

Laboratorio di Segnali e Sistemi - A.A. 2021/22

**Esperienza 3:**

**Amplificatore CE con capacità di emettitore**

Chiara Scrocca 1855186  
Alessandro Tancredi 1919636  
Rosso Vitale 1892051

17 novembre 2021

**Indice**

<b>1</b>	<b>Obiettivi dell'esperienza</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Apparato sperimentale</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Operazioni eseguite</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Parametri costruttivi del circuito</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Diagramma di Bode</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>5</b>

# 1 Obiettivi dell'esperienza

L'obiettivo dell'esperienza è quello di progettare e realizzare un amplificatore sfruttando un diodo BJT in configurazione ad emettitore comune, con capacità di emettitore, per poi realizzare il diagramma di Bode della risposta in frequenza ed ottenere le frequenze di taglio del circuito.

# 2 Apparato sperimentale

Per questa esperienza sono stati utilizzati:

- Generatore di segnali
- Generatore di tensione continua (elind MODEL 6TD20)
- Oscilloscopio digitale (Keysight DSOX1102G) con banda passante 70 MHz e frequenza di campionamento 2 GSa/s, impedenza d'ingresso  $1\text{ M}\Omega$  in parallelo a 16 pF.
- Breadboard
- Multimetro da banco (Fluke 45) con risoluzione pari a 3‰, impedenza d'ingresso  $10\text{ M}\Omega$  in parallelo a  $<100\text{ pF}$ .
- Transistor BJT 2N2222 con fattore di forma TO-92
- Resistori e condensatori

# 3 Operazioni eseguite

Dopo una prima fase di progettazione del circuito volta a soddisfare i due criteri richiesti ( $|A_V| = 50$ ;  $f_L \approx 2.5\text{ Hz}$ ;  $f_C \approx 30\text{ kHz}$ ;  $V_{CC} = 10\text{ V}$ ) si realizza il circuito in laboratorio e si procede come segue:

1. Si misurano i valori di  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_{CE}$
2. Si verifica che siano  $V_B > 0.7$ ,  $V_E > 0.2$ ,  $V_{CE} \approx V_{CC}/2$
3. Si misura, per un certo numero di punti equispaziati su scala logaritmica, il valore di  $V_{in}$  e  $V_{out}$
4. Si realizza il diagramma di Bode per la funzione di trasferimento e si estraggono le frequenze di taglio

## 4 Parametri costruttivi del circuito

Per realizzare il circuito abbiamo adattato i valori di progetto ai componenti disponibili in laboratorio. I valori dei componenti misurati sono riportati nella tabella seguente.

Resistori ( $\Omega$ )	Condensatori ( $\mu\text{F}$ )
$R_1 = 8136 \pm 4$	$C_i = 17.3 \pm 0.1$
$R_2 = 6720 \pm 3$	$C_o = 81.3 \pm 0.4$
$R_C = 667.1 \pm 0.3$	$C_E = 0.396 \pm 0.002$
$R_E = 1180 \pm 1$	

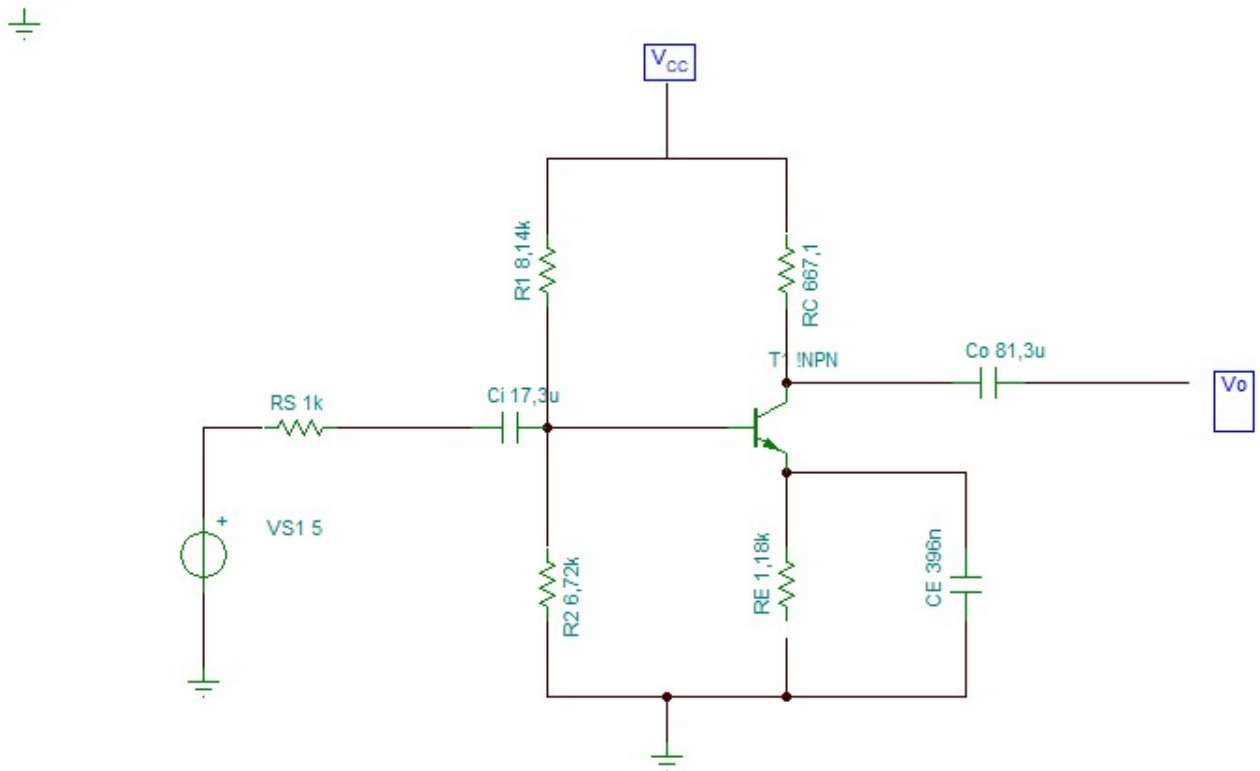


Figura 1: Circuito

## 5 Diagramma di Bode

Dopo aver ottenuto che  $V_B = (4.393 \pm 0.007)V > 0.7V$ ,  $V_E = (3.760 \pm 0.006)V > 0.2V$ ,  $V_{CE} = (4.388 \pm 0.007)V \approx V_{CC}/2$ , sono stati campionati 42 punti sull'asse delle frequenze, i corrispondenti valori di  $V_{in}$ ,  $V_{out}$  e della funzione del guadagno  $G = 20 \cdot \log_{10}(|T(j\omega)|)$  sono riportati in tabella 1:

$\nu$ (Hz)	$V_{in}$ (mV)	$V_{out}$ (mV)	Guadagno (dB)
$0.87 \pm 0.03$	$43.0 \pm 1.29$	$24.0 \pm 0.72$	$-5.0651 \pm 0.37$
$2.69 \pm 0.08$	$43.0 \pm 1.29$	$32.0 \pm 0.96$	$-2.5664 \pm 0.37$
$5.69 \pm 0.17$	$43.2 \pm 1.3$	$36.0 \pm 1.08$	$-1.5836 \pm 0.37$
$9.12 \pm 0.27$	$43.4 \pm 1.3$	$38.0 \pm 1.14$	$-1.1541 \pm 0.37$
$13.56 \pm 0.41$	$43.8 \pm 1.31$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.7883 \pm 0.37$
$20.22 \pm 0.61$	$42.6 \pm 1.28$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.547 \pm 0.37$
$41.81 \pm 1.25$	$43.8 \pm 1.31$	$44.0 \pm 1.32$	$0.0396 \pm 0.37$
$58.99 \pm 1.77$	$43.8 \pm 1.31$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.7883 \pm 0.37$
$82.84 \pm 2.49$	$43.8 \pm 1.31$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.7883 \pm 0.37$
$120.1 \pm 3.6$	$43.8 \pm 1.31$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.7883 \pm 0.37$
$180.74 \pm 5.42$	$42.6 \pm 1.28$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.547 \pm 0.37$
$240.22 \pm 7.21$	$42.2 \pm 1.27$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.465 \pm 0.37$
$350.0 \pm 10.5$	$42.2 \pm 1.27$	$40.0 \pm 1.2$	$-0.465 \pm 0.37$
$498.10 \pm 14.94$	$43.2 \pm 1.3$	$44.0 \pm 1.32$	$0.1594 \pm 0.37$
$707.20 \pm 21.22$	$43.4 \pm 1.3$	$49.8 \pm 1.49$	$1.1948 \pm 0.37$
$996.8 \pm 29.9$	$43.4 \pm 1.3$	$63.9 \pm 1.92$	$3.3602 \pm 0.37$
$(1.41 \pm 0.04)k$	$43.8 \pm 1.31$	$86.0 \pm 2.58$	$5.8605 \pm 0.37$
$(2.07 \pm 0.06)k$	$44.2 \pm 1.33$	$121.0 \pm 3.63$	$8.7473 \pm 0.37$
$(2.83 \pm 0.08)k$	$43.0 \pm 1.29$	$165.0 \pm 4.95$	$11.6803 \pm 0.37$
$(4.25 \pm 0.13)k$	$43.0 \pm 1.29$	$241.0 \pm 7.23$	$14.971 \pm 0.37$
$(5.78 \pm 0.17)k$	$44.2 \pm 1.33$	$324.0 \pm 9.72$	$17.3025 \pm 0.37$
$(8.51 \pm 0.25)k$	$43.8 \pm 1.31$	$470.0 \pm 14.1$	$20.6125 \pm 0.37$
$(11.31 \pm 0.34)k$	$45.4 \pm 1.36$	$603.0 \pm 18.09$	$22.4652 \pm 0.37$
$(17.42 \pm 0.52)k$	$45.0 \pm 1.35$	$880.0 \pm 26.4$	$25.8254 \pm 0.37$
$(24.67 \pm 0.74)k$	$42.6 \pm 1.28$	$1150.0 \pm 34.5$	$28.6258 \pm 0.37$
$(34.40 \pm 1.03)k$	$44.2 \pm 1.33$	$1420.0 \pm 42.6$	$30.1373 \pm 0.37$
$(51.33 \pm 1.54)k$	$43.4 \pm 1.3$	$1770.0 \pm 53.1$	$32.2097 \pm 0.37$
$(70.88 \pm 2.13)k$	$43.0 \pm 1.29$	$1950.0 \pm 58.5$	$33.1313 \pm 0.37$
$(100.2 \pm 3.0)k$	$41.8 \pm 1.25$	$2070.0 \pm 62.1$	$33.8959 \pm 0.37$
$(144.2 \pm 4.3)k$	$43.8 \pm 1.31$	$2110.0 \pm 63.3$	$33.6562 \pm 0.37$
$(200.2 \pm 6.0)k$	$42.0 \pm 1.26$	$2170.0 \pm 65.1$	$34.2642 \pm 0.37$
$(276.7 \pm 8.3)k$	$39.4 \pm 1.18$	$2060.0 \pm 61.8$	$34.3674 \pm 0.37$
$(415.8 \pm 12.5)k$	$39.8 \pm 1.19$	$2090.0 \pm 62.7$	$34.4053 \pm 0.37$
$(582.4 \pm 17.5)k$	$39.4 \pm 1.18$	$1990.0 \pm 59.7$	$34.0671 \pm 0.37$
$(838.6 \pm 25.1)k$	$36.6 \pm 1.1$	$1810.0 \pm 54.3$	$33.8839 \pm 0.37$
$(1.21 \pm 0.04)M$	$37.4 \pm 1.12$	$1590.0 \pm 47.7$	$32.5705 \pm 0.37$
$(1.71 \pm 0.05)M$	$33.8 \pm 1.01$	$1250.0 \pm 37.5$	$31.3599 \pm 0.37$
$(2.47 \pm 0.07)M$	$32.6 \pm 0.98$	$980.0 \pm 29.4$	$29.5602 \pm 0.37$
$(3.36 \pm 0.10)M$	$32.2 \pm 0.97$	$740.0 \pm 22.2$	$27.2275 \pm 0.37$
$(5.04 \pm 0.15)M$	$31.4 \pm 0.94$	$500.0 \pm 15.0$	$24.0408 \pm 0.37$
$(7.33 \pm 0.22)M$	$32.2 \pm 0.97$	$320.0 \pm 9.6$	$19.9459 \pm 0.37$
$(10.47 \pm 0.31)M$	$31.8 \pm 0.95$	$200.0 \pm 6.0$	$15.9721 \pm 0.37$

Tabella 1: Valori misurati all'oscilloscopio con relative incertezze

Con i dati raccolti è stato realizzato il diagramma di Bode (figura 2). Interpolando i dati raccolti intorno alle zone di *cutoff*, è stato possibile estrarre i valori delle tre frequenze di taglio principali,  $f_L$ , data dall'inserimento dei condensatori di accoppiamento  $C_{in}$  e  $C_{out}$ ,  $f_C$ , data dalla presenza di  $C_E$  e  $f_H$ , dovuta alle capacità interne al transistor.

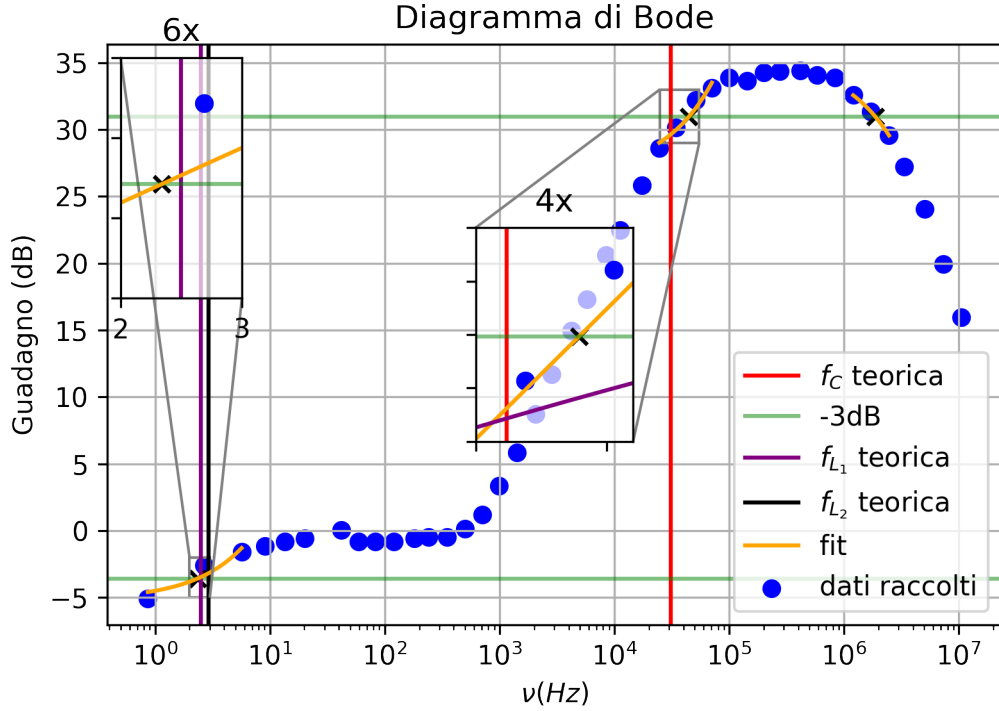


Figura 2: Diagramma di Bode

I valori ottenuti sono:

$$f_L = (2.34 \pm 0.07)Hz$$

$$f_C = (44.7 \pm 1.3)kHz$$

$$f_H = (1.88 \pm 0.06)MHz$$

Mentre i valori attesi risultano essere pari a:

$$\hat{f}_L = (2.50 \pm 0.02)Hz$$

$$\hat{f}_C = (30.9 \pm 0.2)kHz$$

$$\hat{f}_H \in (640kHz; 6MHz)$$

L'interpolazione è stata eseguita utilizzando il metodo dei minimi quadrati, le incertezze sono state calcolate con la formula della propagazione. La  $f_H$  è stata stimata attraverso i dati reperibili dal datasheet del transistor ed è per tanto una stima soggetta a un gran numero di errori sistematici (ad esempio la capacità dei cavi BNC), errori dovuti ad approssimazioni e in generale ad uno scarso livello di conoscenza del BJT in questione.

## 6 Conclusioni

L'amplificatore CE con capacità di emettitore presenta un comportamento in frequenza del tutto peculiare. Infatti a basse frequenze il condensatore  $C_E$  può essere considerato un circuito aperto e pertanto ritroviamo la risposta in frequenza tipica dell'amplificatore ad emettitore comune senza capacità con un valore atteso dell'amplificazione pari a  $\hat{A}_v = -\frac{R_C}{R_E} = -0.57 \pm 0.01$ , la misura di tale valore è invece pari a  $A_v = -0.92 \pm 0.04$ . All'aumentare della frequenza invece il condensatore di emettitore può essere considerato come un cortocircuito presentando l'amplificazione tipica del CE con emettitore a massa cioè pari a  $\hat{A}_v = -\frac{R_C}{r_E} = 51.3 \pm 0.02$ , in perfetto accordo con la misura sperimentale pari a  $A_v = -50.0 \pm 1.7$ . Infine per frequenze ancora più alte diventa dominante il comportamento da passa basso dovuto alle capacità interne al transistor; in questo caso la frequenza di passa basso misurata è in accordo con le stime effettuate dai dati reperibili ed ha consentito di osservare una risposta in frequenza prossima a quella teorica. La misura della  $f_C$  risulta incompatibile con il valore atteso, probabilmente tale discrepanza è in parte da attribuire ad errori sistematici, quali le

numerose approssimazioni utilizzate durante la stima dei valori attesi e durante la progettazione del circuito, nonché a variabili di difficile controllo data la dipendenza dalla temperatura e dalle caratteristiche costruttive dell'esemplare in questione.