

Wattmetro Audio

Descrizione generale:

Vi siete mai chiesti quale effettiva potenza sviluppa il vostro stereo quando state ascoltando la musica oppure avete necessità di misurare la potenza in uscita da un amplificatore audio? Vi sono sempre piaciuti quegli indicatori della potenza di uscita che si trovano solo negli amplificatori più belli e costosi?

Se avete risposto SI alle domande allora questo è il progetto che fa per voi, infatti vi permetterà di misurare la potenza in uscita da qualsiasi amplificatore audio. Lo strumento, preciso e molto versatile, è costruito su due circuiti stampati: il primo contiene il circuito vero e proprio di misura, mentre il secondo è il modulo di ingresso che consente di definire le caratteristiche (potenza di fondoscala e impedenza di carico) dello strumento. Per la progettazione dei componenti del modulo di ingresso si rimanda al paragrafo dedicato.

Ma qualcuno si chiederà: perché, ed in che senso, è così versatile questo strumento?

La risposta è molto semplice infatti sostituendo una resistenza, o un gruppo di alcune resistenze connesse in serie e/o parallelo, si può definire sia la potenza di fondoscala, da qualche centinaio di milliwatt alla decina di Kilowatt, che l'impedenza dell'altoparlante collegato all'amplificatore. Inoltre aggiungendo, sempre sul circuito stampato del modulo di ingresso, un paio di condensatori si può anche fare filtro passa-banda e limitare la banda in cui si vuole misurare la potenza di uscita. Il modulo di ingresso è fissato al circuito principale tramite connettori ed è immediatamente sostituibile; in questo modo si possono costruire numerosi moduli, ognuno con caratteristiche diverse, e sostituendoli si cambiano le caratteristiche di misura dello strumento.

Per misurare di potenza lo strumento effettua una misura sulla tensione in uscita dall'amplificatore che, tramite l'impedenza dell'altoparlante, è in relazione con la potenza; per questo motivo è indispensabile conoscere questa impedenza, ed inoltre il modulo di ingresso deve essere ridimensionato se varia questo valore.

Ora vengono descritte le parti principali che compongono il progetto e successivamente verrà indicato in dettaglio come tarare lo strumento e come progettare il modulo di ingresso.

Sezione tensioni di riferimento:

Questo circuito si occupa di generare le tensioni di riferimento necessarie al raddrizzatore ed al sistema di visualizzazione per poter misurare la potenza in uscita dall'amplificatore.

Il circuito integrato LM336-5.0 che funziona come uno zener di precisione fornisce, quando percorso da una corrente di 1-2mA una tensione, abbastanza precisa e stabile di 5V. Questa uscita viene portata sia all'ingresso di un inseguitore di tensione (U1A) che all'ingresso di un amplificatore invertente (U1B); in questo modo si ottengono le due tensioni di riferimento (+5 e -5V) necessarie al resto del circuito.

In realtà ciò che è veramente richiesto a questo circuito non è di generare tensioni molto precise (l'errore iniziale delle tensioni di riferimento viene compensato dalla taratura), ma tensioni stabili per lunghi periodi, nei confronti di variazioni di temperatura e della tensione di alimentazione. Pertanto la scelta dell'LM336-5.0 piuttosto che di un normale diodo zener è giustificata da questa necessità.

Disaccoppiamento del segnale e modulo di ingresso:

I due condensatori C1 e C2 rimuovono la piccola componente continua di qualche decina di mV, che potrebbe essere presente nel segnale in uscita dall'amplificatore e che falserebbe la misura della potenza. In seguito il segnale entra nel modulo di ingresso il cui compito è di adattare (in realtà attenuare) l'ampiezza del segnale di ingresso in modo che possa essere trattato dal raddrizzatore di precisione. Lo schema del modulo di ingresso è illustrato in figura 1, mentre per il montaggio dei componenti fare riferimento alla figura 2.

Raddrizzatore di precisione:

I quattro O-Amp necessari per il circuito sono contenuti nel TL074 che ha discrete prestazioni ed un costo contenuto. I primi due O-Amp (U5D ed U5C), insieme alle resistenze di precisione ed a due diodi formano il vero proprio raddrizzatore di precisione a doppia semionda; il condensatore C8 inserito nell'anello di reazione del secondo O-Amp permette di avere in uscita il valore medio assoluto della tensione di ingresso, mentre il trimmer R24 regola il guadagno del raddrizzatore.

Quindi al pin 8 di U5 si ha una tensione continua (con un piccolo ripple) che è proporzionale al valore medio assoluto (MAV) della tensione alternata in ingresso. A questo punto il gioco è fatto infatti per un segnale sinusoidale di ingresso il valore efficace è proporzionale al valore medio assoluto e quindi basta regolare opportunamente il guadagno del raddrizzatore; il guadagno necessario sarebbe di 1,111 volte, ma in realtà in questo caso è maggiore poiché la tensione di uscita va adattata alle specifiche del sistema di visualizzazione.

L'amplificatore operazionale U5A ha la funzione di amplificatore invertente, a guadagno unitario, questo O-Amp è necessario perché la tensione sul pin 8 di U5 è in realtà negativa, mentre il sistema di visualizzazione tratta tensioni positive. Tramite R23 si può annullare l'offset degli operazionali che compongono sia il raddrizzatore che l'amplificatore (vedere il paragrafo taratura). Con U5B il segnale continuo viene amplificato di 30,77 volte (=29,7dB) e questo permette di estendere la visualizzazione di 30dB.

Circuito di visualizzazione:

È costruito con due LM3915 posti in cascata e programmati in modo "a barra". Questi componenti consentono di visualizzare, tramite 10 led e con una risoluzione di 3dB, l'ampiezza di un segnale la cui dinamica di ingresso varia in un campo di 30dB. Mettendo due di questi IC in cascata, fornendo la stessa tensione di riferimento (5V) e mandando al primo IC un segnale amplificato di 30dB rispetto a quello mandato al secondo, si ottiene un sistema di visualizzazione con una dinamica di 60dB. Gli LM3915 sono in grado di pilotare direttamente dei led e non necessitano di resistenze aggiuntive, l'unica resistenza (R6 per U4 ed R7 per U3) regola la corrente costante che scorre nei led accesi e quindi la luminosità degli stessi.

Come display si sono utilizzate due graf-bar da 10 led ciascuna che sono state connesse ad anodo comune.

Alimentazione:

Il circuito necessita di una alimentazione duale di $\pm 12V$; l'assorbimento massimo a +12V (quando tutti i led sono accesi) è inferiore ai 180mA, mentre a -12V non sono necessari più di 20-30mA.

Ingresso segnale:

L'ingresso del segnale va semplicemente collegato in parallelo all'uscita dell'amplificatore, ricordandosi di rispettare la polarità, poiché la massa dell'alimentazione e del segnale di ingresso sono, ovviamente, connesse.

Versione stereo del dispositivo:

Se si costruiscono due esemplari è possibile fare una misura della potenza sui due canali di un amplificatore stereo. In questo caso per la costruzione degli alimentatori dei circuiti occorre conoscere come è lo stadio finale dell'amplificatore: infatti se gli altoparlanti hanno un terminale connesso a massa e l'altro è pilotato dall'amplificatore di potenza, allora è possibile costruire un solo alimentatore ed alimentare i due wattmetri (collegando insieme le due masse); se invece l'amplificatore è di tipo "a ponte" e quindi l'altoparlante non ha un terminale connesso a massa è necessario costruire due alimentatori completamente separati (quindi con due trasformatori diversi).

Montaggio del circuito principale:

Dopo aver prodotto gli stampati, è consigliato il metodo fotolitografico, occorre procedere alla foratura dei pad; *questa operazione DEVE essere fatta dal lato saldature, forando solo i pad che si vedono su questo lato*. Sul lato componenti vi sono pad rettangolari (o quadrai) senza foro che servono per saldare i terminali di alcuni componenti. Questi terminali hanno solo una saldatura sul lato dei componenti, come se fossero smd; si è attuata questa tecnica per poter avere maggiore spazio sul lato delle saldature e ridurre la dimensione dello stampato. Anche alcuni pad degli IC sono costruiti in questo modo e quindi occorre procedere come segue:

- *Montaggio degli IC senza zoccolo (sconsigliato)*: occorre tagliare la parte più sottile dei pin degli IC che devono essere collegati ai pad rettangolari, in modo che il componente stia a contatto con la basetta e che dal lato saldature si vedano solo i pin che fanno capo ai pad con foro.
- *Montaggio degli IC con zoccolo a tulipano (consigliato)*: Si deve fare lo stesso lavoro ma questa volta allo zoccolo. L'IC ovviamente rimane intatto ed è molto meglio visto che gli LM3915 non costano proprio poco!!
- *Montaggio degli IC con zoccolo a basso profilo (mai provato!!)*: Dovrebbe essere possibile semplicemente piegando, ed eventualmente accorciando, i piedini dello zoccolo che devono essere collegati ai pad rettangolari.

Per quanto riguarda i connettori che serviranno ad ospitare il modulo di ingresso si consiglia di utilizzare gli strip di connettori femmine con passo di 2.54mm ed occorre tagliarne due pezzi da 6 pin.

Al fine di garantire una maggiore stabilità e facilità della taratura si sono utilizzati trimmer multigiro al cermet e la loro posizione sullo stampato permette una agevole taratura del dispositivo. I graf bar, usati per la visualizzazione della potenza, vanno montati sul lato saldature e saldati sul lato componenti, in questo modo viene facilitato l'eventuale fissaggio ad un pannello del circuito. Per i collegamenti del circuito si veda la figura 3.

Taratura:

Questa operazione deve essere fatta appena montato il circuito ed è necessario eseguirla una sola volta, anche se una revisione periodica migliora sicuramente la precisione dello strumento.

Se il modulo di ingresso è stato progettato correttamente la sostituzione dello stesso, per cambiare fondoscala, non necessita assolutamente di una nuova taratura dello strumento ne pregiudica la taratura iniziale.

Strumenti necessari per la taratura:

- Oscilloscopio o un voltmetro TrueRMS che includa nel range di misura la frequenza di 1Khz.
- Un generatore di funzioni o un altro circuito in grado di fornire una tensione sinusoidale a frequenza di 1kHz e di ampiezza pari a 5Vpp.
- Un multimetro digitale.

Passi per la taratura:

1. Cortocircuitare i pin 1 e 3 del modulo di ingresso. **ATTENZIONE!!!** questi non corrispondono ai pin 1 e 3 dei connettori del modulo di ingresso. Per trovare i pin giusti procedere in questo modo: guardare il circuito dal lato componenti e con i connettori di ingresso del segnale e dell'alimentazione rivolti verso di se; individuare i due connettori del modulo di ingresso (devono risultare orizzontali e di 6 pin ciascuno); fare un corto circuito tra il pin all'estrema destra dei due connettori.
2. Alimentare il circuito.
3. Cortocircuitare l'ingresso di misura del circuito.
4. Regolare il trimmer R23 in modo che la tensione sul pin 5 di U3 sia di 0V.
5. Rimuovere il cortocircuito sull'ingresso di misura ed applicare un segnale con ampiezza di 5Vpp ($=1,7678V_{rms}$) e frequenza di 1Khz.
6. Regolare R24 in modo che sul pin 5 di U4 vi sia una tensione di 3,610V

7. Rimuovere il segnale di ingresso e ripetere i punti 3 e 4.
 8. Rimuovere il cortocircuito sull'ingresso del segnale e quello sul modulo di ingresso.
- Ora il circuito è pronto ed è possibile inserire il modulo di ingresso con le caratteristiche volute.

Schema elettrico del modulo di ingresso:

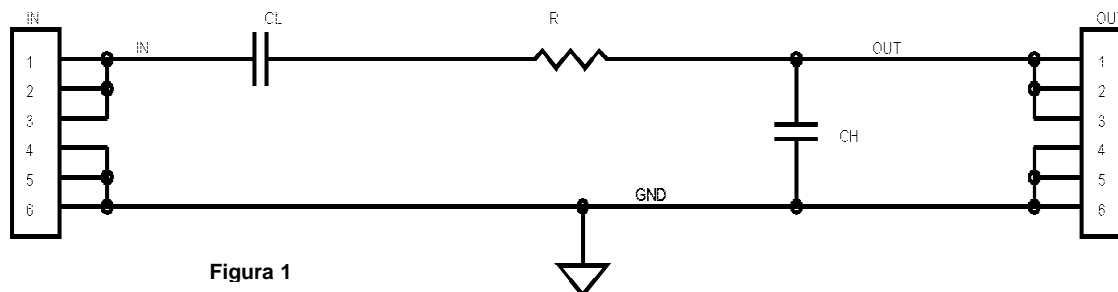


Figura 1

Dimensionamento del modulo di ingresso:

È un passo fondamentale che permette di determinare le caratteristiche dello strumento, cioè consente di fissare *potenza di fondo-scala*, *impedenza dell'altoparlante*, *banda passante dello strumento*.

Il dimensionamento della resistenza di attenuazione è indispensabile, mentre l'utilizzo dei due condensatori per determinare la banda passante è facoltativo.

- *Dimensionamento della resistenza di attenuazione (R):*

Questa resistenza è di vitale importanza, in quanto permette di impostare i parametri di misurazione dello strumento (potenza massima e impedenza). Per questa operazione occorre attenersi ai seguenti passi:

1. Si sceglie la potenza di fondo-scala, quella cioè che verrà assegnata all'ultimo dei 20 led, in base, ad esempio, alla potenza massima che può fornire l'amplificatore.
2. Si verifica che tale potenza sia compatibile con lo strumento tramite la formula seguente:

$$P_{\max} \geq \frac{6}{Z_L}$$

dove: **P_{max}** è la massima potenza scelta precedentemente ed espressa in Watt [W]

Z_L è l'impedenza di carico dell'amplificatore (cioè quella dell'altoparlante) espressa in Ohm [Ω]

3. Se tale disequazione non dovesse essere verificata occorre aumentare opportunamente il valore di P_{max}.
4. Si calcola il valore di R (che dovrà poi essere inserita nel modulo di ingresso) secondo la seguente formula:

$$R = 5000 \cdot \left(\sqrt{\frac{Z_L \cdot P_{\max}}{6}} - 1 \right)$$

dove: **Z_L** è come sopra

P_{max} è come sopra

R è il valore della resistenza ricavata ed è espressa in Ohm [Ω]

5. Si calcola la potenza dissipata dalla resistenza R (questo calcolo è necessario se si hanno a che fare con Pmax mediamente superiori ai 1-2 kW, altrimenti si può utilizzare una resistenza da ¼W evitando il calcolo)

$$P_r = P_{\max} \cdot \frac{Z_L \cdot R}{(R + 5000)^2}$$

dove: **P_r** è la potenza dissipata dalla resistenza di attenuazione, espressa in Watt [W]

R è come sopra

Z_L è come sopra

P_{max} è come sopra

6. Molto probabilmente il valore di resistenza ricavata al punto 4 non esiste commercialmente, allora si può ricorrere a valori commerciali di resistenze all'1% disponendole in serie e/o in parallelo in modo da avvicinarsi il più possibile al valore ricavato.

ATTENZIONE: Migliore è l'approssimazione del valore della resistenza di attenuazione e migliore risulterà la precisione finale dello strumento.

- *Dimensionamento della capacità di attenuazione per ALTE frequenze (C_H)*

Il dimensionamento di C_H permette di limitare la banda di ingresso dello strumento al valore voluto; data f_H è possibile determinare il valore di C_H per inserire un polo a questa frequenza.

Per il dimensionamento di C_H (che comunque non è obbligatorio inserire nel circuito) attenersi ai seguenti passi:

1. Prima di tutto deve essere R≠0 altrimenti non è possibile fissare la frequenza di taglio superiore.
2. Tramite la seguente formula si dimensiona C_H noto f_H ed R

$$C_H = \frac{R + 5000}{10000 \cdot p \cdot f_H \cdot R}$$

dove: **C_H** è il valore del condensatore espresso in Farad [F]

R è il valore della resistenza di attenuazione in Ohm [Ω]

f_H è il valore della frequenza di taglio superiore in Hertz [Hz]

3. Non è necessario utilizzare condensatori di precisione in quanto la frequenza di taglio superiore non è un parametro critico; ma non è neppure possibile utilizzare condensatori elettrolitici in quanto C_H è interessato da una corrente alternata.

- *Dimensionamento della capacità di attenuazione per BASSE frequenza (C_L)*

Serve ad inserire uno zero nell'origine ed un polo al valore di f_L; anche l'utilizzo di C_L non è obbligatorio e se non venisse utilizzato occorre sostituire al posto della capacità un corto-circuito.

Per il dimensionamento di C_L attenersi ai seguenti passi:

1. Scegliere f_L il modo che la seguente condizione venga verificata:

$$f_L > \frac{2 \cdot 10^5}{2 \cdot p \cdot (R + 5000)}$$

dove: **f_L** è il valore della frequenza di taglio inferiore in Hertz [Hz]

R è il valore della resistenza di attenuazione in Ohm [Ω]

2. Calcolare il valore di C_L tramite la seguente formula

$$C_L = \frac{1}{2 \cdot p \cdot f_L \cdot (R + 5000) - 2 \cdot 10^5}$$

dove: C_L è il valore della capacità in Farad [F]

R è il valore della resistenza di attenuazione in Ohm [Ω]

f_L è il valore della frequenza di taglio inferiore in Hertz [Hz]

3. Anche per C_L , riguardo a precisione e tipo di condensatore, vale tutto quanto detto per C_H .

Scala dello strumento:

Ad ognuno dei venti led è già assegnato un valore relativo di potenza secondo la tabella seguente; nella tabella però viene anche riportato il valore della potenza espresso come frazione di P_{max} .

N° Led	Potenza [dB]	Potenza [riferito a P_{max}]
20	0	P_{max}
19	-3	$P_{max} / 2$
18	-6	$P_{max} / 4$
17	-9	$P_{max} / 7,9$
16	-12	$P_{max} / 15,8$
15	-15	$P_{max} / 31,6$
14	-18	$P_{max} / 63,1$
13	-21	$P_{max} / 125,9$
12	-24	$P_{max} / 251,2$
11	-27	$P_{max} / 501,2$
10	-30	$P_{max} / 1.000$
9	-33	$P_{max} / 1.995,3$
8	-36	$P_{max} / 3.981,1$
7	-39	$P_{max} / 7.943,3$
6	-42	$P_{max} / 15.848,9$
5	-45	$P_{max} / 31.622,8$
4	-48	$P_{max} / 63.095,7$
3	-51	$P_{max} / 125.892,5$
2	-54	$P_{max} / 251.188,6$
1	-57	$P_{max} / 501.187,2$

In generale dato il livello in dB ed il valore della P_{max} è possibile calcolare la potenza, espressa in Watt, riferita a quel determinato valore di potenza espressa in dB; si utilizzi la seguente formula:

$$P = \frac{P_{max}}{10^{\frac{dB}{10}}}$$

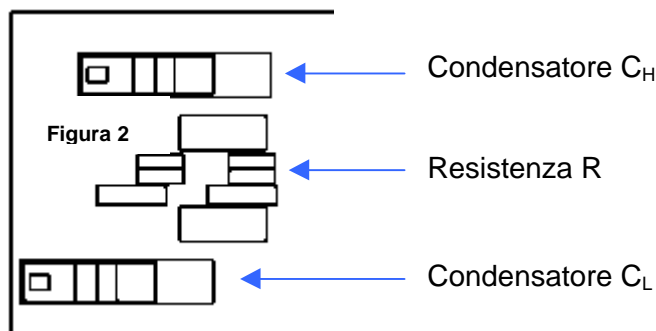
dove: P è la potenza (in Watt) riferita al livello in dB.

dB è il valore in dB (tenendo conto del segno !!)

P_{max} è il valore (in Watt) della potenza massima (quella riferita a 0dB).

Montaggio del modulo di ingresso:

Il modulo di ingresso si presenta in questo modo:

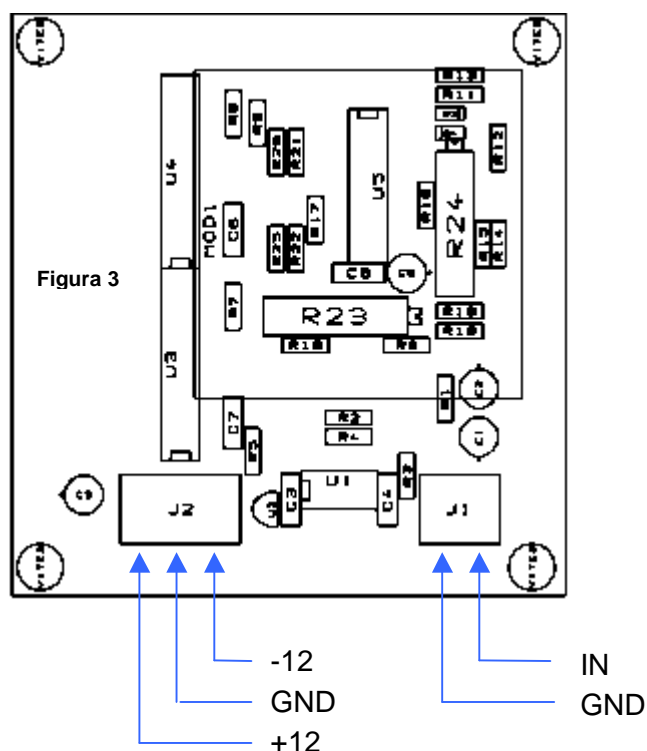


Per il montaggio dei due condensatori C_H e C_L sullo stampato sono stati fatti più fori in modo che si possano installare agevolmente condensatori di diverse dimensioni.

Per la resistenza R sono stati posizionati più spazi, in modo che si possano collegare resistenze in parallelo e serie al fine di ottenere il valore di resistenza calcolato.

Come connettori è comodo utilizzare gli strip maschi con passo da 2,54mm (quelli che si usano per fare i jumper); questi connettori dovranno essere appoggiati e saldati sullo stampato, non si deve forare poiché i connettori vanno posizionati sul lato saldature.

Collegamenti del circuito principale:



NOTA: Il pin GND del connettore di alimentazione (J2) ed il pin GND del connettore di ingresso (J1) sono internamente connessi.

Elenco componenti del circuito principale:

Componente	Quantità	Riferimenti	Note
Resistenze 1,8k Ω 5%	2	R6; R7	
Resistenza 3,9k Ω 1%	1	R25	
Resistenza 4,7k Ω 5%	1	R5	
Resistenze 10k Ω 1%	11	R3; R4; R11;R12;R13; R14; R15;R17; R18; R19; R21	
Resistenze 10k 5%	4	R2; R8; R9; R10	
Resistenza 18k Ω 1%	1	R16	
Resistenza 47k Ω 1%	1	R20	
Resistenza 120k Ω 1%	1	R22	
Resistenza 1M Ω 5%	1	R1	
Trimmer cermet 20 giri 1k Ω	1	R23	Regolazione OFFSET
Trimmer cermet 20 giri 10k Ω	1	R24	Regolazione GUADAGNO
Condensatori ceramici 100nF 63V	5	C3; C4; C6; C7;C9	
Condensatore elettrolitico al tantalio 4,7 μ F 16V	1	C8	
Condensatore elettrolitici al tantalio 10 μ F 16V	1	C5	
Condensatori elettrolitici al tantalio 10 μ F 35V	2	C1;C2	
Diodi 1N4148	2	D3; D4	
Graf-bar 10 led	2	D1; D2	Da montare sul lato delle saldature
Morsettiera a due connessioni	1	J1	Connettore per l'ingresso di misura
Morsettiera a tre connessioni	1	J2	Connettore per l'alimentazione
LM358	1	U1	
LM336-5.0	1	U2	
LM3915	2	U3; U4	
TL084	1	U5	

NOTA: Dall'elenco sono esclusi i componenti del modulo di ingresso poiché devono essere dimensionati in base alle caratteristiche desiderate.

Esempio di dimensionamento del modulo di ingresso:

Questo esempio ha lo scopo di chiarire meglio i passi da seguire per il dimensionamento del modulo di ingresso.

Supponiamo quindi di avere queste specifiche:

- Potenza max = 100W
- Impedenza altoparlante = 8Ω
- Banda = 20Hz ÷ 20kHz

Come primo passo si deve dimensionare R, cioè la resistenza di attenuazione, e, seguendo i passi indicati precedentemente si ha:

- $P_{max} = 100W$
- La disequazione è verificata, infatti: $100 > 0,75$.
- Tramite la formula del punto 4 si ottiene il valore della resistenza: $52,735k\Omega$
- Il calcolo di P_r , in questo caso, è superfluo, infatti si ha: $P_r = 12,6mW$ e perciò l'utilizzo di resistenze da $1/4W$ va bene.
- Ora occorre approssimare al meglio il valore di R utilizzando resistenze commerciali. Se utilizziamo la serie E96, con resistenze dell'1%, possiamo, per esempio, connettere una resistenza da $53,2k\Omega$ in serie con una da 432Ω , ottenendo così $52,732k\Omega$, che approssima in modo ottimo il valore teorico. Per facilitare la scelta delle resistenze, viene riportata una tabella con i valori commerciali delle resistenze nelle varie tolleranze.

Poiché vi sono specifiche sulla banda occorre dimensionare anche C_H e C_L .

- C_H deve fissare i 20kHz e per poter utilizzare C_H si deve avere $R \neq 0$, nel nostro caso è così. Tramite la formula si ricava $C_H = 1,74nF$ che possono essere approssimati in modo ottimo con $1,8nF$. Il condensatore deve essere in poliestere o ceramico e deve avere una tensione di lavoro di almeno 25V (la tensione di lavoro non dipende dalla potenza di fondoscala). Se non si utilizzasse C_H la massima frequenza sarebbe limitata dal raddrizzatore di precisione, o meglio, dallo slew-rate degli amplificatori operazionali utilizzati per realizzarlo; questo valore, però, è tale superiore al 20kHz
- Per quanto riguarda C_L occorre prima verificare la disequazione: si ottiene $f_L > 0,55Hz$ che è verificata. (NOTA: questo valore minimo sarebbe la frequenza di taglio se al posto di C_L si sostituisse un corto circuito). Il valore di C_L che si ricava dalla formula risulta: $C_L = 141nF$; in questo caso un $150nF$ va bene.

Tabella dei valori normalizzati per resistenze e capacità:

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
100	100	100	169	169	169	287	287	287	487	487	487	825	825	825
101			172			291			493			835		
102	102		174	174		294	294		499	499		845	845	
104			176			298			505			856		
105	105	105	178	178	178	301	301	301	511	511	511	866	866	866
106			180			305			517			876		
107	107		182	182		309	309		523	523		887	887	
109			184			312			530			898		
110	110	110	187	187	187	316	316	316	536	536	536	909	909	909
111			189			320			542			920		
113	113		191	191		324	324		549	549		931	931	
114			193			328			556			942		
115	115	115	196	196	196	332	332	332	562	562	562	953	953	953
117			198			336			569			965		
118	118		200	200		340	340		576	576		976	976	
120			203			344			583			988		
121	121	121	205	205	205	348	348	348	590	590	590			
123			208			352			597					
124	124		210	210		357	357		604	604				
126			213			361			612			E24	E12	E6
127	127	127	215	215	215	365	365	365	619	619	619	E3		
129			218			370			624			10	10	10
130	130		221	221		374	374		634	634		11		
132			223			379			642			12	12	
133	133	133	226	226	226	383	383	383	649	649	649	13		
135			229			388			657			15	15	15
137	137		232	232		392	392		665	665		16		
138			234			397			673			18	18	
140	140	140	237	237	237	402	402	402	681	681	681	20		
142			240			407			690			22	22	22
143	143		243	243		412	412		698	698		24		
145			246			417			706			27	27	
147	147	147	249	249	249	422	422	422	715	715	715	30		
149			252			427			723			33	33	33
150	150		255	255		432	432		732	732		36		
152			258			437			741			39	39	
154	154	154	261	261	261	442	442	442	750	750	750	43		
156			264			448			759			47	47	47
158	158		267	267		453	453		768	768		51		
160			271			459			777			56	56	
162	162	162	274	274	274	464	464	464	787	787	787	62		
164			277			470			796			68	68	68
165	165		280	280		475	475		806	806		75		
167			284			481			816			82	82	
												91		

Serie	Tolleranza
E192	±0,5%
E96	±1%
E48	±2%
E24	±5%
E12	±10%
E6	±20%

Informazioni varie:

Questo progetto è fornito AS IS senza nessun tipo di garanzia. Ne l'autore ne Hobby Elettronica 2 si assumono alcuna responsabilità per eventuali danni causati a cose o persone dall'utilizzo del progetto.

Il progetto può essere liberamente distribuito ed utilizzato per scopi personali e didattici; NON E' CONSENTITA LA REALIZZAZIONE PER USI COMMERCIALI E LA VENDITA.

Alcuni componenti hardware o software del progetto possono essere coperti da brevetti o possono essere marchi registrati. L'autore non si assume nessuna responsabilità della mancata citazione del fatto nei documenti di allegati.

Pur garantendo l'originalità del progetto (per la sua realizzazione sono stati utilizzati solo i datasheets dei componenti) non posso escludere, non avendo fatto alcuna ricerca in proposito, che un oggetto simile sia già stato presentato su vari tipi di mezzi informativi.

Flavio Fre

Per qualsiasi informazione, suggerimento, nonché segnalazione di errori scrivetemi flaviof@plurinet.it