

Transistor bipolare

Francesco Pasa, Andrea Miani - Gruppo B11
francescopasa@gmail.com - 29 aprile 2014

Obbiettivo

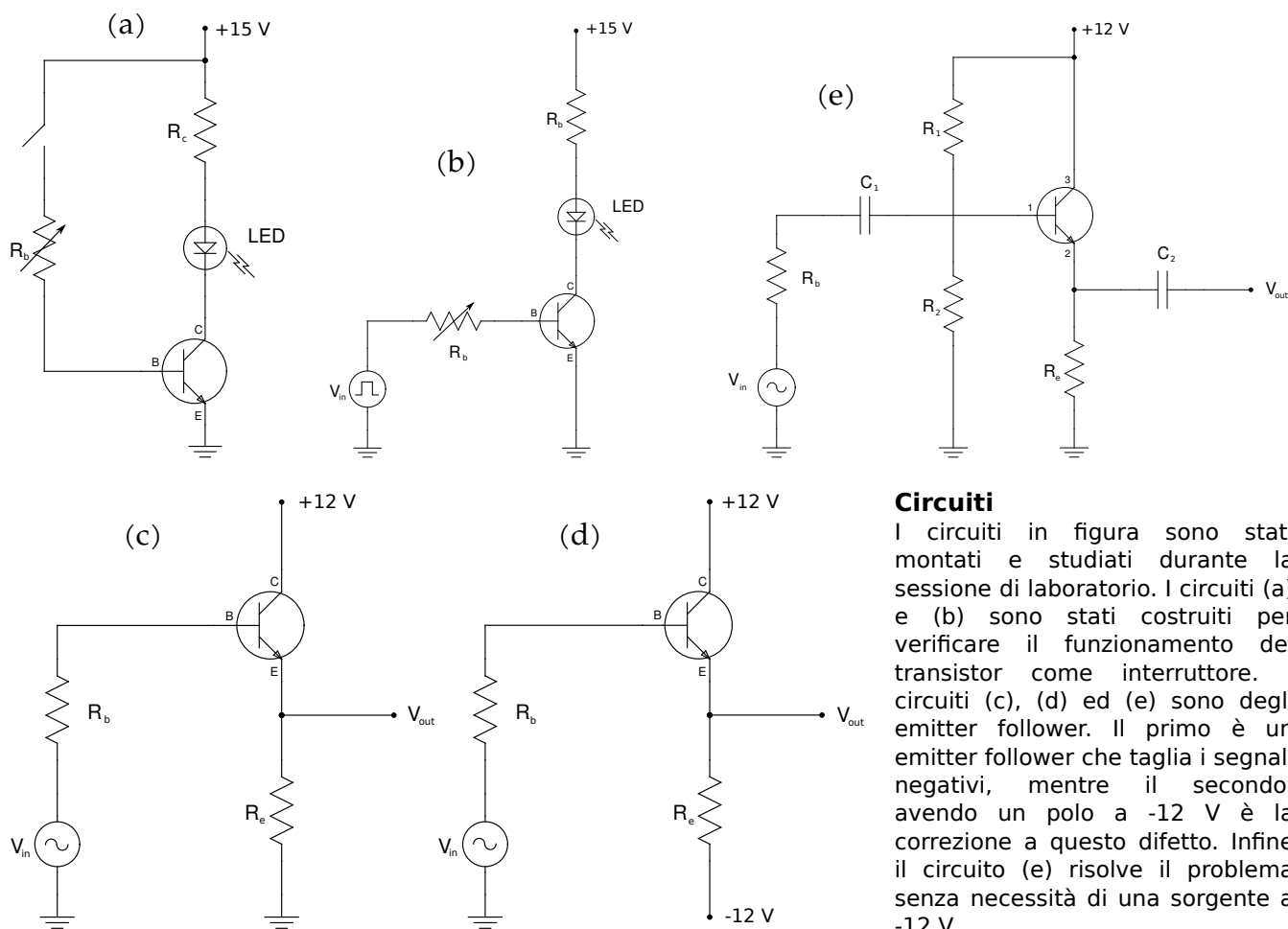
L'obbiettivo di questa esperienza di laboratorio è quello di verificare il corretto funzionamento di un transistor bipolare utilizzato sia come interruttore che come emitter follower.

Materiale

L'attrezzatura utilizzata in questa esperienza di laboratorio è elencata di seguito:

- Breadboard, cavi a banana e cavetti per breadboard;
- Oscilloscopio: Agilent Technologies in grado di distinguere frequenze di massimo 70 MHz;
- Generatore di forme d'onde: Agilent Technologies in grado di generare frequenze massime di 15 MHz;
- Multimetro (Agilent Technologies) e Oscilloscopio;
- Resistenze varie;
- Transistor BC107B, diodo LED;
- Decadi di resistenze e capacità.

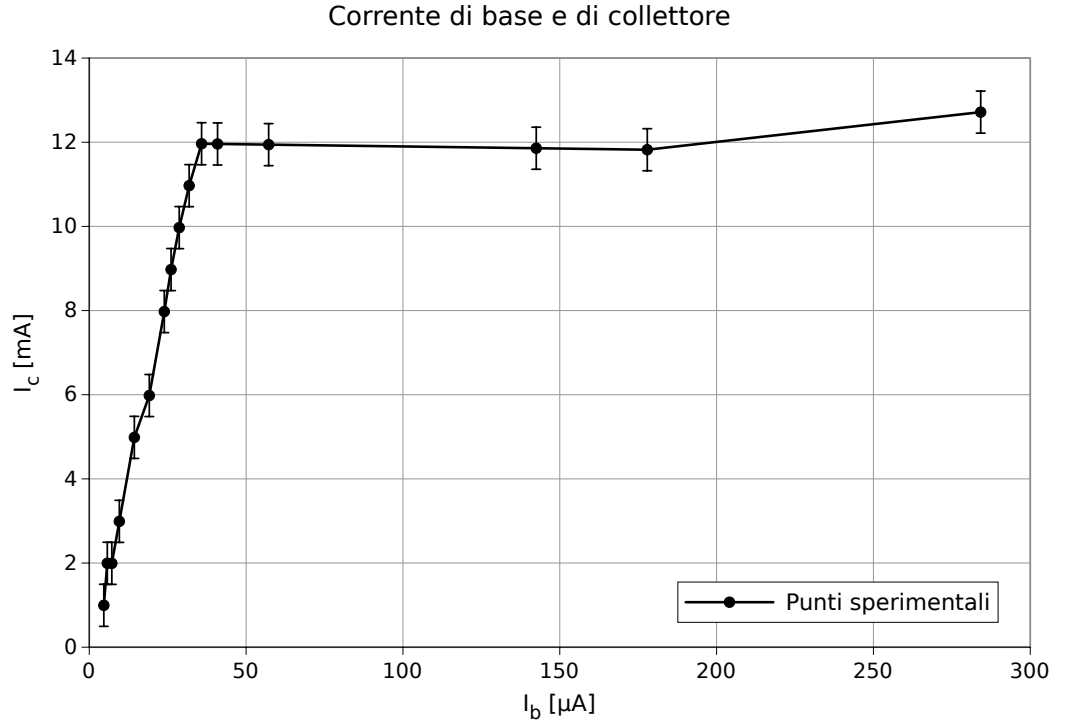
Circuito



Circuiti

I circuiti in figura sono stati montati e studiati durante la sessione di laboratorio. I circuiti (a) e (b) sono stati costruiti per verificare il funzionamento del transistor come interruttore. I circuiti (c), (d) ed (e) sono degli emitter follower. Il primo è un emitter follower che taglia i segnali negativi, mentre il secondo, avendo un polo a -12 V è la correzione a questo difetto. Infine il circuito (e) risolve il problema senza necessità di una sorgente a -12 V.

Figura 1: Il grafico mostra la dipendenza della corrente di collettore dalla corrente di base. Nella prima parte del grafico si vede che I_c dipende circa linearmente da I_b con un'amplificazione $\beta \simeq 350$. Quando la corrente I_c supera giunge a circa 12 mA, il transistor entra in saturazione, cioè la corrente di collettore diventa indipendente da quella di base e resta circa costante.



Dati e risultati

Transistor come interruttore

In questa sezione vogliamo verificare il corretto funzionamento del circuito (a). Il circuito comprende un transistor BC107B, un diodo LED, una resistenza $R_c = 1\text{ k}\Omega$ e una resistenza variabile R_b inizialmente uguale a $100\text{ k}\Omega$. Il circuito è stato alimentato con una tensione costante in ingresso V_{in} di 15 V .

Innanzitutto abbiamo verificato che il transistor si comportasse effettivamente come un interruttore, agendo manualmente sull'interruttore (ovvero il cavo banana-banana che collega R_b all'alimentazione). Abbiamo appurato che, scollegando il cavo, il LED non si illumina, mentre se il cavo è collegato, allora il LED è illuminato. Quindi il transistor lascia passare corrente solo se la base è alimentata, come volevamo dimostrare.

Successivamente abbiamo collegato un amperometro tra R_b e il terminale di base del transistor, per misurare I_b , e abbiamo misurato I_e con l'alimentatore. In questo modo siamo in grado di osservare come varia la corrente di collettore $I_c = I_e - I_b \simeq I_e$ ($I_b \ll I_e$) al variare della resistenza R_b o della corrente di base I_b .

I risultati ottenuti sono riportati nel grafico in Figura 1

Transistor come interruttore veloce

In questa sezione vogliamo verificare che il transistor BC107B, utilizzato nel circuito (b), funzioni effettivamente come interruttore veloce. Come nel caso precedente il collettore è alimentato, attraverso la resistenza R_b , con una tensione V_0 costante di intensità 15 V . La resistenza R_c ha un valore di $1\text{ k}\Omega$ mentre la resistenza R_b vale $10\text{ k}\Omega$. Inoltre per pilotare il terminale di base del transistor vi abbiamo applicato un'onda quadra in ingresso V_{in} fornitaci dal generatore di forme d'onda. La tensione V_{in} variava tra $0 - 5\text{ V}$.

Come abbiamo verificato il transistor utilizzato in questo circuito è effettivamente utilizzabile come interruttore veloce. Infatti fino ad una frequenza massima di circa 30 Hz era possibile distinguere gli intervalli in cui il LED si accendeva e si spegneva. Inoltre per frequenze superiori ai 20 Hz si sarebbe potuto verificare il corretto funzionamento del transistor, come interruttore rapido, utilizzando un fotodiodo con cui avremmo appurato che tale componente è utilizzabile anche con frequenze di qualche decina di kilohertz.

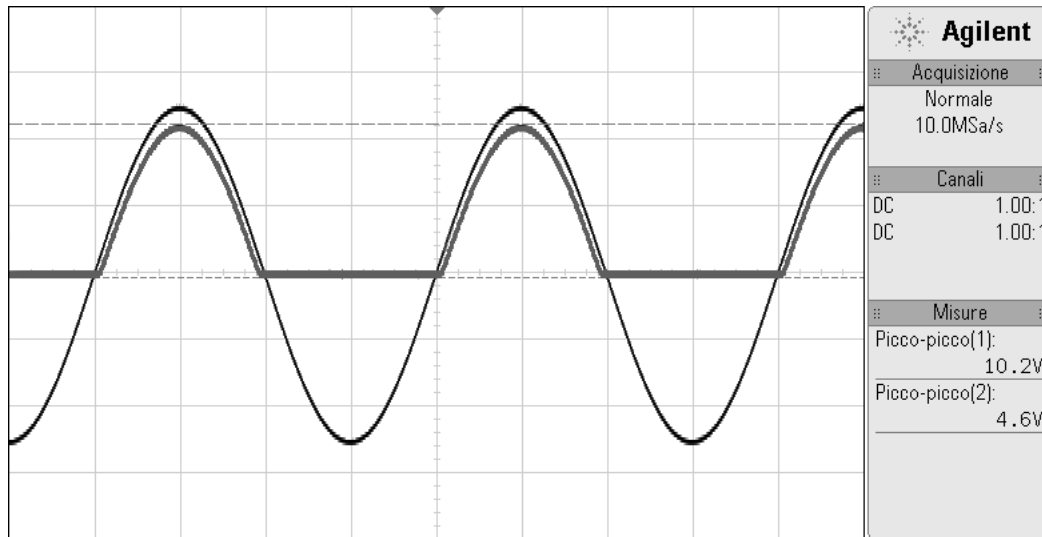


Figura 2: La figura mostra le tensioni in ingresso (nero) e in uscita (grigio) per l'emitter follower del circuito (c). Si può notare che la tensione in uscita è sempre 0.5 V più bassa rispetto a quella in entrata, a causa della caduta in diretta tra base ed emettitore. Inoltre è evidente il clipping: la giunzione base-emettitore è interdetta quando il segnale in ingresso è inferiore a 0.5 V.

Emitter follower

In questa sezione ci proponiamo di montare un circuito emitter follower grazie all'utilizzo di un transistor BC107B nella configurazione illustrata nel circuito (c). Inoltre vogliamo anche studiare il segnale in uscita (V_{out}) da tale circuito rispetto al segnale in ingresso al circuito (V_{in}).

Le specifiche del circuito utilizzato sono le seguenti: il circuito è alimentato con una differenza di tensione in ingresso V_0 di 12 V, la resistenza R_b ha un valore di 2 k Ω , la resistenza R_e vale 4.7 k Ω . Come segnale in ingresso per il terminale di base del transistor abbiamo usato un segnale sinusoidale con una tensione picco-picco effettiva di 10 V. Il segnale in ingresso (V_{in}) è stato generato grazie al generatore di forme d'onda.

I risultati ottenuti sono riportati nel grafico in Figura 2.

Emitter follower polarizzato

In questo paragrafo vogliamo studiare il circuito (d). O meglio, vogliamo capire come cambia il segnale in uscita dal circuito (V_{out}) rispetto al caso precedente (circuito (c)), nel caso in cui l'emettitore sia collegato tramite una resistenza R_e a -12 V. Le componenti del circuito (d) sono le stesse descritte nella sezione precedente.

Il risultato ottenuto è riportato in Figura 3. Inoltre abbiamo verificato l'andamento di V_{out} rispetto a V_{in} variando quest'ultima. I risultati ottenuti saranno discussi nelle conclusioni di questo elaborato.

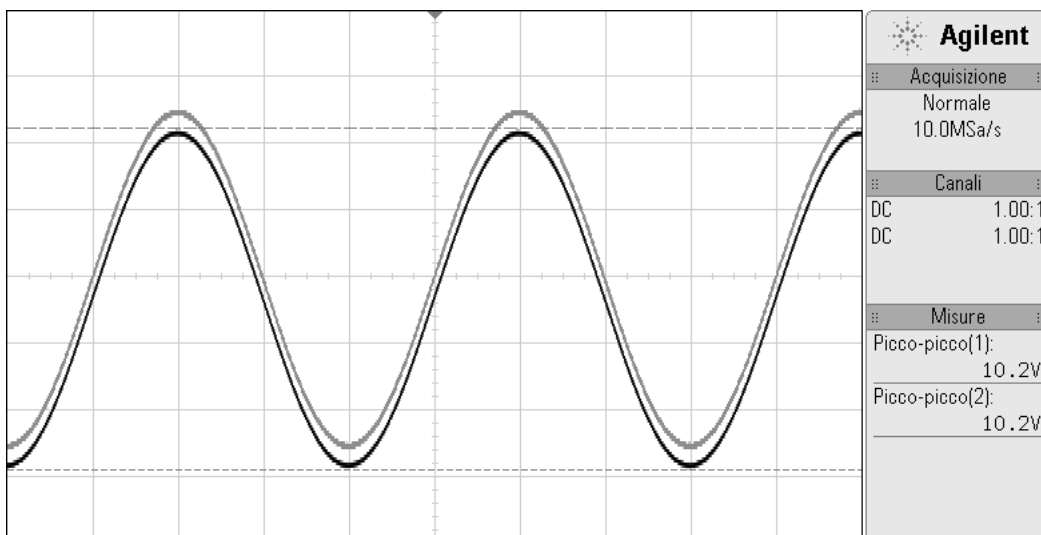


Figura 3: La figura mostra le tensioni in ingresso (grigio) e in uscita (nero) per l'emitter follower polarizzato (circuito (d)). La tensione in uscita è sempre 0.5 V più bassa rispetto a quella in entrata, a causa della caduta in diretta tra base ed emettitore. Grazie alla polarizzazione non si verificano fenomeni di clipping, almeno finché non si superano gli 11.5 V in ingresso.

Emitter follower come partitore di tensione

In questa ultima sezione dimensioneremo e studieremo il circuito (e). Le componenti date sono le seguenti: la resistenza di emettitore R_e di valore $4.7\text{ k}\Omega$, la capacità $C_1 = 1\text{ }\mu\text{F}$ e come segnale in ingresso (V_{in}) utilizziamo un'onda sinusoidale con una tensione picco-picco di 4 V , generata grazie al generatore di forme d'onda. Per dimensionare il circuito dobbiamo tenere conto delle indicazioni forniteci, ovvero che la tensione di emettitore (V_e) deve essere $\frac{V_{\text{cc}}}{2}$ dove V_{cc} rappresenta la tensione di collettore. In questo modo l'intervallo delle ampiezze per cui non si verifica il clipping è massimo e simmetrico.

A tal fine abbiamo osservato che V_e vale 6 V , pertanto V_b deve trovarsi ad una tensione di 6.6 V (dal momento che base ed emettitore sono una giunzione p-n al silicio, la caduta di potenziale in diretta è di circa 0.6 V). Quindi possiamo osservare che la differenza di potenziale tra $V_0 = 12\text{ V}$ e V_b è uguale a 5.4 V .

Dimensionando R_1 ed R_2 si può stabilire V_b . Occorre tuttavia adattare le impedenze in ingresso ed in uscita. In particolare il parallelo tra R_1 ed R_2 deve essere molto minore di $\beta R_e \simeq 470\text{ k}\Omega$, con $\beta \simeq 100$, che è la resistenza che il partitore vede in uscita.

Pertanto abbiamo deciso che una scelta intelligente sarebbe stata quella di porre $R_1 = 100\text{ k}\Omega$, anche per facilitare i calcoli. Una volta stabilito il valore di R_1 possiamo ricavare algebricamente il valore R_2 mediante un'analisi circuitale.

Dal momento che il partitore è in parallelo con il ramo del circuito appena analizzato le differenze di potenziale sono le stesse e quindi possiamo avvalerci della nota equazione per un partitore:

$$V_b = V_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

e pertanto si ottiene che:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{V_b}{V_0 - V_b} \simeq 122\text{ k}\Omega \quad (2)$$

dove V_b è la tensione di base che vale 6.6 V , V_0 è la tensione in ingresso al circuito che vale 12 V . In questo modo $R_1 \parallel R_2 = 55\text{ k}\Omega \ll 470\text{ k}\Omega$.

Infine abbiamo scelto $C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$ in modo da non limitare la banda passante del circuito. Poiché C_1 e R_1 formano un filtro passa-alto con frequenza di taglio di circa 2 Hz , dobbiamo far sì che il filtro bassa-alto formato da C_2 e dal carico abbia una frequenza di taglio simile al precedente.

Poiché il carico ha una resistenza incognita, abbiamo assunto che fosse minore di R_e (adattamento impedenze). Dunque abbiamo scelto $C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$ poiché con un carico uguale a R_e , la frequenza di taglio è di circa 3 Hz .

Infine si è studiato l'andamento di V_{out} al variare dell'ampiezza ed in particolar modo della frequenza del segnale in ingresso V_{in} .

Conclusione

Transistor come interruttore veloce

Il motivo per cui il LED si accende e si spegne è facilmente spiegabile in quanto: il terminale emettitore del transistor si trova ad un potenziale di 0 V . Quindi affinché possa passare corrente tra la base e l'emettitore occorre che tra queste vi sia una differenza di potenziale di almeno 0.6 V . Quindi dal momento che il segnale in ingresso permette sostanzialmente due valori di tensione di base (V_b), ovvero 0 e 5 V , allora quando $V_b = 0\text{ V}$ il ramo base-emettitore non conduce e nel circuito non passa corrente. Al contrario quando $V_b = 5\text{ V}$, allora il ramo base-emettitore entra in conduzione e nel circuito passa corrente e pertanto il LED si illumina.

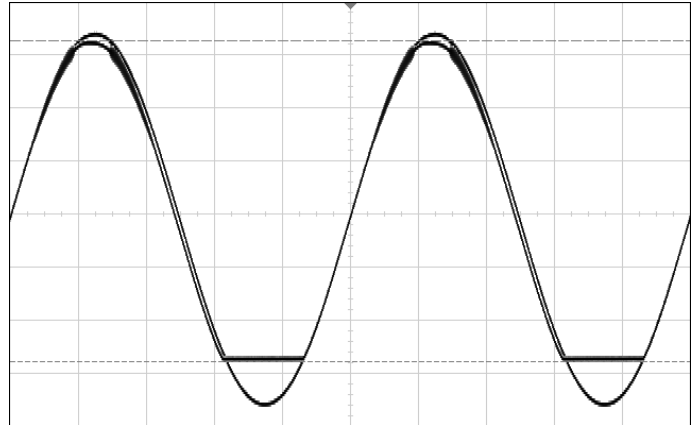
Emitter follower

Come è possibile osservare dalla Figura 2 notiamo che il circuito (c) ci permette di visualizzare in output solamente la parte di segnale dovuta alla semionda positiva, mentre la parte negativa del segnale viene completamente tagliata. Questo comportamento è analogo a quello visto nel punto precedente. Ovvero la condizione necessaria affinché passi corrente tra i terminali di base e emettitore del transistor è che devono

essere polarizzati in diretta. Dal momento che la base del transistor si trova ad una tensione di 0 V allora base ed emettitore si trovano in condizione di polarizzazione diretta soltanto quando il segnale in ingresso alla base (V_{in}) è di almeno 0.6 V. Al contrario (per $V_{in} \leq 0.6$ V) non abbiamo passaggio di corrente e pertanto V_{out} risulta nullo.

Emitter follower polarizzato

Come illustrato in Figura 3 in questa configurazione il nostro circuito permette di visualizzare in output (V_{out}) un segnale che è “identico” a quello in ingresso. Questo risultato differisce da quello ottenuto per un semplice emitter follower (analizzato nella sezione precedente), in quanto l’emettitore è collegato al terminale di tensione -12 V. Questo comporta che, quando la base si trova ad una tensione $V_{in} \leq 0$ V, base ed emettitore risultano essere comunque polarizzati in diretta. Pertanto permettono un passaggio di corrente anche quando il segnale è negativo.



Inoltre abbiamo osservato come si comporta V_{out} al variare di V_{in} . Quello che abbiamo ottenuto è che, come visibile nella figura a fianco, quando l’ampiezza del segnale in ingresso è maggiore di circa 11.5 V, il transistor entra in interdizione per alcuni parti del segnale e quindi lo “taglia”. Questo fenomeno è detto clamping.

Emitter follower come partitore di tensione

La procedura con cui abbiamo dimensionato il circuito è descritta nella sezione di Analisi dati. Infine grazie a quanto osservato in laboratorio possiamo dire che, mantenendo costante l’ampiezza del segnale in ingresso V_{in} e variandone la frequenza, man mano che quest’ultima aumenta cresce anche lo sfasamento tra il segnale in ingresso e in uscita, come ci si aspetta da un filtro passa-alto.