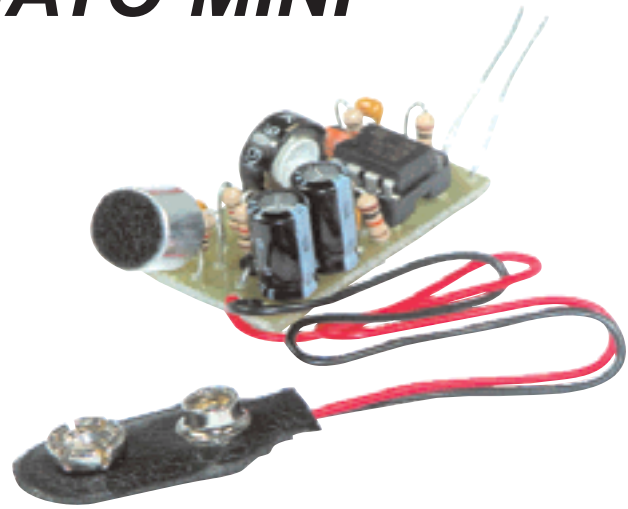


PREAMPLIFICATORE MICROFONO IN FORMATO MINI

FT489K

In questo articolo vedremo insieme la progettazione di un sempre utile preamplificatore microfonico. Analizzeremo quali sono i passi da seguire per calcolare i valori dei componenti che realizzano il circuito e come questi influenzino le caratteristiche del dispositivo. In particolare vedremo come è possibile determinare il livello dell'amplificazione (che risulta di 480 volte, pari a 53,6 dB) e la frequenza di taglio (pari a 87 KHz). Prima di passare a questa fase, diamo una descrizione più in generale del dispositivo, come funziona, a cosa serve e in quali applicazioni potrebbe essere utilizzato. Il circuito realizza un preamplificatore di un segnale audio; è infatti dotato di un microfono che preleva il segnale. Questo viene amplificato (come vedremo più avanti) di circa 480 volte grazie all'utilizzo di un comune amplificatore operazionale. Sottolineiamo che il modulo è un preamplificatore; il segnale quindi prima di poter essere collegato a uno speaker necessita di un ulteriore passaggio attraverso uno stadio amplificatore di potenza. Perché allora dovreste usare un preamplificatore? Principalmente perché porta dei vantaggi dal punto di vista della pulizia del segnale audio (un miglior rapporto segnale/rumore o SNR); inoltre non è possibile collegare direttamente un microfono ad un finale di potenza, ma è sempre necessario utilizzare un preamplificatore come quello da noi proposto. Vediamone ora alcune applicazioni



pratiche: il modulo progettato può essere affiancato, per esempio, a una telecamera che non è munita di audio. Se ne avete installata una all'interno di un locale e oltre alle immagini volete anche il segnale sonoro, potete posizionare il preamplificatore e collegarlo allo stesso schermo utilizzato per visualizzare il segnale video. Il dispositivo può infatti essere collegato alla presa SCART di un televisore (in particolare ai canali BF; si veda il relativo box presente in queste pagine) permettendo quindi di sentire l'audio direttamente dal televisore. Come si può vedere dalle immagini presenti in queste pagine, il circuito è caratterizzato da dimensioni davvero contenute, in questo modo può essere accoppiato anche con delle microtelecamere. Il collegamento tra il preamplificatore e lo stadio di amplificazione (schermo televisivo, impianto stereo, scheda audio di un pc, ecc.) può essere eseguito sia utilizzando un cavo munito di un opportuno jack, oppure utilizzando un sistema di trasmissione radio. Il preamplificatore, per esempio, può infatti essere collegato al trasmettitore

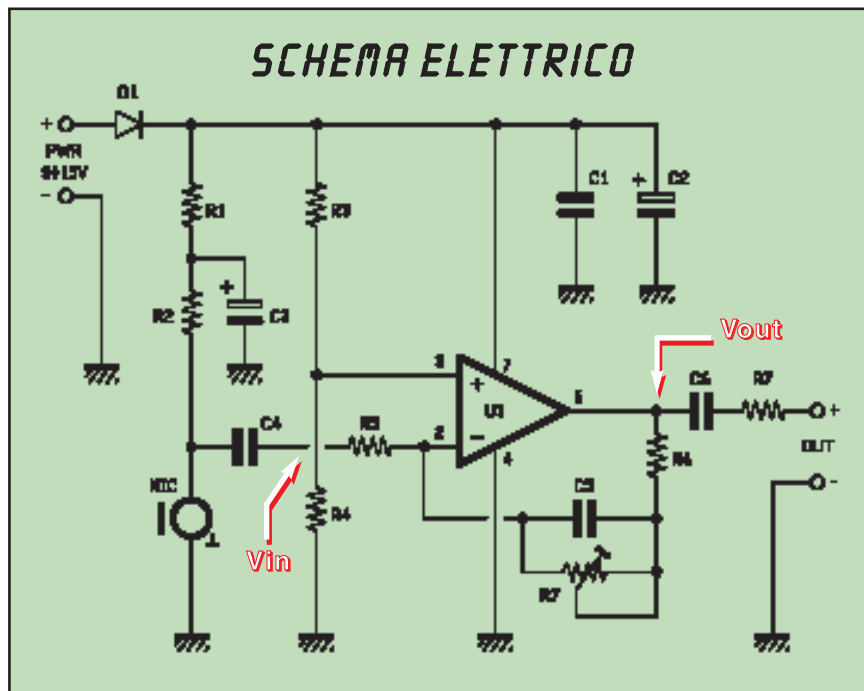
audio/video a 2,4 GHz (cod. FR135); dal lato ricevitore si può utilizzare il modello FR137, che quindi capta il segnale audio e video e lo fornisce in uscita. I due segnali vengono resi disponibili tramite due connettori, che possono essere collegati a un monitor o a un televisore.

SCHEMA ELETTRICO

Passiamo quindi ad analizzare lo schema elettrico. Il circuito richiede una tensione di alimentazione di valore compreso tra +9 e +15V; come vedremo più avanti nel testo una tensione maggiore determinerà un maggiore livello di amplificazione. Questa tensione fornisce l'alimentazione al chip U1 (integrato LM741) e serve per polarizzare il microfono (MIC). La polarizzazione di quest'ultimo viene realizzata tramite le resistenze R1 e R2; tra le due è stato inserito il condensatore C3 in modo da stabilizzare maggiormente la polarizzazione (in un certo senso funziona da piccolo accumulatore; se la tensione di ingresso subisce leggere fluttuazioni, C3 fornisce l'energia necessaria

per mantenere la stabilità). C1 e C2 svolgono la medesima operazione, ma in questo caso per stabilizzare l'alimentazione di U1.

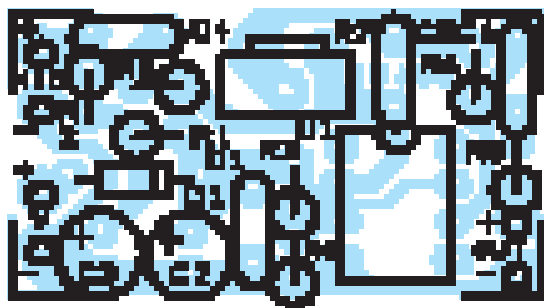
Lo stadio di amplificazione vero e proprio è realizzato da U1, un amplificatore operazionale. Questo è stato configurato in modalità invertente (il segnale da amplificare entra al morsetto V-) e in configurazione a singola alimentazione; vediamo di che si tratta. Generalmente gli operazionali vengono fatti lavorare utilizzando una doppia alimentazione, fornendo cioè una tensione +Vcc e -Vcc; nel nostro circuito invece U1 è collegato a +Vcc e a massa. Scegliendo questa configurazione è necessario però collegare il morsetto V+ a una tensione pari a $V_{cc}/2$ (ciò viene realizzato dal partitore composto da R3 e R4). In questo modo il funzionamento del circuito è analogo a quanto avviene usando la doppia alimentazione, dove il morsetto + è a massa, cioè a "metà strada" tra +Vcc e -Vcc. Usando però la singo-



la alimentazione è più semplice realizzare il circuito, in quanto è possibile utilizzare una singola batteria da 9V. Continuando nell'analisi del circuito, occupiamoci di C4 e C6; questi condensatori sono utilizzati per bloccare la componente conti-

nua della corrente in ingresso (C4); in uscita C6 viene utilizzato per lo stesso motivo, ma in questo caso per bloccare la componente continua che andrebbe verso il carico RL (vi ricordiamo che in continua un condensatore è equivalente a un cir-

PIANO DI MONTAGGIO



Elenco componenti:

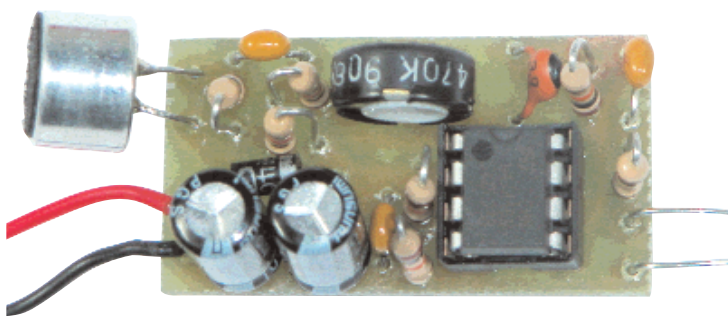
- R1: 1 KOhm
- R2: 1 KOhm
- R3: 10 KOhm
- R4: 10 KOhm
- R5: 1 KOhm
- R6: 10 KOhm
- R7: 470 KOhm trimmer M.V.
- R8: 1 Ohm
- C1: 100 nF multistrato
- C2: 100 µF 25VL elettrolitico
- C3: 100 µF 25VL elettrolitico
- C4: 220 nF multistrato
- C5: 3,9 pF ceramico
- C6: 220 nF multistrato
- D1: 1N4007
- U1: LM741

MIC: capsula microfonica

Le resistenze sono da 1/4 di watt, con tolleranza del 5%.

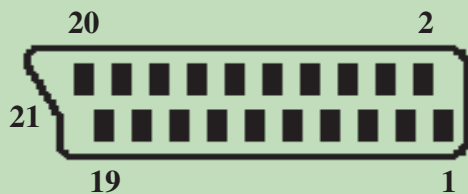
Varie:

- zoccolo 4 + 4;
- clips per batteria;
- circuito stampato cod. S0489.



COLLEGAMENTO ALLA PRESA SCART

In più punti del testo abbiamo fatto riferimento alla possibilità di collegare il preamplificatore direttamente alla presa SCART di un televisore. Questa è infatti munita di 3 terminali adibiti proprio a questo scopo; i pin 2 e 6 sono gli ingressi dei canali BF rispettivamente destro e sinistro (Audio In Right e Audio In Left); il 4 è invece la massa (Audio Ground). L'uscita del segnale del preamplificatore andrà quindi collegata o al connettore 2, o al 6 o a entrambi del cavo SCART; ricordatevi anche di collegare il pin 4 con la massa del preamplificatore.

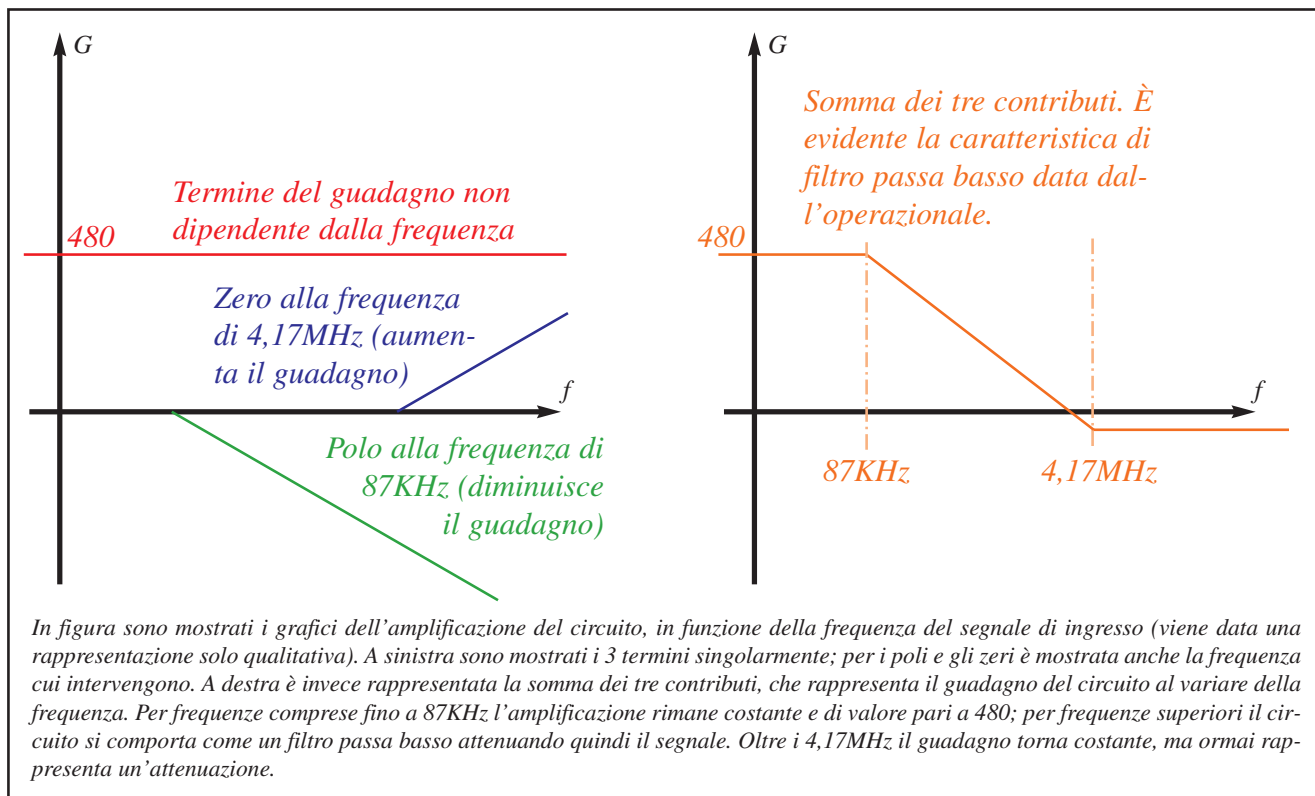


cuito aperto). Passiamo a questo punto ad analizzare lo stadio amplificatore. Se trascuriamo C4 e C6, questo è composto da U1, dalle resistenze R5, R6 e R7 (trimmer) e dal condensatore C5. Vogliamo calcolare la caratteristica ingresso/uscita del circuito, ossia il rapporto tra la tensione di uscita (indicata con Vout; misurata al morsetto 6 dell'operazionale) e quella di ingresso (indicata con Vin; misurata "all'ingresso" di R5). Come abbiamo visto sopra il circuito si comporta come se il morsetto

V+ fosse a massa; l'operazionale porta quindi a massa anche il morsetto V-. In R5 scorre quindi una corrente (indichiamola con I) data da $I = V_{in}/R5$, diretta verso "destra" nello schema del circuito. Questa corrente non può entrare nel morsetto V- (l'operazionale presenta impedenza infinita agli ingressi); andrà quindi tutta nella rete composta da C5, R6 e R7. Tale rete presenta un'impedenza Z data dalla serie tra R6 e il parallelo tra C5 e R7 ($Z = R6 + (R7 // C5)$). Svolgendo i calcoli si trova che:

$$Z = \frac{R6 + R7 + SC5R6R7}{1 + SC5R7}$$

La corrente I passando attraverso l'impedenza Z crea una caduta di tensione pari al prodotto di I per Z. Essendo il morsetto V- a massa, questa caduta di tensione rappresenta il livello di Vout, ma cambia di segno. Si può quindi scrivere che:



$$V_{out} = - \frac{V_{in}}{R5} \frac{R6+R7+SC5R6R7}{1+SC5R7}$$

che equivale a:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{R6+R7}{R5} \frac{1+(SC5R6R7/(R6+R7))}{1+SC5R7}$$

La caratteristica ingresso/uscita dell'amplificatore è data quindi dalla formula:

$$- \frac{R6+R7}{R5} \frac{1+(SC5R6R7/(R6+R7))}{1+SC5R7}$$

Il primo termine (R6+R7)/R5 rappresenta il guadagno a frequenza quasi nulla (ricordiamo che la frequenza nulla, cioè la continua, viene bloccata da C4). Se sostituiamo i valori indicati nel piano di montaggio, si ottiene un'amplificazione di circa 480. Variando quindi il valori delle tre resistenze R5, R6 e R7 è possibile modificare l'amplificazione del circuito. Noi abbiamo previsto al posto di R7 un trimmer, permettendo quindi di variare il guadagno.

Vi ricordiamo però che l'operazionale non può fornire in uscita una tensione superiore a circa Vcc-1V; se quindi aumentate troppo l'amplificazione, rischiate che l'operazionale non sia più in grado di seguire l'uscita, ottenendo quindi una distorsione del segnale. Per aumentare l'amplificazione potete aumentare il livello dell'alimentazione Vcc; fate però attenzione che se superate i +15V, rischiate di danneggiare l'integrato.

Passiamo ora ad analizzare il secondo termine della caratteristica ingresso/uscita; questo tiene conto di come varia il guadagno del dispositivo al variare della frequenza del segnale in ingresso. Il termine S è infatti legato alla frequenza dalla

relazione $S=2\Pi f$, dove f rappresenta appunto la frequenza. Si definiscono zeri i valori di f che annullano il termine al numeratore; poli invece sono i valori di f che annullano il denominatore.

Nel nostro caso si ottiene uno zero alla frequenza:

$$f1 = \frac{R6+R7}{2\Pi C5R6R7}$$

e un polo alla frequenza:

$$f2 = \frac{1}{2\Pi C5R7}$$

Sostituendo quindi i valori delle resistenze e della capacità da noi proposti, si ottiene uno zero alla frequenza $f1=4,17\text{MHz}$ e un polo alla frequenza $f2=87\text{KHz}$.

Perché sono importanti i poli e gli zeri? Essenzialmente perché avere uno zero alla frequenza $f1$ significa che il guadagno del circuito aumenta a partire proprio dalla frequenza $f1$; avere invece un polo alla frequenza $f2$ significa che il guadagno diminuisce a partire da $f2$.

Essendo quindi $f2$ (frequenza del polo) molto minore di $f1$ (frequenza dello zero) il circuito si comporta come un filtro passa basso con frequenza di taglio pari a 87KHz.

Notiamo che, come per il guadagno a frequenze quasi nulle, anche le frequenze degli zeri e dei poli dipendono dai valori delle resistenze R6 e R7 e dal condensatore C5. Variando quindi questi componenti è possibile variare anche la frequenza di taglio del filtro passa basso; per esempio se si volesse aumentare la banda di una decade bisognerebbe impostare $f2=870\text{KHz}$ e quindi calcolare di conseguenza i valori dei parametri. Purtroppo non è così semplice, in quanto se si variano R6 e R7, varia anche il termine del guadagno che

non varia con la frequenza. Bisogna quindi provare per tentativi e trovare una situazione che potrebbe andarci bene.

Riassumendo abbiamo quindi che l'amplificazione del circuito è composta da un termine costante (di valore 480) che non varia con la frequenza; di un termine che interviene alla frequenza di 87KHz e che diminuisce l'amplificazione; e di un termine che si attiva alla frequenza 4,17MHz e che invece aumenta il guadagno. Nella figura alla pagina precedente i 3 termini sono riassunti in un grafico, che mostra come varia l'amplificazione al variare della frequenza. È ben evidente come l'operazionale, oltre che come amplificatore, svolga anche una funzione di filtro passa basso.

Completato il montaggio, potete testare il dispositivo. Inserite l'alimentazione (è previsto una clips per batterie da 9V), collegate l'uscita del circuito a un amplificatore, a una televisione mediante presa SCART, a un impianto stereo, ecc., regolate il volume agendo sul trimmer e verificate quindi che il segnale vocale venga amplificato e riprodotto. Anche se avete previsto di utilizzare il preamplificatore con un trasmettitore via radio come quelli da noi proposti, le operazioni di collaudo rimangono essenzialmente le stesse.

L'articolo completo del progetto è stato pubblicato su:

**Elettronica In n. 78
Aprile 2003**