

# Funzionamento del transistor come AMPLIFICATORE

## 🌀 COSA SONO GLI AMPLIFICATORI

Un **sistema amplificatore** ha in generale la funzione di amplificare i segnali di modesta ampiezza (provenienti ad esempio da sorgenti quali un *microfono* o una *antenna*) per renderli adatti a pilotare dispositivi che richiedono una potenza maggiore per il loro funzionamento.

☞ L'elemento base degli amplificatori è il **transistor**.

Gli amplificatori si dividono in due categorie: **amplificatori per piccoli segnali** e **amplificatori di potenza**.

☞ **Amplificatori per piccoli segnali**

Hanno in ingresso segnali molto piccoli, dell'ordine delle centinaia di mV. Generalmente il segnale amplificato non supera mai i 12V e i 100mA.

Il segnale amplificato non deve essere distorto ⇒ **transistor in zona lineare**.

Esempio di piccolo segnale: segnale da una antenna, circa 1-2mV.

☞ **Amplificatori di potenza**

Hanno il compito di fornire al carico la potenza richiesta e il segnale viene amplificato sia in tensione che in corrente. Si considerano di potenza gli amplificatori in grado di erogare al carico potenze superiori al centinaio di mW.

## 🌀 POLARIZZAZIONE IN ZONA LINEARE

Perché sia polarizzato in zona lineare, per il BJT devono verificarsi due condizioni:

$$\rightarrow I_C = h_{FE} I_B$$

$$\rightarrow V_{CE} \cong \frac{1}{2} V_{CC}$$

La prima condizione è necessaria per garantire il funzionamento in zona **lineare** (quella centrale alle caratteristiche di collettore,  $I_C$ - $V_{CE}$ ) mentre la seconda serve a **mantenere il transistor lontano sia dalla saturazione sia dall'interdizione, in modo da non avere distorsioni**.

## STABILITÀ DEL PUNTO DI LAVORO: RETE DI POLARIZZAZIONE A PARTITORE

Il transistor, a causa di *inevitabili difetti dei processi costruttivi*, presenta una **dispersione dei parametri**: tipica è la variazione dell' $h_{FE}$  fra transistor dello stesso tipo.

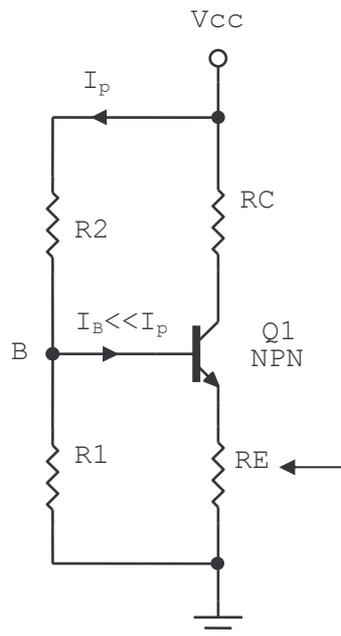
*Ad esempio*, per un comune transistor 2N2222, il costruttore fornisce il valore minimo (100) e il valore massimo (300) dell' $h_{FE}$ . Se si assume per definire il punto di lavoro il valore medio (200) e una corrente  $I_C=20\text{mA}$ , la  $I_B$  risulta pari a 0.1mA. Ma se il transistor che si usa ha un  $h_{FE}$  differente, ad esempio 100, la corrente  $I_B$  risulta diversa, cioè 0.2mA (ben 2 volte il valore trovato con il valore medio), *con conseguente spostamento del punto di lavoro*.

Inoltre, a queste difficoltà si aggiunge il fatto che le caratteristiche più comuni dei transistor risentono di **variazioni per effetto della temperatura**: la tensione  $V_{BE}$  di un normale transistor BJT varia di circa -2.5mV per ogni aumento di un grado centigrado, provocando anche in questo caso una variazione del punto di lavoro.

☞ **La determinazione a priori del punto di lavoro non è possibile.** ☹

☞ **E' NECESSARIO stabilizzare il punto di lavoro per evitare le distorsioni.**

È sufficiente una resistenza in più,  $R_E$ , detta di stabilizzazione. ☺



Osservando il circuito, fissate le resistenze  $R_1$  e  $R_2$ , e assumendo  $I_p \gg I_B$ , resta fissa la tensione di base  $V_B = V_{CC} R_1 / (R_1 + R_2)$  e quindi anche la  $I_B$ . Se l' $h_{FE}$  risulta più alto di quello considerato per la definizione del punto di lavoro, la corrente  $I_C$  risulta maggiore e anche la corrente  $I_E$  aumenta, provocando una maggiore caduta di tensione su  $R_E$ . Essendo fissa la tensione di alimentazione, e quindi la tensione tra base ed emettitore (tensione su  $R_1$ , fissata dalla regola del partitore), aumentando  $V_{RE}$  diminuisce la  $V_{BE}$ , che provoca una diminuzione di  $I_B$  e quindi di  $I_C$ .

☞ **Il valore di  $I_C$  si aggiusta automaticamente intorno al valore prefissato.** ☺

## Dimensionamento

Si fissa  $I_C$  tramite la resistenza  $R_C$ .

Fissata la  $I_C$ , il criterio pratico di progetto è di imporre una  $V_{RE} \cong (1/10)V_{CC}$  e di considerare  $I_p = (10+100)I_B$ . Quindi:

$$\rightarrow R_E \cong \frac{V_{RE}}{I_C}$$

$$\rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{RE} - V_{CE}}{I_C}$$

$$\rightarrow R_1 = \frac{V_{BE} + V_{RE}}{I_p}$$

$$\rightarrow R_1 + R_2 = \frac{V_{CC}}{I_p}$$

## **AMPLIFICATORE AD EMTTITORE COMUNE**

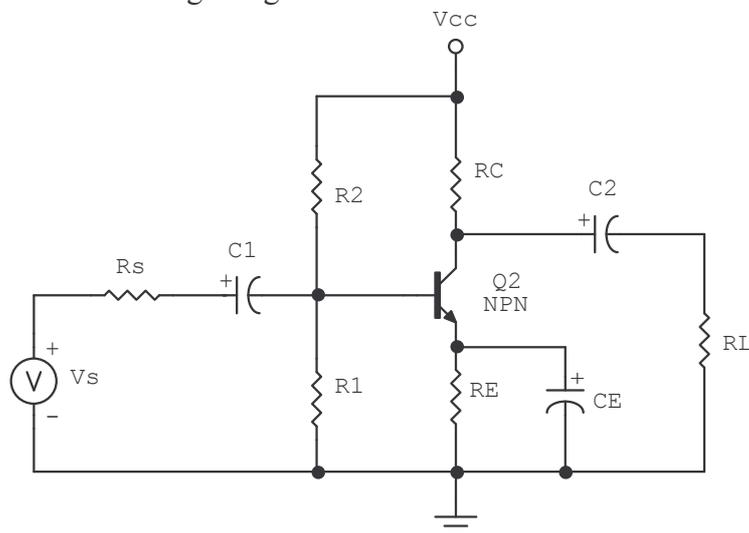
Si chiama così perché l'emettitore è il morsetto comune di riferimento per il segnale da amplificare (ingresso) e per il segnale amplificato (uscita).

Per evitare che il segnale da amplificare ( $v_s$ ) modifichi il punto di lavoro statico, definito dalla rete a partitore, è necessario inserire tra il segnale stesso e la base un condensatore  $C_1$ : in continua i condensatori sono dei circuiti aperti e di conseguenza il punto di riposo rimane quello fissato con le resistenze  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_C$ ,  $R_E$ . Stesso discorso vale per il carico  $R_L$ , che generalmente è resistivo.

Se il transistor lavora in zona lineare, quando il segnale  $v_s$  aumenta, aumenta anche la corrente di base e conseguentemente aumenta proporzionalmente la corrente sul collettore.

*In uscita avremo quindi la stessa forma d'onda d'ingresso ma **amplificata**.* 😊

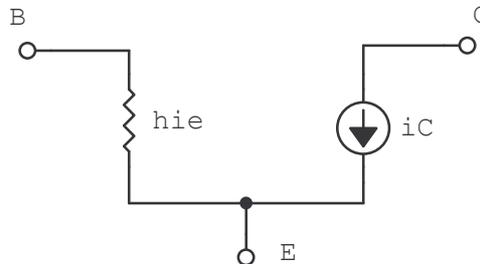
Il condensatore di accoppiamento  $C_E$  serve a cortocircuitare la resistenza  $R_E$  quando il segnale varia, in modo da non diminuire il guadagno di tensione.



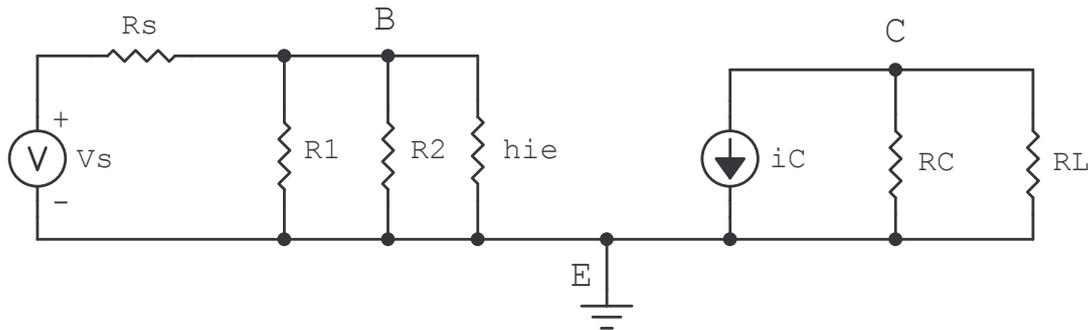
## 👉 Il circuito dinamico

Il funzionamento del transistor in zona lineare (regime di piccoli segnali), può essere ricondotto a un **modello lineare**, costituito da una **resistenza d'ingresso  $h_{ie}$** , tra base ed emettitore e da un generatore ideale di corrente  $i_C$ , controllato dalla corrente d'ingresso  $i_B$ .

Infatti,  $i_C = h_{fe} i_B$ , dove  $h_{fe}$  è il **guadagno dinamico di corrente**.



Lo studio del circuito completo dell'amplificatore si riconduce al seguente ( $V_{CC}$ , che è un segnale costante, è stato *spento*, cioè cortocircuitato a massa).



## 🔗 PARAMETRI FONDAMENTALI DI UN AMPLIFICATORE

### 👉 **Guadagno di tensione $A_v$**

È definita come rapporto tra la tensione di uscita  $v_o$  e la tensione d'ingresso  $v_i$  (consideriamo o i valori efficaci o quelli di picco, essendo in regime sinusoidale).

$$\rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_L' i_C}{h_{ie} i_B} = -\frac{R_L' h_{fe}}{h_{ie}}$$

dove  $R_L' = R_C // R_L$ .

### 👉 **Guadagno di corrente $A_i$**

È definita come rapporto tra la corrente di uscita  $i_o$  (sul carico  $R_L$ ) e la corrente d'ingresso  $i_i$  (che esce dal generatore).

$$\rightarrow A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{v_o}{R_L} \cdot \frac{R_B}{v_i} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_L}$$

dove  $R_i = R_1 // R_2 // h_{ie}$  è la resistenza d'ingresso dell'amplificatore.

### ☞ **Guadagno di tensione totale $A_{vt}$**

È il rapporto tra la tensione di uscita  $v_o$  e la tensione del segnale  $v_s$ .

$$\rightarrow A_{vt} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_s} = A_v \cdot \alpha_i$$

dove  $\alpha_i$  è l'**attenuazione d'ingresso**, dovuta alla resistenza non infinita dell'amplificatore (la tensione del segnale  $v_s$  si ripartisce sulla  $R_s$  e sulla  $R_i$  e non cade tutta sulla  $R_i$ ) è data da:

$$\rightarrow \alpha_i = \frac{v_i}{v_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} \leq 1$$

La resistenza d'ingresso  $R_i$  dell'amplificatore non è molto elevata (in genere dell'ordine dei  $K\Omega$ ) e provoca questa attenuazione del segnale d'ingresso dell'amplificatore rispetto al segnale del generatore.

### ☞ **Amplificazione o guadagno di potenza $A_p$**

È il rapporto tra la potenza di uscita  $p_o$  e la potenza d'ingresso  $p_i$ .

$$\rightarrow A_p = \frac{p_o}{p_i} = \frac{v_o i_o}{v_i i_i} = A_v A_i$$

