

Esperienza n. 7: AMPLIFICATORE

Il più semplice amplificatore a un transistor ad emettitore comune è presentato in fig. 1. Per la realizzazione del circuito, **attenzione!**, utilizzare per R_c una resistenza ad alta potenza in metallo dorato del valore di circa $46\ \Omega$ o $100\ \Omega$.

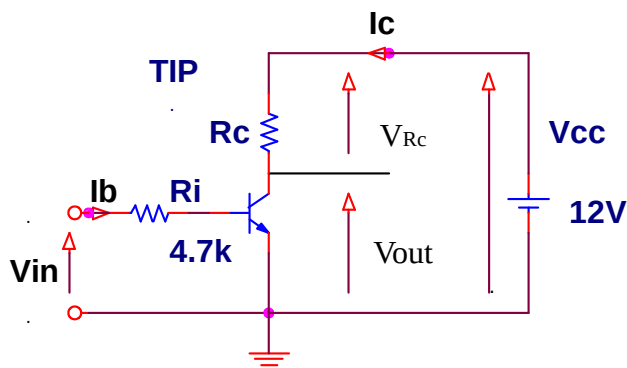


Fig. 1 Amplificatore ad un transistor ad emettitore comune

Una tensione, superiore alla tensione di soglia, applicata all'ingresso genera una corrente I_b . Sul collettore passa una corrente $I_c = I_b \beta_f$ (avendo definito β_f come il rapporto fra la corrente di collettore e quella di base).

La tensione V_{ce} , che è chiamata anche V_{out} , diventa:

$$V_{out} = V_{cc} - V_{RC} = V_{cc} - I_c R_c = V_{cc} - I_b \beta_f R_c$$

Una tensione inferiore a quella di soglia applicata all'ingresso non genera alcuna corrente dentro la base (giunzione polarizzata inversamente) quindi $I_c = 0$ e $V_{out} = V_{cc}$.

Per amplificare sia la parte positiva che negativa di una tensione sinusoidale è necessario sovrapporre una componente continua in modo che il transistor sia sempre in conduzione.

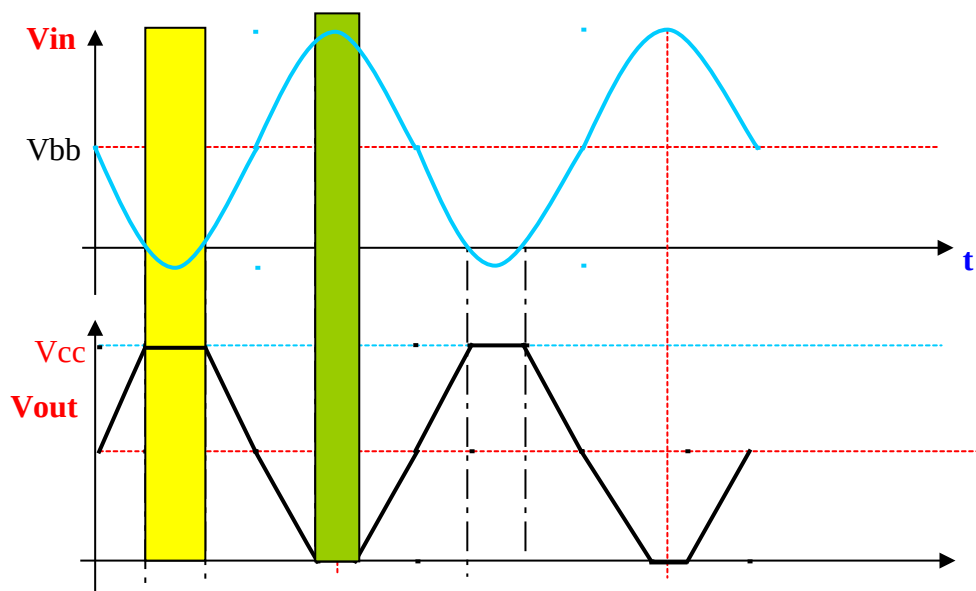


Fig.2 Forme d'onda della tensione di ingresso Vin e tensione di uscita Vout

La fig. 2 in alto rappresenta una tensione V_{in} composta da una tensione continua V_{bb} sommata a una tensione sinusoidale. Nella parte in giallo si può notare che la tensione diventa negativa e la corrente I_b diventa zero, il transistor non può condurre e la tensione V_{out} è uguale a V_{cc} (fig. 2 in basso); il transistor si dice **interdetto**.

Nelle zona verde, la tensione V_{in} è molto elevata, passa molta corrente dentro la base, quindi molta corrente sul collettore, superiore alla corrente massima alla saturazione, che è V_{cc}/R_c ; il transistor si dice **saturo e la V_{ce} è nulla**.

Gli stati di transistor saturo e interdetto sono usati nei circuiti logici (circuiti dei calcolatori) per ottenere i livelli logici 0 oppure 1.

Per amplificare una sinusoide senza deformarla, si deve mandare all'ingresso dell'amplificatore una tensione v_i composta anche da una parte continua:

$$v_i = V_{bb} + V_s \sin \omega t \quad \text{con } V_{bb} > V_s.$$

Usando il modello del diodo, come illustrato nell'esp. 5 con $R_b = 0$ e V_σ al posto di V_γ si ottiene:

$$i_b = \frac{V_{bb} - V_\sigma + V_s \sin \omega t}{R_i}$$

che a sua volta moltiplicata per β_f fornisce la corrente di collettore.

La tensione $V_{ce} = V_{out}$ diventa:

$$V_{out} = V_{cc} - (V_{bb} - V_\sigma + V_s \sin \omega t) \frac{R_c}{R_i} \beta_f$$

La tensione, che rappresenta il nostro segnale, $V_s \sin \omega t$ risulta essere amplificata di una quantità $R_c \beta_f / R_i$. Se R_c ed R_i fossero circa uguali l'amplificazione sarebbe circa β_f .

Sovrapponendo alla tensione di offset V_{bb} , una funzione d'onda quadra o sinusoidale di ampiezza piccola, si può ricavare il fattore di amplificazione del transistor per piccoli segnali:

$$h_{fe} = \beta_0 = \left| \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \right|_{V_{ce} = \text{cost}}$$

La fig.3 rappresenta la famiglia di caratteristiche $I_c = f(V_{ce})$ per il transistor **TIP 31**. La retta che unisce i punti V_{cc} ed I_{cc} è chiamata **retta di carico** e si ricava scrivendo l'equazione della maglia di collettore:

$$V_{cc} = V_{ce} + R_c I_c \quad (1)$$

I punti V_{cc} e I_{cc} ($I_{cc} = V_{cc}/R_c$) rappresentano rispettivamente il transistor interdetto e il transistor saturo. Se il transistor conduce deve essere soddisfatta l'eq. (1) quindi il punto di funzionamento del transistor deve stare sulla retta di carico e per non avere distorsione tutto il segnale deve restare nella regione attiva del transistor.

In fig. 3 è presentato il meccanismo di amplificazione dell'amplificatore di fig. 1: il segnale di corrente con sovrapposta una corrente continua viene mandato dentro alla base del transistor: si genera una corrente di collettore che diventa una tensione ai capi della resistenza. V_{ce} risulta sfasata di 180° rispetto alla corrente di base.

Modo di procedere

1. Impostare il punto di lavoro del transistor a 6V.

Dopo aver montato il circuito sull'apposita basetta, collegare all'ingresso dell'amplificatore il generatore di funzione impostato in modo da generare un'onda quadra di frequenza 1 kHz e di ampiezza di qualche centinaia di mV sovrapposta ad un offset (componente in continua della funzione d'onda). **Per questo scopo si deve usare la manopola di "offset" del generatore di funzioni.** L'offset deve essere tale che, generando nella base del transistor una corrente I_b costante, si abbia $V_{ce} = 6V$, letto sull'oscilloscopio come da fig. 3. Questo è il **punto di funzionamento (o di lavoro) del transistor.**

2. Misurare il fattore di amplificazione del transistor

2.1 Sovrapporre alla tensione di offset un'onda quadra molto piccola equivale a dare degli incrementi ad I_b . Ricavare con misure eseguite con l'oscilloscopio gli incrementi di I_b e I_c :

$$\Delta I_b = \frac{\Delta V_i}{R_i}$$

$$\Delta I_c = \frac{\Delta V_{ce}}{R_c}$$

Dal rapporto fra queste due quantità si ottiene β_0

$$\beta_0 = \left| \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \right|_{V_{ce}=6V}$$

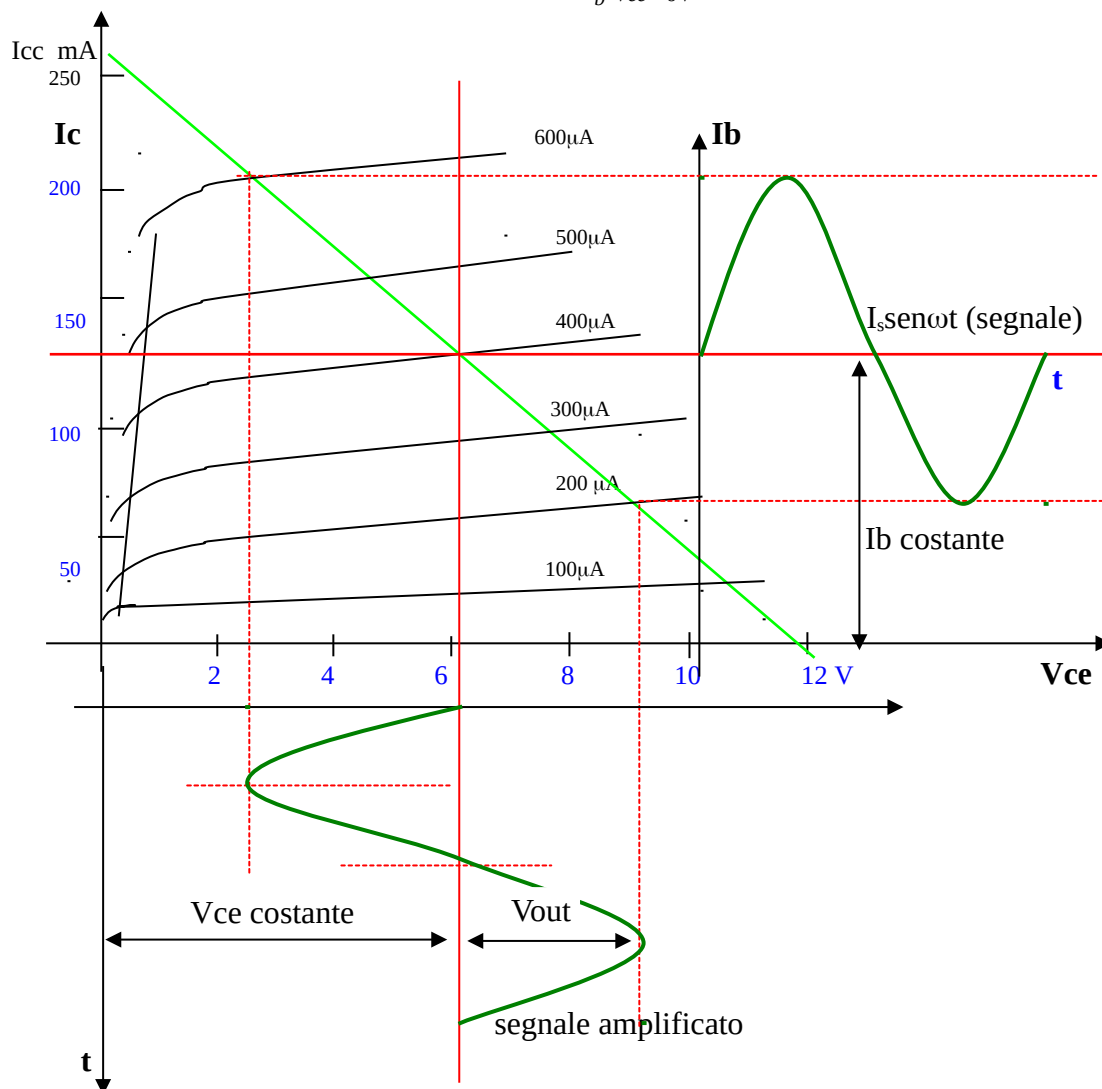


Fig. 3 Costruzione grafica dell'amplificazione

2.2 Applicare un segnale sinusoidale e dal rapporto fra le ampiezze V_{in} e V_{out} letti sull'oscilloscopio calcolare l'amplificazione in tensione del segnale:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

e verificare se l' amplificazione ottenuta è compatibile con:

$$A_v = \frac{R_C}{R_i} \beta_0 \quad (2)$$

3. Caratterizzare l' amplificazione A_v in tensione del segnale in funzione della frequenza

Cambiare la frequenza di pilotaggio del segnale V_{in} in ingresso e graficare l'amplificazione in funzione della frequenza. Effettuare una regressione utilizzando come forma funzionale la funzione ricavata nell'esperienza del passa basso, aggiungendo un parametro che tenga conto del termine di amplificazione (guadagno maggiore di 1). Verificare se l'amplificazione ottenuta è compatibile con quella ricavata dalla formula (2).

4. Amplificazione di un'onda sonora

Collegare in parallelo alla resistenza R_c un altoparlante e, mandando segnali di frequenza di circa 1 kHz, sentire l'onda sonora che si genera. Si può aumentare la frequenza fino alla frequenza di taglio dell'orecchio umano. Modulare il segnale in frequenza con lo sweep del generatore di funzioni e ascoltare l'onda sonora modulata.

5. Transistor in saturazione e interdizione

Osservare l'aumento della distorsione della tensione sinusoidale aumentando la tensione del segnale di ingresso fino a raggiungere la situazione della fig. 2 (transistor in saturazione e interdizione). Sostituire la R_c con una lampadina e, facendo lavorare il transistor in saturazione ed interdizione, osservare che la lampadina si accende e si spegne (ovviamente se le frequenze di pilotaggio del transistor sono inferiori a 10 Hz).