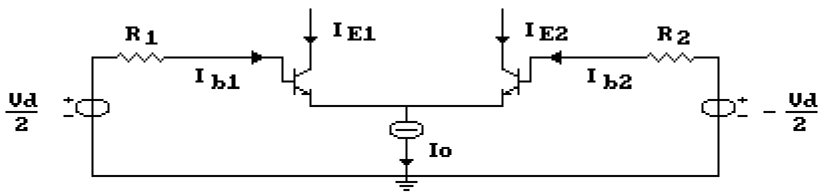
Maurizio Monteduro (MauriEMonti)

OFFSET

15 August 2004

Consideriamo il seguente circuito:



Se il circuito fosse realizzato con componenti ideali, per $v_d = 0$ si otterrebbe $I_{C1} = I_{C2}$, come ampiamente già dimostrato.

Siccome il circuito non è ideale per $v_d = 0$ si ha I_{C1} Â¹ I_{C2}, ovvero, si ha un "offset" in uscita.

Quello che ci proponiamo di valutare, è l'offset d'ingresso, ovvero quel particolare valore V_0 della tensione v_d che rende $I_{C1} = I_{C2} \cong \frac{I_0}{2}$.

Consideriamo

$$I_{b1} = \frac{I_{C1}}{h_{fe1}} \quad \text{e} \quad I_{b2} = \frac{I_{C2}}{h_{fe2}},$$

supponendo inoltre i transistors alla stessa temperatura, possiamo valutare l'equazione alla maglia:

$$\frac{v_d}{2} - I_{b1} \cdot R_1 - V_{BE1} + V_{BE2} + I_{b2} \cdot R_2 - \left(-\frac{v_d}{2}\right) = 0$$

$$v_d = I_{b1} \cdot R_1 + V_{BE1} - V_{BE2} - I_{b2} \cdot R_2$$

ma

$$V_{BE1} \cong V_T \cdot \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}};$$

$$V_{BE2} \cong V_T \cdot \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}}$$

Per valutare V_O devo, come accennato prima, imporre:

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_0}{2};$$

pertanto varranno le seguenti relazioni:

$$I_{b1} = \frac{I_0}{2 \cdot h_{fe1}};$$
$$I_{b2} = \frac{I_0}{2 \cdot h_{fe2}}$$

Inoltre possiamo calcolare:

$$V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \cdot \left(\ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} - \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}} \right)$$

da cui, per quanto imposto precedentemente, ricaviamo:

$$V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \cdot \left(\ln \frac{I_C}{I_{S1}} \cdot \frac{I_{S2}}{I_C} \right) = V_T \cdot \ln \left(\frac{I_{S2}}{I_{S1}} \right)$$

Sostituendo questi risultati nell'espressione $v_d = I_{b1} \cdot R_1 + V_{BE1} - V_{BE2} - I_{b2} \cdot R_2$

ed inoltre, considerando che il valore di v_d così ottenuto, è il valore di V_O cercato, diciamo che:

$$V_o = I_{b1} \cdot R_1 - I_{b2} \cdot R_2 + V_T \cdot \ln \left(\frac{I_{S2}}{I_{S1}} \right)$$

Definendo con

$$I_b \equiv \frac{I_{b1} + I_{b2}}{2}$$

la *corrente di polarizzazione d'ingresso (Input Bias Current)*, con

$$I_{off} \equiv I_{b1} - I_{b2}$$

l'*offset di corrente di ingresso (Input Offset Current)* e con

$$V_{off} \equiv V_T \cdot \ln \frac{I_{s2}}{I_{s1}}$$

l'offset di tensione in ingresso (Input Offset Voltage) e ricordando le espressioni relative alle correnti di base, possiamo scrivere:

$$I_b \equiv \frac{I_{b1}+I_{b2}}{2} = \frac{\dfrac{I_0}{2\cdot h_{fe1}}+\dfrac{I_0}{2\cdot h_{fe2}}}{2} = \frac{I_0}{4}\cdot\left(\frac{1}{h_{fe1}}+\frac{1}{h_{fe2}}\right)$$

$$I_{off} \equiv I_{b1}-I_{b2} = \frac{I_0}{2}\cdot\left(\frac{1}{h_{fe1}}-\frac{1}{h_{fe2}}\right)$$

Osserviamo subito come i termini I_{off} e V_{off} risultino nulli se i due transistors sono identici; questa circostanza sarà oggetto, in seguito, di un'analisi più approfondita.

Riscrivendo l'espressione che mi fornisce V_O come:

Espandi/contrai | Rimpicciolisci | Ingrandisci | Nuova finestra

$$V_0 = \left(\frac{I_{b1}+I_{b2}}{2}+\frac{I_{b1}-I_{b2}}{2}\right)\cdot R_1 - \left(\frac{I_{b1}+I_{b2}}{2}-\frac{I_{b1}-I_{b2}}{2}\right)\cdot R_2 + V_T\cdot\ln\left(\frac{I_{s2}}{I_{s1}}\right)$$

e sostituendovi le definizioni, otteniamo:

$$V_0 = \left(I_b+\frac{I_{off}}{2}\right)\cdot R_1 - \left(I_b+\frac{I_{off}}{2}\right)\cdot R_2 + V_{off}$$

$$V_0 = I_b\cdot R_1 - I_b\cdot R_2 + \frac{I_{off}}{2}\cdot R_1 + \frac{I_{off}}{2}\cdot R_2 + V_{off}$$

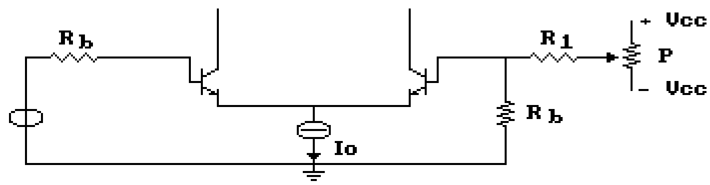
$$V_0 = I_b\cdot\left(R_1-R_2\right)+I_{off}\cdot\left(\frac{R_1+R_2}{2}\right)+V_{off}$$

Analizziamo ora l'espressione ottenuta: se R_1 ed R_2 sono le più piccole e le più uguali possibile, il termine in I_b tende a zero, inoltre, se i transistors sono il più possibile simili, come visto in precedenza, anche gli altri due termini dell'ultima espressione andranno a zero; se ne deduce che, sotto queste condizioni ottimali, V_O tenderà a zero.

Da quanto detto risulta chiaro, però, che non potremo sperare di avere un amplificatore differenziale in cui la V_{off} sia nulla, ma dovremo pensare ad un circuito, che compensi gli effetti inevitabili degli offsets.

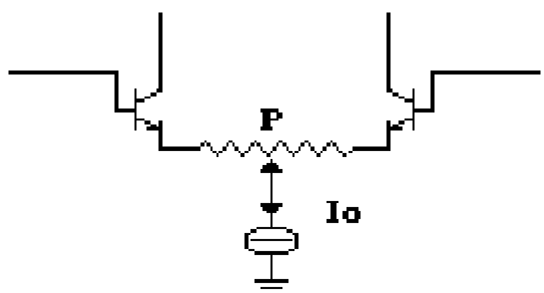
Pensiamo così di poter recuperare gli offsets sacrificando un ingresso del circuito per introdurre, per suo tramite, la tensione di compensazione. La rete deve essere costruita in modo tale da presentare una resistenza equivalente il più possibile uguale alla resistenza che il circuito "vede" dall'altro ingresso.

Realizziamo così il seguente circuito:



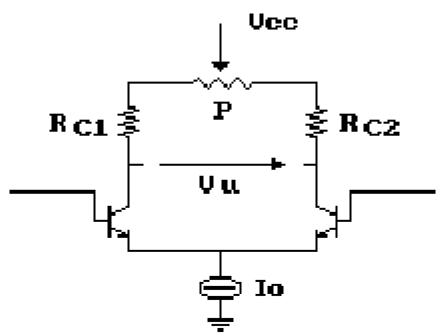
Chiaramente, dovrà essere R_1>>R_b in modo che, variando P, non vari in maniera sensibile la resistenza "vista" dall'ingresso, inoltre, perchè possa essere recuperato, l'offset massimo in ingresso dovrà essere $< \frac{V_{cc} \cdot R_b}{R_1 + R_b}$

Se non volessimo sacrificare un ingresso, potremmo pensare di distribuire diversamente la corrente I_O, ad esempio ponendo un piccolo potenziometro fra i due emettitori.



Considerando il potenziometro come somma di due resistenze: P = R_1+R_2,notiamo che si introduce nella maglia d'ingresso una tensione $\frac{I_0}{2} \cdot P \cdot (R_1 - R_2)$ che può annullare l'offset in ingresso V_O. In questo caso dovrà essere verificata la relazione: $\frac{I_0}{2} \cdot P > V_{0\,max}$

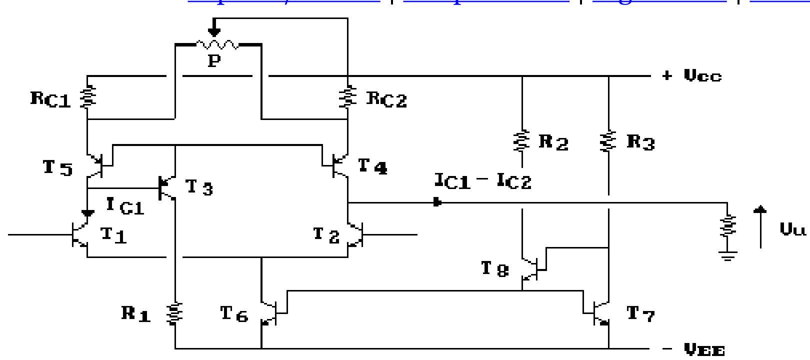
L'introduzione del potenziometro, però, fa diminuire l'amplificazione differenziale in quanto aumenta la resistenza degli emettitori. Posso, pertanto, pensare di "dosare" la I_C, anziché la I_O, ponendo il potenziometro fra i due collettori. Realizziamo perciò il seguente circuito:



In questo caso, al variare di P, variano R_{C1} e R_{C2} cosicchè, pur conc correnti I_{C1} Â¹ I_{C2}, possiamo ottenere ugualmente I_{C1}Â·R_{C1} = I_{C2}Â·R_{C2}, ovvero, in ultima analisi, avremo recuperato gli offset garantendo una tensione V_u = 0.

Riunendo, ora, tutto quanto visto in un unico circuito, potremo realizzare lo stadio d'ingresso di un buon amplificatore per continua come rappresentato nella figura seguente:

Espandi/contrai | Rimpicciolisci | Ingrandisci | Nuova finestra



Come vedremo, a questo schema di massima vanno aggiunti uno stadio di amplificazione intermedio ed uno stadio finale, le cui caratteristiche saranno analizzate in separata sede.

Osservando il circuito, si noterà senz'altro la presenza di uno specchio di corrente, realizzato con transistors di tipo p-n-p, posti sui collettori dello stadio differenziale. La corrente che fluisce nel collettore di T_4 ripete fedelmente la corrente I_{C1}, per cui sul morsetto d'uscita sarà presente la corrente I_{C1} - I_{C2}, proporzionale, per quanto visto, alla tensione V_d.

Vediamo, inoltre, come sia stato inserito, fra gli emettitori dello specchio di corrente, un potenziometro per il recupero degli offsets. Ricordando che le resistenze, poste sugli emettitori dello "specchio di corrente", fanno sì che le correnti dei collettori non siano "speculari", ma bensì proporzionali al logaritmo del loro rapporto, si comprende come, variando il rapporto di partizione, varino di conseguenza I_{C1} ed I_{C2}, ottenendo così il desiderato recupero degli offsets.

Ancora, possiamo notare la scelta dello "specchio di corrente" come generatore di corrente continua per i transistors T_1 e T_2 ed, infine, l'uso di un'alimentazione duale per il circuito.