

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

Giada Martini  
Lorenzo Calandra Buonauro

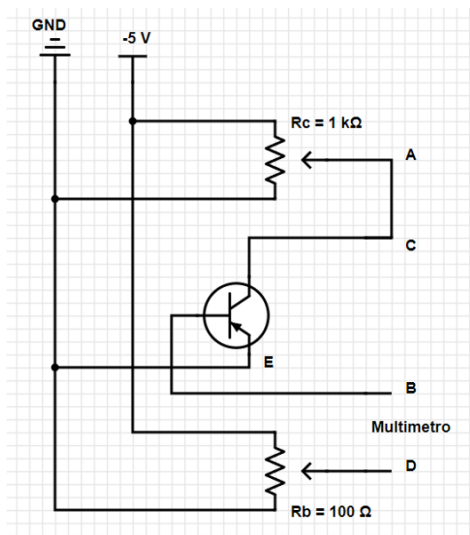
Turno 3 - 17 Novembre 2022

## 1 Scopo della prova

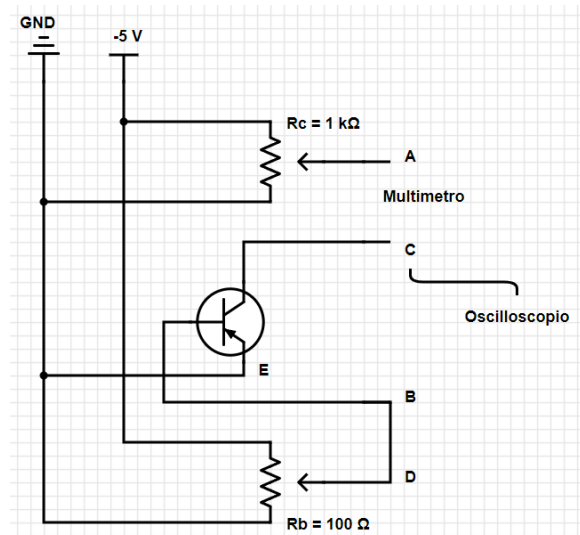
Lo scopo della prova è lo studio della caratteristica di uscita dal transistor BJT in configurazione a emettitore comune, ossia ottenere i valori della corrente di collettore  $I_C$  in funzione della tensione tra collettore ed emettitore  $V_{CE}$  per valori fissati di corrente di base  $I_B = -200\mu A$  e  $I_B = -100\mu A$ .

Dal fit lineare pesato delle caratteristica  $I_C - V_{CE}$  nella regione attiva, si trovano i parametri che rappresentano la tensione di Early  $V_A$  e la resistenza di uscita per un valore fissato di  $I_B$ , quindi si calcola la conduttanza di uscita  $g$  e il guadagno di corrente  $\beta$ .

## 2 Schema del circuito



**Figura 1:** Circuito utilizzato per settare la corrente di base  $I_B$  del transistor.



**Figura 2:** Circuito utilizzato per la misura della caratteristica del transistor.

In Fig.1 si può vedere il circuito utilizzato per settare la corrente di base del transistor, prima a  $I_B = -0.2\text{ mA}$  e poi  $I_B = -0.1\text{ mA}$ ; in questo modo è stato possibile infatti impostare la corrente precisa, cortocircuitando i punti A e C del circuito e utilizzando il multimetro digitale collegato fra i punti B e D. In Fig.2, invece, si può vedere il circuito effettivamente utilizzato per raccogliere i dati durante l'esperienza; è stato cortocircuitato il collegamento fra B e D in modo da non modificare più la corrente di base e si è invece posizionato il multimetro fra A e C per misurare la corrente in uscita dal transistor. Inoltre al punto C è stato collegato anche

l'oscilloscopio per le misure di tensione (ovviamente l'altro capo dell'oscilloscopio è collegato al GND).

### 3 Strumenti e materiali utilizzati

Per l'esperienza sono stati utilizzati i seguenti strumenti e materiali:

- Alimentatore di bassa tensione, per fornire il valore del ground di riferimento e la differenza di potenziale di -5V.
- Multimetro digitale, per misurare i valori della corrente.
- Oscilloscopio, per misurare i valori di tensione.
- Potenziometro da 100 k $\Omega$  sulla base, fissato con una resistenza  $R_B = 50k\Omega$  e un potenziometro da  $R_C = 1k\Omega$  sulla corrente.
- Transistor BJT: 2N3906(BU) Silicio P-N-P in configurazione emettitore comune.

### 4 Analisi dati

In Tab.1 e in Tab.2 sono riportati, con i relativi errori, i valori di tensione tra collettore ed emettitore  $V_{CE}$  misurati con l'oscilloscopio e i valori di corrente di uscita  $I_C$  ottenuti tramite multimetro, mantenendo una corrente di base costante rispettivamente pari  $I_B = -0.2 \text{ mA}$  e  $I_B = -0.1 \text{ mA}$ ; si può notare come siano stati scelti valori di tensione a cui misurare la corrente in uscita uguali per entrambe le correnti di base, in modo da poter poi ottenere una stima del guadagno in corrente. Sono inoltre riportati il fondo-scala dell'oscilloscopio e il range del multimetro per ogni misura. Per il calcolo degli errori vedere Appendice 6.2.

$V_{oscill.}(V)$	$\sigma_{oscill.}(V)$	$I_{mult.}(mA)$	$\sigma_{mult.}(mA)$	$V/Div$	$Range(mA)$
4.00	0.52	36.42	0.57	1	32.00
3.80	0.15	36.50	0.57	1	32.00
3.60	0.15	36.60	0.57	1	32.00
3.40	0.14	36.37	0.57	1	32.00
3.20	0.14	36.24	0.56	1	32.00
3.00	0.13	36.07	0.56	1	32.00
2.80	0.13	35.79	0.56	1	32.00
2.60	0.09	35.58	0.55	0.5	32.00
2.40	0.09	35.29	0.55	0.5	32.00
2.20	0.08	34.91	0.54	0.5	32.00
2.00	0.08	34.50	0.54	0.5	32.00
1.80	0.07	34.12	0.53	0.5	32.00
1.60	0.07	33.61	0.52	0.5	32.00
1.40	0.07	32.92	0.51	0.5	32.00
1.20	0.06	32.34	0.51	0.5	32.00
1.00	0.06	31.60	0.49	0.5	32.00
0.96	0.04	31.45	0.49	0.2	32.00
0.88	0.03	31.10	0.49	0.2	32.00
0.80	0.03	30.72	0.48	0.2	32.00
0.68	0.03	29.95	0.47	0.2	32.00
0.60	0.03	29.07	0.46	0.2	32.00

(Continua alla pagina successiva)

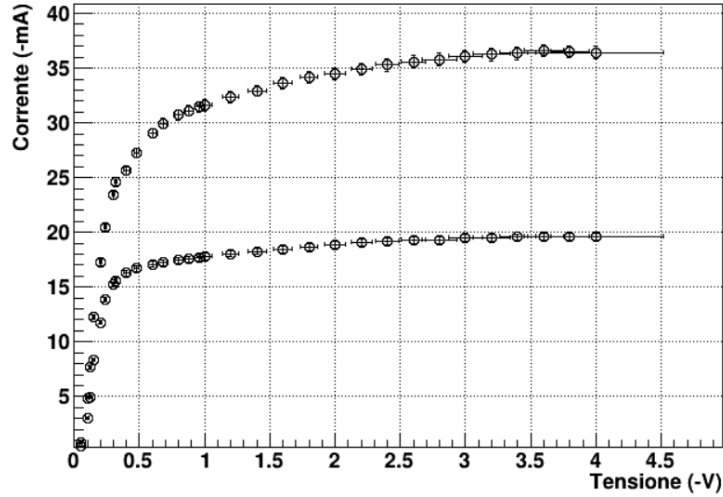
(Continua dalla pagina precedente)

0.48	0.02	27.29	0.43	0.2	32.00
0.40	0.02	25.62	0.40	0.2	32.00
0.32	0.01	24.62	0.39	0.1	32.00
0.30	0.01	23.42	0.37	0.1	32.00
0.24	0.01	20.48	0.33	0.1	32.00
0.20	0.01	17.27	0.28	0.1	32.00
0.15	0.01	12.24	0.20	0.05	32.00
0.12	0.01	7.65	0.13	0.05	32.00
0.10	0.01	4.87	0.09	0.05	32.00
0.05	0.01	0.74	0.03	0.05	32.00

**Tabella 1:** Valori di tensione e corrente misurati per corrente  $I_B = -0.2mA$ .

$V_{oscill.}(V)$	$\sigma_{oscill.}(V)$	$I_{mult.}(mA)$	$\sigma_{mult.}(mA)$	$V/Div$	$Range(mA)$
4.00	0.52	19.62	0.31	1.00	32.00
3.80	0.15	19.64	0.31	1.00	32.00
3.60	0.15	19.63	0.31	1.00	32.00
3.40	0.14	19.55	0.31	1.00	32.00
3.20	0.14	19.51	0.31	1.00	32.00
3.00	0.13	19.46	0.31	1.00	32.00
2.80	0.13	19.28	0.31	1.00	32.00
2.60	0.09	19.25	0.31	0.50	32.00
2.40	0.09	19.13	0.31	0.50	32.00
2.20	0.08	19.07	0.31	0.50	32.00
2.00	0.08	18.86	0.30	0.50	32.00
1.80	0.07	18.65	0.30	0.50	32.00
1.60	0.07	18.45	0.30	0.50	32.00
1.40	0.07	18.26	0.29	0.50	32.00
1.20	0.06	18.05	0.29	0.50	32.00
1.00	0.06	17.80	0.29	0.50	32.00
0.96	0.04	17.68	0.29	0.20	32.00
0.88	0.03	17.54	0.28	0.20	32.00
0.80	0.03	17.42	0.28	0.20	32.00
0.68	0.03	17.22	0.28	0.20	32.00
0.60	0.03	17.07	0.28	0.20	32.00
0.48	0.02	16.72	0.27	0.20	32.00
0.40	0.02	16.29	0.26	0.20	32.00
0.32	0.01	15.59	0.25	0.10	32.00
0.30	0.01	15.24	0.25	0.10	32.00
0.24	0.01	13.83	0.23	0.10	32.00
0.20	0.01	11.78	0.20	0.10	32.00
0.15	0.01	8.32	0.14	0.05	32.00
0.12	0.01	4.94	0.09	0.05	32.00
0.10	0.01	3.01	0.07	0.05	32.00
0.05	0.01	0.44	0.03	0.05	32.00

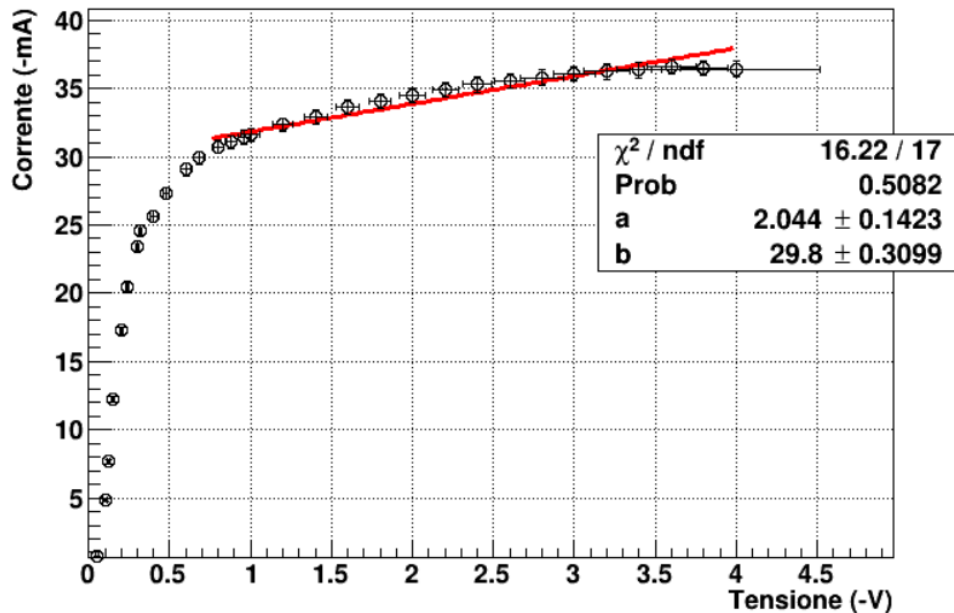
**Tabella 2:** Valori di tensione e corrente misurati per corrente  $I_B = -0.1mA$ .



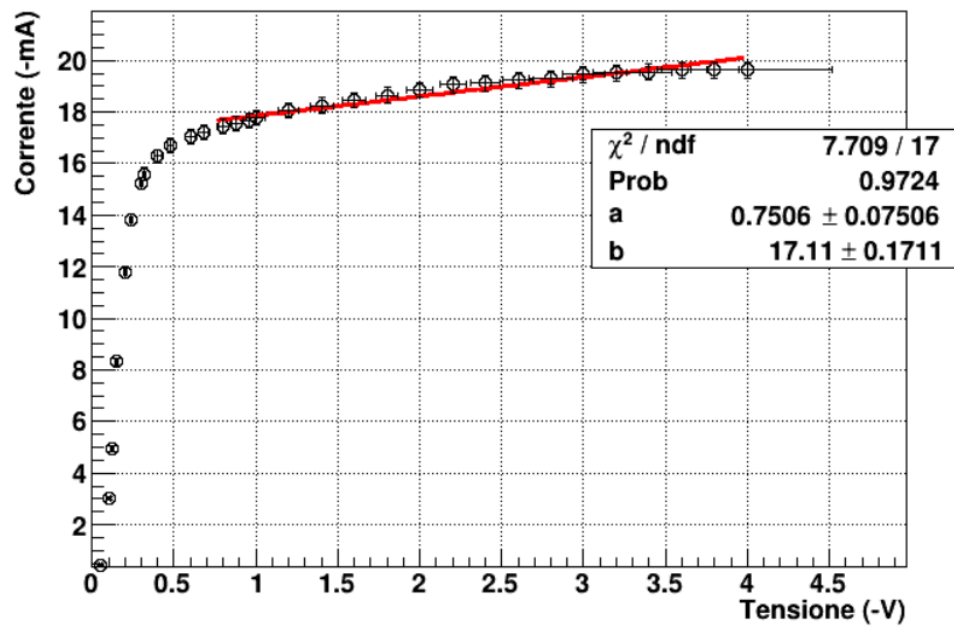
**Figura 3:** Grafico di confronto fra le caratteristiche del transistor fissate due correnti di base diverse,  $I_B = -0.2 \text{ mA}$  e  $I_B = -0.1 \text{ mA}$ .

In Fig.3 possiamo vedere il confronto fra le curve caratteristiche I-V plottate per le due correnti di base. In primo luogo bisogna notare che gli assi presentano il segno - nell'unità di misura perchè in realtà tutte le grandezze rappresentate sono negative; per evitare di rappresentare il tutto nel quarto quadrante del piano cartesiano per convenzione si rappresenta nel primo quadrante specificando il segno opposto degli assi.

Come possiamo osservare, l'andamento delle curve rispetta qualitativamente quello aspettato (vedi Appendice 6.1). Inoltre si può subito notare che, invece del plateau, le due curve presentano una parte lineare leggermente inclinata, testimone del cosiddetto *effetto Early* (nella configurazione a emettitore comune questo effetto è molto più accentuato).



**Figura 4:** Fit della parte lineare della caratteristica I-V del transistor, con tensione di base costante pari a  $I_B = -0.2 \text{ mA}$ .



**Figura 5:** Fit della parte lineare della caratteristica I-V del transistor, con tensione di base costante pari a  $I_B = -0.1 \text{ mA}$ .

## 5 Risultati finali e conclusioni

## 6 Appendice

### 6.1 Curva caratteristica di un transistor BJT in configurazione CE

### 6.2 Calcolo degli errori

#### 6.2.1 Oscilloscopio

L'errore da associare ad una misura effettuata con l'oscilloscopio può essere:

1.  $\sigma = \sqrt{(\sigma_L)^2 + (\sigma_Z)^2 + (\sigma_C)^2}$  nel caso in cui gli errori siano tutti indipendenti;
2.  $\sigma = \sqrt{(\sigma_L + \sigma_Z)^2 + (\sigma_C)^2}$  nel caso in cui  $\sigma_L$  e  $\sigma_Z$  siano dipendenti.

dove  $\sigma_L$  è l'errore sulla lettura,  $\sigma_Z$  è l'errore sullo zero e  $\sigma_C$  è l'errore del costruttore. Per quanto riguarda il caso in esame si è utilizzata la prima relazione in quanto errori indipendenti.

L'errore del costruttore è fisso e pari 3% quindi  $\sigma_C = misura \cdot 0.03$ .

Abbiamo invece calcolato  $\sigma_L$  e  $\sigma_Z$  secondo la relazione:

$$\sigma = \frac{fondoscala}{5} \cdot (\#tacchetteapprezzabili)$$

NB: In generale gli errori sullo zero risultano sempre essere trascurabili, dal momento che viene fatto con un fondo scala molto più piccolo di quelli utilizzati per le altre misure.

#### 6.2.2 Multimetro

Gli errori associati alle misure effettuate con il multimetro digitale sono indicati dal costruttore sul libretto delle specifiche e dipendono dal range scelto; nel nostro caso (per i range si faccia riferimento ai dati in Tab.1 e in Tab.2) abbiamo solo misure di corrente, per cui abbiamo usato come errore  $\sigma = 1.5\% + 2 \text{ digit}$ .