

## 5. Coppie differenziali di transistori bipolari

Vediamo ora una semplice struttura adatta a realizzare amplificatori di tensione differenziali. Ci preoccupiamo in questo paragrafo di dare alcune definizioni e di schematizzare la struttura base. Circuiti più completi saranno affrontati con esercizi.

Un amplificatore differenziale a transistori ha la semplicissima struttura di Fig. 1.5 dove è anche schematizzato il blocco funzionale.

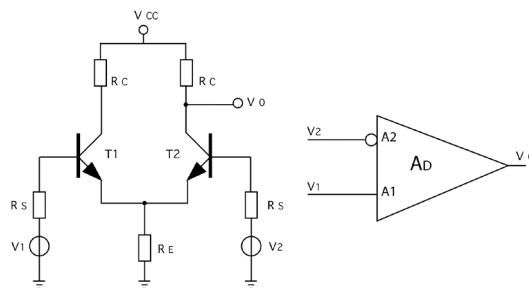


Fig. 1.5

Il circuito è costituito da due elementi attivi che in teoria sono perfettamente identici. Nel blocco funzionale a destra, qualora cortocircuitassimo i due terminali d'ingresso e applicassimo ad essi lo stesso segnale, la tensione  $V_0$  d'uscita dovrebbe essere nulla perchè l'amplificatore è sensibile solo alla differenza,  $V_D = V_1 - V_2$  dei segnali d'ingresso.

Ovviamente ciò non è vero nella realtà perchè gli elementi attivi non saranno mai perfettamente identici.

Ci proponiamo pertanto di studiare il comportamento dell'amplificatore differenziale reale e di fornire elementi che permettano di valutarne la qualità.

Per fare ciò conviene pensare che i segnali dei due rami d'ingresso vengano amplificati rispettivamente di una quantità  $A_1$  e  $A_2$ .

Definiamo inoltre *segnale di modo differenziale*

$$V_D = V_1 - V_2 \quad (1.5)$$

ovvero la differenza all'ingresso e *segnale di modo comune* la media dei segnali d'ingresso:

$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (2.5)$$

Dalle espressioni precedenti si possono scrivere quindi le due espressioni

$$V_1 = \frac{V_D}{2} + V_c \quad (3.5)$$

$$V_2 = -\frac{V_D}{2} + V_c \quad (4.5)$$

Dal blocco funzionale di Fig.1.5 possiamo scrivere

$$V_0 = A_D(V_1 - V_2) = V_1 * A_1 - V_2 * A_2 \quad (5.5)$$

pensando che il segnale  $V_1$  sia trattato dall'amplificatore costituito dal transistor  $T1$  e il segnale  $V_2$  dal  $T2$ .

Combinando la (5.5) con le due formule precedenti otteniamo

$$V_0 = \left(\frac{V_D}{2} + V_c\right)A_1 - \left(-\frac{V_D}{2} + V_c\right)A_2 = V_D \frac{(A_1 + A_2)}{2} + V_c(A_1 - A_2) = V_D A_D + V_c A_C \quad (6.5)$$

Si vede che il *segnale di modo comune* non viene amplificato solo se i due lati del circuito sono perfettamente simmetrici, ovvero  $A_1 = A_2$ .

In tal caso la (6.5) ci dice anche che il segnale d'uscita è solo funzione della differenza ( $V_1 - V_2$ ).

Ovviamente si vuole che  $A_D$  sia grande e  $A_C$  sia la più piccola possibile e si definisce come fattore di merito dell'amplificatore (*fattore di reiezione*)

$$\rho = \frac{A_D}{A_C} \quad (7.5)$$

che cresce al crescere della qualità del circuito.

Prendiamo ora il circuito di Fig. 1.5 e calcoliamo la sua amplificazione di modo comune  $A_C$  e quella di modo differenziale  $A_D$ .

Per fare ciò useremo due modelli: uno che descriva il comportamento con segnali di *solo modo comune* e un altro che ne descriva il comportamento per segnali di *solo modo differenziale*.

Per il modo comune connettiamo gli ingressi in corto quindi

$$V_1 = V_2 = V_s \quad (8.5)$$

e  $V_C = V_s$  e osserviamo il segnale in  $V_0$ .

Avendo cortocircuitato gli ingressi avremo

$$A_C = \frac{V_0}{V_C} = \frac{V_0}{V_s} \quad (9.5)$$

Consideriamo il  $T_2$ . Esso ha  $V_s$  in ingresso ma nella resistenza di emettitore  $R_E$  viene iniettata una corrente doppia di quella che sarebbe causata dalla sola  $V_s$ , perchè anche  $T_1$  inietta una egual corrente in  $R_E$ . In definitiva  $T_2$  “crede” di avere in emettitore una resistenza di valore  $2R_E$ . Il circuito equivalente è pertanto quello di Fig. 2.5.

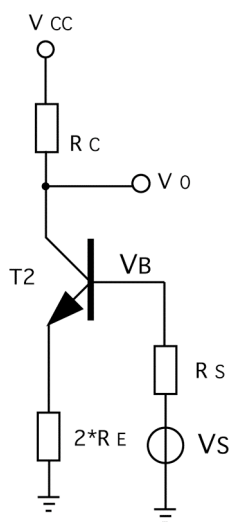


Fig. 2.5

Valutiamo  $A_C$  come

$$A_C = \frac{V_0}{V_B} * \frac{V_B}{V_S} \quad (10.5)$$

Il guadagno di un transistor con grande resistenza di base è notoriamente

$$\frac{V_0}{V_B} = -\frac{R_C}{2 * R_E} \quad (11.5)$$

mentre la frazione di tensione vista dalla base sarà dipendente dall'impedenza d'ingresso del transistor e da quella d'uscita del generatore [vedi § 1, (1.1) e (2.1)]

$$\frac{V_B}{V_S} = \frac{Z_{INT}}{Z_{INT} + R_S} = \frac{\beta * 2R_E}{\beta * 2R_E + R_S} \quad (12.5)$$

abbiamo immediatamente sostituito il valore dell'impedenza d'ingresso di un transistor con grande resistenza di emettitore e guadagno in corrente  $\beta$ .

Ricordiamo infatti che la  $Z_{INT}$  può essere scritta come

$$Z_{INT} = h_{ie} = r_b + (\beta + 1)[r_e + 2R_E] \approx 2\beta R_E \quad (13.5)$$

dove  $r_e$  è uguale a  $1/g_m$ .

Tuttavia, supponendo  $R_S$ , molto piccola la (12.5) vale 1 e quindi

$$A_C = \frac{V_0}{V_S} = -\frac{R_C}{2R_E} \quad (14.5)$$

Calcoliamo ora la amplificazione di modo differenziale  $A_D$  supponendo

$$V_1 = -V_2 = \frac{V_S}{2} \quad (15.5)$$

in modo che quindi sia

$$V_D = V_S \quad (16.5)$$

In questo caso il segnale applicato alle due basi è della stessa ampiezza ma di segno opposto. Il  $T2$  inietta una corrente uguale e contraria a quella iniettata da  $T1$  pertanto il terminale di emettitore non si sposta in tensione e  $T2$  “crede” di avere l’emettitore a massa. Il circuito equivalente è quello della Fig. 3.5.

Ora  $A_D$  sarà

$$A_D = \frac{V_0}{V_B} * \frac{V_B}{V_S} \quad (17.5)$$

Tenendo presente il modello di Fig. 3.5 avremo che

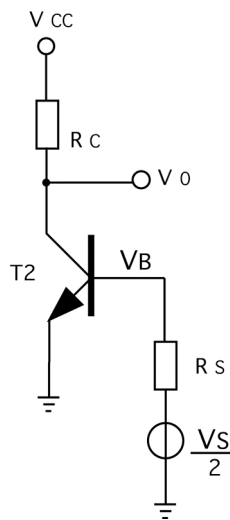


Fig. 3.5

$$V_0 = V_B A_D = \frac{V_S}{2} \frac{Z_{INT}}{Z_{INT} + R_S} A = \frac{V_S}{2} \frac{Z_{INT}}{Z_{INT} + R_S} * \left( -\frac{\beta R_C}{h_{ie}} \right) \quad (18.5)$$

e nell’ipotesi che  $R_S$  sia molto piccola otteniamo

$$A_D = \frac{V_0}{V_S} = \frac{1}{2} \frac{Z_{INT}}{Z_{INT} + R_S} \left( -\frac{\beta R_C}{h_{ie}} \right) = -\frac{\beta R_C}{2h_{ie}} \quad (19.5)$$

Considerando la (14.5) e la (19.5) risulta che sia  $\rho$

$$\rho = \frac{A_D}{A_C} = \frac{\beta \frac{R_C}{2h_{ie}}}{\frac{R_C}{2R_E}} = \frac{\beta R_E}{h_{ie}} \quad (20.5)$$

concludiamo che per aumentare la qualità della coppia differenziale si deve aumentare  $R_E$ .

Ovviamente se si usa un componente passivo resistivo non è possibile aumentare la resistenza in emettitore oltre il valore di qualche decina di kilohm tenendo presente che comunque i transistor andranno polarizzati con correnti dell'ordine della frazione del  $mA$  o del  $mA$ . Già una corrente di qualche  $mA$  su un centinaio kilohm significherebbe una tensione di alimentazione di qualche centinaia di volt che non è usuale in circuiti a transistori. Quindi per aumentare la *classe* della coppia l'unica soluzione sarà adottare uno schema del tipo di Fig. 4.5.

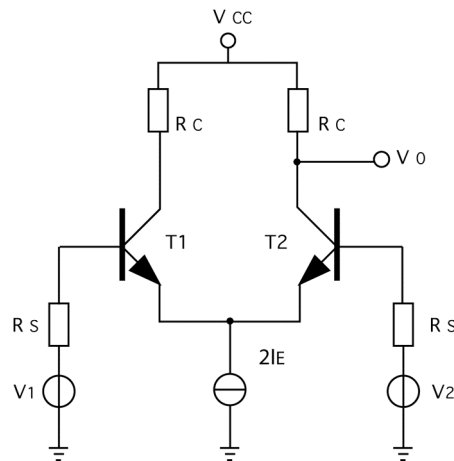


Fig. 4.5

Vedremo svolgendo esercizi come si potranno realizzare in modo assai semplice molti generatori di corrente con transistori bipolari.

