

# 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)

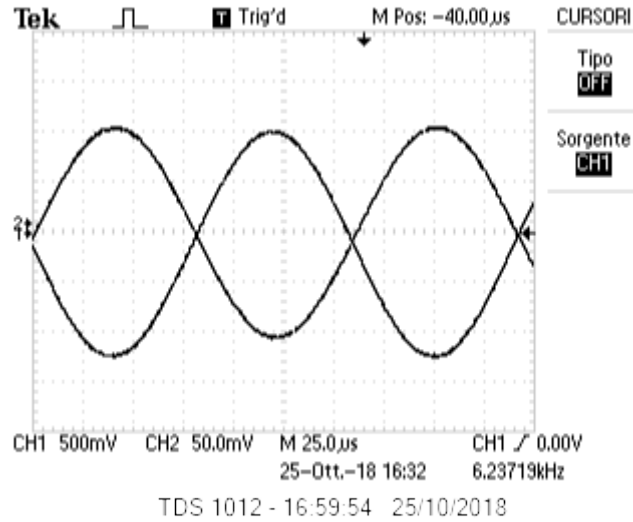


Figura 1: Inversione di fase tra ingresso e uscita, si notino le diverse scale su CH1 e CH2

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

$f[\text{Hz}]$	$V_{in}[\text{V}]$	$\sigma V_{in}[\text{V}]$	$V_{out}[\text{V}]$	$\sigma V_{out}[\text{V}]$	$A_V$	$\sigma A_V$
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

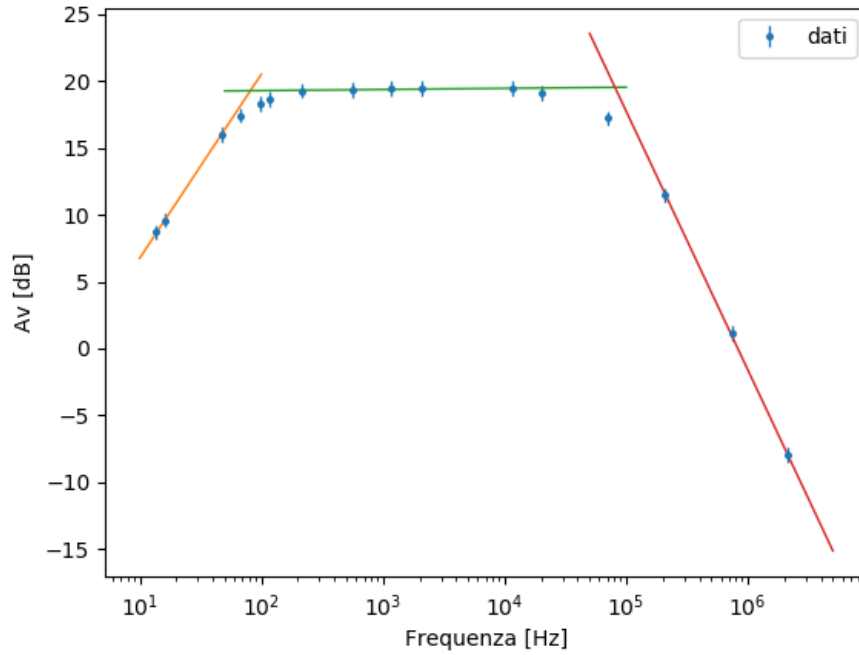


Figura 2: Grafico di bode del circuito

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  $(F_H = 81 \pm 3)kHz$