

ESAME TELEMATICO DI DISPOSITIVI ELETTRONICI
30 Giugno 2021

Un transistoro bipolare n^+pn , con $N_{Abase} = N_{Dcollettore} = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_n = 1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\tau_n = 10^{-6} \text{ s}$, lunghezza metallurgica della base $W_{met} = 3.5 \text{ }\mu\text{m}$, $S = 1 \text{ mm}^2$, è polarizzato in configurazione ad emettitore comune. Sono state misurate $I_B = 10 \text{ }\mu\text{A}$ e $I_C = 6 \text{ mA}$ (entrambe entranti).

1) Determinare le correnti e le tensioni ai terminali e, in particolare, V_{CE} . [12]

2) Determinare la variazione della I_C con V_{CE} , mantenendo I_B costante, $\frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}$. Si chiede cioè di calcolare il reciproco della resistenza differenziale di uscita in configurazione ad emettitore comune, che è la pendenza della caratteristica I_C in funzione di V_{CE} per una data I_B . [10]

3) Determinare la massima V_{CE} che si può applicare al transistoro, prima di avere il break-down della giunzione base-collettore (trascurare la V_{BE}). [8]

SOLUZIONE

1) Per le correnti manca solo la I_E , che è uscente e pari a $I_C + I_B = 6.01$ mA. Per le tensioni, possiamo calcolare la lunghezza effettiva della base, quindi l'eccesso in 0 e V_{BE} . Data la lunghezza effettiva, dalla lunghezza metallurgica possiamo ricavarci l'ampiezza della regione di svuotamento e quindi V_{CE} . Possiamo trascurare la regione di svuotamento della giunzione base-emettitore, polarizzata in diretta.

$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n = 0.02585 \times 0.1 = 2.585 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta_f = \frac{\tau_n}{\tau_t} = 600$$

$$\tau_t = \frac{W^2}{2D_n} = \frac{\tau_n}{\beta_f} = 1.67 \text{ ns}$$

$$W = \sqrt{\tau_t 2D_n} = 2.94 \text{ } \mu\text{m}$$

A questo punto possiamo calcolare V_{BE} :

$$I_B = qS\delta n(0) \frac{W}{2\tau_n}$$

$$\delta n(0) = \frac{2\tau_n I_B}{qSW} = 4.25 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$$

$$\delta n(0) = \frac{n_i^2}{N_{Abase}} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$V_{BE} = 0.534 \text{ V}$$

Per la V_{CE} possiamo calcolare la regione di svuotamento della giunzione base-collettore, che si ripartisce equamente poiché i drogaggi sono numericamente uguali:

$$W_{eff} = W_{met} - x_{p \text{ CB}}$$

$$x_{p \text{ CB}} = \frac{W_{CB}}{2} = W_{met} - W_{eff} = 0.56 \text{ } \mu\text{m}$$

$$W_{CB} = 1.12 \text{ } \mu\text{m} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_{Abase}} + \frac{1}{N_{Dcollettore}} \right) (V_{0CB} + V_{CB})}$$

$$V_{0CB} = V_T \ln \frac{N_{Abase} N_{Dcollettore}}{n_i^2} = 0.657 \text{ V}$$

Da ciò si ricava $V_{CB} = 1.73 \text{ V}$, e $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = 2.26 \text{ V}$.

2) Abbiamo già un valore della $I_C = 6$ mA per $V_{CE} = 2.26$ V. Dobbiamo calcolare I_C per un altro valore di V_{CE} . Scegliamo un valore accettabile per la V_{CB} , ad esempio $V_{CB} = 10$ V (va bene anche 5 V). Mantenendo la stessa I_B avremo:

$$\begin{aligned}
 W_{CB} &= \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_{Abase}} + \frac{1}{N_{Dcollettore}} \right) (V_{0CB} + V_{CB})} = 2.36 \text{ } \mu\text{m} \\
 W_{effettiva} &= W_{metallurgica} - \frac{W_{CB}}{2} = 2.32 \text{ } \mu\text{m} \\
 \tau_t &= \frac{W^2}{2D_n} = 1.04 \text{ ns} \\
 \beta_f &= \frac{\tau_n}{\tau_t} = 960 \\
 I_C &= \beta_f I_B = 9.6 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Per il calcolo di V_{CE} dobbiamo ri-calcolare V_{BE} . Una approssimazione che possiamo fare è di considerare la stessa V_{BE} del punto precedente, poiché cambia di molto poco. Non è comunque difficile ricalcolarla:

$$\begin{aligned}
 \delta n(0) &= \frac{2\tau_n I_B}{qSW} = 5.38 \times 10^{19} \text{ m}^{-3} \\
 \delta n(0) &= \frac{n_i^2}{N_{Abase}} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right) \\
 V_{BE} &= 0.54 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Quindi avremo $I_C = 9.6$ mA per $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = 10.54$ V. Avremo dunque:

$$\frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \approx \frac{I_{C2} - I_{C1}}{V_{CE2} - V_{CE1}} = 4.35 \times 10^{-4} \text{ } \Omega^{-1} \quad (1)$$

che corrisponde ad una $r_{CE} = 2300 \text{ } \Omega$

3) La massima tensione V_{CE} applicabile è quella che svuota completamente la base, causando così il break-down della giunzione base collettore, e quindi del transistor. Come suggerito dal testo, possiamo approssimare $V_{CE \text{ break-down}} \approx V_{CB \text{ break-down}}$:

$$\begin{aligned}
 2W_{met} &= W_{BC \text{ max}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_{Abase}} + \frac{1}{N_{Dcollettore}} \right) (V_{0CB} + V_{CB \text{ break-down}})} \\
 V_{CB \text{ break-down}} &\approx V_{CE \text{ break-down}} \approx 93 \text{ V}
 \end{aligned}$$