



CARATTERISTICHE TECNICHE

Alimentazione:	115-220-250 V c.a. commutabili con cambiotensioni
Frequenza di alimentazione:	50 - 60 Hz
Corrente continua assorbita:	38 mA
Guadagno in tensione:	≥ 44 dB con carico di 300 Ω
Impedenza d'ingresso:	> 100 k Ω
Massimo segnale d'ingresso con carico maggiore di 270 Ω :	30 mV
Massimo segnale d'ingresso con carico di 50 Ω :	6 mV
Semiconduttori impiegati:	2 transistori BC109C, 1 transistoro 2N2219, 1 transistoro BC140, 1 Zener BZY88C18 oppure BZY94C18, 1 ponte raddrizzante W 005
Dimensioni dell'apparecchio:	145 x 80 x 50
Peso dello strumento:	500 g

PREAMPLIFICATORE UNIVERSALE

scatole di montaggio

Con l'UK 172 l'AMTRON ha inteso mettere a disposizione dell'amatore un Jolly che può servire a risolvere innumerevoli problemi che possano sorgere in un laboratorio, e la cui soluzione con metodi convenzionali provocherebbe perdite di tempo non indifferenti.

Il montaggio dell'apparecchiatura inoltre insegnerà molte cose interessanti riguardanti gli amplificatori, che è utile conoscere anche in vista di future applicazioni.

L'impedenza di ingresso è stata tenuta sufficientemente elevata in modo da introdurre scarse perturbazioni nel circuito al quale l'amplificatore deve venire collegato.

La curva dell'amplificazione è abbastanza piatta e la banda sufficientemente larga per un gran numero di applicazioni. L'uscita può essere collegata a carichi molto variabili. La variazione della tensione di uscita col carico non è eccessiva, ad ogni modo un'apposita tabella permette di conoscere l'andamento di questa tensione.

Il guadagno in tensione è piuttosto costante in dipendenza del carico e quello in potenza cresce in maniera abbastanza uniforme col diminuire della resistenza di carico.

L'uscita può anche essere mandata in corto circuito senza conseguenze dannose per l'amplificatore.

Chissà quanti tra voi si saranno trovati almeno una volta nella loro vita di sperimentatori a dover pronunciare la fatidica frase: «qui ci vorrebbe un amplificatore da inserire tra questo e quest'altro».

Ci sono varie soluzioni a questo appassionante problema. I più bravi tra voi, naturalmente la maggioranza, si armeranno di carta e matita e cercheranno di poter adattare allo scopo qualcosa che già possiedono nel cassetto, dato che talvolta l'urgenza di vedere il risultato di un esperimento non permette nemmeno di uscire per approvvigionarsi del materiale adatto.



UK 172

Altri meno bravi, cercheranno uno schemino su qualche rivista e cercheranno di adattarlo ai propri scopi, trovandosi subito alle prese con una miriade di problemi, dato che tra gli schemi pubblicati, in genere non se ne trova mai uno che vada proprio bene per il proprio scopo.

I più furbi invece si terranno in casa un amplificatore già bell'e fatto che possa adattarsi ad un gran numero di situazioni, e che possa essere adoperato senza dover perdere molto tempo che, come si sa, è denaro anche se si lavora per svago.

Un amplificatore che, senza pretendere di voler fare proprio tutto, permette di risolvere un buon numero di situazioni, ve lo offriamo già noi bello e pronto. Non avete altro da fare che divertirvi a montarlo e l'avrete sempre a portata di mano per risolvere gran parte dei problemi che in genere non hanno nulla a che fare con l'esperimento che state conducendo, ma che ne bloccherebbero inesorabilmente il proseguimento. Inoltre, se leggerete attentamente quanto segue, avrete occasione di imparare tante cose che, chissà mai, potrebbero venire utili in seguito.

Seguendo la descrizione del circuito vedrete che sono stati fatti miracoli per rendere il campo di applicazione di uno strumento così semplice ed economico, più vasto di quanto immaginate.

Il fatto di essere direttamente alimentato dalla rete con alimentatore stabilizzato, libera da un ulteriore impegno l'alimentatore o gli alimentatori del vostro laboratorio che, nel corso di un esperimento, saranno certamente impegnati in compiti ben più utili.

L'uscita con notevole potenza su una bassa resistenza, lo renderanno abbastanza indipendente dal carico. Ad ogni modo pubblicheremo in seguito una tabellina che permetterà sempre di conoscere la tensione di uscita in dipendenza al carico che presenterete ai morsetti, e tante altre notizie utili che vi permetteranno di usare l'amplificatore (senza però voler pretendere una alta precisione) come amplificatore di misura, mettendo a profitto i dati che noi vi daremo ed eventualmente completandoli

con vostre misure personali. Questo si può fare grazie alle eccezionali doti di stabilità di questo amplificatore.

La banda passante è abbastanza larga in quanto per l'attenuazione di 2 dB va da 30 Hz a 100 kHz. Quindi per segnali a bassa frequenza non introdurrà molte distorsioni. Naturalmente, quando avrete verificato la possibilità del fenomeno che state osservando, avrete tutto il tempo per progettare e costruire un amplificatore che meglio si adatti alle vostre esigenze, per resistenze di carico molto basse si nota un certo aumento della frequenza di taglio inferiore. Per esempio per $RL = 4 \Omega$ la frequenza minima sarà di 45 Hz.

L'impedenza d'ingresso è molto alta per un amplificatore che non usa elementi ad effetto di campo, e quindi introduce perturbazioni trascurabili sulle caratteristiche dell'apparecchio al quale lo dovete collegare.

La potenza erogata dipende naturalmente dal carico, ma varia poco entro limiti abbastanza vasti. Daremo ora una tabellina dei guadagni in decibel sia per la potenza che per la tensione. Poi spiegheremo come abbiamo eseguito questo calcolo. La tabella è data per valori massimi dell'ingresso, ma l'amplificatore lavora su tratti lineari della curva caratteristica dei transistori, quindi i valori possono valere con buona approssimazione anche per piccoli segnali. Supporremo che la resistenza d'ingresso sia 100 k Ω .

Avrete notato che alcune grandezze sono state date da un numero moltiplicato per una certa potenza di 10. Tale sistema di notazione si chiama «notazione scientifica». In pratica si tratta di moltiplicare il numero per 1 seguito da un numero di zeri pari alla cifra dello esponente. Se l'esponente è negativo bisogna invece dividere il numero per 1 seguito da un numero di zeri pari alla cifra dell'esponente.

Per esempio:

$$1,9 \cdot 10^{-7} = \frac{1,9}{10.000.000} = 0,00000019$$

$$1,9 \cdot 10^7 = 1,9 \times 10.000.000 = 19.000.000$$

E' ovvio che per cifre molto piccole o molto grandi, questa notazione risulta molto comoda.

Dalla tabella si può notare che il guadagno di tensione in dB per questo amplificatore risulta molto costante, mentre il guadagno di potenza presenta un andamento decrescente con la diminuzione del carico.

Siccome le misure eseguite per ottenere i dati della tabellina sono state eseguite su un prototipo di nostra costruzione, e siccome esiste la possibilità di una certa variazione delle caratteristiche dei transistori che sono forniti dalla fabbrica, anche se contrassegnati con la medesima sigla, vi forniamo qui di seguito il procedimento per eseguire queste misure ed i relativi calcoli per il vostro proprio amplificatore, in modo da costituirvi una tabella di prestazioni di sicuro affidamento, anche se i dati su esposti possono variare di poco.

Per prima cosa bisogna valutare la resistenza d'ingresso dell'amplificatore. Per fare questo si collega all'uscita una resistenza di valore medio, per esempio 500 Ω . All'ingresso si collega un generatore di bassa frequenza.

Mediante un oscilloscopio od un millivoltmetro elettronico misureremo la tensione all'ingresso dell'amplificatore, con il generatore collegato. Avremo provveduto in precedenza ad inserire nel circuito (fig. 1) una resistenza di valore noto, per esempio 10 k Ω .

Misureremo la tensione ai capi di questa resistenza. Chiameremo V1 la tensione ai capi della resistenza di 10 k Ω e V2 la tensione ai capi d'ingresso dello amplificatore. Basterà far uso della legge di Ohm per sapere quanto vogliamo. Infatti la corrente nel circuito sarà data da:

$$I = \frac{V1}{10.000}$$

Ora vogliamo conoscere la resistenza Rx d'ingresso dell'amplificatore.

Questa sarà data da:

$$R_x = \frac{V2}{I}$$

Si effettuino ora varie misure della tensione d'ingresso e della tensione di uscita per varie resistenze di carico, seguendo lo schema della tabellina T2.

Possiederemo quindi una serie di tensioni d'ingresso cui corrisponderanno una serie di tensioni di uscita, come in T1.

Le rispettive potenze si calcolano con la ben nota formula:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Avendo a disposizione le tensioni e le potenze di entrata e le tensioni e le potenze di uscita, potremo calcolare i relativi guadagni in dB.

Cos'è un dB o decibel?

Prima di tutto il nome dell'unità deriva da quello del noto fisico americano

Tensione d'ingresso V	Potenza di ingresso W	Resist. di carico Ω	Tensione di uscita V	Potenza di uscita W	Guadagno di tensione dB	Guadagno di potenza dB
0,03	$9 \cdot 10^{-6}$	1 k Ω	5,12	0,026	44,6	34
0,0115	$1,32 \cdot 10^{-6}$	100	1,8	0,032	43,9	43,8
0,009	$8,1 \cdot 10^{-7}$	68	1,4	0,028	43,8	45,3
0,0068	$4,62 \cdot 10^{-7}$	50	1,08	0,023	44,0	46,9
0,0024	$5,76 \cdot 10^{-8}$	16	0,37	0,008	43,7	51,4
0,0011	$1,21 \cdot 10^{-8}$	8	0,169	0,0035	43,7	54,6
0,00052	$2,7 \cdot 10^{-9}$	4	0,074	0,00136	43,1	57,0

Alexander Graham Bell, contestato inventore del telefono ma incontestato studioso di acustica. Siccome la variazione dell'intensità del suono che noi percepiamo con l'orecchio come lineare, dipende in realtà dal quadrato della variazione effettiva della potenza sonora, per non dover scrivere cifre molto grandi, si è convenuto di usare un'unità logaritmica per la misura dell'unità sonora. Basterà consultare un manuale contenente le tavole dei logaritmi per vedere che il logaritmo di un determinato numero si compone di due parti: una, a sinistra della virgola esprime la potenza a cui è elevato il numero 10 nella notazione scientifica di cui abbiamo prima parlato, ossia è un numero pari al numero delle cifre a sinistra della virgola nel numero di partenza diminuito di uno. La parte a destra della virgola si chiama mantissa e definisce l'effettivo valore della cifra significativa. Esistono logaritmi a base diversa: per le nostre misure useremo logaritmi in base 10, ma ci sono anche i logaritmi naturali la cui base è il numero detto «e» e che vale 2,718281828...

Per non annoiarvi ulteriormente con nozioni che potrete trarre da decine di testi specializzati, diremo ancora che la definizione del logaritmo di un numero è la seguente:

Per non annoiarvi ulteriormente con nozioni che potrete trarre da decine di testi specializzati, diremo ancora che la definizione del logaritmo di un numero è la seguente:

L'uso dei logaritmi permette di semplificare notevolmente calcoli anche complessi. Il regolo calcolatore, basato appunto sui logaritmi, ne è un esempio.

Torniamo ora ai nostri decibel. Parleremo con il chiaro linguaggio delle formule.

Per le tensioni:

$$\text{guadagno in dB} = 20 \times \log_{10} \frac{\text{tensione d'uscita}}{\text{tensione d'ingresso}}$$

per le potenze:

$$\text{guadagno in dB} = 10 \times \log_{10} \frac{\text{potenza d'uscita}}{\text{potenza d'ingresso}}$$

La cosa sembrerà oziosa, ma se si pensa che un guadagno di tensione di 100.000.000 per esempio, si scrive 160 dB. Il tutto cambia aspetto e con questo sapete tutto o quasi...

DESCRIZIONE DEL CIRCUITO

Per sommi capi il circuito dell'amplificatore è formato da due stadi in cascata ad accoppiamento diretto formati da TR1 e TR2 e da uno stadio adattatore d'impedenza a collettore comune formato da TR3.

L'alimentazione è stabilizzata dal transistor TR4 dopo essere stata raddrizzata ad onda intera dal ponte di Graetz monofase BR.

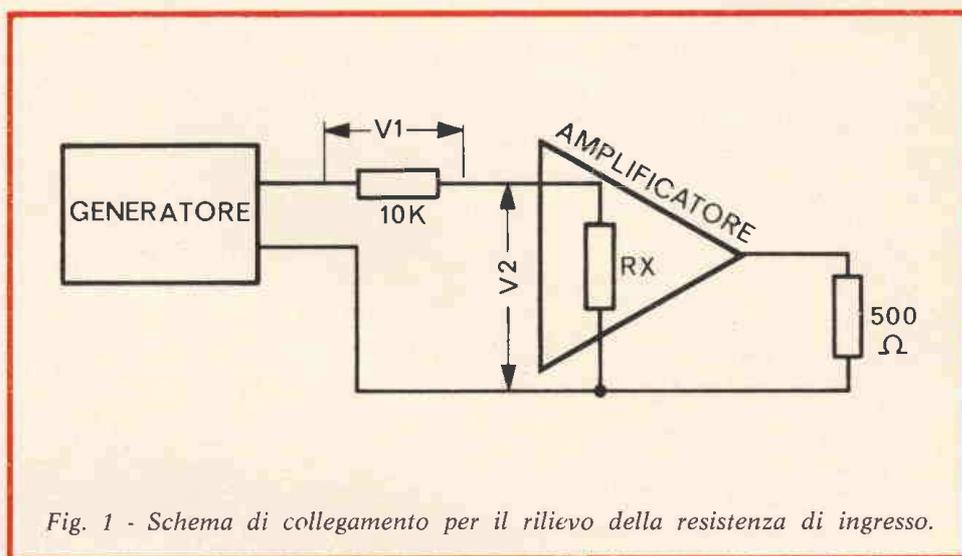


Fig. 1 - Schema di collegamento per il rilievo della resistenza di ingresso.

Come vedete è una cosetta molto semplice, ma aspettate di sentire il resto.

Per prima cosa vediamo in cosa consiste uno stadio ad accoppiamento diretto e perché è stato scelto.

Dovendo far passare una certa potenza in corrente alternata a frequenza molto bassa mediante il condensatore usato di solito per l'accoppiamento tra gli stadi in cascata, tale condensatore assumerebbe valori grandissimi e proibitivi. Primo vantaggio dell'accoppiamento diretto quindi è l'ottenimento di una bassa frequenza di taglio con un minimo dispendio di mezzi. Inoltre l'impiego di condensatori di valore molto elevato implica la presenza di transistori molto lunghi, che non permettono il passaggio di fronti d'onda molto ripidi.

Gli amplificatori ad accoppiamento diretto possono essere molto pratici anche per frequenze alte. Per esempio in amplificatori veramente a larga banda lo ingombro fisico dei condensatori di accoppiamento, può porre seri problemi a causa della loro inevitabile capacità parassita con gli altri elementi del circuito. Non si tratta del nostro caso, ma è bene saperlo. Altra importante ragione per l'uso dell'accoppiamento diretto è che i condensatori di accoppiamento, se si vuole una frequenza di taglio molto bassa, occupano molto spazio. In questi tempi di miniaturizzazione, lo spazio è una cosa importante.

Fortunatamente la buona stabilità a lungo termine delle caratteristiche in corrente continua dei transistori al silicio, ha reso non solo possibile, ma molto attraente il poter usare amplificatori in corrente continua anche dove non ce ne sarebbe in teoria bisogno.

Questo è particolarmente vero nel caso dei circuiti integrati dove complicati circuiti sono completamente costruiti su una piccolissima piastrina di silicio.

Naturalmente esistono moltissimi sistemi di eseguire amplificatori con accoppiamento diretto (basti pensare al noto circuito «Darlington»).

Il compito è facilitato anche dall'esistenza dei transistori a polarità opposta

(PNP ed NPN), che moltiplica le possibilità dell'accoppiamento diretto.

La possibilità di accoppiamento diretto per il silicio dipende dal fatto che la I_{CBO} è virtualmente trascurabile. Può essere usato uno strato superficiale di ossido sulla piastrina, che permette una ottima stabilità nel tempo, ed una buona costanza nei parametri nella serie prodotta.

Inoltre è possibile avere grandi guadagni in corrente con basse correnti di collettore. Naturalmente ci sono anche degli svantaggi, per esempio h_{fe} dipende fortemente dalla temperatura, ma per ovviare a questo esistono degli accorgimenti. Il calcolo delle polarizzazioni non può essere fatto stadio per stadio, come per i normali amplificatori accoppiati a condensatore, ma tutto il complesso deve essere preso in considerazione in quanto il segnale e la polarizzazione sono mischiati, il livello di uscita senza segnale di uno stadio diventa il livello di entrata senza segnale dello stadio successivo e così via.

Sarebbe addirittura possibile avere dei risultati abbastanza stabili anche senza controeazioni, ottenendo così la massima amplificazione possibile, in quanto la caratteristica di entrata dei transistori al silicio è sufficientemente lineare anche a basse polarizzazioni. Noi abbiamo però preferito rinunciare a buona parte dell'amplificazione possibile in favore della massima stabilità controeazionando fortemente lo stadio di entrata sia mediante il resistore di emettitore R5 privo di bypass, sia prelevando dal collettore di TR2 parte della tensione amplificata dal secondo stadio e riportandola all'emettitore di TR1 per mezzo della resistenza R20. La fase risulta opposta a quella presente sull'emettitore e quindi abbiamo a che fare anche qui con una controeazione. La stabilizzazione per le variazioni di temperatura viene fatta solo per i due stadi ad emettitore comune prelevando una tensione di controeazione in corrente continua dal centro del partitore formato da R25 ed R30 e riportandola in base a TR1 in opposizione a quella presente.

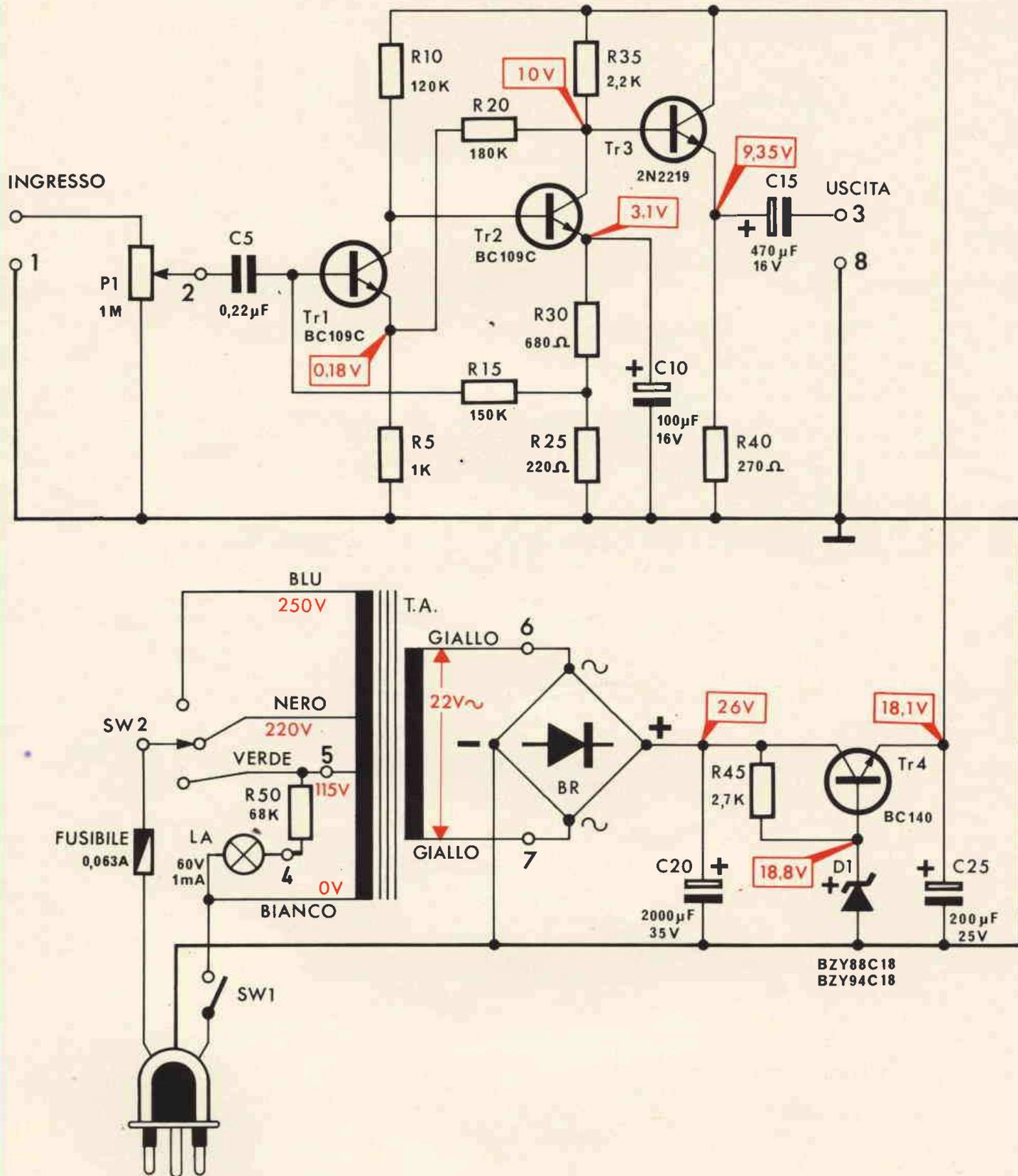


Fig. 2 - Schema elettrico.

Per gli amplificatori ad emettitore comune le considerazioni di fase sono da condurre nel seguente modo.

Se la corrente aumenta in base, aumenta anche la tensione sul diodo base emettitore. Diminuisce la resistenza offerta dal transistor, quindi diminuirà la tensione sul terminale di collettore ed aumenterà quella sul terminale di emettitore. La tensione sul terminale di collettore sarà in opposizione di fase con quella d'ingresso, mentre la tensione presente sul terminale di emettitore sarà in concordanza di fase con la tensione di ingresso.

La controreazione provocata dalla resistenza di emettitore richiede un altro ragionamento. Il transistor conduce maggiormente quanto maggiore è la differenza di potenziale tra base ed emettitore. Quindi (sempre nel caso NPN) la base, essendo per un certo grado positiva, l'emettitore deve essere più negativo per aumentare la conduzione. Ma la presenza della resistenza di emettitore lo rende invece più positivo al diminuire della resistenza del transistor, provocando una tendenza a diminuire la conduzione del transistor. Da questo l'effetto di controreazione. Se esiste un condensatore di bypass l'effetto vale solo per la corrente continua, se questo non esiste l'effetto si ha anche per la corrente alternata.

Un altro effetto della resistenza di emettitore è quello di aumentare la resistenza d'ingresso del circuito ad un valore pari al valore della resistenza moltiplicato per l' h_{fe} del transistor, d'altra parte qualsiasi controreazione aumenterà la resistenza d'ingresso in quanto sarà necessaria una maggior tensione per provocare il passaggio della stessa corrente, quindi la legge di Ohm ci dice che la resistenza aumenta.

Diremo ora due parole sullo stadio finale a collettore comune. In questo schema di collegamento il segnale viene applicato sulla base e viene prelevato sull'emettitore. Per le considerazioni prima svolte, il segnale di uscita sarà in fase con quello d'ingresso. Per l'assenza della resistenza di collettore la controreazione della resistenza di emettitore sarà più importante che nel montaggio ad emettitore comune, quindi la resistenza d'ingresso sarà alta mentre quella di uscita, sarà bassa in quanto su di essa non influiranno le variazioni della resistenza del transistor. La formula della resistenza di uscita, a parte termini trascurabili, sarà:

$$R_o = \frac{R_s + R_\pi}{h_{fe} + 1}$$

per la corrente continua o comunque a bassissima frequenza. Altrimenti bisogna ragionare in termini di impedenza, e la cosa ci porterebbe troppo lontano.

R_s è la resistenza della sorgente di alimentazione;

R_π è la resistenza della giunzione base-emettitore polarizzata direttamente ed

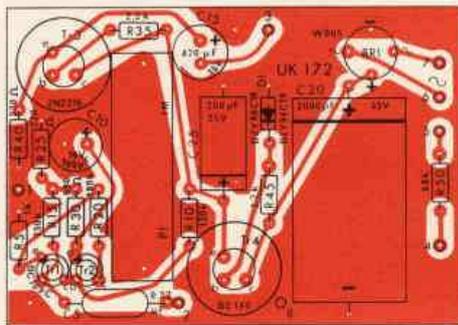


Fig. 3 - Serigrafia del circuito stampato.

è molto piccola, dell'ordine del centinaio di ohm.

h_{fe} è il coefficiente di amplificazione di corrente ad emettitore comune con uscita in corto circuito.

Nel circuito a collettore comune non si ha guadagno in tensione ma solo guadagno in corrente, in quanto è ovvio che, a meno di una piccola caduta, avremo la stessa tensione sia sulla base che su R40.

Per informazione diremo che per la base comune sussiste l'inverso, ossia si ha guadagno in tensione non in corrente, mentre nel circuito ad emettitore comune si ha guadagno, sia in tensione che in corrente.

Passiamo ora alle altre parti dell'amplificatore.

L'ingresso del segnale da amplificare avviene attraverso il parzializzatore P1 ed il condensatore C5. Il valore di tale capacità non è molto grande, dato il piccolo livello del segnale.

L'uscita avviene attraverso il condensatore C15 di elevatissima capacità.

Lo scopo di questo condensatore è di permettere la messa in corto circuito dell'uscita senza danni per il transistor finale. Infatti il corto circuito avviene solo per la corrente alternata, e le varie controreazioni presenti non permettono che i livelli in corrente alternata per vari stadi assumano valori pericolosi.

L'alimentazione avviene attraverso il trasformatore TA con primario a tre tensioni, lampada spia, fusibile di protezione ed interruttore generale. Il secondario entra nel ponte BR dal quale esce la corrente pulsante unidirezionale, che viene livellata da C20, quindi stabilizzata da TR4, per il quale il circuito formato da R45 e dallo zener D1 costituisce il generatore della tensione di riferimento. All'uscita abbiamo un ulteriore livellamento effettuato da C25. La tensione stabilizzata di uscita è di 18,1 V.

MECCANICA

Tutto l'apparecchio è sistemato entro un pratico ed elegante contenitore di dimensioni molto ridotte. Le entrate e le uscite dei segnali non sono coassiali, dato il modesto valore delle frequenze in gioco. Consigliamo comunque di eseguire i collegamenti agli apparecchi con cavo schermato, altrimenti il cavo di

collegamento potrebbe raccogliere disturbi induttivi che, data anche l'alta impedenza di entrata, potrebbero alterare il segnale trasmesso.

Sul frontale della scatola appaiono l'interruttore generale, il potenziometro di regolazione del guadagno e la lampada spia indicante che l'apparecchio è in funzione.

Ai lati fuoriescono il cordone di alimentazione dalla rete, le bocche di collegamento per l'entrata e l'uscita, il fusibile ed il cambiotensioni.

All'interno sono contenuti il circuito stampato che porta montato anche il potenziometro di regolazione del guadagno, il trasformatore di alimentazione ed i vari collegamenti in cavo.

Il contenitore è di minimo ingombro, ed occupa un minimo spazio sul banco di lavoro. E' costituito da due elementi in alluminio verniciato in colori di gradevole aspetto.

MONTAGGIO

Cominceremo con il montaggio dei componenti sul circuito stampato.

Per facilitare il compito dell'esecutore, pubblichiamo la fig. 3 dove appare la serigrafia del circuito stampato sulla quale abbiamo sovrapposto l'esatta disposizione dei componenti.

Diamo per prima cosa alcuni consigli generali utili a chiunque si accinga ad effettuare un montaggio su circuito stampato.

Il circuito stampato presenta una faccia sulla quale appaiono le piste di rame ed una faccia sulla quale vanno disposti i componenti.

I componenti vanno montati aderenti alla superficie del circuito stampato paralleli a questa, fatta eccezione per alcuni che sono predisposti per il montaggio verticale.

Dopo aver piegato i terminali alla giusta distanza, tra i fori ed aver verificato sulla figura il loro esatto collocamento, si introducono i terminali nei fori predisposti allo scopo sul circuito stampato.

Si effettua quindi la saldatura con un saldatore di potenza non eccessiva, agendo con decisione e rapidità per non surriscaldare i componenti.

Non esagerare con la quantità di stagno che deve essere appena sufficiente per assicurare un buon contatto. Se la saldatura non riuscisse subito perfetta, conviene interrompere il lavoro per lasciar raffreddare il componente, e quindi ripetere il tentativo. Tale precauzione vale soprattutto per i componenti a semiconduttori, in quanto una eccessiva quantità di calore trasmessa attraverso i connettori alla piastrina di semiconduttore, potrebbe alterarne permanentemente le caratteristiche, se non addirittura distruggerne le proprietà.

Tutte le operazioni di montaggio sono ampiamente illustrate nell'opuscolo fornito in unione al kit.