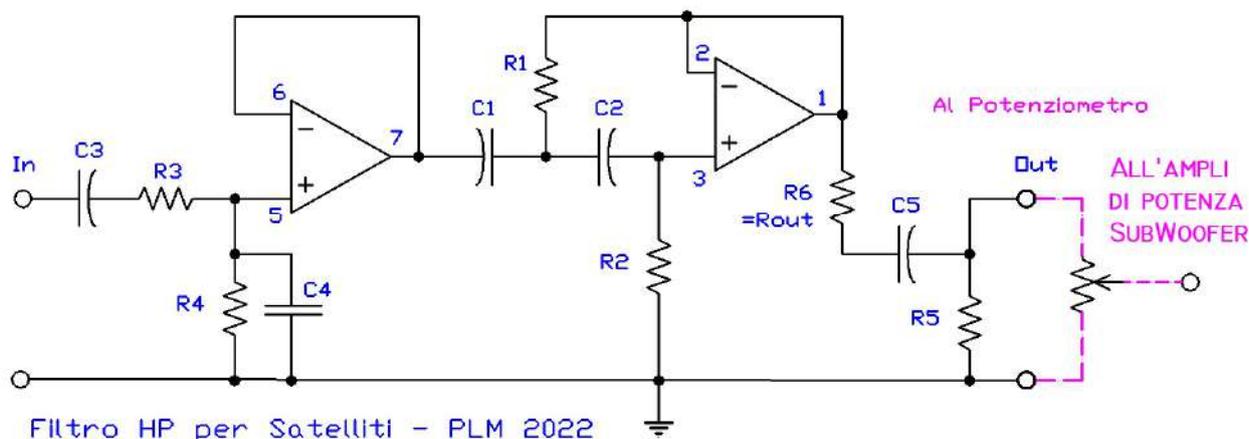


Fig. 9 – Schema elettrico della scheda Filtro HP per i satelliti.

Nella tabella 2 sono riportati il tipo e valore dei componenti; i valori della cella del filtro (R1, R2, C1 e C2) si riferiscono ad un taglio esemplificativo a 200 Hz, $Q=0,7$, buono per un incrocio con un Sub a 100 Hz (a -6 dB).

High Pass Filter - Elenco Componenti

- R1 * - 5,6 k
- R2 * - 10k
- R3 - 1k
- R4 - 47k
- R5 - 22k
- R6 - 560
- C1 * - 0,1 uF MKT
- C2 * - 0,1 uF MKT
- C3 - 2,2 uF Elko 25 VI
- C4 - 820 pF cercamico
- C5 - 47 uF Elko 25 VI
- C6 - 0,1 uF ceramico
- C7 - 3,3 uF Tantalio 25 VI
- C8 - 0,1 uF MKT
- C9 - 0,1 uF MKT
- C10 - 22 uF Elko 25 VI
- C11 - 22 uF Elko 25 VI
- IC1 - NE5532
- CN1 - Connettore M p. 2,5 mm 6 poli
- CN2 - Connettore F p. 2,5 mm 4 poli

Nota: Tutte le resistenze: 1/4W 1% SM

* $F_t=200$ Hz, $Q=0,7$ - V. Testo

Tav 2 – Elenco componenti Scheda High Pass Filter

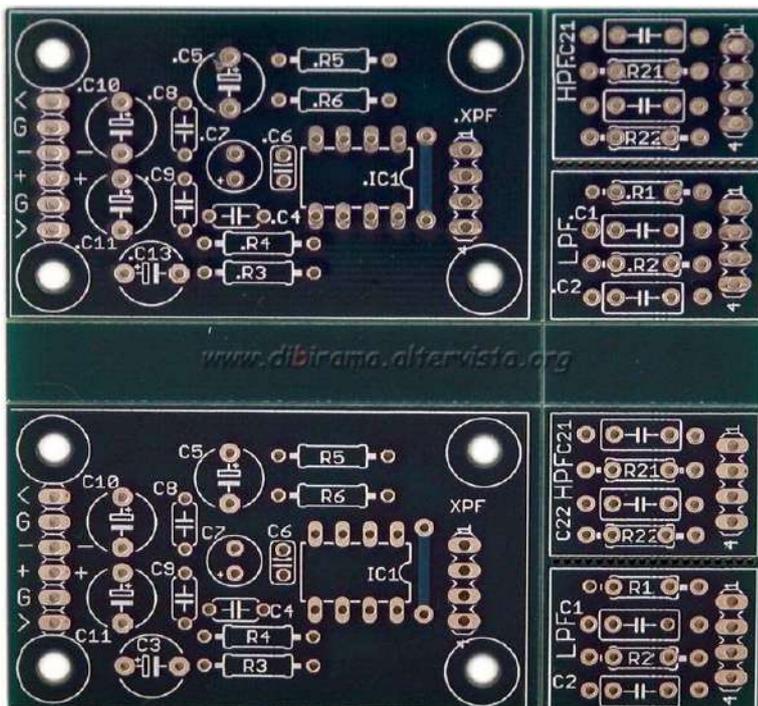


Fig. 10 – Prospetto della scheda Filtro HP per i satelliti.

Le schedine *Piggyback* riportano la scritta HPF e LPF ad indicare la configurazione passa-alto e passa-basso utilizzata, ed i relativi componenti, ma il circuito è identico; le scritte servono solo a ricordare quale sia la funzione implementata; si noti che tra HPF e LPF cambia la posizione delle resistenze e condensatori.

In fase di taratura del sistema, sarà conveniente utilizzare una cella di filtro a frequenza variabile, aggiungendo a R1 ed R2 un potenziometro doppio, rimandando eventualmente il montaggio delle schedine *Piggyback* con componenti fissi a quando si sarà individuata la giusta frequenza di taglio.

Questo perché sconsiglio comunque di lasciare liberamente accessibili i controlli della frequenza di taglio, in quanto si finisce facilmente a dovere rifare le misure e taratura in ambiente.

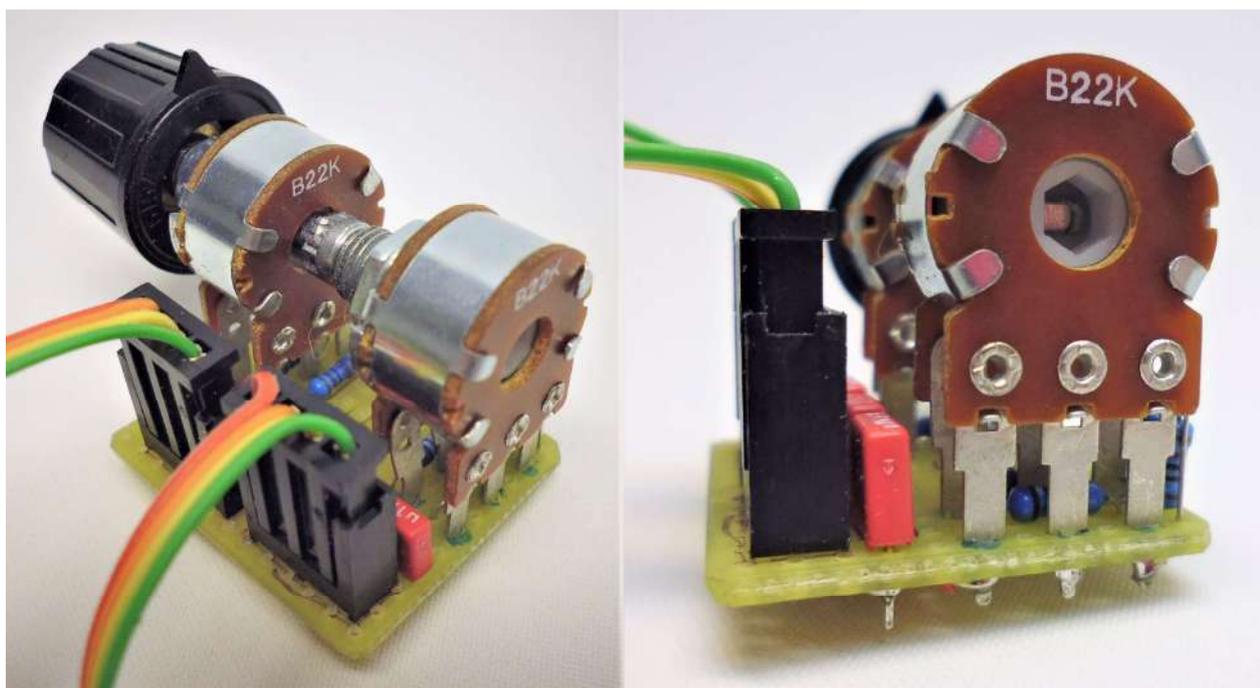


Fig. 11 – Schedina con i due potenziometri doppi accoppiati del Filtro HP per i satelliti.

Siccome i canali dei satelliti sono due, dovremo utilizzare due potenziometri doppi, accoppiandone gli alberini, come mostrato in figura 11; attualmente su Amazon – e su altri siti, si trovano potenziometri doppi con uno scasso posteriore di forma esagonale, al quale potrà essere accoppiato l'alberino del secondo potenziometro, opportunamente accorciato e sagomato, come da foto; l'operazione non è molto difficile.

ALTRI SISTEMI

Questo progetto è finalizzato principalmente alla realizzazione di un tradizionale filtro attivo per Subwoofer, o anche all'equalizzazione di una piccola cassa in sospensione pneumatica, caratterizzata da una pendenza del *roll-off* della risposta del secondo ordine (12 dB/ottava = 40 dB/decade), ma anche da una prematura caduta della risposta sui bassi.

Il filtro Passa-Basso utilizzato per l'equalizzazione dovrà essere del secondo ordine, per compensare detta prematura caduta.

I filtri possono anche essere utilizzati con sistemi in "Bass-Reflex": se avessimo voluto utilizzare un allineamento tradizionale in Bass Reflex tipo B4, la pendenza del *roll-off* sarebbe stata del quarto ordine, e altrettanto dovrebbe essere l'ordine del filtro equalizzatore.

I possibili allineamenti dei sistemi in Bass Reflex sono molteplici (v. Tabelle di Thiele e di Keele) per cui ricordo che Thiele aveva già definito diversi allineamenti "assistiti" da circuiti ausiliari (la Classe I – 6° Ordine) come il B6, a cui è meglio fare riferimento per il dimensionamento dei necessari filtri di equalizzazione, che potranno essere calcolati per la specifica necessità utilizzando le formule presentate in questa serie di articoli.

Non ultimo, possiamo utilizzare lo *slot* libero per aggiungere ancora una cella di filtro, ed implementare ulteriori filtraggi o equalizzazioni, ad esempio, come visto prima, per spostare in basso la F_H di una mini-cassa.

Invece, nel caso di un normale Subwoofer con una discreta estensione in basso, possiamo utilizzare la MB per dargli "un aiutino" sull'estremo più basso, con la tecnica del "Bass Restorer" presentata a suo tempo su CHF n° 180, in pratica una cella Passa-Alto del secondo Ordine che implementa un filtro subsonico con un Q sufficientemente alto da linearizzare la risposta complessiva, estendendola di circa un'ottava, ma non oltre (avevo tentato questa strada per equalizzare il Box da 10 litri con l'altoparlante da 8", ma era veramente *Mission Impossible!*)

L'ALIMENTATORE

L'alimentatore dovrà fornire una tensione duale di +/- 15 V alla *Motherboard* dei filtri; dovrà essere in grado di fornire una corrente di almeno 100 mA (trasformatore da 15 V, 3 VA o anche più, se dovrà alimentare circuiti ausiliari). Può essere sostituito da qualunque altro alimentatore con le caratteristiche richieste, a basso ripple e rumore (con regolatore integrato o a componenti discreti); ho provato con buoni risultati anche moduli switching.

L'AMPLIFICATORE PER IL SUB

Come spiegato nei precedenti paragrafi, per sopperire alle carenze delle piccole casse sarà necessario fornire un'elevata potenza al woofer del Sub: per gli 8" in 10 litri di Box 400/500 W ci vogliono tutti per spremere il massimo; miracoli però non se fanno, e la massima potenza acustica rimarrà sempre fissata dalla MOL (*Maximum Output Level*). Si vedano in proposito i grafici di figura 12 di CHF 253 e gli articoli su CHF di Marco Bonioli sul confronto degli altoparlanti per subwoofer. Allo scopo si prestano ottimamente i moduli in Classe D del tipo illustrato in figura 15 (500 W/4 Ω).

CONSIGLI PER IL MONTAGGIO

I circuiti stampati sono abbastanza semplici, facili da riempire e saldare.

Consiglio di procedere in maniera ordinata, recuperando tutti i componenti necessari, e testarli con un multimetro e capacimetro; questa banale operazione eviterà una faticosa ricerca delle cause di malfunzionamento, spesso dovuta ai codici a colori delle resistenze equivoci.

Vanno montati per primi i componenti a profilo più basso, e saldati con attenzione; è necessario uno stagnatore a punta fine, di potenza non superiore a 20/30 W, possibilmente con controllo della temperatura, impostato a 280-300 °C, e stagno piuttosto sottile (diametro 0,5 mm).

Si salderanno quindi gli zoccoli degli integrati e connettori per le schedine Piggy Back, e quel che resta.

Raccomando alla fine un buon controllo del posizionamento e valore dei componenti.

IL TEST DELLE SCHEDE

Per il test è necessario un alimentatore da +/- 15 V, in grado di erogare almeno 100 mA, di cui andrà misurata l'effettiva tensione di uscita.

Quindi collegare l'alimentatore alla scheda da testare (DUT), PRIVA degli amplificatori operazionali, ma corredata dei vari potenziometri, switch etc. e verificare la tensione di alimentazione ai pin 4 e 8 degli operazionali. Se OK, si procederà al test della scheda.

Fare riferimento allo schema di figura 2.

Per il test è necessario un generatore di funzioni (o disco test con segnali sinusoidali), tester e possibilmente oscilloscopio.

E' opportuno effettuare il test dei singoli blocchi stand-alone (da soli), iniziando dallo stadio d'ingresso, quindi si monterà solo il primo operazionale (IC1). **NON utilizzare operazionali ESOTICI** o super performanti, perché manderanno in auto-oscillazione il tutto; il circuito è progettato e testato per gli operazionali a basso rumore NE5532 che bastano ed avanzano per lo scopo e sono estremamente stabili; la loro sostituzione porterebbe solo a PEGGIORAMENTI delle prestazioni.

Stadio d'Ingresso (PRE-SET Level): il trimmer P1 andrà regolato per il valore resistivo minimo. Cortocircuitare gli ingressi e dare tensione; verificare la tensione di offset sull'uscita (pin 7), che dovrà essere di pochi millivolt, da misurare tra la massa e il pin 7 (punto C). Collegare quindi il generatore all'ingresso In-**L** (connettore CN1, pin 1), settato per un segnale di uscita di 0,7 V e frequenza 1 kHz. Regolare il trimmer P1 per avere all'uscita 0,35 V circa. Collegare il generatore all'ingresso In-**R**, il segnale di uscita dovrà rimanere a 0,35 V. Collegare il generatore a entrambi gli ingressi: il segnale di uscita dovrà portarsi a 0,7 V (il circuito è UN SOMMATORE). Se all'oscilloscopio dovessero manifestarsi oscillazioni ad alta frequenza (caso remoto ma sempre possibile), inserire il condensatore C23, partendo da 5,6 pF, e aumentandolo con il successivo valore (6,3 – 8,2 – 10 – 12 – 15 -18 etc.), finché le oscillazioni non spariscono. Se una capacità superiore a 22 pF non fosse sufficiente, vuol dire che non è un problema risolvibile con la compensazione – e che c'è qualche altro problema (errore di montaggio, componenti difettosi, etc.)

Filtro HPF SUSONICO: spegnere l'alimentatore, installare la prima schedina Piggyback personalizzata per Filtro Subsonico – in alternativa al montaggio FISSO sulla PCB. Consiglio di cominciare con la schedina P.B. in modo da poter fare delle prove e trovare la migliore impostazione del filtro.

Il collegamento tra i punti C e D è già realizzato con una pista del C.S., quindi non c'è jumper. Monitorare l'uscita (Pin 1 di IC1A – punto E) e dare tensione: con il generatore sempre all'ingresso (A e B), per 1 kHz e 0,7 V, il segnale dovrebbe essere 0,7 V circa, e a 10-15 Hz molto attenuato; potete verificare la frequenza di taglio del filtro, che corrisponde alla frequenza dove il livello scende al 70,1 % (quindi =0,5 V). Questo prova il buon funzionamento del filtro subsonico.

Andiamo ora a provare lo stadio di **Controllo del Guadagno** (IC2B): spegnere l'alimentatore e inserire l'integrato, collegare il potenziometro P3 al connettore CN5, e un Jumper da 0,8 tra l'ingresso (J) e (C).

Monitorare l'uscita (Pin 1 di IC3A – punto K) e dare tensione: con il generatore sempre all'ingresso (A e B), per 1 kHz e 0,7 V, l'uscita K dovrà variare tra 0 e una decina di Volt ruotando il potenziometro; al valore massimo la sinusoide potrà essere tagliata.

All Pass Filter (IC3B): collegare il potenziometro P4 al connettore CN6; inserire un jumper da 0,8 tra (K) ed (L) e monitorare l'uscita (**M** - pin 7); regolare P3 per avere 0,7 V su (L) e leggere lo stesso valore su (M); ruotando il potenziometro P4 il livello deve rimanere pressoché invariato, in quanto cambia solamente la fase rispetto al segnale d'ingresso.

Chi dispone di un oscilloscopio a doppia traccia, potrà collegare un canale a (L) e l'altro a (M), e potrà verificare che le due sinusoidi si sfasano ruotando P4.

Testiamo il **Buffer di Uscita** – Invertitore: spegnere l'alimentatore e inserire l'integrato IC4, collegare lo switch al connettore CN7, e un Jumper da 0,8 tra (M) ed (N); ridare tensione e monitorare l'uscita (Q), che dovrà rimanere a livello costante manovrando lo switch; chi dispone di un oscilloscopio a doppia traccia, potrà collegare un canale a (N) e l'altro a (Q), e verificare che le due sinusoidi si sfasano di 180° manovrando lo switch.

Rimangono da testare i **moduli programmabili di IC2a e IC3a**: predisponete i Piggyback per i filtri desiderati ed effettuate il test come fatto per il filtro subsonico, provando i moduli uno alla volta, collegati all'uscita (C) del sommatore. Fare attenzione al corretto inserimento della schedina (Pin 1 su Pin 1 del connettore – controllare che il Pin 4 sia sempre a massa).

Quando tutto il collaudo sarà completato positivamente, potrete collegare definitivamente i moduli secondo il vostro progetto. Consiglio, salvo particolari esigenze, di mantenere l'ordine dei moduli riportato in figura 2, che ottimizza diversi parametri.

Una volta che il progetto sarà consolidato, si potrà anche optare per la rimozione dei moduli Piggy Back, e installare gli stessi componenti direttamente sulle predisposizioni del circuito stampato, saldandoli definitivamente, a favore di contatti molto stabili e duraturi.

Per le schedine piccole, dei filtri singoli (es. FILTRI PASSA-ALTO per i SATELLITI – o altro) la procedura di test è analoga, per quanto presente (il Buffer d'ingresso e la schedina Piggy Back).

Per eventuali domande, chiarimenti o problemi, potete postare sul Forum di Costruire Hi-Fi.
Buon lavoro ! 😊

APPENDICE: le formule di calcolo dei filtri

FORMULARIO PARAMETRI FILTRI

L'equazione di base dei filtri è quella del primo ordine, data da una cella costituita da un condensatore e da una resistenza: la frequenza di taglio del filtro (dove la risposta in frequenza si riduce di 0,7 volte, ovvero 3 dB) viene determinata dalla formula

$$f_{-3} = 1 / (6,28 \times R \times C)$$

e, a seconda della posizione del componente in serie al segnale diventa un filtro passa-alto oppure passa-basso: se è il condensatore il filtro risulta passa-alto, e se invece è la resistenza, in serie al segnale, il filtro sarà un passa-basso.

La pendenza della risposta del filtro del primo ordine è di 6 dB/ott = 20 dB/decade), piuttosto blanda per l'uso corrente, però, aumentando l'ordine del filtro la pendenza diventa più ripida.

L'aumento dell'ordine si ottiene aggiungendo un'ulteriore cella RC, e, ad ogni ulteriore cella aggiunta (secondo le regole spiegate), la pendenza aumenterà di 6 dB/ott (20 dB/decade).

Nella seguente tabella (Tav. 2) vengono riassunte le equazioni dei filtri del secondo ordine, che erano state descritte nella terza puntata (CHF n° 238).

Nei filtri di ordine superiore al primo, è di fondamentale importanza il parametro di qualità **Q** che stabilisce il tipo di risposta alla frequenza di taglio (massimamente piatta, sovra-smorzata e sotto-smorzata – cioè con una gobba – da evitare).

Formulario Equazioni Filtri VCVS

<p>Filtro LP a Guadagno Unitario Low Pass - Passa-Basso</p> $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (\text{Eq. 1})$ $Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{C_2(R_1 + R_2)} \quad (\text{Eq. 2})$ <p>Se $R_1=R_2=R$ e $C_1=C_2=C$</p> $f_c = \frac{1}{2\pi R C} \quad (\text{Eq. 3})$	<p>Filtro HP a Guadagno Unitario High Pass - Passa-Alto</p> $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (\text{Eq. 7})$ $Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_1(C_1 + C_2)} \quad (\text{Eq. 8})$ <p>Se $R_1=R_2=R$ e $C_1=C_2=C$</p> $f_c = \frac{1}{2\pi R C} \quad (\text{Eq. 3})$
--	--

Tav. 2 – Equazioni dei Filtri Sallen e Key (VCVS) del 2° ordine (pendenza 12 dB/ott. = 40 dB/decade)

I filtri possono venire inseriti in cascata, per realizzare filtri di ordine superiore – ad esempio un filtro del primo ordine seguito da un filtro del secondo ordine per ottenere un filtro del terzo ordine, ma in questo caso vi sono regole molto precise da rispettare, che si concretizzano in tavole dei coefficienti per i filtri di diverse tipologie per ottenere le prestazioni e *ripple* (oscillazione attorno alla frequenza di taglio) desiderati.

La regola ferrea è di attenersi alla tavola dei coefficienti qui riportata, che per l'allineamento "massimamente piatto (alla Butterworth) riguardano il solo fattore di merito Q, in modo da ottenere la risposta massimamente piatta: così, nel caso di un filtro del 2° ordine (n=2), il Q dovrà essere rigorosamente pari a 0,707; per il terzo ordine, la cella del 2° ordine dovrà avere $Q_1=1$ (ricordo che il filtro del primo ordine non ha fattore di merito); per il quarto ordine, la prima cella del 2° ordine dovrà avere $Q_1=0,541$ e la seconda cella del 2° ordine dovrà avere $Q_2=1,306$, e così via.

Ordine n Filtro Butterworth

n	Q1	Q2	Q3
2	0,707	-	-
3	1,000	-	-
4	0,541	1,306	-
5	0,618	1,620	-
6	0,518	0,707	1,932

Tav. 3 – Coefficienti di Butterworth per filtri in cascata di ordine n.

Quindi sarà possibile dare ai nostri filtri la configurazione desiderata, grazie alla modularità del circuito stampato; i filtri sono realizzati sulle schede *Piggyback*, di ridottissime dimensioni (1,5 x 2 cm), che possono essere rapidamente cambiate grazie ai connettori. Consiglio a chi volesse sperimentare i vari filtri di crearsi un foglio di lavoro Excel con le formule sopra riportate, in modo da agevolare i calcoli (e non fare errori !).

© Pierluigi Marzullo, 2021-2022

-----=O=-----