

## La struttura interna degli amplificatori operazionali

Si consiglia la lettura di questo approfondimento dopo lo studio dei transistor (CAPITOLO 7).

Gli amplificatori operazionali disponibili in commercio, sono realizzati mediante circuiti integrati monolitici ed hanno un funzionamento che si avvicina fortemente a quello dei componenti ideali trattati nei paragrafi precedenti.

Tecnologia	Caratteristiche	Componenti commerciali
Bipolare	<ul style="list-style-type: none"> <li>tutti i componenti attivi sono BJT</li> <li>la resistenza d'ingresso è <math>R_i \leq 2 \text{ M}\Omega</math></li> </ul>	$\mu\text{A 741}$ ; OP07 (ha $R_i = 60 \text{ M}\Omega$ )
BIFET	<ul style="list-style-type: none"> <li>stadi d'ingresso a JFET e parti restanti a BJT</li> <li>la resistenza d'ingresso è <math>R_i \geq 10^{12} \Omega</math></li> </ul>	LF351
BICMOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>stadi d'ingresso a MOSFET e parti restanti a BJT</li> <li>la resistenza d'ingresso è <math>R_i \geq (1,5 \div 2) \cdot 10^{12} \Omega</math></li> </ul>	CA3140

TABELLA 1 Le tecnologie per la realizzazione degli amplificatori operazionali.

Le tecnologie utilizzate, riassunte in TABELLA 1, hanno l'obiettivo di avvicinare il comportamento dei circuiti reali a quello dell'amplificatore operazionale ideale. In particolare, come si rileva dalla TABELLA 1, negli stadi d'ingresso (specialmente quello differenziale), vengono utilizzati transistor ad effetto di campo, per aumentare la resistenza d'ingresso.

Si descrive il principio di funzionamento degli amp. op. che utilizzano BJT, benché le conclusioni rimangano valide anche per i FET. Lo schema interno dell'amplificatori operazionali 741 integrati è riportato in FIGURA 1 e presenta le seguenti sezioni.

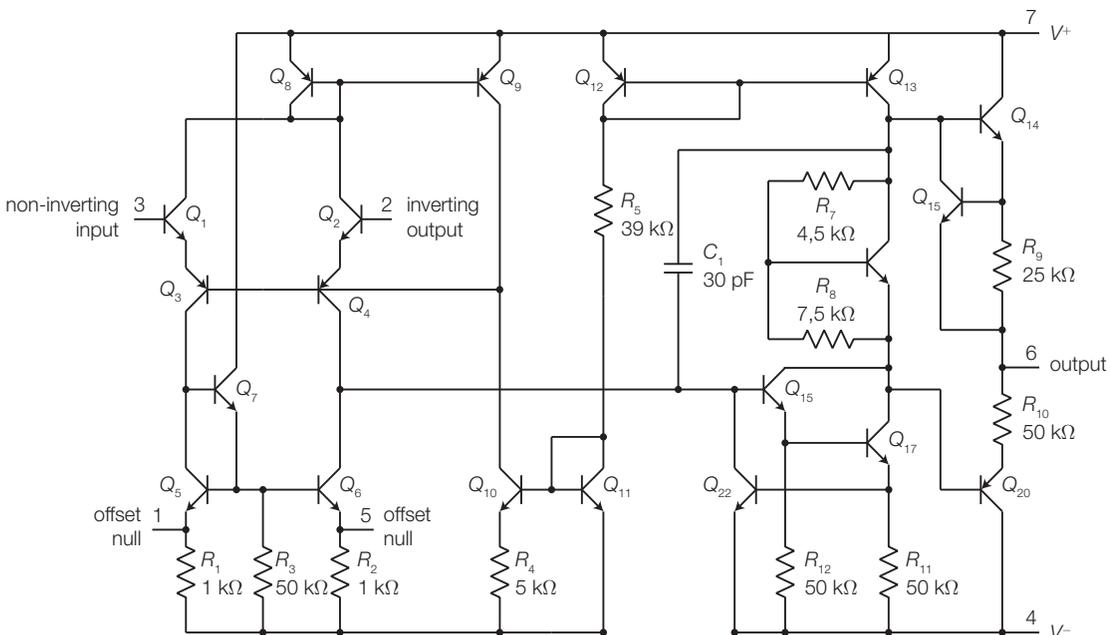


FIGURA 1 Schema internodell'amplificatore operazionale 741.

## Amplificatore differenziale

È descritto nel PARAGRAFO 2.4 del CAPITOLO 7 e costituisce lo stadio d'ingresso di tutti i tipi di amplificatori operazionali indicati in TABELLA 1; l'aumento della resistenza d'ingresso viene ottenuto attraverso l'impiego di più BJT o di componenti ad effetto di campo (JFET o MOSFET). Nello schema interno del 741 di FIGURA 1, l'amplificatore differenziale è costituito dai transistor  $Q_1 \div Q_2$ .

## Specchio di corrente (*current mirror*)

È un circuito che permette di trasferire una corrente tra due diverse maglie circuitali, mantenendone inalterata l'intensità.

Nella struttura interna degli integrati analogici, lo specchio di corrente viene utilizzato per la polarizzazione di alcuni circuiti, svolgendo il compito di *carico attivo*.

Si definisce *carico attivo* un circuito realizzato mediante componenti attivi, utilizzato in luogo di una resistenza; viene impiegato nei circuiti integrati perché le resistenze hanno un ingombro di chip che aumenta al crescere del valore di  $R$ .

In FIGURA 2 è riportato lo schema di uno specchio di corrente a BJT; il circuito consente la circolazione della corrente  $I_{C2}$  in un carico (non evidenziato in figura), facendo sì che risulti uguale alla corrente  $I_{C1}$ , che circola nel BJT  $T_1$ . Questo BJT è portato in condizioni prossime alla saturazione dal collegamento tra il collettore e la base.

Il principio di funzionamento è il seguente:

- i due BJT sono identici e sottoposti alla stessa temperatura, in quanto realizzati sullo stesso chip;
- le basi dei due BJT risultano equipotenziali, cioè  $V_{BE1} = V_{BE2}$ , di conseguenza le correnti di base sono identiche:  $I_{B1} = I_{B2}$ ;
- poiché  $h_{FE1} = h_{FE2}$  risulta anche  $I_{C1} = I_{C2}$ .

Nello schema interno del 741 di FIGURA 1 si possono riconoscere tre specchi di corrente, costituiti dalle coppie di transistor  $Q_8 - Q_9$ ,  $Q_{10} - Q_{11}$ ,  $Q_{12} - Q_{13}$ .

## Traslatore di livello (*level shifter*)

Il traslatore di livello è una soluzione circuitale che consente di accoppiare in continua (cioè senza elementi reattivi per la separazione delle continue) stadi che, per esigenze di polarizzazione, hanno componenti continue di valore diverso.

In FIGURA 3 è riportato un traslatore di livello che consente il trasferimento di segnale tra lo stadio A, caratterizzato dalla componente continua  $V_{oA}$  e lo stadio B, che richiede l'ingresso riferito a massa.

Il traslatore di livello fa in modo che, se  $v_{oA} = v_o + V_{oA}$  è il segnale presente all'uscita dello stadio A, quello presente all'ingresso dello stadio B sia:  $v_{iB} = v_o$ .

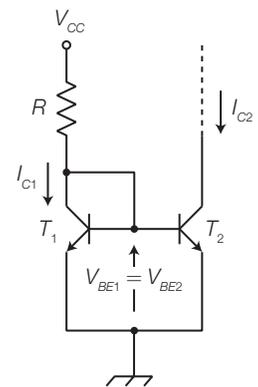


FIGURA 2 Specchio di corrente.

L'obiettivo viene raggiunto facendo in modo che, in assenza di segnale, sia:  $V_{oA} = V_{BE1} + V_R$  e regolando la corrente  $I_{B2}$  di polarizzazione di  $T_2$  in modo che il punto  $C_2$  sia a potenziale di massa.

Nello schema interno del 741 di FIGURA 1 il traslatore di livello è costituito da  $Q_{16}$ ,  $R_7$  e  $R_8$ .

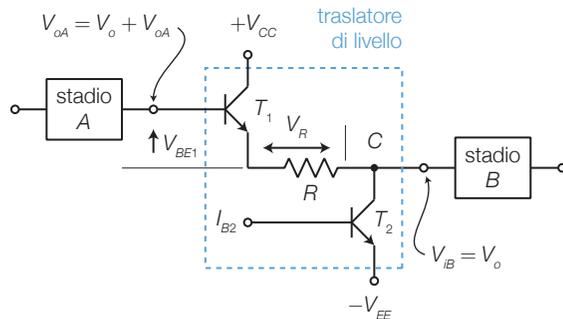


FIGURA 3 Schema del traslatore di livello.

### Stadio d'uscita

Lo stadio di uscita ( $Q_{14}$  e  $Q_{20}$ ) è un *amplificatore di potenza a simmetria complementare* il cui studio è affrontato nel CAPITOLO 1 del VOLUME 3 del corso.

Il *limitatore della corrente d'uscita*, costituito da  $Q_{15}$  e  $R_9$ , ha il compito di evitare che si danneggino gli stadi d'uscita per effetto di una richiesta di corrente da parte del carico, che superi un limite prefissato (tipicamente 25 mA).

Se la corrente d'uscita, che circola su  $R_9$ , supera il limite fissato (25 mA), la tensione  $V_{BE15} = V_{R9}$  raggiunge il livello di saturazione per il transistor  $Q_{15}$  il quale, riducendo la tensione collettore-emettitore al valore 0,2 V, produce il calo della  $V_{BE14}$  al di sotto di  $V_\gamma = 0,6$  V, quindi  $Q_{14}$  va in interdizione evitando il danneggiamento.