

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

Enrico Barbuio
0001117553

Giacomo Cicala
0001122965

30 novembre 2025

Abstract

prova

Introduzione

Equazione tensione di Early:

$$V_A = -\frac{a}{b} \quad (1)$$

Si può ottenere inoltre una stima (**senza incertezza**) del guadagno di corrente

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (2)$$

dove ΔI_C è la differenza tra le correnti di collettore misurate per le due correnti di base alla stessa tensione di collettore, e ΔI_B è la differenza tra le due correnti di base.

Apparato sperimentale e svolgimento

Risultati e discussione

Si riportano in (tab. 1) e in (tab. 2) le misure delle coppie di valori I-V rispettivamente per corrente di base di $-50 \mu\text{A}$ e $-100 \mu\text{A}$. I valori di tensione e corrente sono già stati cambiati di segno per ottenere le caratteristiche nel primo quadrante. Per il calcolo degli errori associati alle misure di tensione e corrente si rimanda all'appendice A.1.

Dalle caratteristiche di uscita del transistor per le due correnti di base riportate in (fig. 1), si sono eseguiti due fit lineari nella regione attiva del transistor ($1 - 3.5$) V per ottenere il valore della tensione di Early.

$$I_C = a + bV_{CE} \quad (3)$$

I valori dei parametri di fit per le due correnti di base sono i seguenti:

$$a_{50} = (9.35 \pm 0.05) \text{ mV}$$

$$b_{50} = (0.43 \pm 0.02) \text{ mS}$$

$$a_{100} = (16.89 \pm 0.07) \text{ mV}$$

$$b_{100} = (1.06 \pm 0.03) \text{ mS}$$

da cui, tramite eq. (1), si ottengono i valori di tensione di Early

$$V_{A,50} = (-21.7 \pm 1.1) \text{ V}$$

$$V_{A,100} = (-16.0 \pm 0.5) \text{ V}$$

$-V_{CE}$ (V)	$-I_C$ (mA)	σ_V (V)	σ_I (mA)	$F.S._{osc}$ (V/div)	$-V_{CE}$ (V)	$-I_C$ (mA)	σ_V (V)	σ_I (mA)	$F.S._{osc}$ (V/div)
4.00	10.97	0.16	0.05	1	1.00	9.75	0.04	0.04	0.2
3.80	10.92	0.15	0.05	1	0.80	9.62	0.03	0.04	0.2
3.60	10.86	0.15	0.05	1	0.60	9.49	0.03	0.04	0.2
3.40	10.80	0.14	0.05	1	0.52	9.41	0.03	0.04	0.2
3.20	10.73	0.14	0.05	1	0.44	9.34	0.02	0.04	0.2
3.00	10.62	0.10	0.05	0.5	0.400	9.27	0.016	0.04	0.1
2.80	10.53	0.10	0.05	0.5	0.360	9.22	0.015	0.04	0.1
2.60	10.46	0.09	0.05	0.5	0.320	9.15	0.014	0.04	0.1
2.40	10.39	0.09	0.05	0.5	0.280	8.99	0.013	0.04	0.1
2.20	10.32	0.08	0.05	0.5	0.240	8.63	0.012	0.04	0.1
2.00	10.24	0.08	0.05	0.5	0.200	7.77	0.012	0.04	0.1
1.80	10.14	0.07	0.05	0.5	0.180	7.08	0.011	0.04	0.1
1.60	10.05	0.07	0.05	0.5	0.160	5.97	0.011	0.04	0.1
1.40	9.97	0.07	0.04	0.5	0.140	4.81	0.011	0.04	0.1
1.20	9.86	0.06	0.04	0.5					

Tabella 1: Misure di tensione e corrente per $I_B = -50\mu A$. La prima colonna riporta le tensioni collettore-emettitore, la seconda le correnti di collettore, la terza gli errori sulla misure di tensione, la quarta gli errori sulle misure di corrente, la quinta il fondo scala dell'oscilloscopio.

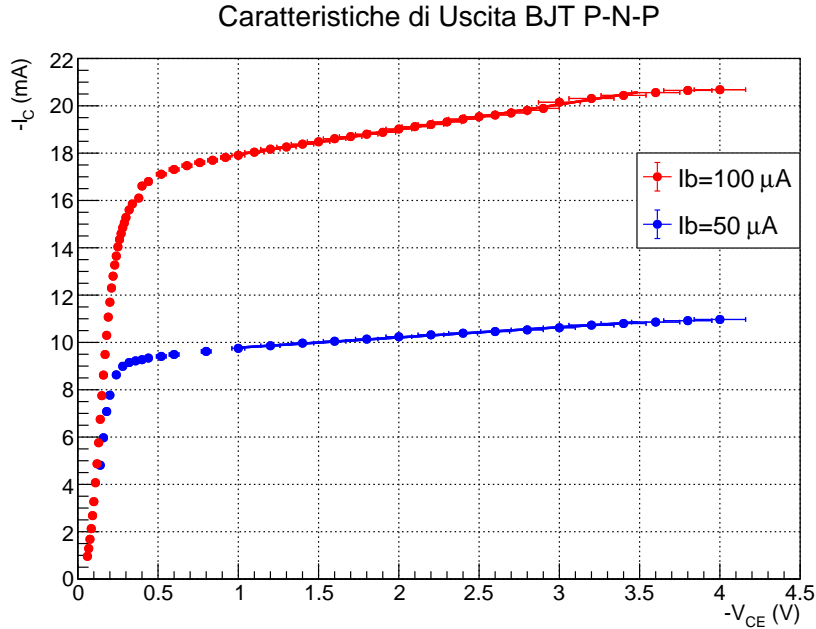


Figura 1: Caratteristiche di uscita del transistor per le correnti di base $I_B = -50\mu A$ (in blu) e $I_B = -100\mu A$ (in rosso) con i relativi fit lineari nella regione attiva (1 – 3.5) V. Sulle ascisse sono riportate le tensioni collettore-emettitore, sulle ordinate le correnti di collettore.

le cui incertezze sono state calcolate come descritto nell'appendice A.2.

Tramite l'eq. (2), scegliendo come tensione di collettore $-V_{CE} = 3 \text{ V}$, si ottiene una stima del guadagno di corrente del transistor pari a

$$\beta = 113.267$$

Per quanto riguarda gli andamenti delle caratteristiche di uscita del transistor, si nota come per entrambe le correnti di base considerate, queste rispecchino qualitativamente la forma prevista dalle equazioni di Ebers-Moll per il BJT in configurazione a emettitore comune. Inoltre, si osserva che, in regione attiva, all'aumentare della corrente di base, aumenta linearmente anche la corrente di collettore, confermando l'effetto Early. Tuttavia, si nota come i valori della tensione di Early ottenuti dai fit lineari per le due correnti di base considerate non siano compatibili tra loro entro l'incertezza sperimentale.

Conclusioni

I valori della tensione di Early ottenuti per le due correnti di base a $-50 \mu\text{A}$ e a $-100 \mu\text{A}$ sono

$$V_{A,50} = (-21.7 \pm 1.1) \text{ V} \quad V_{A,100} = (-16.0 \pm 0.5) \text{ V}$$

risultando non compatibili tra loro entro l'incertezza sperimentale.

Invece, la stima del guadagno di corrente del transistor ottenuta scegliendo come tensione di collettore $-V_{CE} = 3 \text{ V}$ è pari a

$$\beta = 113.267$$

A Appendici

A.1 Calcolo degli errori per tensioni e correnti

La risoluzione dell'oscilloscopio (e quindi l'errore sulla lettura) σ_l è stata calcolata come

$$\sigma_l = \frac{F.S}{5} * (\# \text{tacchette apprezzabili}) \quad (4)$$

dove in questo caso, in tutte le misure dell'esperimento, il numero di tacchette apprezzabili è stato 0.5. L'errore totale associato ad ogni misura di tensione con l'oscilloscopio è stato calcolato come

$$\sigma_V = \sqrt{(\sigma_l)^2 + (\sigma_c)^2} \quad (5)$$

dove l'errore del costruttore è

$$\frac{\sigma_c}{V_{mis}} = 3\% \quad (6)$$

con V_{mis} tensione misurata; l'errore sullo zero dell'oscilloscopio è stato omesso in quanto si è verificato essere trascurabile rispetto agli altri errori, grazie ad un opportuno fondo scala di $5\text{mV}/\text{Div}$. Invece, l'errore sulla misura di corrente è stato calcolato considerando l'errore del multimetro, che, per il fondo scala utilizzato per tutte le misure $F.S_{mult} = 60\text{mA}$, è dato da

$$\frac{\sigma_I}{I_{mis}} = 1.5\% + 3 \text{ digits} \quad (7)$$

A.2 Calcolo dell'errore sulla tensione di Early

L'errore sulla tensione di Early è stato calcolato propagando gli errori sui parametri del fit lineare secondo la formula

$$\sigma_{V_A} = V_A \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2} \quad (8)$$

$-V_{CE}$ (V)	$-I_C$ (mA)	σ_V (V)	σ_I (mA)	$F.S._{osc}$ (V/div)	$-V_{CE}$ (V)	$-I_C$ (mA)	σ_V (V)	σ_I (mA)	$F.S._{osc}$ (V/div)
4.00	20.68	0.16	0.06	1	0.44	16.80	0.02	0.06	0.2
3.80	20.65	0.15	0.06	1	0.40	16.61	0.02	0.05	0.2
3.60	20.56	0.15	0.06	1	0.380	16.10	0.015	0.05	0.1
3.40	20.44	0.14	0.06	1	0.340	15.85	0.014	0.05	0.1
3.20	20.31	0.14	0.06	1	0.320	15.60	0.014	0.05	0.1
3.00	20.15	0.13	0.06	1	0.300	15.28	0.013	0.05	0.1
2.90	19.89	0.10	0.06	0.5	0.290	15.05	0.010	0.05	0.05
2.80	19.81	0.10	0.06	0.5	0.280	14.85	0.010	0.05	0.05
2.70	19.70	0.10	0.06	0.5	0.270	14.60	0.010	0.05	0.05
2.60	19.61	0.09	0.06	0.5	0.260	14.35	0.009	0.05	0.05
2.50	19.54	0.09	0.06	0.5	0.250	14.04	0.009	0.05	0.05
2.40	19.44	0.09	0.06	0.5	0.240	13.65	0.009	0.05	0.05
2.30	19.32	0.09	0.06	0.5	0.230	13.27	0.009	0.05	0.05
2.20	19.21	0.08	0.06	0.5	0.220	12.80	0.008	0.05	0.05
2.10	19.12	0.08	0.06	0.5	0.210	12.30	0.008	0.05	0.05
2.00	19.02	0.08	0.06	0.5	0.200	11.70	0.008	0.05	0.05
1.90	18.88	0.08	0.06	0.5	0.190	11.07	0.008	0.05	0.05
1.80	18.80	0.07	0.06	0.5	0.180	10.30	0.007	0.05	0.05
1.70	18.70	0.07	0.06	0.5	0.170	9.49	0.007	0.04	0.05
1.60	18.61	0.07	0.06	0.5	0.160	8.62	0.007	0.04	0.05
1.50	18.48	0.07	0.06	0.5	0.150	7.75	0.007	0.04	0.05
1.40	18.38	0.07	0.06	0.5	0.140	6.75	0.007	0.04	0.05
1.30	18.26	0.06	0.06	0.5	0.130	5.76	0.006	0.04	0.05
1.20	18.17	0.06	0.06	0.5	0.120	4.87	0.006	0.04	0.05
1.10	18.04	0.06	0.06	0.5	0.110	4.07	0.006	0.04	0.05
1.00	17.91	0.04	0.06	0.2	0.100	3.27	0.004	0.03	0.02
0.92	17.82	0.03	0.06	0.2	0.092	2.68	0.003	0.03	0.02
0.84	17.70	0.03	0.06	0.2	0.084	2.13	0.003	0.03	0.02
0.76	17.60	0.03	0.06	0.2	0.076	1.68	0.003	0.03	0.02
0.68	17.47	0.03	0.06	0.2	0.068	1.29	0.003	0.03	0.02
0.60	17.31	0.03	0.06	0.2	0.060	0.96	0.003	0.03	0.02
0.52	17.11	0.03	0.06	0.2					

Tabella 2: Misure di tensione e corrente per $I_B = -100\mu A$. La prima colonna riporta le tensioni collettore-emettitore, la seconda le correnti di collettore, la terza gli errori sulla misure di tensione, la quarta gli errori sulle misure di corrente, la quinta il fondo scala dell'oscilloscopio.