

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

Studenti: Marzi Niccolò, Pivi Francesco

Turno 3: 09/12/2021

## 1 Abstract

L'esperienza di laboratorio ha previsto l'analisi della caratteristica corrente-tensione (I-V) di un transistor BJT P-N-P a emettitore comune. Sono state prese due serie di dati rispettivamente con corrente di base di  $I_{B2} = (-200 \pm 30) \mu A$  e di  $I_{B1} = (-100 \pm 30) \mu A$ . Scopo dell'acquisizione dati era la stima della tensione di Early  $V_A$  e della conduttanza  $g$  del transistor per le due differenti correnti di base. Si è poi ottenuto il guadagno di corrente  $\beta$ .

## 2 Introduzione

Il transistor a giunzione bipolare (BJT) è un dispositivo utilizzato in elettronica analogica. E' composto da tre strati di materiale semiconduttore drogato in modo tale da formare una doppia giunzione p-n. Si ha dunque una giunzione del tipo p-n-p oppure n-p-n. Lo strato centrale prende il nome di base, mentre i canali esterni sono chiamati collettore ed emettitore. Il transistor è in grado di far variare la sua conducibilità elettrica a seconda della tensione che è applicata ai suoi capi coinvolgendo sia i portatori maggioritari che quelli minoritari.

Un transistor può essere schematizzato come un quadripolo avente due terminali di ingresso e due di uscita. I tre terminali del transistor sono quello di ingresso, uno quello di uscita e l'ultimo è collegato sia all'ingresso sia all'uscita. Per l'esperienza di laboratorio la configurazione utilizzata è stata quella ad emettitore comune ed in questo caso il transistor è utilizzato come amplificatore di corrente e di tensione.

Necessario era osservare la caratteristica I-V del transistor e misurare la tensione di Early, dovuta alla variazione di ampiezza della base causata da una variazione di tensione fra la base ed il collettore. Questa si è ottenuta tramite la retta di fit della regione attiva, ponendo la corrente uguale a zero; sarà dunque data dal rapporto fra l'intercetta ed il coefficiente angolare di tale retta. Si è poi stimato il guadagno in corrente  $\beta$  e la conduttanza del transistor. Il guadagno di corrente è stato ottenuto scegliendo un valore di tensione all'interno della regione

attiva del transistor attraverso la formula:

$$\beta = \frac{I_1 - I_2}{I_{B1} - I_{B2}}$$

, dove  $I_1$  è la corrente corrispondente a 3V per il transistor con corrente di base  $I_{B1}$ , mentre  $I_2$  è la corrente osservata in corrispondenza di 3V per lo stato con corrente di base  $I_{B2}$ . La conduttanza del transistor è data da  $g = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}$ , ossia il coefficiente angolare della retta di fit della caratteristica in uscita, con  $I_C$  corrente del collettore e  $V_{CE}$  tensione tra collettore ed emettitore.

### 3 Apparato Sperimentale e Svolgimento

Lo svolgimento della prova ha richiesto l'utilizzo di alcuni strumenti elettronici: un multimetro digitale (Fluke modello 175), un oscilloscopio, una breadboard, un transistor BJT, un potenziometro da  $100k\Omega$  e un altro da  $1k\Omega$  e un alimentatore di bassa tensione da 5V per portare la corrente sulla breadboard.

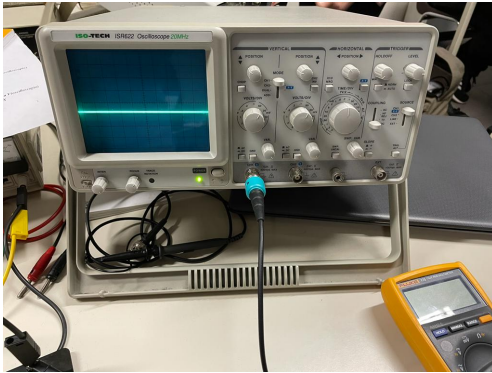


Figure 1: *Oscilloscopio utilizzato per misure di tensione.*

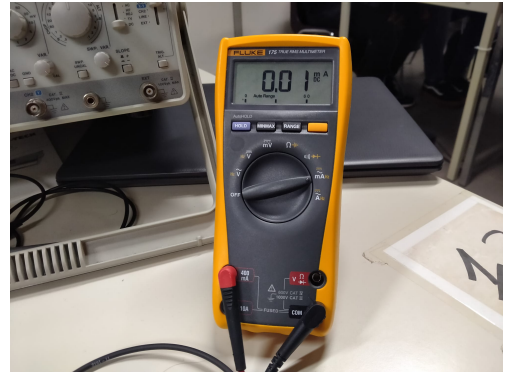


Figure 2: *Multimetro utilizzato per misure di corrente.*

Prima di effettuare la presa dati per la caratteristica I-V del transistor si è fissata la corrente di base, prima a  $I_{B2} = (-200 \pm 30)\mu A$  e successivamente a  $I_{B1} = (-100 \pm 30)\mu A$ ; agendo sul potenziometro da  $100k\Omega$  si è potuto leggere, con il multimetro collegato ai punti B e D dello schema in Fig(3), il valore di corrente richiesto. Successivamente, circuitando i punti B e D e agendo sul secondo potenziometro ( $1k\Omega$ ), in modo che la tensione tra il collettore e l'emettitore variasse tra -0.05V e -4V, ci siamo ricavati i valori della corrente del collettore, al fine di ricostruire la curva di uscita; in questo caso il multimetro è stato collegato ai punti A e C dello schema in Fig(4) e la sonda dell'oscilloscopio è stata collegata al punto C. Poichè il transistor si scalda, si è proceduti con l'acquisizione dei dati a partire dalla tensione di -4V, poi a scendere, al fine di mantenere un comportamento stabile del transistor stesso.

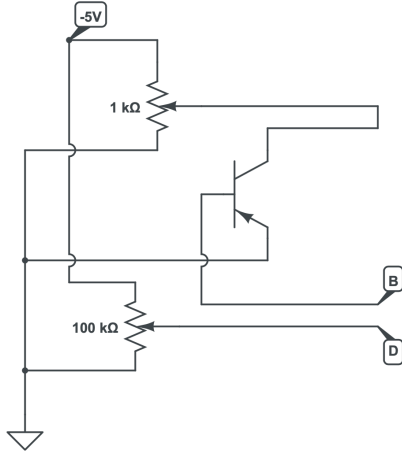


Figure 3: *Schema del circuito realizzato per fissare la corrente di base.*

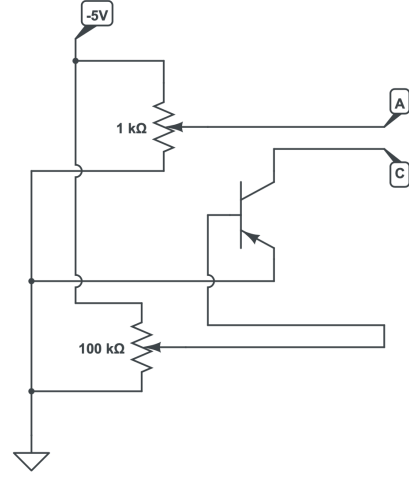


Figure 4: *Schema del circuito realizzato per la caratteristica I-V.*

## 4 Analisi Dati

Nelle tabelle 1 e 2 sono state riportate le misure dei valori di tensione e di corrente con i relativi errori. Per ogni misura effettuata tramite l'oscilloscopio è stato riportato il valore del fondo scala utilizzato e la risoluzione.

L'errore associato ad una misura effettuata con l'oscilloscopio è dato da:

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

dove  $\sigma_L$  è l'errore sulla lettura e  $\sigma_Z$  è l'errore sullo 0, date entrambe da

$$\sigma_{L,Z} = \frac{\text{fondoscala}}{5} \times \text{risoluzione}, \quad (2)$$

con  $\sigma_Z = 0.5mV$ . L'errore del costruttore  $\sigma_C$  è dato dal 3% della misura. Per l'errore sui valori di corrente letti tramite il multimetro l'errore è dato dall'1% della misura + tre digits corrispondenti alla risoluzione di  $0.01mA$  sul fondo scala di  $60.00mA$ .

Nelle tabelle si sono riportate la misura della tensione con l'oscilloscopio (V), la corrente osservata con il Multimetro (I), le relative incertezze (dV) e (dI), il fondo scala dell'oscilloscopio (F.S.O.), la risoluzione dell'oscilloscopio (R.O.), l'errore sulla lettura dell'oscilloscopio (E.L.O.), il fondo scala del multimetro (F.S.M.) e la risoluzione del multimetro (R.M.).

V(V)	I(mA)	dV(V)	dI(mA)	F.S.O.(V)	R.O.	E.L.O. (V)	F.S.M.(mA)	R.M.(mA)
4.00	38.07	0.16	0.41	1	0.5	0.1	60	0.01
3.80	37.86	0.15	0.41	1	0.5	0.1	60	0.01
3.60	37.28	0.15	0.40	1	0.5	0.1	60	0.01
3.40	37.00	0.14	0.40	1	0.5	0.1	60	0.01
3.20	36.62	0.14	0.40	1	0.5	0.1	60	0.01
3.00	36.16	0.14	0.39	1	0.5	0.1	60	0.01
2.80	35.80	0.13	0.39	1	0.5	0.1	60	0.01
2.700	35.38	0.095	0.38	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.600	35.22	0.093	0.38	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.500	35.04	0.090	0.38	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.400	34.85	0.088	0.38	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.300	34.61	0.085	0.38	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.200	34.35	0.083	0.37	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.100	34.05	0.080	0.37	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.000	33.77	0.078	0.37	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.900	33.57	0.076	0.37	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.800	33.27	0.074	0.36	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.700	33.04	0.071	0.36	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.600	32.80	0.069	0.36	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.500	32.55	0.067	0.36	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.400	32.22	0.065	0.35	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.300	31.94	0.063	0.35	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.200	31.68	0.062	0.35	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.100	31.28	0.060	0.34	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.000	31.05	0.036	0.34	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.960	30.83	0.035	0.34	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.920	30.67	0.034	0.34	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.880	30.53	0.033	0.34	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.840	30.34	0.032	0.33	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.800	30.16	0.031	0.33	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.760	29.95	0.030	0.33	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.720	29.73	0.029	0.33	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.680	29.42	0.029	0.32	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.640	29.08	0.028	0.32	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.600	28.70	0.027	0.32	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.520	27.69	0.025	0.31	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.440	26.34	0.024	0.29	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.400	25.70	0.016	0.29	0.1	0.5	0.01	60	0.01
0.300	23.16	0.014	0.26	0.1	0.5	0.01	60	0.01
0.200	17.76	0.008	0.21	0.05	0.5	0.005	60	0.01
0.150	11.82	0.007	0.15	0.05	0.5	0.005	60	0.01
0.100	5.22	0.006	0.08	0.05	0.5	0.005	60	0.01
0.060	1.55	0.003	0.05	0.02	0.5	0.002	60	0.01

Table 1: Misure ottenute con la corrente di base di  $200 \mu A$ .

V(V)	I(mA)	dV(V)	dI(mA)	F.S.O.(V)	R.O.	E.L.O. (V)	F.S.M.(mA)	R.M.(mA)
4.00	20.13	0.16	0.23	1	0.5	0.1	60	0.01
3.80	19.96	0.15	0.23	1	0.5	0.1	60	0.01
3.60	19.80	0.15	0.23	1	0.5	0.1	60	0.01
3.40	19.59	0.14	0.23	1	0.5	0.1	60	0.01
3.20	19.44	0.14	0.22	1	0.5	0.1	60	0.01
3.00	19.26	0.14	0.22	1	0.5	0.1	60	0.01
2.80	19.08	0.13	0.22	1	0.5	0.1	60	0.01
2.700	18.97	0.095	0.22	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.600	18.88	0.093	0.22	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.500	18.79	0.090	0.22	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.400	18.70	0.088	0.22	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.300	18.60	0.085	0.22	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.200	18.52	0.083	0.22	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.100	18.42	0.080	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
2.000	18.33	0.078	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.900	18.24	0.076	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.800	18.14	0.074	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.700	18.03	0.071	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.600	17.93	0.069	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.500	17.80	0.067	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.400	17.69	0.065	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.300	17.57	0.063	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.200	17.45	0.062	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.100	17.31	0.060	0.21	0.5	0.5	0.05	60	0.01
1.000	17.21	0.036	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.960	17.15	0.035	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.920	17.10	0.034	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.880	17.05	0.033	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.840	17.00	0.032	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.800	16.94	0.031	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.760	16.86	0.030	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.720	16.80	0.029	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.680	16.74	0.029	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.640	16.65	0.028	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.600	16.58	0.027	0.20	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.520	16.42	0.025	0.19	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.440	16.16	0.024	0.19	0.2	0.5	0.02	60	0.01
0.400	16.03	0.016	0.19	0.1	0.5	0.01	60	0.01
0.300	15.13	0.014	0.18	0.1	0.5	0.01	60	0.01
0.200	12.29	0.008	0.15	0.05	0.5	0.005	60	0.01
0.150	8.28	0.007	0.11	0.05	0.5	0.005	60	0.01
0.100	3.21	0.006	0.06	0.05	0.5	0.005	60	0.01
0.060	0.90	0.003	0.04	0.02	0.5	0.002	60	0.01

Table 2: Misure ottenute con la corrente di base di  $100 \mu A$ .

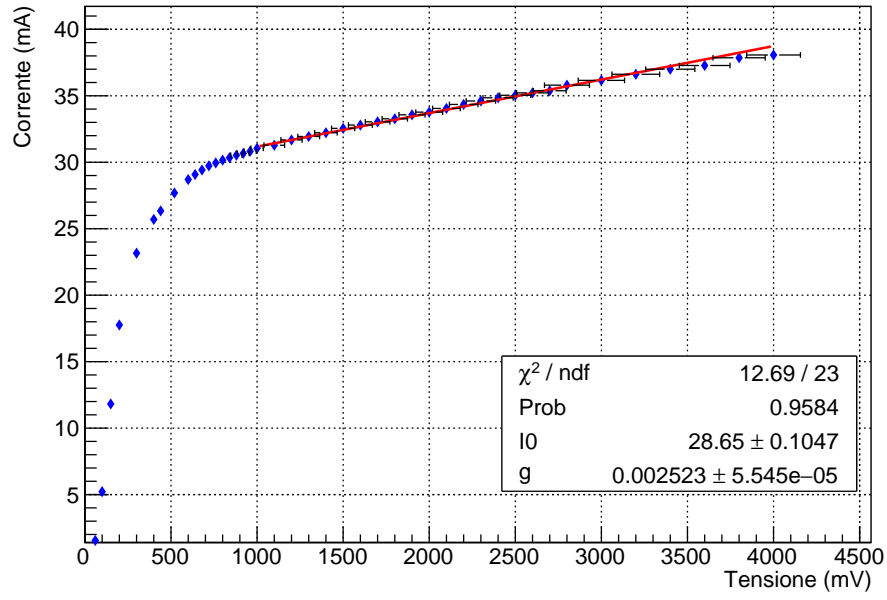


Figure 5: Caratteristica I-V del transistor con corrente di base  $I_{B2} = 200 \mu A$  (in blu) e relativo fit (in rosso).

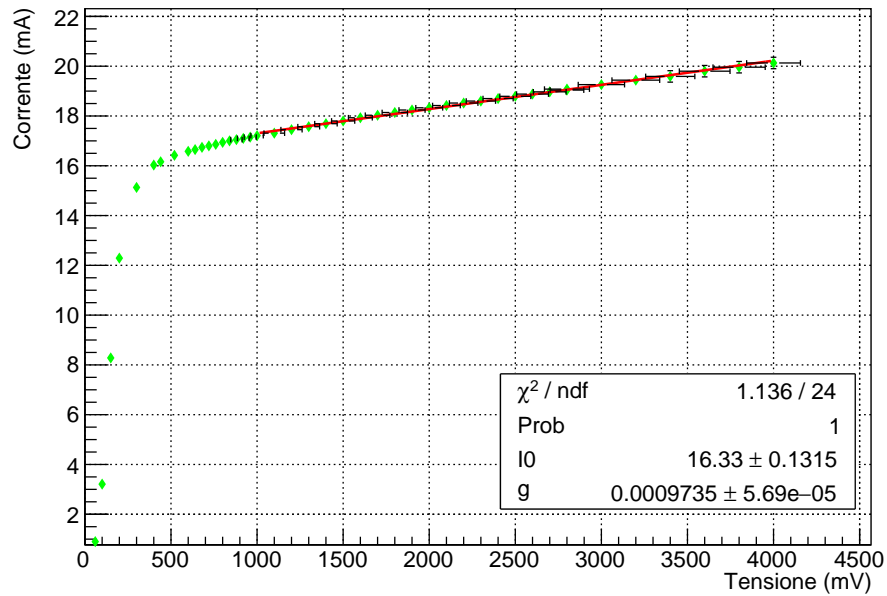


Figure 6: Caratteristica I-V del transistor con corrente di base  $I_{B2} = 100 \mu A$  (in verde) e relativo fit (in rosso).

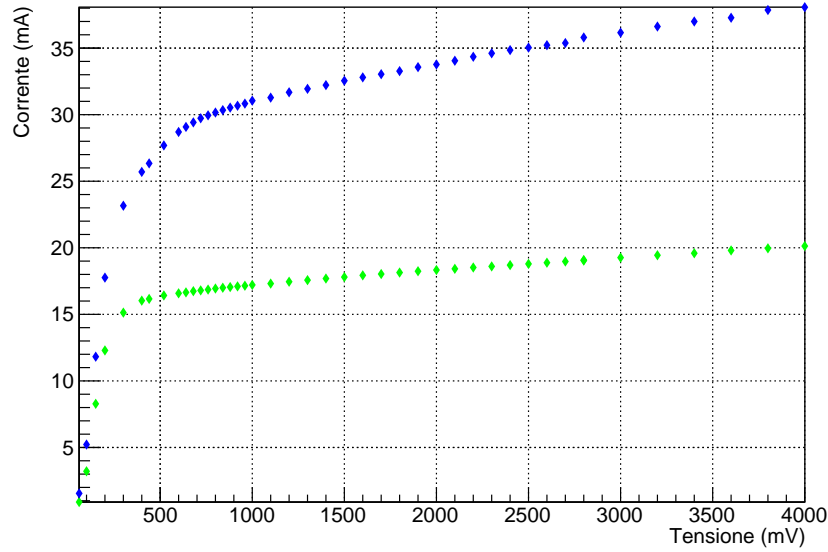


Figure 7: Confronto fra la caratteristica I-V del transistor con corrente di base a  $200 \mu A$  (in blu) e quella a  $100 \mu A$  (in rosso).

Abbiamo successivamente eseguito i fit lineari nella regione attiva, ossia tra 1V e 4V, considerando errori sulla sola tensione. I fit delle caratteristiche I-V, con due correnti di base differenti, hanno prodotto i seguenti risultati:

- Per la corrente di base a  $I_{B2} = (-200 \pm 30) \mu A$ :
  - Tensione di Early  $V_A = (11.36 \pm 0.29)V$ .
  - La conduttanza  $g = (252 \pm 5) \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ .
- Per la corrente base a  $I_{B1} = (-100 \pm 30) \mu A$ :
  - Tensione di Early  $V_A = (16.7 \pm 1.1)V$ .
  - La conduttanza  $g = (97 \pm 6) \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ .

Il guadagno in corrente  $\beta = (169 \pm 107)$ . Un errore così elevato è da ricercare nella bassa risoluzione nella misura delle correnti di base ottenuta tramite il multimetro. Infine notiamo che il fit dei dati restituisce, in entrambi i casi, una probabilità di 1 o prossima ad essa, confermando l'accordo con i dati sperimentali.

## 5 Conclusione

Le misure effettuate per il transistor nelle due configurazioni riproducono, in entrambi i casi, una caratteristica corrente-tensione in accordo con l'andamento atteso. Con corrente di base  $I_{B2} = (-200 \pm 30) \mu A$  il valore ottenuto della tensione di Early  $V_A = (11.36 \pm 0.29)V$  è risultato non compatibile con quello stimato per la corrente di base  $I_{B1} = (-100 \pm 30) \mu A$  che è risultato essere  $V_A = (16.7 \pm 1.1)V$ . Inoltre con la corrente di base  $I_{B2}$  il transistor ha prodotto una conduttanza di  $g = (252 \pm 5) \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ , mentre con corrente di base  $I_{B1}$  si è ottenuto  $g = (97 \pm 6) \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ . Si è poi ottenuto il guadagno di corrente  $\beta = (169 \pm 107)$ , il quale presenta un errore molto elevato per via della scarsa risoluzione sulla misura delle correnti di base dovuta al multimetro utilizzato.