

**Amplificazione dello stadio source follower in presenza di effetto body.**

La figura 1 mostra uno stadio source follower impiegante un n-MOS con connessione body-source.

- 1) La resistenza di uscita della sorgente di polarizzazione  $I_0$  sia  $\gg r_d$ .
- 2) Il MOSFET sia in saturazione

Il circuito equivalente per piccoli segnali (medie e basse frequenze) è mostrato sulla destra. Si noti che la  $v_{bs}$  è nulla in quanto i potenziali di source e body coincidono, per cui il generatore  $g_{mb}v_{bs}$  è non attivo. Si supponga che:

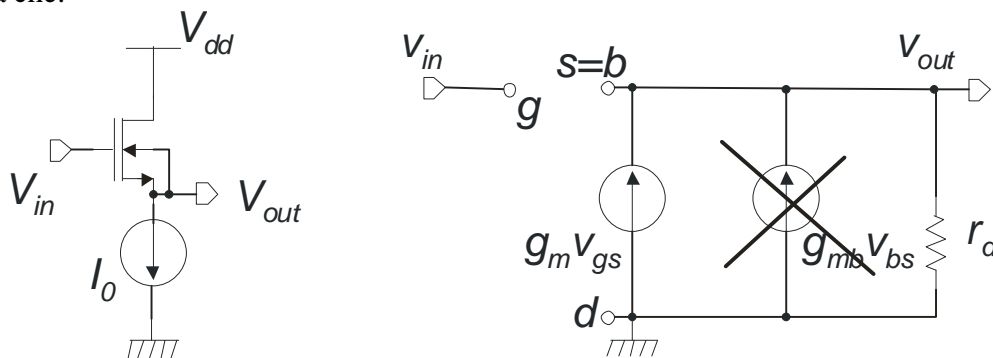


Figura 1: Source follower e suo circuito equivalente nel caso di body connesso al source. .

La risoluzione di questo circuito porta alla seguente amplificazione:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m r_d}{1 + g_m r_d} \quad (1)$$

Poiché il circuito può essere dimensionato per avere  $g_m r_d \gg 1$ , l'amplificazione del source follower può approssimare l'unità.

Purtroppo la connessione body-source per MOSFET di tipo n non è attuabile nella maggior parte dei processi CMOS più diffusi (CMOS – nWell). La situazione che si avrà per source follower realizzati con queste tecnologie è mostrata in Fig. 2, dove viene evidenziata la connessione del substrato (body) alla tensione di alimentazione inferiore, che nel nostro esempio supponiamo sia il ground (alimentazione singola).

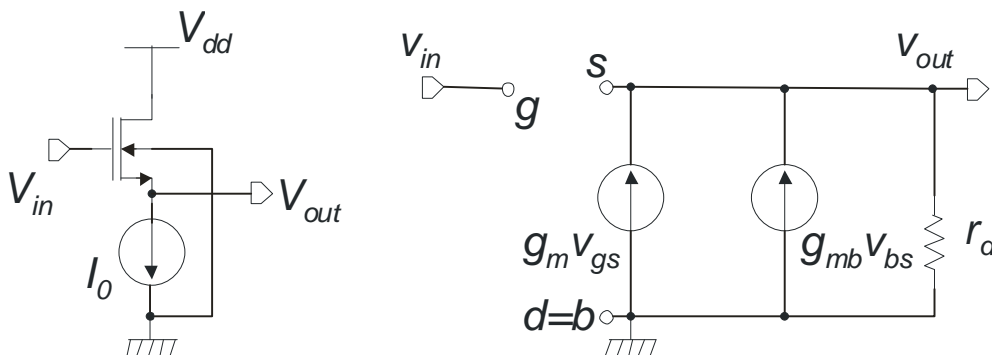


Figura 2. Source follower con connessione del body al ground e relativo circuito di piccolo segnale.

Il circuito alle variazioni riflette questa situazione: il generatore  $g_{mb}v_{bs}$  produce una corrente non nulla, data da:

$$g_{mb}v_{bs} = g_{mb}(v_b - v_s) = -g_{mb}v_s$$

Il segno “meno” nell'espressione del generatore si può rappresentare con una inversione nel verso del generatore stesso, come mostrato nella figura 3. A questo punto, osserviamo che il generatore  $g_{mb}v_s$  si trova a produrre una corrente proprio ai capi dei suoi terminali di controllo, e pertanto è equivalente ad una resistenza  $1/g_{mb}$ , come mostrato nella figura 3, sulla destra.

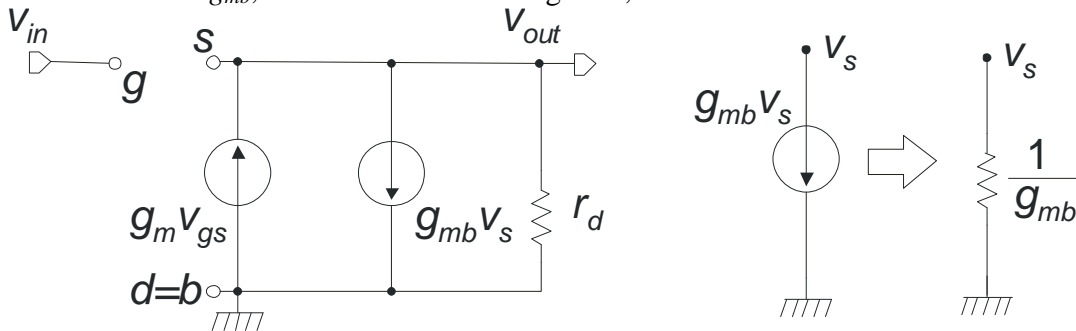


Figura 3: Trasformazione del circuito equivalente di figura 2 e successiva sostituzione del generatore  $g_{mb}v_s$  con una resistenza.

Questa sostituzione ci mostra come l'effetto body sia equivalente a caricare il source follower con una resistenza aggiuntiva proprio pari a  $1/g_{mb}$ . Questa resistenza risulta molto più piccola della  $r_d$ , la quale, quindi verrà trascurata nel calcolo dell'amplificazione. Procedendo in questo modo si ottiene:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{\frac{g_m}{g_{mb}}}{1 + \frac{g_m}{g_{mb}}}$$

Siccome il rapporto  $g_m/g_{mb}$  è al più di qualche unità, l'amplificazione si discosta significativamente dall'unità. Facendo riferimento ad un caso realistico, in cui  $g_{mb}=0.25g_m$ , si ottiene un'amplificazione pari a  $4/5=0.8$ . Occorre quindi fare attenzione alle conseguenze dell'effetto body a quando si usano source follower come traslatori di tensione o adattatori di impedenza. Se è necessario disporre di un'amplificazione che sia unitaria con un elevato grado di precisione, allora è necessario ricorrere al collegamento body-source, cosa che, in un processo CMOS n-well, è possibile solo per i transistori di tipo  $p$ , i quali possono essere inseriti in well isolate le une dalle altre.