

# Misura della caratteristica in uscita di un transistor BJT P-N-P in configurazione ad emettitore comune

Cristina Caprioglio, Luca Morelli

Primo turno, tavolo 3

## 1 Scopo della prova

La prova consisteva nella misura delle caratteristiche in uscita di un transistor BJT Silicio P-N-P in configurazione ad emettitore comune, prima con una corrente di base a  $-200\mu A$  e poi a  $-100\mu A$ . Abbiamo realizzato una serie di fit con ROOT in modo da ricavare i parametri caratteristici del transistor: la tensione di Early  $V_A$ , il rapporto  $\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_{CE}}$  (ovvero la resistenza in uscita per una determinata corrente di base) e il suo inverso, che corrisponde alla conduttanza. Abbiamo anche ricavato il guadagno di corrente  $\beta = \frac{\Delta I_{CE}}{\Delta I_B}$  per diversi valori fissati di  $V_{CE}$ .

## 2 Procedura

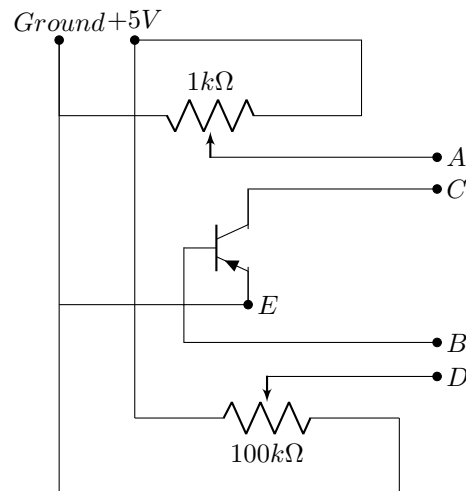


Figura 1: Schema del circuito realizzato

Prima di tutto abbiamo cortocircuitato i punti A e C, poi abbiamo fissato il puntale rosso del multimetro al punto D, mentre quello nero al punto B, dopodichè abbiamo agito sul potenziometro  $R_B$  da  $100k\Omega$

per fissare una corrente di base  $I_B = -200\mu A$ . Abbiamo quindi cortocircuitato i punti B e D e fissato il multimetro tra A e C, collegando il puntale rosso al primo e il nero al secondo. Abbiamo collegato inoltre l'oscilloscopio a C. Abbiamo quindi misurato la caratteristica in uscita, prendendo con il multimetro la corrente di collettore  $I_C$  in funzione della tensione tra emettitore e collettore  $V_{CE}$ , facendola variare tra i  $-4V$  e i  $-0.05V$  agendo sul potenziometro  $R_A$  da  $1k\Omega$ . In particolare, abbiamo eseguito 32 misure, di cui 21 per valori di tensioni maggiori o uguali ad  $1V$ . Abbiamo poi ripetuto la procedura per una corrente di base di  $-100\mu A$ .

### 3 Materiali utilizzati

- Potenziometri da  $1k\Omega$  e da  $100k\Omega$
- Transistor BJT : 2N3906(BU) Silicio P-N-P
- Cavetti
- Cacciavite
- Cavi a doppia banana
- Breadboard

### 4 Strumentazione

- Alimentatore a bassa tensione
- Oscilloscopio ISO-TECH, ISR 622 20MHz
- Multimetro digitale ISO-TECH, IDM 105

### 5 Misurazioni

La tabella (5) di seguito riporta i valori relativi a fondo scala, risoluzione e precisione dei vari strumenti:

	Fondo scala	Risoluzione	Precisione
Oscilloscopio (mV)	10	2	3%
	50	10	3%
	200	40	3%
	500	100	3%
	1000	200	3%
Multimetro (mA)	4 - 400	$10^{-3}$	$0.4\%+2d$

Tabella 1: Dati forniti dai data sheet della strumentazione utilizzata

Per il calcolo degli errori relativi alle misure effettuate con l'oscilloscopio si è usata la seguente formula:

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_L)^2 + (\sigma_Z)^2 + (\sigma_C)^2} \quad (1)$$

dove  $\sigma_C = (misura \cdot 0.03)$  è l'errore del costruttore.

$$\sigma_L = \sigma_Z = \frac{fondo\ scala}{5} \cdot \#tacchette\ apprezzabili$$

$\sigma_Z$  è l'errore sullo zero, in tal caso il fondo scala vale 10 mV/div.

Invece  $\sigma_L$  è l'errore sulla lettura e in questo caso il fondo scala varia in base alla misura, mentre “#tacchette apprezzabili” è stato considerato 0.5 per tutte le misure. Per gli errori relativi al multimetro abbiamo preso la misura e moltiplicata rispettivamente per 0.3% , 0.1% o 0.4% in base al fondo scala usato, poi abbiamo arrotondato all'ordine di grandezza della risoluzione ed aggiunto due digit.

### 5.1 Corrente a $-200\ \mu A$

Nella seguente tabella (2) sono riportati i punti sperimentali acquisiti per la caratteristica in uscita del transistor con corrente di base  $I_B = -200\ \mu A$ . Per ogni misura è riportato il fondo scala utilizzato poichè, come si può vedere in tabella 5, questo influenza la stima dell'errore.

Tensione oscilloscopio (mV)	Fondo scala (mV/div)	Corrente multimetro (mA)	Fondo scala (mA)
$-4000 \pm 160$	1000	$-38.29 \pm 0.002$	40
$-3800 \pm 150$	1000	$-38.15 \pm 0.002$	40
$-3600 \pm 150$	1000	$-37.63 \pm 0.002$	40
$-3400 \pm 140$	1000	$-37.30 \pm 0.002$	40
$-3200 \pm 140$	1000	$-36.74 \pm 0.002$	40
$-3000 \pm 140$	1000	$-36.33 \pm 0.003$	40
$-2800 \pm 130$	1000	$-35.93 \pm 0.003$	40
$-2600 \pm 130$	1000	$-35.37 \pm 0.003$	40
$-2400 \pm 120$	1000	$-34.89 \pm 0.003$	40
$-2200 \pm 120$	1000	$-34.45 \pm 0.004$	40
$-2000 \pm 120$	1000	$-34.00 \pm 0.004$	40
$-2000 \pm 78$	500	$-33.95 \pm 0.005$	40
$-1900 \pm 76$	500	$-33.74 \pm 0.007$	40
$-1800 \pm 74$	500	$-33.54 \pm 0.01$	40
$-1700 \pm 71$	500	$-33.18 \pm 0.01$	40
$-1600 \pm 69$	500	$-32.80 \pm 0.02$	40
$-1500 \pm 67$	500	$-32.77 \pm 0.02$	40
$-1400 \pm 65$	500	$-32.47 \pm 0.02$	40
$-1200 \pm 62$	500	$-31.90 \pm 0.02$	40
$-1100 \pm 60$	500	$-31.58 \pm 0.02$	40
$-1000 \pm 58$	500	$-30.98 \pm 0.02$	40
$-700 \pm 54$	500	$-29.76 \pm 0.02$	40
$-500 \pm 52$	500	$-27.03 \pm 0.02$	40
$-400 \pm 23$	200	$-25.91 \pm 0.02$	40
$-320 \pm 22$	200	$-23.28 \pm 0.02$	40
$-280 \pm 22$	200	$-21.90 \pm 0.02$	40
$-200 \pm 21$	200	$-17.46 \pm 0.02$	40
$-150 \pm 6.8$	50	$-13.08 \pm 0.02$	40
$-120 \pm 6.2$	50	$-8.49 \pm 0.02$	40
$-100 \pm 5.9$	50	$-5.58 \pm 0.02$	40
$-70 \pm 5.5$	50	$-2.39 \pm 0.02$	4
$-60 \pm 5.4$	50	$-1.65 \pm 0.02$	4

Tabella 2: Punti acquisiti per la caratteristica in uscita con corrente di base  $I_B = -200 \mu A$

## 5.2 Corrente a $-100 \mu A$

Nella tabella (3), sotto riportata, sono presentati i punti sperimentali acquisiti per la caratteristica in uscita del transistor con corrente di base  $I_B = -100 \mu A$ . Per ogni misura è riportato il fondo scala utilizzato poichè, come si può vedere in tabella 5, questo influenza la stima dell'errore.

Tensione oscilloscopio (mV)	Fondo scala (mV/div)	Corrente multimetro (mA)	Fondo scala (mA)
-4000 ± 160	1000	-20.30 ± 0.002	40
-3800 ± 150	1000	-20.20 ± 0.002	40
-3600 ± 150	1000	-20.04 ± 0.002	40
-3400 ± 140	1000	-19.81 ± 0.002	40
-3200 ± 140	1000	-19.62 ± 0.002	40
-3000 ± 140	1000	-19.46 ± 0.003	40
-2800 ± 130	1000	-19.27 ± 0.003	40
-2600 ± 130	1000	-19.06 ± 0.003	40
-2400 ± 120	1000	-18.85 ± 0.003	40
-2200 ± 120	1000	-18.65 ± 0.004	40
-2000 ± 120	1000	-18.43 ± 0.004	40
-2000 ± 78	500	-18.39 ± 0.005	40
-1900 ± 76	500	-18.28 ± 0.007	40
-1800 ± 74	500	-18.19 ± 0.01	40
-1700 ± 71	500	-18.09 ± 0.01	40
-1600 ± 69	500	-18.00 ± 0.02	40
-1500 ± 67	500	-17.89 ± 0.02	40
-1400 ± 65	500	-17.80 ± 0.02	40
-1200 ± 62	500	-17.60 ± 0.02	40
-1100 ± 60	500	-17.47 ± 0.02	40
-1000 ± 58	500	-17.33 ± 0.02	40
-700 ± 54	500	-16.86 ± 0.02	40
-500 ± 52	500	-16.38 ± 0.02	40
-400 ± 23	200	-16.00 ± 0.02	40
-320 ± 22	200	-15.63 ± 0.02	40
-280 ± 22	200	-15.32 ± 0.02	40
-200 ± 21	200	-10.81 ± 0.02	40
-150 ± 6.8	50	-8.27 ± 0.02	40
-120 ± 6.2	50	-4.95 ± 0.02	40
-100 ± 5.9	50	-2.82 ± 0.02	4
-70 ± 5.5	50	-1.00 ± 0.02	4
-60 ± 5.4	50	-0.77 ± 0.02	4

Tabella 3: Punti acquisiti per la caratteristica in uscita con corrente di base  $I_B = -100 \mu A$

## 6 Elaborazione dati e risultati

Abbiamo fittato i dati ricavati dalle tabelle (2) e (3), eseguendo un fit lineare pesato secondo la formula:

$$V_{CE} = a + bI_C \quad \text{con} \quad a \equiv \text{tensione di Early } V_A, \quad b \equiv \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \quad (2)$$

Dai fit abbiamo ottenuto i parametri caratteristici del transistor alle diverse correnti e abbiamo quindi riportato i risultati su due grafici, che abbiamo poi unito in un unico multigrafo, insieme ai punti

sperimentali in modo da costruire le due curve I-V per i due valori di corrente analizzati. Per quanto riguarda gli errori associati ai parametri li abbiamo ottenuti tramite somma in quadratura. Vorremmo far presente che i grafici sono stati rappresentati nel primo quadrante, quindi con valori di tensioni e di correnti positivi, nonostante i valori di entrambe fossero negative perchè così il grafico è più semplice da visualizzare.

### 6.1 Corrente a $-200 \mu A$

Dal fit dei dati in tabella (2), riportato nel grafico in figura 2, abbiamo ottenuto come tensione di Early  $V_A = -12020 \pm 390 \text{ mV}$ , mentre la resistenza in uscita è risultata  $\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} = 414 \pm 12 \Omega$ . Per il suo inverso, ovvero la conduttanza, abbiamo ottenuto  $g = (241.8 \pm 6.8) \cdot 10^{-5} A/V$ . Si può chiaramente vedere sia l'andamento lineare, con inclinazione dovuto all'effetto Early, che il gomito della curva quando la corrente inizia a variare esponenzialmente.

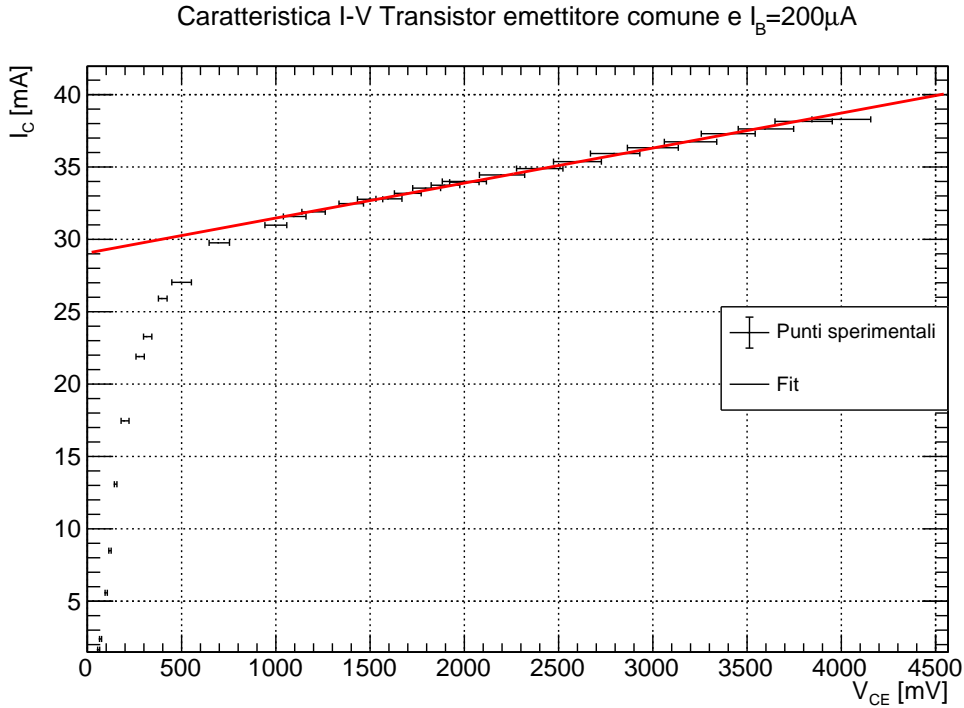


Figura 2: Caratteristiche in uscita del transistor con corrente di base a  $-200 \mu A$

### 6.2 Corrente a $-100 \mu A$

Dal fit dei dati in tabella (3), riportato nel grafico in figura 3, abbiamo ottenuto come tensione di Early  $V_A = -16130 \pm 510 \text{ mV}$ , mentre la resistenza in uscita è risultata  $\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} = 985 \pm 28 \Omega$ . Per il suo inverso, ovvero la conduttanza, abbiamo ottenuto  $g = (101.5 \pm 2.9) \cdot 10^{-5} A/V$ . Si può chiaramente

vedere sia l'andamento lineare, con inclinazione dovuto all'effetto Early, che il gomito della curva quando la corrente inizia a variare esponenzialmente.

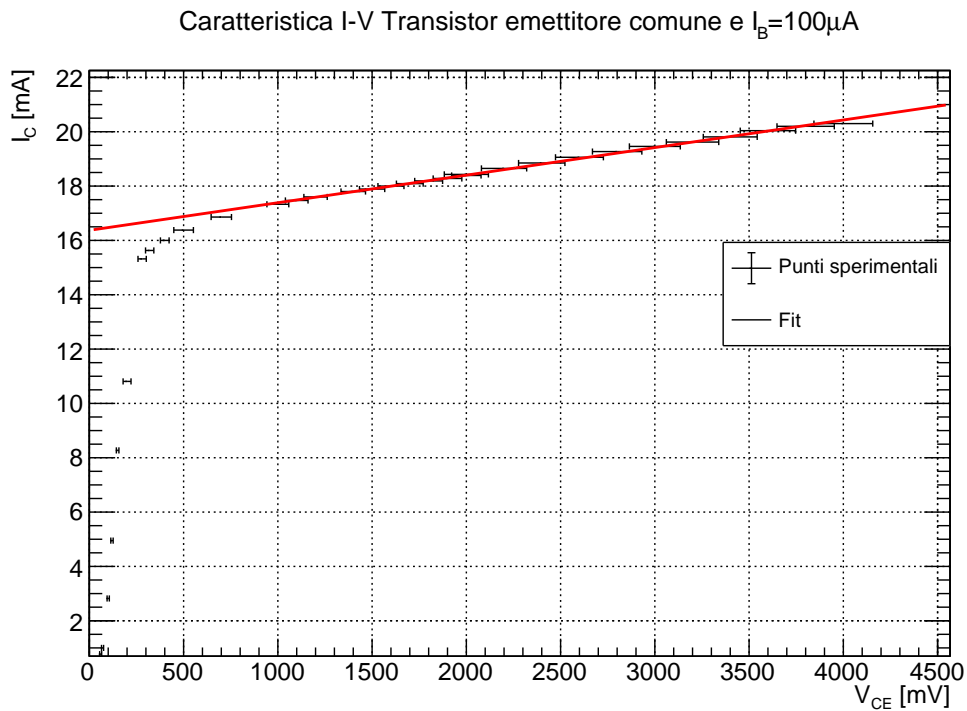


Figura 3: Caratteristiche in uscita del transistor con corrente di base a  $-100 \mu A$

### 6.3 Multigrafo con entrambe le curve

Di seguito è riportato in figura il multigrafo (4) contenente entrambe le curve. Da quest'ultimo abbiamo ricavato una stima del guadagno di corrente misurando per ogni valore di tensione preso la differenza di corrente tra i punti e diviso per la differenza delle correnti di base secondo la formula:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (3)$$

Caratteristica I-V un transistor BJT con emettitore comune a due correnti di base diverse

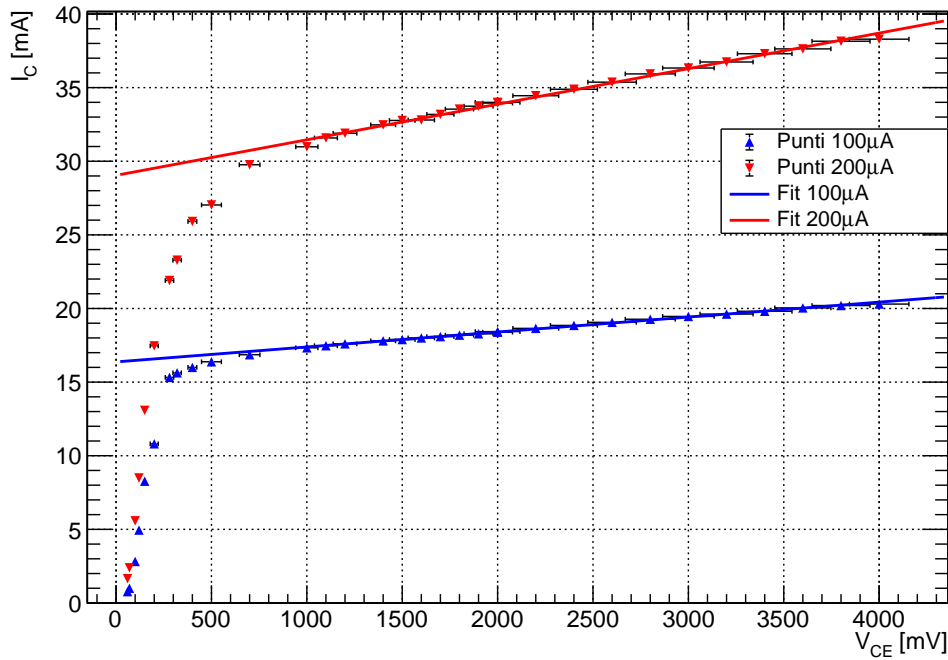


Figura 4: Caratteristiche in uscita del transistor. In rosso per la corrente di base a  $-200 \mu A$  e in blu per la corrente di base a  $-100 \mu A$

Da una media di 20 misure prese nella zona con andamento lineare abbiamo ottenuto  $\beta = 159 \pm 13$ , dove per l'errore abbiamo usato la deviazione standard.

## Conclusioni

Le misure delle caratteristiche in uscita del transistor si sono rivelate qualitativamente in accordo con la teoria riproducendo l'andamento prima lineare nella regione attiva e poi esponenziale in quella di saturazione. Evidente è l'inclinazione delle due rette dovuto all'effetto Early, il cui valore di tensione è risultato in entrambe le curve dell'ordine di grandezza previsto. Anche il parametro  $b$ , ovvero la resistenza in uscita, e di conseguenza il suo inverso  $g$  sono risultati dell'ordine di grandezza aspettato per entrambe le due curve. Infine, il valore stimato di  $\beta$  è risultato anch'esso compatibile con i valori di aspettazione. Fa cagare come conclusione ma non c'ho sbatti. Evviva Kirby



