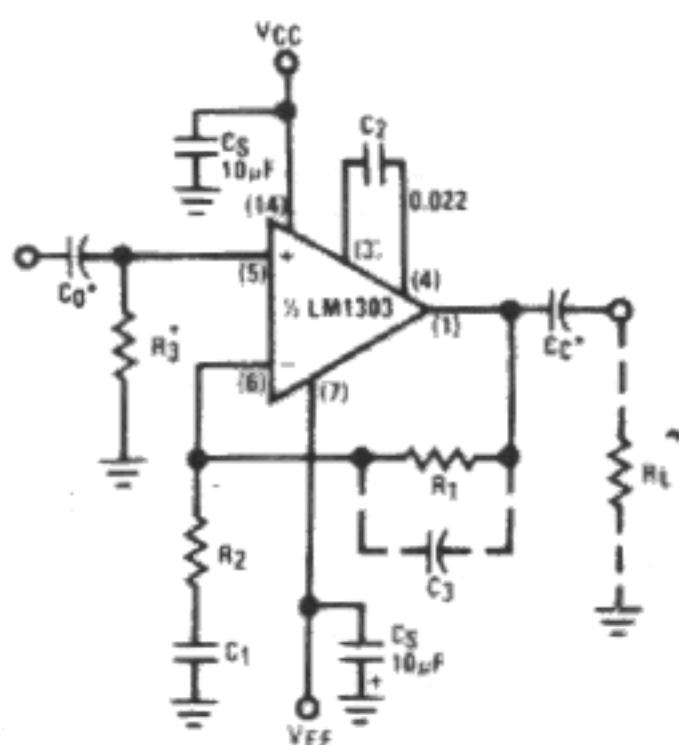


Il comportamento a larga banda del rumore è superiore a quello di amplificatori tradizionali, tipicamente $0,9 V_{RMS}$ per una banda di 10 kHz. La compensazione viene realizzata esternamente, numerose essendo le configurazioni possibili, poichè per ogni am. sono portati fuori 3 punti di compensazione. Il LM 1303 è compatibile nella piedinatura con il tipo 739, preamplificatore doppio di cui, per alcune applicazioni è il diretto sostituto.

2.10.2 Amplificatore non invertente AC

Il LM 1303 usato come amplificatore non invertente (fig. 2.10.1) con sdoppiamento di alimentazione permette progetti economici direttamente accoppiati se i livelli DC tra gli stadi vengono tenuti a zero V.



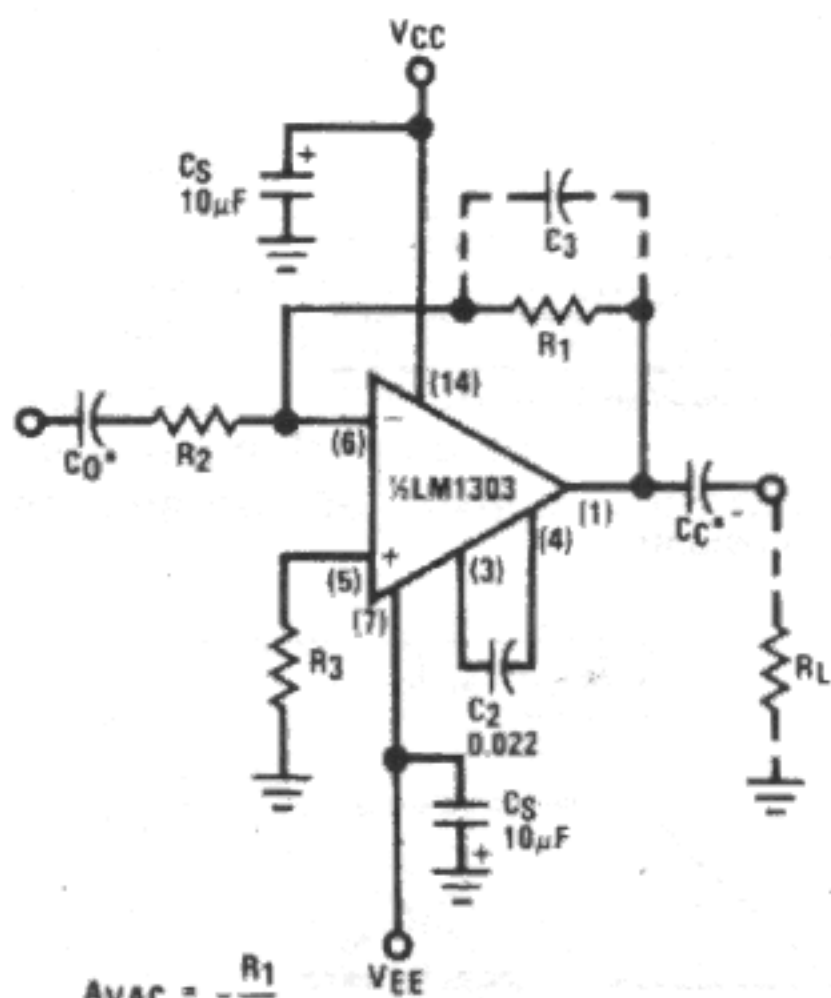
$$A_{VAC} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_0 R_2}$$

f_0 = FREQUENZA DI TAGLIO INFERIORE

--- POSSONO ESSERE TRALASCIATI IN PROGETTI ACCOPPIATI IN CONTINUA

FIGURA 2.10.1 Amplificatore non invertente AC LM1303



$$A_{VAC} = -\frac{R_1}{R_2}$$

$$C_0 = \frac{1}{2\pi f_0 R_2}$$

f_0 = FREQUENZA DI TAGLIO INFERIORE

--- POSSONO ESSERE TRALASCIATI IN PROGETTI ACCOPPIATI IN CONTINUA

FIGURA 2.10.2 Amplificatore invertente AC LM1303

In fig. sono riportati le equazioni relative a C_1 e al guadagno.

La resistenza R_3 è resa uguale a R_1 e fornisce la corrente DC di bias all'ingresso positivo. Il condensatore di compensazione C_2 vale $0,022 \mu F$ e garantisce una stabilità a guadagno unitario con uno slew rate di circa $1 V/\mu s$. Maggiori slew rate sono possibili quando si usano guadagni maggiori ottenuti riducendo C_2 in modo proporzionale al guadagno (p. es. con un guadagno di 10, C_2 può valere $0,0022 \mu F$, aumentando le slew rate a circa $10 V/\mu s$).

Alcune disposizioni circuitali possono imporre l'aggiunta di C_3 per una migliore stabilità tale condensatore dovrebbe essere preso secondo l'equazione (2.10.1) in cui f_H è la frequenza superiore di taglio 3 dB.

2.10.3 Amplificatore AC invertente

Per amplificazioni che richiedono una configurazione invertente, ci si riferisce alla fig. 2.10.2. Per i condensatori C_2 e C_3 valgono le considerazioni già date per il caso invertente.

La resistenza R_3 è ancora uguale a R_1 , minimizzando così gli offset e provvedendo alla corrente di bias.

Come prima sono possibili gli stessi compromessi tra stabilità di guadagno e slew rate.

2.11 PREAMPLIFICATORE FONO ED EQUALIZZAZIONE RIAA

2.11.1 Introduzione

I preamplificatori fono differiscono dagli altri preamplificatori solo nella loro risposta in frequenza che è appositamente studiata per compensare, o equalizzare, le caratteristiche della registrazione.

Se si registrasse un disco con un segnale d'ingresso, di ampiezza prefissata, ma variato in frequenza da 20 Hz a 20 kHz, si otterrebbe la curva di risposta di riproduzione (playback) di fig. 2.11.1.

La fig. 2.11.1 mostra un grafico dell'ampiezza di uscita della testina fono in funzione della frequenza, e rivela una forte alterazione del segnale applicato ad ampiezza costante.

L'equalizzazione del playback corregge questa alterazione e ripristina la risposta in frequenza piatta.

Per comprendere la fig. 2.11.1 è necessario illustrare il processo di registrazione.

2.11.2 Procedimento di registrazione e RIAA

I solchi in un disco stereo sono incisi da una punta tagliente a forma di bulino guidato da 2 sistemi vibranti posti ad angolo retto.

La punta tagliente vibra meccanicamente da un lato all'altro in dipendenza dal segnale applicato allo stilo.

Questo sistema è denominato « taglio laterale » mentre il sistema vecchio era a « taglio verticale ».

Il movimento risultante del solco, avanti e indietro rispetto al centro ideale, è conosciuto come modulazione del solco.

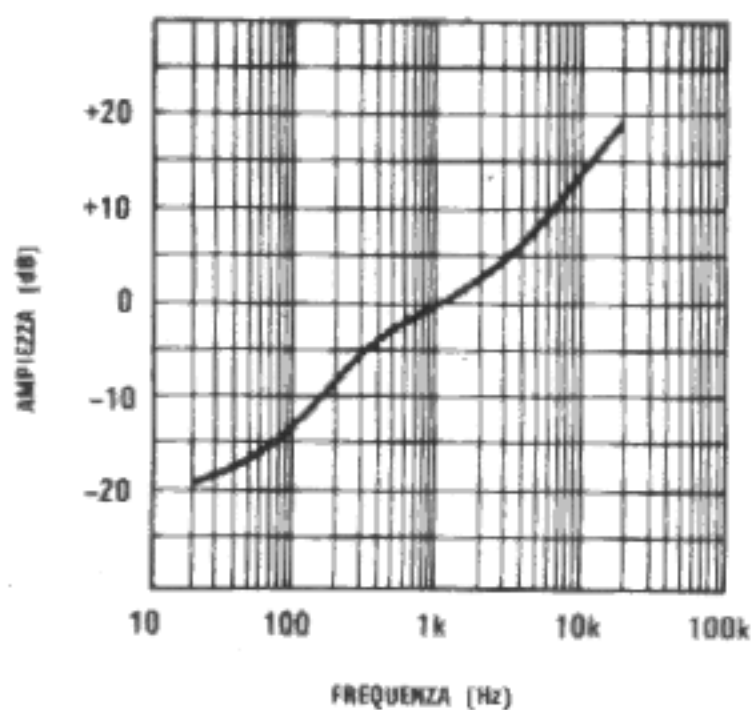


FIGURA 2.11.1 Caratteristica tipica di riproduzione fono per un segnale registrato di ampiezza fissata

L'ampiezza di tale modulazione non può superare una quantità fissa altrimenti si verifica un «cutover» («cutover» o sovrarmodulazione indica una invasione di un solco in uno attiguo). Il rapporto tra la massima ampiezza di solco possibile prima del cutover e l'ampiezza minima necessaria per ottenere accettabili caratteristi-

che segnale-rumore (58 dB tipicamente), determina il range dinamico di una registrazione (tipicamente 32-40 dB).

L'ultimo requisito deriva dalle rugosità della superficie del disco che danno luogo a un generatore di rumore (la puntina tagliente durante la registrazione è scaldata per smussare gli angoli dell'incisione al fine di diminuire il rumore). È interessante, nel progetto di un dispositivo di preamplificazione fono che le caratteristiche di rumore della registrazione tendano ad essere 10 volte peggiori di quelle del preamplificatore con tipici livelli, a larga banda di 10 μ V.

Ampiezza e frequenza caratterizzano un segnale audio. Entrambe devono essere accuratamente memorizzate e rilette per ottenere una riproduzione musicale HF.

L'informazione sulla ampiezza audio passa all'ampiezza della modulazione del solco, mentre la frequenza del segnale audio compare come la velocità di variazione delle modulazioni del solco.

Sembra abbastanza semplice, se così fosse però la fig. 2.11.1 dovrebbe essere una linea orizzon-

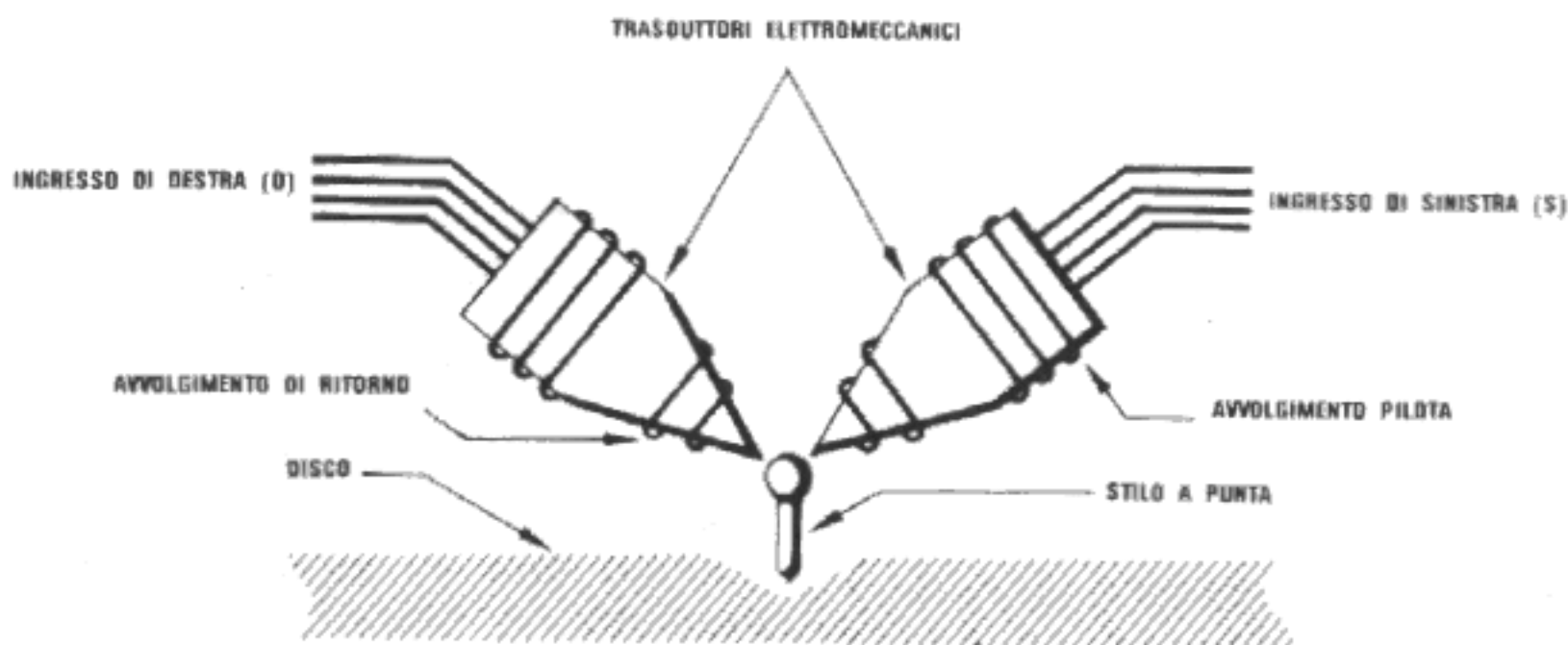


FIGURA 2.11.2 Testina di incisione stereo

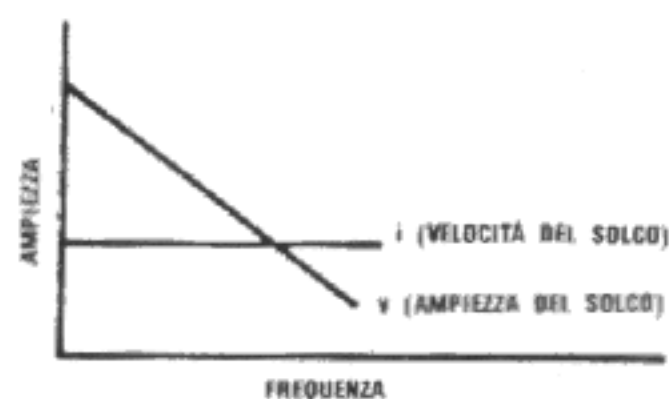
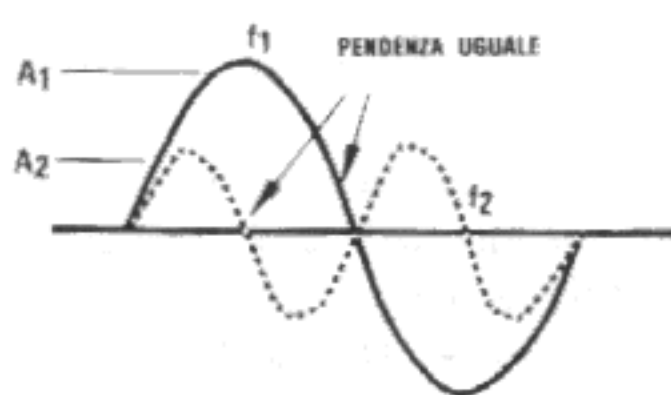


FIGURA 2.112A Registrazione a velocità costante

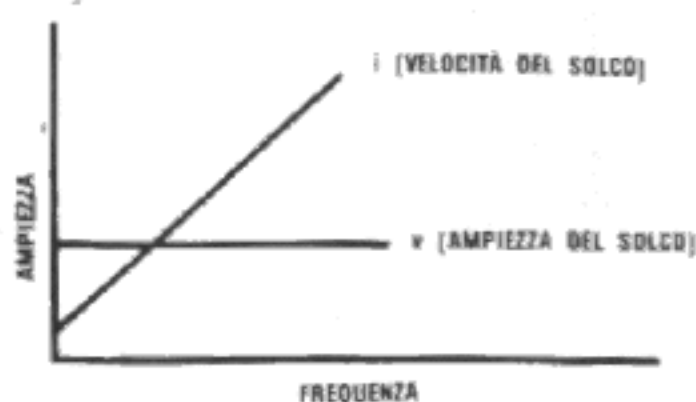
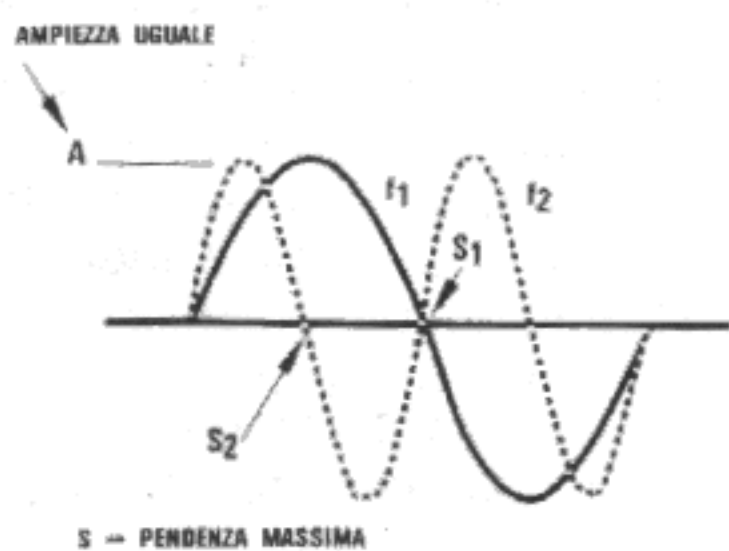


FIGURA 2.11.2B Registrazione ad ampiezza costante

tale diritta centrata su 0 dB, visto che rappresenta un segnale d'ingresso d'ampiezza costante.

Il guaio viene dalla caratteristica della testina tagliante.

Senza gli avvolgimenti di reazione negativa (fig. 2.11.2) la risposta in frequenza della velocità ha un picco di risonanze a 700 Hz, per la sua stessa costruzione. L'aggiunta di avvolgimenti di reazione provoca una uscita di velocità indipendente dalla frequenza, perciò la punta tagliante è un dispositivo a velocità costante (fig. 2.11.2a).

La fig. 2.11.1 è così fatta poichè l'amplific. di taglio è prequalizzato al fine di dare tale curva di registrazione.

Due motivi giustificano tale curva: prima cosa l'attenuazione a bassa frequenza previene il cutover, seconda cosa l'aumento alle alte frequenze migliora il rapporto segnale-rumore.

Non si è però ancora risposto al quesito del perchè tutto ciò è necessario.

Per rispondere, e non è così semplice, è necessario partire dagli avvolgimenti che pilotano la testina di taglio.

Essendo soprattutto induttivi, la loro impedenza è dipendente dalla frequenza.

Se un segnale d'ampiezza fissa posto all'ingresso è convertito in una tensione fissa utile a pilotare gli avvolgimenti (ampiezza costante) si ottiene allora una corrente, ovvero un campo magnetico, e quindi la velocità con cui cambiano le vibrazioni, diventa dipendente dalla frequenza (fig. 2.11.2b).

Se un segnale ad ampiezza fissa si trasforma in una corrente fissa, cioè in un valore fisso di velocità di vibrazione, impiegata per pilotare le spire (velocità costante) allora diventa dipendente dalla frequenza la tensione risultante, ovvero l'ampiezza del taglio (fig. 2.11.2a).

Rispetto alla frequenza, data una certa ampiezza dell'ingresso la testina ha un solo grado di libertà: la velocità di vibrazione (velocità costante = pilotaggio in corrente) o distanza di vibrazione (ampiezza costante = pilotaggio in tensione).

Le denominazioni velocità costante e ampiezza costante possono creare confusione finchè non si capisce che essi si riferiscono solo a segnali d'ingresso ad ampiezze fisse e sono usate solo per descrivere il comportamento della testina in funzione della frequenza.

Un cambiamento del livello d'ingresso porterà

quindi a un corrispondente cambiamento dell'ampiezza, nel caso di registrazione a velocità costante, indipendente dalla frequenza.

Per esempio, se un livello d'ingresso di 10 mV comporta un'ampiezza del solco di 0,1 mil (*) in una registrazione ad ampiezza costante e una velocità di 5 cm/s per una registrazione a velocità costante, allora un cambio del livello d'ingresso a 20 mV dovrebbe dare 0,2 mil e 10 cm/sec rispettivamente, indipendentemente dalla frequenza.

Ognuna di queste tecniche, quando usate per pilotare il meccanismo vibrante ha dei problemi di range dinamico.

Le figure 2.11.2a e 2.11.2b mostrano ciascun caso per 2 frequenze separate di un'ottava.

Nella discussione che segue si assume un segnale d'ingresso fisso in ampiezza e si considerano solo gli effetti dei cambiamenti di frequenza sull'apparecchio di taglio.

Una registrazione a velocità costante (fig. 2.11.2a) mostra due caratteristiche evidenti.

L'ampiezza varia inversamente con la frequenza, e la pendenza massima è costante con la frequenza.

La seconda caratteristica è ideale poichè i pickup magnetici (i più comuni) sono dispositivi a velocità costante.

Essi sono costituiti da un generatore attivo (p. es., un elemento magnetico) che si muove in un avvolgimento (o viceversa) con l'uscita proporzionale alla velocità di movimento attraverso il campo magnetico ovvero alla velocità del solco. Tuttavia l'ampiezza variabile crea seri problemi alle frequenze estreme.

Per le dieci ottave che si inseriscono tra 20 Hz e 20 kHz c'è una variazione in ampiezza di 1024 a 1.

Se si prende come punto di riferimento 1 kHz per determinare una modulazione d'ampiezza nominale dello stilo, allora alle basse frequenze le ampiezze sono così grandi che si verifica un cutover.

Alle alte frequenze l'ampiezza diventa invece così piccola che non sono accettabili i rapporti segnale-disturbo, visto che non si hanno per niente spostamenti.

Questo nel caso della velocità costante.

Con riferimento alla fig. 2.11.2b, ci sono due nuove osservazioni rispetto all'ampiezza costante. L'ampiezza è costante con la frequenza (che corregge la maggior parte dei mali della velocità costante) ma la pendenza massima varia direttamente con la frequenza ovvero la velocità del solco è direttamente proporzionale alla frequenza.

Così è ora la velocità a variare da 1024 a 1 nella banda audio.

Ricordando che le testine magnetiche sono dispositivi a velocità costante, non ad ampiezza costante, l'uscita salirà alla velocità di 6 dB/ottava (6 dB di aumento significano un raddoppio di ampiezza).

L'equalizzazione di tale sistema richiederebbe 60 dB di margine nel preamplificatore, il che non è molto pratico.

(*) 1 mil = 0,0254 mm.

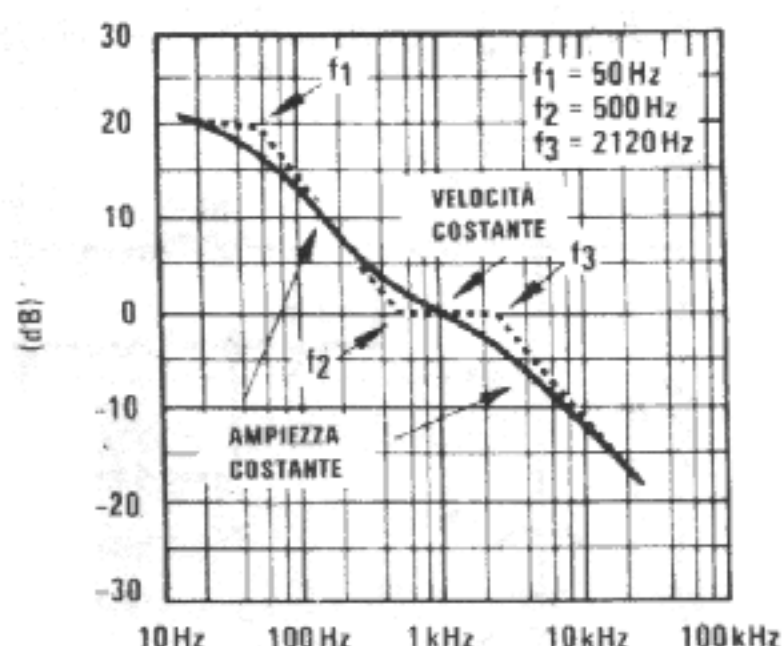


FIGURA 2.11.3 Equalizzazione di riproduzione RIAA

La soluzione è di cercare di ottenere il meglio da entrambi i sistemi, cioè ottenere una curva modificata ad ampiezza costante tale che nella regione a metà banda si opera a velocità costante.

La curva di equalizzazione della riproduzione secondo le specifiche RIAA (Record Industry Association of America = Associazione americana delle industrie di registrazione) mostra (fig. 2.11.3) il caso ideale disegnato a punti e invece a tratto pieno la sua realizzazione pratica. Si notano tre frequenze che sono punti di riferimento standard nel progetto e che sono dette talvolta costanti di tempo.

Questa denominazione è presa dalla consuetudine di specificare le frequenze di taglio attraverso i circuiti equivalenti RC ($t = R \times C$) che realizzano la risposta.

La conversione è effettuata, semplicemente attraverso l'espressione $t = \frac{1}{2\pi f}$, e porta a co-

stanti di tempo 3180 μs per f_1 , 318 μs per f_2 e 75 μs per f_3 .

La frequenza f_2 è chiamata di turnover (ribaltamento), poichè è quella a cui il sistema passa dall'essere ad ampiezza costante ad essere a velocità costante. (Analogamente f_3 è un'altra frequenza di turnover).

La tabella 2.11.1 è allegata per comodità nel caso serva a controllare la risposta RIAA di un preamplificatore fono.

TABELLA 2.11.1 Risposte standard RIAA

Hz	dB	Hz	dB
20	+19.3	800	+ 0.7
30	+18.6	1k	0.0*
40	+17.8	1.5k	- 1.4
50	+17.0	2k	- 2.6
60	+16.1	3k	- 4.8
80	+14.5	4k	- 6.6
100	+13.1	5k	- 8.2
150	+10.3	6k	- 9.6
200	+ 8.2	8k	-11.9
300	+ 5.5	10k	-13.7
400	+ 3.8	15k	-17.2
500	+ 2.6	20k	-19.6

* Frequenza di riferimento

2.11.3 Testine ceramiche e di cristallo

Prima di entrare nel dettaglio del progetto di reti di reazione RIAA per cartucce magnetiche fono, è utile dire alcune parole sulle testine di cristallo e ceramiche.

A differenza dei pic-up magnetici che sono a velocità costante, i pick-up ceramici sono ad ampiezza costante e non richiedono perciò equalizzazione, essendo la loro uscita intrinsecamente piatta.

Con riferimento alla fig. 2.11.3 si vede che quest'ultima affermazione non è del tutto vera. Poichè la regione tra f_2 e f_3 è a velocità costante l'uscita di un dispositivo ceramico cade di 12dB tra 500 Hz e 2000 Hz.

Questo, pur sembrandolo, non è in realtà un grosso problema, a motivo della intrinsecamente scarsa risposta in frequenza della ceramica e della sua restrizione ad usi di bassa e media fedeltà.

Poichè i livelli d'uscita sono così grandi (100mV-2V) non è necessario un preamplificatore per i pick-up di ceramica; l'uscita entra direttamente nell'amplificatore di potenza attraverso i controlli di volume e di tono (se usato).

2.11.4 LM 387 o LM 381 come preamplificatori fono

Le cartucce magnetiche hanno un bassissimo livello d'uscita e richiedono dispositivi a basso rumore per l'amplificazione dei segnali senza che si verifichino apprezzabili peggioramenti nel comportamento di rumore del sistema.

Con IC a basso rumore come il LM 387 o 381, diventano principali fonti di rumore la testina e la resistenza di carico, e non più i dispositivi attivi (v. Appendice A5).

In tabella 2.11.2 sono dati tipici livelli d'uscita della testina.

La tensione d'uscita è specificata per una certa velocità di modulazione. Il pick-up magnetico è un dispositivo di velocità, perciò la sua uscita è proporzionale alla velocità. Per esempio una cartuccia che dia 5 mV a 5 cm/s darà 1 mV a 1 cm/s ed ha una sensibilità di 1 mV/cm/s.

Per trasformare la sensibilità in utili informazioni di progetto del preamplificatore abbiamo bisogno di conoscere i limiti della velocità di modulazione, (valore massimo e valore tipico), delle registrazioni stereo.

TABELLA 2.11.2

Marca	Modello	Uscita a 5cm/sec
Empire Scientific	999	5mV
	888	8mV
Shure	V-15	3.5mV
	M91	5mV
Pickering	V-15 AT3	5mV

La caratteristica di registrazione RIAA prevede una velocità massima di registrazione di 25 cm/s nel range 800 Hz-2500 Hz.

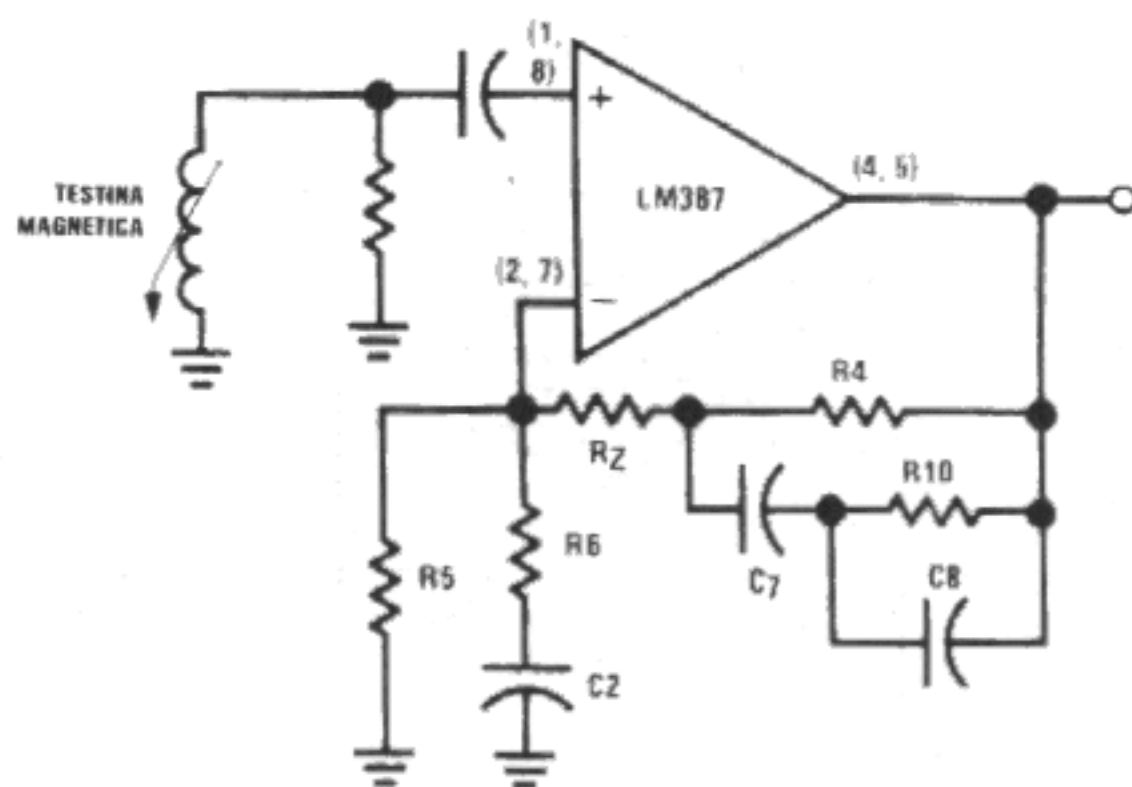


FIGURA 2.11.4 Preamplificatore fono RIAA

La soluzione è di cercare di ottenere il meglio da entrambi i sistemi, cioè ottenere una curva modificata ad ampiezza costante tale che nella regione a metà banda si opera a velocità costante.

La curva di equalizzazione della riproduzione secondo le specifiche RIAA (Record Industry Association of America = Associazione americana delle industrie di registrazione) mostra (fig. 2.11.3) il caso ideale disegnato a punti e invece a tratto pieno la sua realizzazione pratica. Si notano tre frequenze che sono punti di riferimento standard nel progetto e che sono dette talvolta costanti di tempo.

Questa denominazione è presa dalla consuetudine di specificare le frequenze di taglio attraverso i circuiti equivalenti RC ($t = R \times C$) che realizzano la risposta.

La conversione è effettuata, semplicemente attraverso l'espressione $t = \frac{1}{2\pi f}$, e porta a co-

stanti di tempo 3180 μ s per f_1 , 318 μ s per f_2 e 75 μ s per f_3 .

La frequenza f_2 è chiamata di turnover (ribaltamento), poichè è quella a cui il sistema passa dall'essere ad ampiezza costante ad essere a velocità costante. (Analogamente f_3 è un'altra frequenza di turnover).

La tabella 2.11.1 è allegata per comodità nel caso serva a controllare la risposta RIAA di un preamplificatore fono.

TABELLA 2.11.1 Risposte standard RIAA

Hz	dB	Hz	dB
20	+19.3	800	+ 0.7
30	+18.6	1k	0.0*
40	+17.8	1.5k	- 1.4
50	+17.0	2k	- 2.6
60	+16.1	3k	- 4.8
80	+14.5	4k	- 6.6
100	+13.1	5k	- 8.2
150	+10.3	6k	- 9.6
200	+ 8.2	8k	-11.9
300	+ 5.5	10k	-13.7
400	+ 3.8	15k	-17.2
500	+ 2.6	20k	-19.6

* Frequenza di riferimento

2.11.3 Testine ceramiche e di cristallo

Prima di entrare nel dettaglio del progetto di reti di reazione RIAA per cartucce magnetiche fono, è utile dire alcune parole sulle testine di cristallo e ceramiche.

A differenza dei pic-up magnetici che sono a velocità costante, i pick-up ceramici sono ad ampiezza costante e non richiedono perciò equalizzazione, essendo la loro uscita intrinsecamente piatta.

Con riferimento alla fig. 2.11.3 si vede che quest'ultima affermazione non è del tutto vera. Poichè la regione tra f_2 e f_3 è a velocità costante l'uscita di un dispositivo ceramico cade di 12dB tra 500 Hz e 2000 Hz.

Questo, pur sembrandolo, non è in realtà un grosso problema, a motivo della intrinsecamente scarsa risposta in frequenza della ceramica e della sua restrizione ad usi di bassa e media fedeltà.

Poichè i livelli d'uscita sono così grandi (100mV-2V) non è necessario un preamplificatore per i pick-up di ceramica; l'uscita entra direttamente nell'amplificatore di potenza attraverso i controlli di volume e di tono (se usato).

2.11.4 LM 387 o LM 381 come preamplificatori fono

Le cartucce magnetiche hanno un bassissimo livello d'uscita e richiedono dispositivi a basso rumore per l'amplificazione dei segnali senza che si verifichino apprezzabili peggioramenti nel comportamento di rumore del sistema.

Con IC a basso rumore come il LM 387 o 381, diventano principali fonti di rumore la testina e la resistenza di carico, e non più i dispositivi attivi (v. Appendice A5).

In tabella 2.11.2 sono dati tipici livelli d'uscita della testina.

La tensione d'uscita è specificata per una certa velocità di modulazione. Il pick-up magnetico è un dispositivo di velocità, perciò la sua uscita è proporzionale alla velocità. Per esempio una cartuccia che dia 5 mV a 5 cm/s darà 1 mV a 1 cm/s ed ha una sensibilità di 1 mV/cm/s.

Per trasformare la sensibilità in utili informazioni di progetto del preamplificatore abbiamo bisogno di conoscere i limiti della velocità di modulazione, (valore massimo e valore tipico), delle registrazioni stereo.

TABELLA 2.11.2

Marca	Modello	Uscita a 5cm/sec
Empire Scientific	999	5mV
	888	8mV
Shure	V-15	3.5mV
	M91	5mV
Pickering	V-15 AT3	5mV

La caratteristica di registrazione RIAA prevede una velocità massima di registrazione di 25 cm/s nel range 800 Hz-2500 Hz.

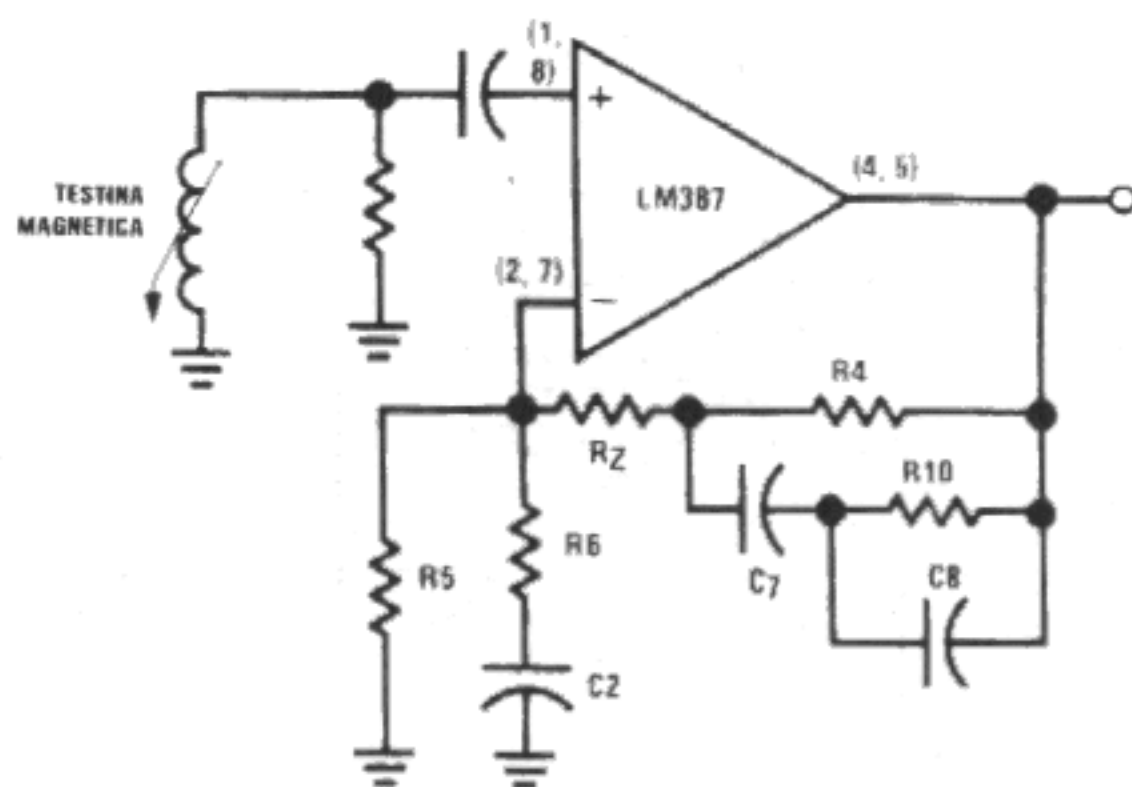


FIGURA 2.11.4 Preamplificatore fono RIAA

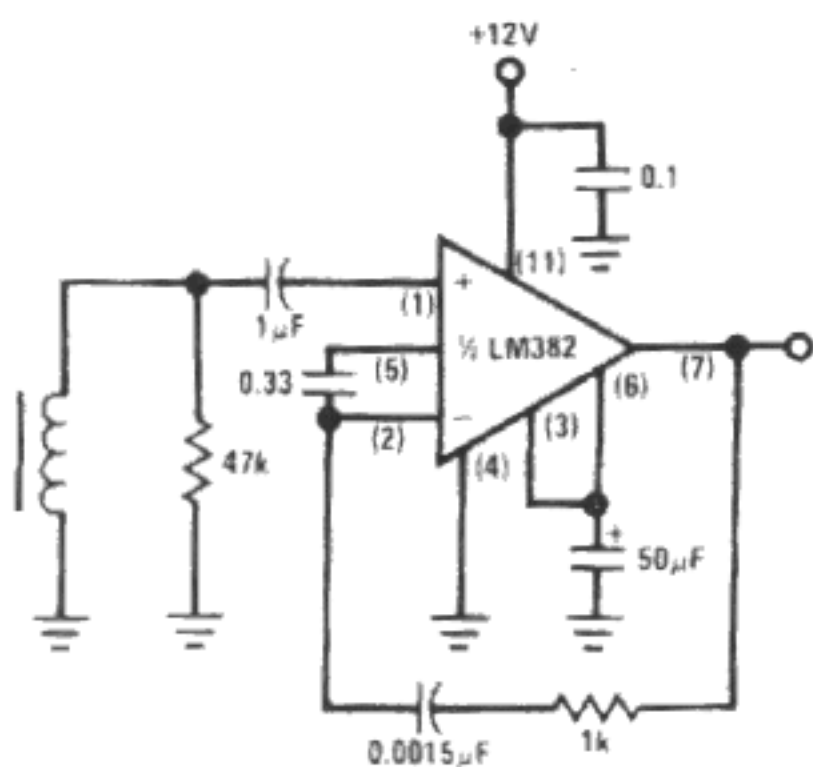


FIGURA 2.11.6 Preamp fono LM382 (RIAA)

14 V. Il guadagno di riferimento 0 dB a metà banda è di 46 dB (200 V/V) e non può essere modificato facilmente.

Per progetti che richiedano diverso guadagno o diversa tensione le parti supplementari richieste rendono più opportuna la scelta di un LM 381 o LM 387.

2.11.6 Preamplicatore Fono LM 1303

Il LM 1303 permette di progettare comodamente un preamplicatore a basso rumore nel caso si lavori ad alimentazioni sdoppiate.

Per tarature o modifiche di guadagno si utilizzano le formule:

$$0 \text{ dB Ref. Gain} = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$

$$f_1 = \frac{1}{2 \pi R_1 C_1} \quad (2.11.6)$$

$$f_2 = \frac{1}{2 \pi R_2 C_1} \quad (2.11.7)$$

$$f_3 = \frac{1}{2 \pi R_2 C_2} \quad (2.11.8)$$

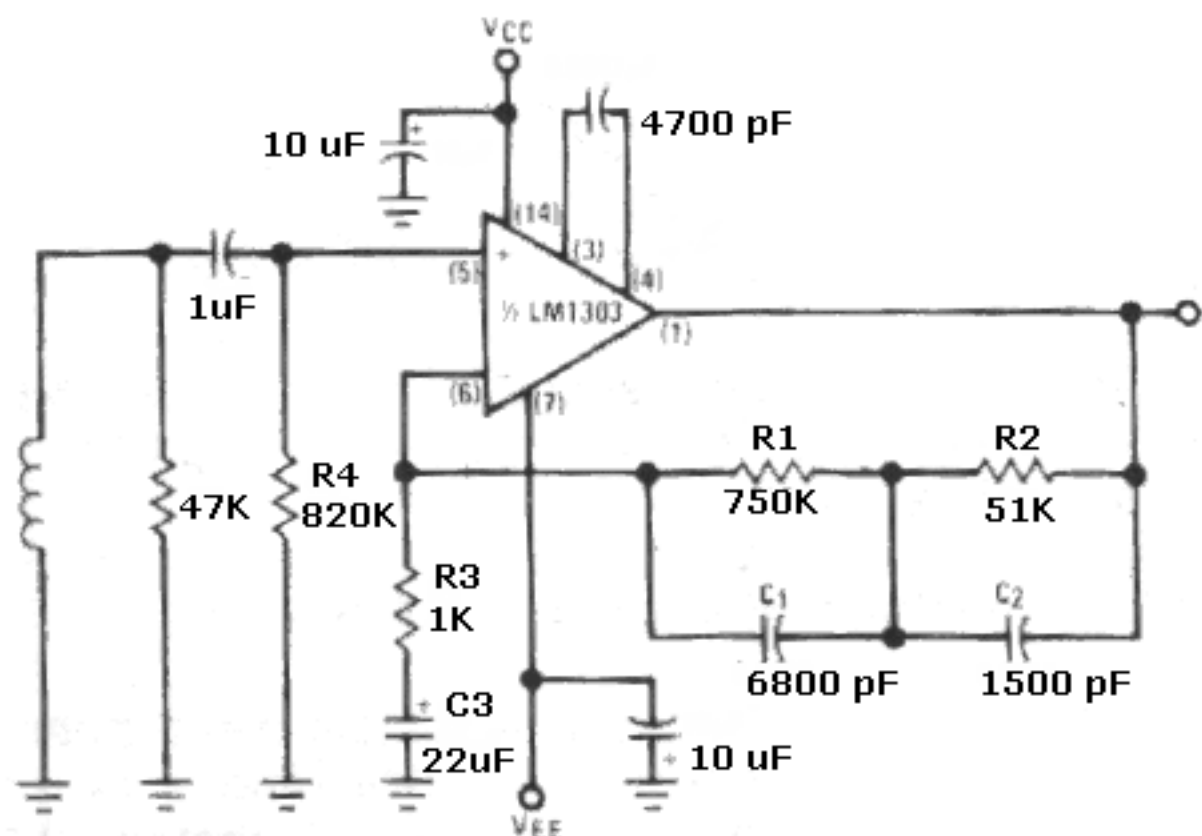


FIGURA 2.11.7 Preamp fono LM1303 (RIAA)

Come mostrato in fig. 2.11.2 il guadagno di riferimento 0 dB (1 kHz) è circa uguale a 34 dB e i valori della reazione sono stati leggermente modificati per rendere minime le interferenze polizeri.

2.11.7 Mini preamplicatore a bassissimo rumore LM 381 A

Aumentando la densità di corrente del 1° stadio del LM 381 A (v. paragrafo 2.7) è possibile ottenere una caratteristica ottimale di rumore per testine magnetiche.

In fig. 2.11.8 è presentato un preamplicatore fono che utilizza tale tecnica, provvisto anche di ingressi per un sintonizzatore (tuner) e per il registratore a nastro (tape), un interruttore di selezione e un controllo unico di volume.

Non sono stati inclusi controlli di tono ma possono essere facilmente aggiunti (v. paragrafo 2.14).

La risposta in frequenza RIAA è $\pm 0,6$ dB entro i valori standard di tabella 2.11.1.

Il guadagno di riferimento 0 dB a 1 kHz è di 41.6 dB (120 V/V), e si ottiene quindi una uscita di 1,5 V_{RMS} per un ingresso di 12,5 mV_{RMS} nominali. Con alimentazione di 33 V_{DC} si ha un margine (range dinamico) migliore di + 25 dB per un tipico ingresso di 5 mV a 1 kHz.

Il limite di sovraccarico dell'ingresso vale 91 mV per frequenze a metà banda.

Il rapporto segnale/rumore è migliore di - 85 dB riferito a 10 mV di livello d'ingresso, con un rumore totale d'uscita minore di 100 µV (ingresso cortocircuitato). Resistenze a film di metallo e condensatori a bassa tolleranza si rendono opportuni per minimizzare il rumore in eccesso (paragrafo 2.3.2) e mantenere la precisione in frequenza RIAA.

2.11.8 Generatore di risposta inversa RIAA

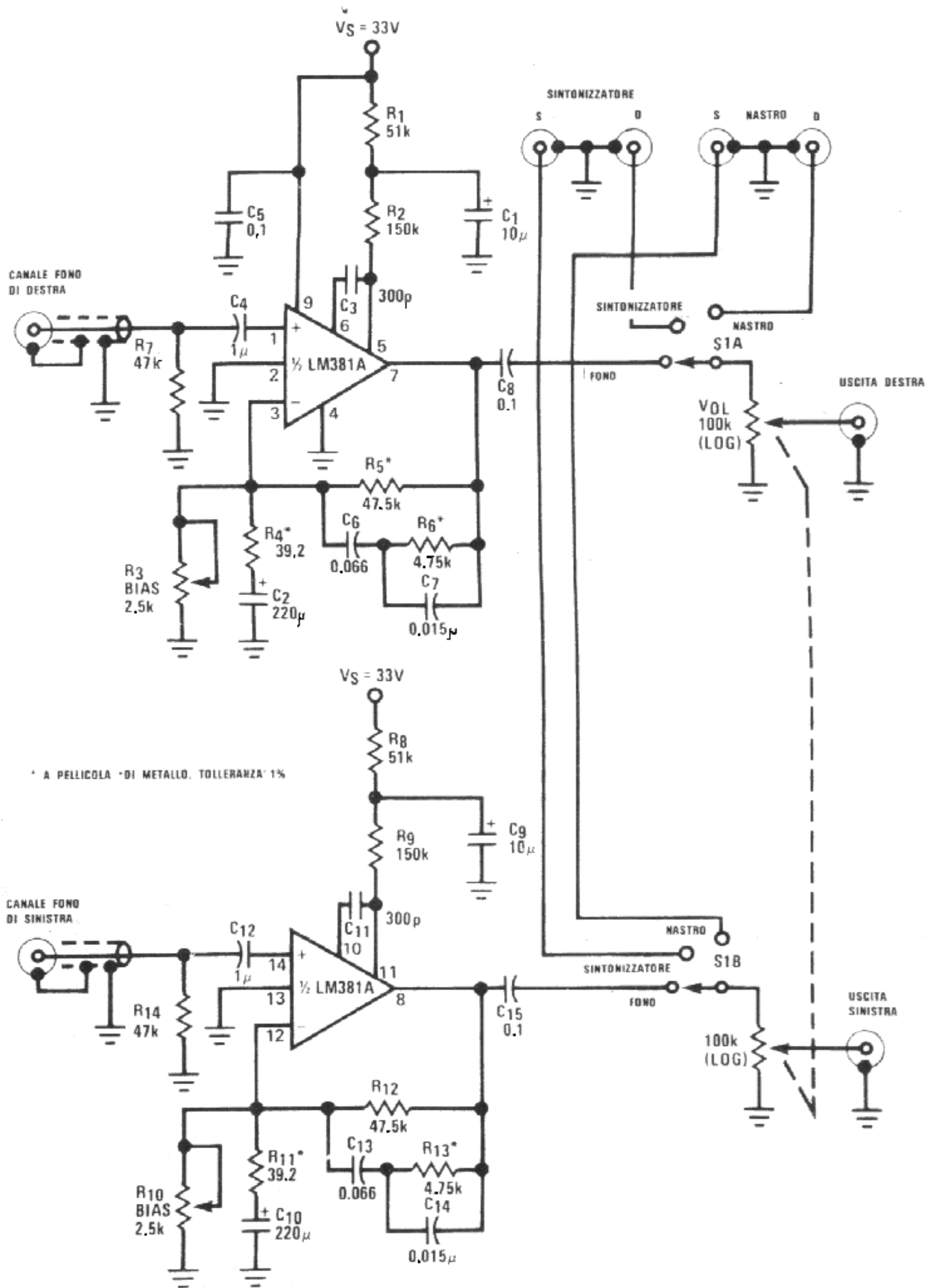
Una utile scatoletta per collaudo che serve avere sotto mano durante il progetto e la costruzione di preamplicatori fono è quella che dà l'opposto della caratteristica di riproduzione ovvero una caratteristica inversa (o di registrazione) RIAA.

Il circuito di fig. 2.11.9 è ottenuto aggiungendo un filtro passivo all'uscita di un LM 387 usato come un blocco a risposta piatta e guadagno regolabile.

Il guadagno può essere regolato su un range da 24 dB a 60 dB, ed è posto in accordo con il guadagno di riferimento a 0 dB (1 kHz) del preamplicatore fono sotto test.

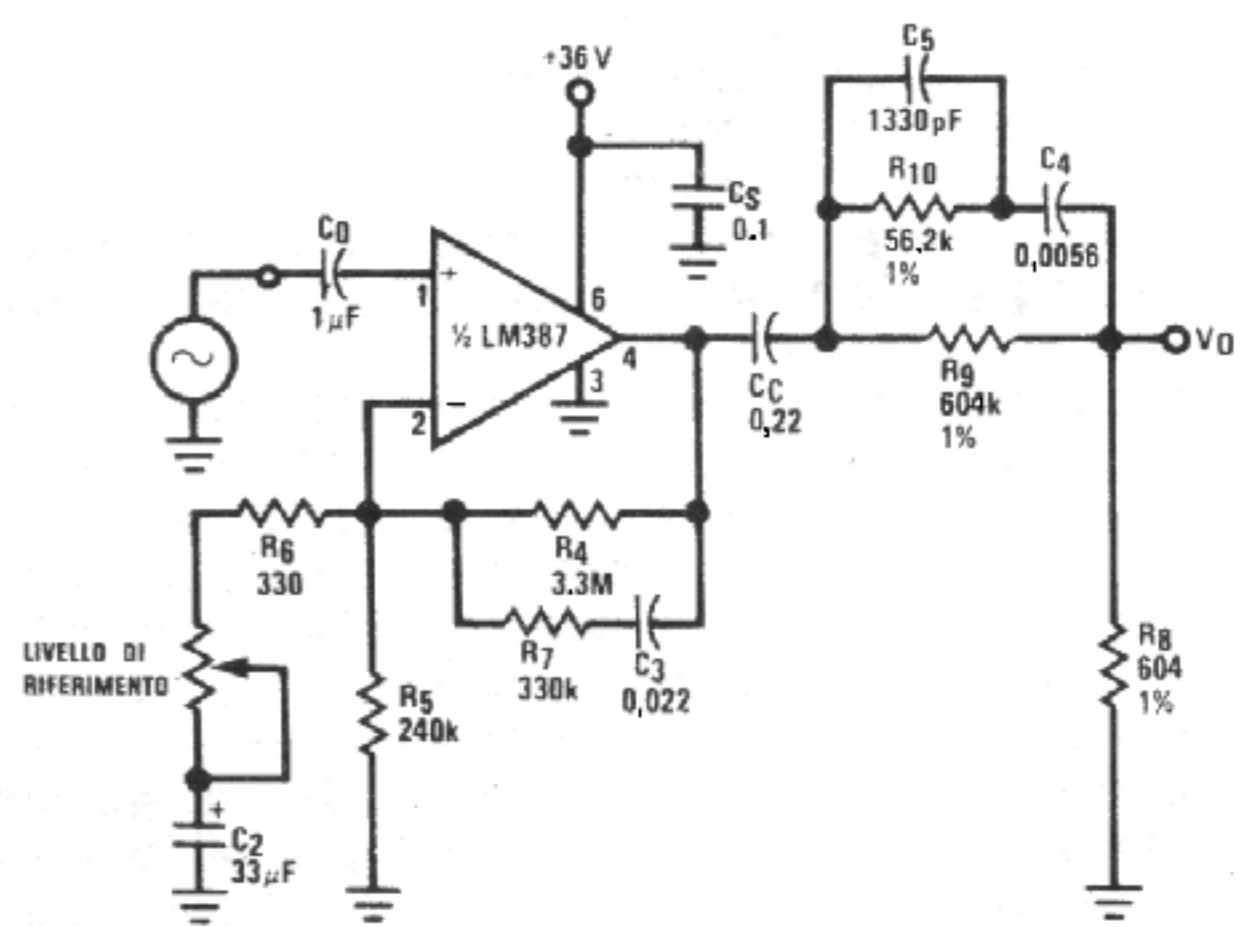
Per esempio supponiamo di avere un preamplicatore da collaudare di + 34 dB di guadagno a 1 kHz.

Si connette un generatore da 1 kHz all'ingresso di fig. 2.11.9. Il filtro passivo ha una perdita di - 40 dB a 1 kHz che è corretta dal guadagno del LM 387, se è così richiesto di passare da un livello di 10 mV in ingresso al generatore a un'uscita di 1 V a 1 kHz, allora il guadagno del LM 387 viene posto a + 46 dB (+ 46 dB - 40 dB + 34 dB = + 40 dB; 10 mV × 100 = 1 V).



* A PELLICOLA "DI METALLO, TOLLERANZA 1%

FIGURE 2.11.8 LM381A Ultra-Low Noise Mini Preamp. (RIAA)



Le frequenze di taglio del filtro sono determinate dalle equazioni:

$$f_1 = 50 \text{ Hz} = \frac{1}{2 \pi R_9 C_4} \quad (2.11.9)$$

$$f_2 = 500 \text{ Hz} = \frac{1}{2 \pi R_{10} C_4} \quad (2.11.10)$$

$$f_3 = 2120 \text{ Hz} = \frac{1}{2 \pi R_{10} C_5} \quad (2.11.11)$$

La rete $R_7 - C_3$ è necessaria per ridurre la quantità di reazione AC ed è efficace per frequenze superiori a 20 Hz. Con i valori presentati, la curva inversa RIAA cade entro 0,75 dB della tabella 2.11.1.

FIGURA 2.11.9 Generatore di risposta inversa RIAA