



Maurizio Monteduro (MauriEMonti)

STADIO INTERMEDIO

15 August 2004

Come già accennato gli amplificatori per grandezze continue sono composti da più di uno stadio. Avendo già analizzato in dettaglio lo stadio iniziale, esaminiamo ora quello intermedio.

Scopi principali dello stadio intermedio sono contribuire all'incremento del guadagno di tensione totale dell'amplificatore senza peggiorare slew rate e derive, adattare l'impedenza d'uscita dello stadio d'ingresso con l'impedenza d'ingresso dello stadio finale ed effettuare lo scalamento in tensione per poter avere uscita nulla quando gli ingressi siano cortocircuitati.

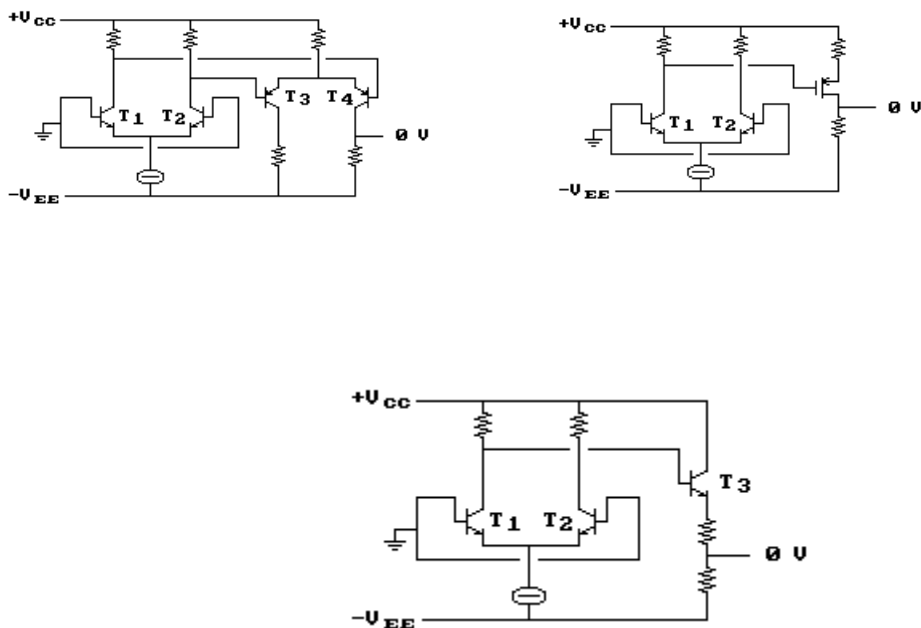
Per questo stadio si possono utilizzare sia l'amplificatore differenziale che circuiti a singolo transistor, la scelta fra i due tipi di soluzione si basa soprattutto sulla necessità di mantenere alto il rapporto di reiezione di modo comune (CMRR) e di minimizzare gli effetti che il circuito stesso pone presentandosi come carico, in continua, per lo stadio precedente.

Come abbiamo visto il CMRR è imposto dallo stadio differenziale d'ingresso. Quindi la realizzazione dello stadio intermedio con circuiterie non differenziali, cioè a singolo transistor, non potrà influenzare, e quindi migliorare, il CMRR totale. Questo tipo di considerazione, ci fa protendere verso l'uso, per questo stadio, di un amplificatore differenziale. Bisogna, però, tener presente che circuiti di questo tipo generano, se non ben bilanciati, delle tensioni di offset che vengono interpretate come segnali differenziali dagli stadi successivi. Di ciò, e degli effetti di carico introdotti, bisognerà tenere in doveroso conto, ricorrendo, per la sua realizzazione, alle tecniche di minimizzazione degli offsets che abbiamo visto nel dettaglio in precedenza.

Normalmente la scelta cade o su due stadi differenziali di moderato guadagno, oppure su uno stadio differenziale ad alto guadagno seguito da uno stadio formato da un singolo transistor.

In conclusione le soluzioni maggiormente adottate per lo stadio intermedio sono: differenziali a transistori bipolari o a FETs, amplificatori ad emettitore comune, ovvero source comune, ed emitter follower, ovvero source follower. Ognuno dei circuiti qui elencati provvede allo scalamento del livello di tensione, come è rappresentato dalle illustrazioni seguenti:

[Espandi/contrai](#) | [Rimpicciolisci](#) | [Ingrandisci](#) | [Nuova finestra](#)

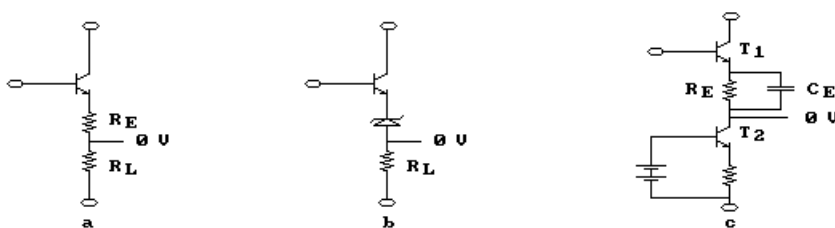


Per lo stadio differenziale lo spostamento del livello è ottenuto usando transistor di tipo PNP, in questo modo la necessaria caduta di tensione è dovuta alla differenza di potenziale fra collettore e base dei transistor T_3 e T_4 .

Una situazione analoga si presenta per lo stadio a source comune, dove lo scalamento è dovuto alla tensione di polarizzazione fra gate e drain.

Nell'emitter follower lo slittamento del livello è ottenuto tramite un partitore di tensione. Occorre, però, specificare che l'uso di questo artificio riduce il guadagno di tensione; per ovviare all'inconveniente si possono utilizzare diverse soluzioni, alcune delle quali sono riportate nella figura seguente:

[Espandi/contrai](#) | [Rimpicciolisci](#) | [Ingrandisci](#) | [Nuova finestra](#)

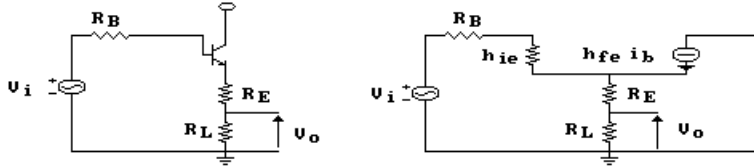


L'impedenza del diodo zener della seconda immagine è piccola in confronto ad R_L , quindi, in questo modo, si riesce a limitare la perdita di guadagno; tuttavia il rumore introdotto dallo zener può peggiorare le prestazioni dell'amplificatore. In alternativa si può modificare il partitore di

tensione inserendo, al posto della resistenza di carico R_L , un pozzo di corrente che, notoriamente, presenta resistenza d'uscita molto alta, ottenendo, così, il circuito di fig. c. Il condensatore C_E è stato inserito per compensare l'effetto della capacità di giunzione vista dal collettore di T_2 , che alle alte frequenze cortocircuiterà la resistenza d'uscita del generatore di corrente.

Esaminiamo, ora, in dettaglio, uno stadio intermedio ad emitter follower. Chiaramente i risultati ottenuti varranno, con le ovvie modifiche, per ognuno dei circuiti riportati in figura.

[Espandi/contrai](#) | [Rimpicciolisci](#) | [Ingrandisci](#) | [Nuova finestra](#)



Ricordiamo qui di seguito solo le formule principali, dato che il circuito sarà sicuramente noto al lettore. Nel ricavare queste espressioni abbiamo trascurato i parametri h_{oe} ed h_{re} e li trascureremo anche nella restante parte della trattazione.

Il guadagno di tensione totale sarà:

$$A_v = \frac{(1+h_{fe}) \cdot (R_E + R_L)}{R_B + h_{ie} + (1+h_{fe}) \cdot (R_E + R_L)} \cdot \frac{R_L}{(R_E + R_L)}$$

é da notare come il partitore di tensione d'uscita riduca il guadagno di tensione che, come noto, per questo circuito è già minore di uno.

La resistenza d'ingresso è data da:

$$R_i = R_B + h_{ie} + (1+h_{fe}) \cdot (R_E + R_L)$$

La resistenza d'uscita sarà uguale a:

$$R_{out} = \left(\frac{R_B + h_{ie}}{1+h_{fe}} + R_E \right) // R_L$$

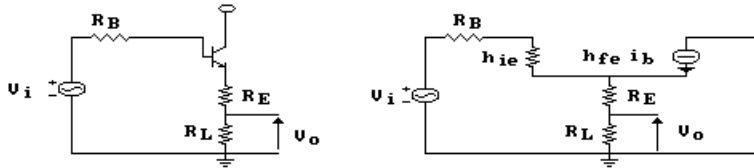
Notiamo che aumentando R_L si può migliorare il rapporto di partizione d'uscita, migliorando, di conseguenza, il guadagno di tensione, ma la resistenza d'uscita avrà un valore comunque basso, sempre più prossimo ad R_E mano a mano che R_L aumenterà.

Il guadagno di corrente è espresso dalla relazione:

$$A_i = (1 + h_{fe})$$

Vediamo qui di seguito, uno stadio intermedio ad emettitore comune:

[Espandi/contrai](#) | [Rimpicciolisci](#) | [Ingrandisci](#) | [Nuova finestra](#)



Anche di questo circuito forniremo solo le formule principali, essendo, sicuramente, noto.

Il guadagno di tensione è:

$$A_v = \frac{h_{fe} \cdot R_c}{R_B + h_{ie} + R_E \cdot (1 + h_{fe})}$$

La resistenza d'ingresso è fornita da:

$$R_i = R_B + h_{ie} + R_E \cdot (1 + h_{fe})$$

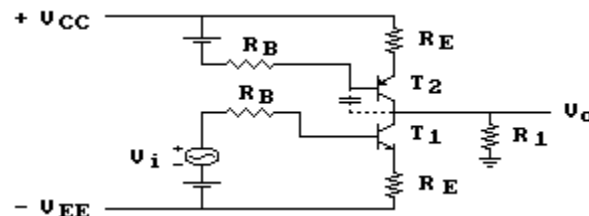
La resistenza d'uscita sarà espressa come:

$$R_{out} = R_c$$

Il guadagno di corrente risulta:

$$A_i = -h_{fe}$$

Se desiderassimo migliorare il guadagno di tensione di questo circuito potremmo utilizzare, al posto della resistenza di carico R_c , un pozzo di corrente, ottenendo lo schema riportato infigura:



La resistenza dinamica d'uscita del pozzo di corrente è notoriamente alta e si comporta come una resistenza di carico di valore elevato. Il guadagno, proporzionale alla resistenza di collettore, risulta così aumentato.

Tenendo però presente il valore relativamente basso della resistenza differenziale del circuito stesso, fra i collettori ed il morsetto positivo dell'alimentazione non si avrà più quella forte caduta di tensione che avrebbe avuto luogo utilizzando una resistenza di pari valore, così facendo abbiamo migliorato anche la dinamica d'uscita.

Gli svantaggi che, purtroppo, accompagnano l'uso di tale stratagemma, sono legati a problemi di riduzione della banda passante e della resistenza d'ingresso, che si vorrebbe alta per non permettere fenomeni di partizione di tensione con lo stadio precedente. Consideriamo la figura precedente; in essa è rappresentata la capacità di giunzione fra base e collettore che si pone in parallelo alla resistenza d'uscita del generatore di corrente. Quindi sul collettore di T_1 , al posto della resistenza R_C , dovremo considerare l'impedenza Z_C che, inserendo un polo a frequenze relativamente basse, ha l'effetto di ridurre la banda passante.