

Relazione di laboratorio: amplificatore

Ilaria Brivio (582116)
brivio.ilaria@tiscali.it

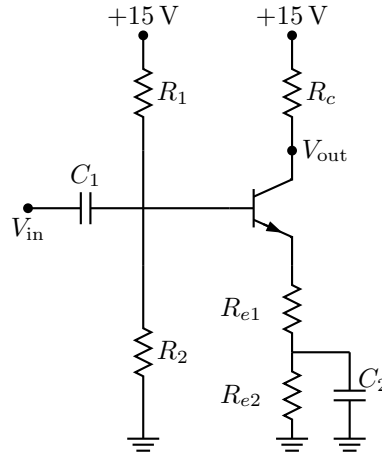
Matteo Abis (584206)
webmaster@latinblog.org

Lorenzo Rossato (579393)
supergiovane05@hotmail.com

11 giugno 2009

Abbiamo costruito il circuito riportato in figura 1. Si dovevano dimensionare le resistenze

Grafico 1: Rappresentazione schematica del circuito realizzato.



R_1 , R_2 , R_{e1} , R_{e2} , R_c , C_1 e C_2 in modo che, in corrente continua, la corrente di collettore I_c non dipendesse da β ed inoltre si avesse $15\text{ V} - V_{\text{out}} \sim V_{\text{out}} - V_e = 6\text{ V}$, mentre, in corrente alternata, si ottenesse un guadagno $A = V_{\text{out}}/V_{\text{in}} = -25$ e la frequenza di taglio inferiore fosse 20 kHz (poniamo una frequenza di taglio per C_2 in modo tale che fosse molto minore di quella definita da C_1). Poniamo:

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad R_e = R_{e1} + R_{e2}$$

Per R_1 e R_2 si deve avere

$$\begin{cases} R_p & \ll \beta R_e \\ 50\ \Omega & \ll R_p \ll 500\ \text{k}\Omega \end{cases}$$

dove la seconda equazione è dettata dal fatto che altrimenti il segnale varierebbe molto con l'amplificatore e quindi uscirebbe dalla zona lineare. per R_{e1} e R_{e2} si deve avere $I_c = 2\text{ mA}$

e $15\text{ V} - V_{\text{out}} \sim V_{\text{out}} - V_e = 6\text{ V}$. Infine, bisogna soddisfare le condizioni

$$\frac{1}{2\pi R_p C_1} = 20\text{ kHz}$$

$$\frac{1}{2\pi R_{e1} C_2} \ll 20\text{ kHz}$$

Abbiamo dimensionato gli elementi del circuito nel modo seguente:

$$\begin{aligned} R_1 &= 15\text{ k}\Omega \\ R_2 &= 5.6\text{ k}\Omega \\ R_c &= 3.3\text{ k}\Omega \\ R_{e1} &= 120\ \Omega \\ R_{e2} &= 1.5\text{ k}\Omega \\ C_1 &= 1.5\text{ nF} \\ C_2 &= 10\ \mu\text{F} \end{aligned}$$

Con questi elementi ci aspettiamo infatti che la frequenza di taglio della parte $R_{e1}C_2$ sia 134 Hz, e quindi molto minore di 20 kHz.

Poi si ha $V_b = 15 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 4.2\text{ V}$. Da ciò si ricava la corrente di emettitore, essendo $R_e = 1.62\text{ k}\Omega$, $I_e \sim I_c = (4.2 - 0.6) / 1.62 = 2.2\text{ mA}$.

Questi dati ci permettono di stimare infine il valor medio del potenziale $V_{\text{out}} = 15 - 3.6 \cdot R_c / R_e = 7.7\text{ V}$. Questo valore è circa un V più basso del necessario, per via delle dimensioni disponibili sulle resistenze del partitore e di collettore. Per assicurarci dunque che il transistor rimanga in zona lineare abbiamo leggermente aumentato la tensione continua d'ingresso da 15 V a 15.7 V.

In tensione continua 15.7 V abbiamo misurato la tensione di collettore $V_c = 8.64\text{ V}$, emettitore $V_e = 3.60\text{ V}$ e base $V_b = 4.24\text{ V}$. Abbiamo trovato $\beta \sim 360$ nell'esperienza precedente, e da questi valori si può ricavare l'impedenza d'ingresso sulla parte variabile del segnale $h_{ie} = 0.025 / I_b = 0.025 \beta R_c / (15.7 - V_c) = 4.2\text{ k}\Omega$ che è circa un decimo di βR_e .

Il segnale d'ingresso V_{in} è:

$$\begin{aligned} \text{forma:} & \quad \text{sinusoidale} \\ \text{frequenza:} & \quad 20\text{ kHz} \sim 3\text{ MHz} \\ \text{ampiezza pp:} & \quad 200\text{ mV} \\ \text{valor medio:} & \quad 0\text{ V} \end{aligned}$$

L'amplificazione attesa è in prima approssimazione $-R_c / (R_{e1} + R_{e2}) = -27.5$. La misura effettuata (vedi grafico 2) risulta $A = 22.1$, una stima teorica più accurata è:

$$A_t = -\frac{\beta R_c}{h_{ie} + (\beta + 1)R_e} = 25.1$$

Abbiamo calcolato la frequenza di taglio inferiore attesa secondo le dimensioni del condensatore C_1 e del parallelo di R_1 e R_2 . Tale frequenza di taglio risulta $f_{0,\text{inf}} = 24.1\text{ kHz}$. La frequenza di taglio superiore (l'amplificazione misurata a metà banda è 22.1, vedi grafico 2) invece dovrebbe essere $f_{0,\text{sup}} = 155 / 22.1 = 7.0\text{ MHz}$. Abbiamo dunque registrato l'ampiezza dei segnali in ingresso e in uscita a metà banda, ovvero intorno a 500 kHz, e poi vicino alle frequenze di taglio. I dati sono riportati nella tabella 1 e nel grafico 2.

Per trovare l'amplificazione abbiamo fatto la media dei valori registrati a metà banda (retta tratteggiata più in alto nel grafico) e abbiamo ottenuto dalle cinque misure $A = 22.1 \pm 0.6$,

Tabella 1: Misure dell'amplificazione del segnale, a varie frequenze. La tolleranza sull'amplificazione è il 6% del valore. Sono riportate le dimensioni della scala sull'oscilloscopio.

freq. (kHz)	V_{in} (50 mV)	V_{out} (500 mV)	ampl.
21.73	212	2.96	14.0 ± 0.8
23.64	212	3.08	14.5 ± 0.9
25.36	212	3.24	15.3 ± 0.9
26.71	212	3.28	15.2 ± 0.9
27.38	214	3.36	15.7 ± 0.9
28.81	210	3.36	16.0 ± 1.0
26.23	212	3.22	15.2 ± 0.9
27.56	208	3.28	15.8 ± 0.9
24.57	210	3.10	14.8 ± 0.9
23.55	210	3.06	14.6 ± 0.9
495.2	204	4.56	22.4 ± 1.3
399.9	206	4.56	21.9 ± 1.3
608.8	204	4.52	22.2 ± 1.3
548.6	206	4.48	21.7 ± 1.3
336.4	206	4.60	22.3 ± 1.3
2416	196	3.36	17.1 ± 1.0
2652	198	3.28	16.6 ± 1.0
2753	200	3.20	16.4 ± 1.0
2878	198	3.12	15.8 ± 0.9
3060	196	3.02	15.4 ± 0.9
3192	196	2.96	15.1 ± 0.9
2944	196	3.08	15.7 ± 0.9
2857	198	3.14	15.9 ± 1.0
2886	198	3.16	16.0 ± 1.0
2739	196	3.18	16.2 ± 1.0

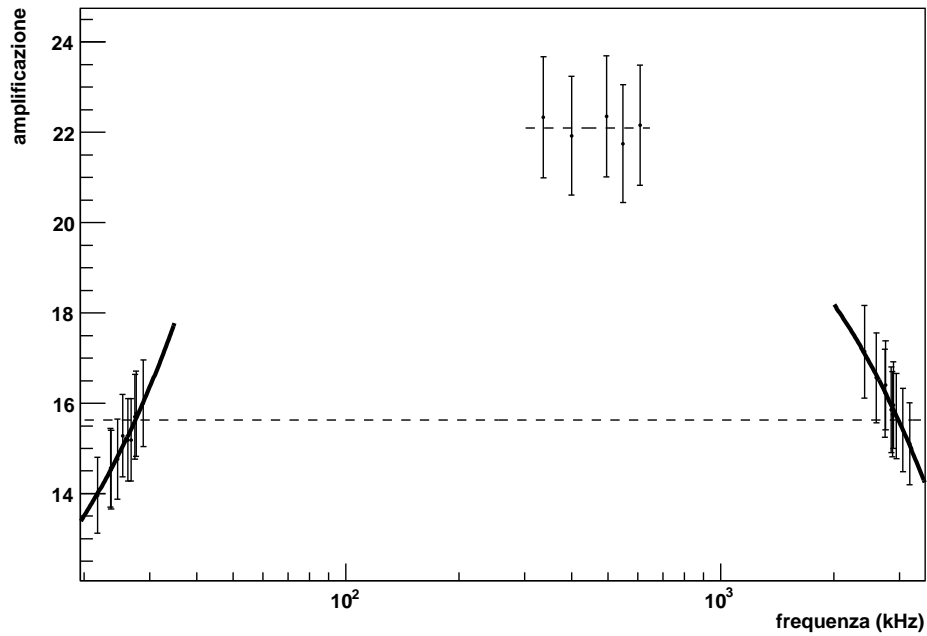
con $\Delta A = 6\%A/\sqrt{5}$, perché per ottenere la tolleranza sulla media abbiamo diviso per la radice del numero delle misure. La tolleranza associata alla singola misura è del 6% perché le scale sull'oscilloscopio sono diverse (vedi tabella) e quindi le tolleranze del 3% si sommano linearmente. Abbiamo poi cercato valori delle frequenze che realizzassero un'amplificazione di circa $22.1/\sqrt{2} = 15.6$. Dai fit pesati delle misure intorno a tali frequenze (vedi grafico 2) abbiamo trovato:

$$f_{t,inf} = 27 \pm 3 \text{ kHz}$$

$$f_{t,sup} = 3.0 \pm 0.5 \text{ MHz}$$

Le tolleranze sono associate con un metodo grafico. La retta interpolante è stata traslata verso l'alto e verso il basso di una quantità corrispondente alla tolleranza sulle singole misure, ovvero il 6% di 15.6 (ampiezza di taglio). Metà della differenza tra le frequenze relative alle due traslazioni è la tolleranza qui riportata. Si nota che la frequenza di taglio inferiore è compatibile con il valore atteso, mentre la frequenza di taglio superiore è molto lontana da 7 MHz. Ciò è dovuto al fatto che le misure sono state effettuate con la sonda, che inserisce quindi in parallelo con l'impedenza di uscita dell'amplificatore $Z_{out} \simeq R_c = 3.3 \text{ k}\Omega$ una capacità di circa 12 pF. Tale circuito RC ha una frequenza di taglio di 4 MHz, ed è questa che determina il risultato delle misure.

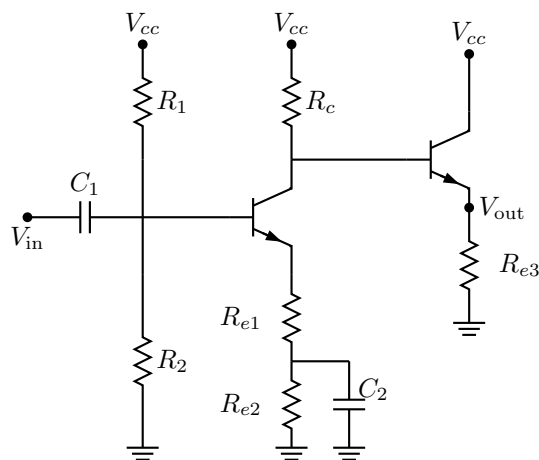
Grafico 2: Grafico dell'amplificazione in funzione della frequenza, in scala logaritmica. Le barre di errore rappresentano la tolleranza del 6%, le righe tratteggiate l'amplificazione a metà banda (in alto) e l'amplificazione di taglio.



Emitter follower

Connettere un emitter follower all'uscita del circuito precedente, polarizzandolo con una corrente di circa 10 mA. Verificare con una misura che la frequenza di taglio inferiore rimane invariata. Rimisurare la frequenza di taglio superiore e giustificare il fatto che risulta maggiore di quella precedentemente misurata.

Grafico 3: Rappresentazione schematica del circuito realizzato con l'emitter follower.



Per ottenere il valore di corrente richiesta abbiamo inserito una resistenza $R_{e3} = 800 \Omega$ essendo dalle misure in corrente continua eseguite nella parte precedente $V_c = 8.64 \text{ V}$, quindi abbiamo $V_{\text{out}} = V_c - 0.6 \text{ V} = 8 \text{ V} = 10 \text{ mA} \cdot 0.8 \text{ k}\Omega$.

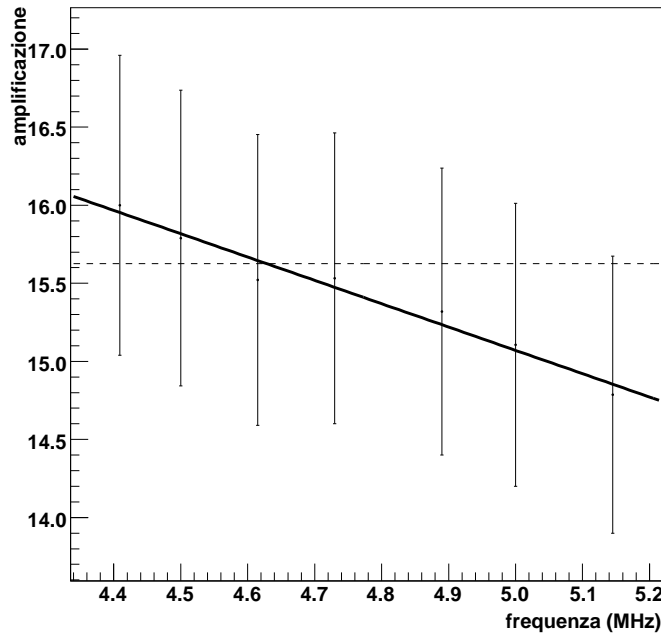
Abbiamo misurato l'amplificazione vicino alla frequenza di taglio inferiore precedentemente ricavata:

freq.	V_{in}	V_{out}	ampl.
27.61 kHz	186 mV	2.88 V	15.5 ± 0.9

questa misura conferma che la frequenza di taglio inferiore è rimasta invariata, nella tolleranza delle misure. Al contrario, la frequenza di taglio superiore risulta:

$$f_t = 4.6 \pm 0.6 \text{ MHz}$$

Grafico 4: Grafico dell'amplificazione in funzione della frequenza, vicino alla frequenza di taglio superiore, con l'emitter follower. Le barre di errore rappresentano la tolleranza del 6%, la riga tratteggiata l'amplificazione di taglio.



Infatti l'impedenza di uscita dell'emitter follower è circa l'impedenza di uscita dell'amplificatore ridotta di un fattore β . La frequenza di taglio del circuito equivalente che comprende anche la sonda è dunque moltiplicata dello stesso fattore β , e risulta molto lontana dal valore atteso della frequenza di taglio superiore dell'amplificatore.

Si nota dunque che la nuova determinazione della frequenza di taglio è più vicina al valore atteso, anche se rimane una differenza non giustificabile con le sole tolleranze sulle misure.