

Es03B: Amplificatore a transistor

Gruppo 1G.BT
Francesco Sacco, Lorenzo Cavuoti

25 Ottobre 2018

2) Montaggio del circuito e verifica del punto di lavoro

Usando il multimetro digitale abbiamo misurato i valori delle resistenze e condensatori staccati dal circuito:

$$R_1 = (178.5 \pm 1.4)k\Omega$$

$$R_2 = (17.65 \pm 0.14)k\Omega$$

$$R_C = (9.82 \pm 0.08)k\Omega$$

$$R_E = (1.014 \pm 0.008)k\Omega$$

$$C_{in} = (221 \pm 9)nF$$

$$C_{out} = (111 \pm 4)nF$$

a. Accendendo soltanto il generatore di ddp continua $V_{CC} = (19.9 \pm 0.1)$ abbiamo calcolato e misurato il punto di lavoro del transistor che risulta:

$$V_{CE,att}^Q = (7.3 \pm 0.4)V \quad I_{C,att}^Q = (1.17 \pm 0.03)mA$$

$$V_{CE,mis}^Q = (9.00 \pm 0.05)V \quad I_{C,mis}^Q = (1.01 \pm 0.01)mA$$

I due risultati non sono compatibili, tuttavia, come si vedrà anche in seguito, il circuito funziona correttamente, la discrepanza quindi si potrebbe attribuire a un errore nella presa dati o nei calcoli

b. Usando il multimetro digitale abbiamo misurato le tensioni ai terminali del transistor che risultano:

$$V_{B,mis} = 1.647 \pm 0.008 \quad V_{E,mis} = 1.034 \pm 0.005 \quad V_{BE,mis} = 0.614 \pm 0.003 \quad V_{C,mis} = 10.01 \pm 0.05$$

$$V_{B,att} \approx 1.7 \quad V_{E,att} \approx 1.1 \quad V_{BE,att} = 0.6 \quad V_{C,att} \approx 10$$

Purtroppo è stato impossibile dare una stima accurata degli errori a causa dell'incognita su alcuni parametri del transistor

c. Sfruttando l'effetto transistor con $h_{fe} \approx 100$ abbiamo $I_B = I_C/h_{fe} \approx 10.1\mu A$ dove I_C è stata calcolata vedendo la ddp ai capi di R_C , inoltre sappiamo che $I_B = I_1 - I_2 = (9 \pm 2)\mu A$ con I_1, I_2 calcolate prendendo la ddp su R_1, R_2 rispettivamente. L'errore risulta grande in quanto differenza di due misure simili, infatti $I_1 = 102.2 \pm 1.4\mu A, I_2 = 93.1 \pm 1.3\mu A$. Confrontando le due misure di I_B queste risultano compatibili entro una barra di errore.

3) Risposta a segnali sinusoidali a frequenza fissa

In questo punto colleghiamo il generatore di funzioni al circuito con $f = 6.24kHz$, tutti i voltaggi sono misurati picco-picco

i. Vedendo V_{in} e V_{out} accoppiando l'oscilloscopio in AC notiamo che i due segnali sono in controfase con uno circa 10 volte l'altro (figura 1)

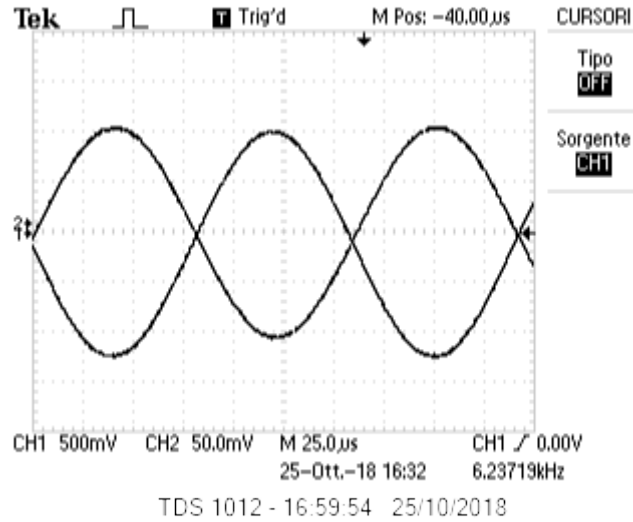


Figura 1: Inversione di fase tra ingresso e uscita, si notino le diverse scale su CH1 e CH2

ii. Il guadagno atteso per piccoli segnali risulta $A_{V,att} = 9.68 \pm 0.14$. Per verificare la linearità del sistema abbiamo preso un'onda triangolare a diverse ampiezze: con $V_{in} = (0.22 \pm 0.01)V$ si ha $V_{out} = (1.98 \pm 0.09V) \Rightarrow A_V = 9.1 \pm 0.6$ e con $V_{in} = 1.51 \pm 0.06V$ si ha $V_{out} = 13.7 \pm 0.6V \Rightarrow A_V = 9.1 \pm 0.6$. Come si può notare i guadagni attesi risultano compatibili con quelli misurati.

Inoltre la forma d'onda è rimasta pressoché inalterata, quindi tutte le armoniche dello spettro dell'onda triangolare hanno trasformato allo stesso modo, questo dimostra la linearità del circuito tra 1kHz e 10kHz.

iii. Il circuito risulta lineare per V_{in} minore di circa 1.5V quindi $V_{out} \approx 18V$ oltre questa ddp si ha il clipping da entrambi i lati.

iv. Il clipping della parte inferiore si ha perché $V_{CC} = I(R_C + R_E) + V_{CE}$, essendo $V_{CE} > 0$ si ha che $V_{CC} > I(R_C + R_E)$. Quindi $V_{out} = V_{CC} - IR_C > V_{CC}[1 - R_C/(R_C + R_E)]$, quindi $V_{out} > V_{CC}R_E/(R_C + R_E) \approx 1.8$.

D'altro canto $V_{out} < V_{CC} \approx 20V$, quindi l'ampiezza dell'oscillazione sarà di circa 18V che è in accordo con i dati sperimentali

4) Risposta in frequenza

a. Abbiamo valutato la risposta in frequenza del circuito per segnali sinusoidali di ampiezza $V_{in} = 1V$ e frequenza compresa tra circa 10Hz e 1MHz, cercando di prendere abbastanza punti nelle zone dove il logaritmo del guadagno risulta lineare, così da poter fare 3 fit delle rette che approssimano il guadagno a bassa, media e alta frequenza. I dati raccolti sono riportati in tabella 1, l'errore su V_{in} e V_{out} è dato dall'incertezza di misura con i cursori dell'oscilloscopio mentre l'errore su $A_V = V_{out}/V_{in}$ è stato fatto propagando l'errore sul rapporto considerando le due misure indipendenti

b. Abbiamo riportato i dati in un diagramma di bode (figura 2) ed eseguito tre fit lineari con la funzione curve-fit del modulo scipy di python usando absolute-sigma=False in quanto gli errori su A_V non sono statistici, inoltre gli errori sulle frequenze si sono trascurati in quanto il loro prodotto per la derivata della funzione è molto minore degli errori sul guadagno ($\sim 1\%$ vs $5-6\%$).

La funzione di fit utilizzata è $f(x) = ax + b$, i tre fit presentano:

- $a = 13.8 \pm 0.2$ $b = -7.01 \pm 0.3$ $\chi^2 = 0.029$ Per le basse frequenze
- $a = 0.084 \pm 0.3$ $b = 19.12 \pm 0.08$ $\chi^2 = 0.019$ Per le medie frequenze
- $a = -19.3 \pm 0.3$ $b = 114 \pm 2$ $\chi^2 = 0.19$ Per le alte frequenze

Il χ^2 risulta molto minore delle aspettative, probabilmente dovuto a una sovrastima dell'incertezza sulla misura delle tensioni con l'oscilloscopio

$f[\text{Hz}]$	$V_{in}[\text{V}]$	$\sigma V_{in}[\text{V}]$	$V_{out}[\text{V}]$	$\sigma V_{out}[\text{V}]$	A_V	σA_V
13.7	1.00	0.04	2.7	0.1	2.7	0.2
16.3	1.00	0.04	3.0	0.1	3.0	0.2
47.0	1.00	0.04	6.3	0.3	6.3	0.4
68.1	1.00	0.04	7.4	0.3	7.4	0.5
98.4	1.00	0.04	8.2	0.4	8.2	0.5
118	1.00	0.04	8.6	0.4	8.6	0.6
213	1.00	0.04	9.2	0.4	9.2	0.6
565	1.00	0.04	9.3	0.4	9.3	0.6
1.18 k	1.00	0.04	9.4	0.4	9.4	0.6
2.11 k	1.00	0.04	9.4	0.4	9.4	0.6
11.7 k	1.00	0.04	9.4	0.4	9.4	0.6
20.3 k	1.00	0.04	9.0	0.4	9.0	0.6
71.3 k	1.00	0.04	7.3	0.3	7.3	0.4
209 k	1.00	0.04	3.7	0.2	3.7	0.2
739 k	1.00	0.04	1.14	0.05	1.14	0.07
2.10 M	1.00	0.04	0.40	0.02	0.40	0.03

Tabella 1: Dati della risposta in frequenza del circuito

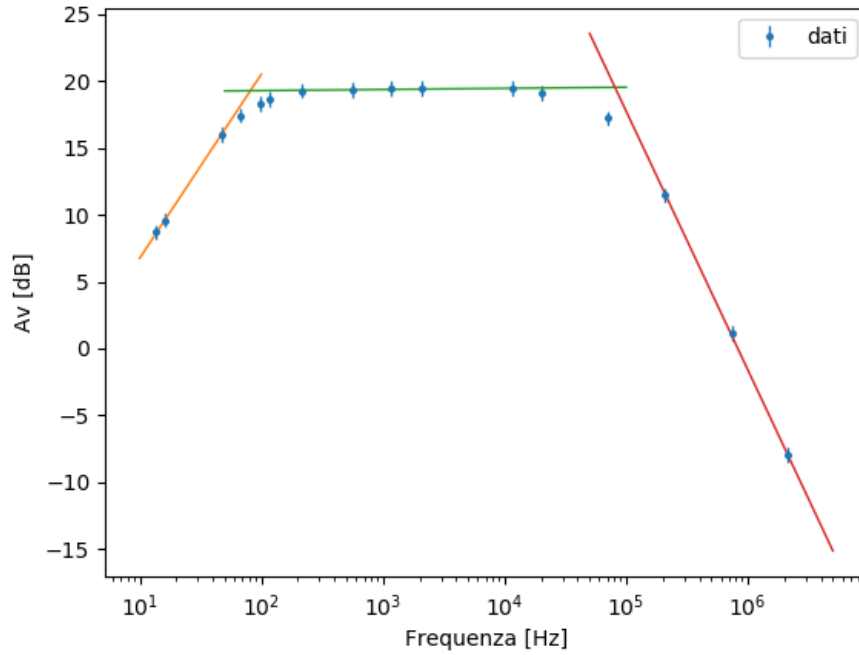


Figura 2: Grafico di bode del circuito

c. Analizzando il circuito possiamo notare che C_{in} e $R_2//R_1$ compongono un filtro passa alto, inoltre il transistor ha una piccola capacità interna che con R_C forma un filtro passa basso, siccome $C_{interna}$ è molto piccola questo effetto si ha solo ad alte frequenze in quanto $F_T = 1/(2\pi RC)$. Dal fit otteniamo $F_L = 81 \pm 2Hz$ e $(F_H = 81 \pm 3)kHz$