ESAME TELEMATICO DI DISPOSITIVI ELETTRONICI
25 Novembre 2021

Un transistore bipolare n^+pn, con $N_{Abase} = N_{Dcollettore} = 10^{16}$ cm^{-3}, $\tau_n = 10^{-6}$ s, $\mu_n = 0.11$ m^2/Vs, $W_{met} = 3$ μm,$S = 1$ mm^2, è polarizzato con $V_{BE} = 0.6$ V e $V_{CE} = 5$ V. Si consideri il tempo di vita media indipendente dalla temperatura (ipotesi semplificativa, non vera nella realtà), mentre la mobilità degli elettroni diminuisce come $T^{3/2}$.

1) Determinare le correnti ai terminali a temperatura ambiente ($T = 300$ K) [8].

2) Determinare le correnti ai terminali alla temperatura di 100 °C [14].

3) Determinare il guadagno in corrente β_f alle due temperature, e confrontare i valori. Confrontare inoltre i valori delle correnti, e discutere il risultato. Perchè il β_f diminuisce, mentre le correnti aumentano? [8].

SOLUZIONE

1) A temperatura ambiente procediamo nel modo solito. Calcoliamo anche il β_f:

$$
\begin{aligned}
D_n &= \frac{kT}{q}\mu_n = 2.84\times 10^{-3} \quad \mathrm{m^2 s} \\
L_n &= \sqrt{D_n \tau_n} = 53.32 \quad \mu\mathrm{m} \\
V_{0BC} &= V_T \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} = 0.693 \quad \mathrm{V} \\
V_{CB} &= 5 - 0.6 = 4.4 \quad \mathrm{V} \\
W_{BC} &= \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q}\left(\frac{1}{N_{Abase}} + \frac{1}{N_{Dcoll}}\right)(V_0 + V_{CB})} = 1.16 \quad \mu\mathrm{m} \\
W_{eff} &= 3 - 1.16/2 = 2.42 \quad \mu\mathrm{m} \\
\tau_t &= \frac{W^2}{2D_n} = 1.03 \quad \mathrm{ns} \\
\beta_f &= 968 \\
\delta_n(0) &= \frac{n_i^2}{N_A} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = 2.71\times 10^{20} \quad \mathrm{m^{-3}} \\
I_B &= \frac{Q_n}{\tau_n} = \frac{qS\delta_n(0)W_{eff}}{2\tau_n} = 52 \quad \mu\mathrm{A} \\
I_C &= \beta_f I_B = 50.8 \quad \mathrm{mA}
\end{aligned}
$$

2) A temperatura pari a 100 °C bisogna ricalcolare i vari parametri per $T = 373$ K (assumendo $T = 300$ K come temperatura ambiente):

$$
\begin{aligned}
\mu_n(373) &= \mu_n(300)\left(\frac{300}{373}\right)^{\frac{3}{2}} = 0.079 \quad \mathrm{m^2/Vs} \\
n_i(373) &= \sqrt{N_C N_V} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \\
N_C(373) &= N_C(300)\left(\frac{373}{300}\right)^{\frac{3}{2}} = 3.88\times 10^{25} \quad \mathrm{m^{-3}} \\
N_V(373) &= N_V(300)\left(\frac{373}{300}\right)^{\frac{3}{2}} = 1.38\times 10^{25} \quad \mathrm{m^{-3}} \\
n_i(373) &= 1.16\times 10^{18} \quad \mathrm{cm^{-3}} \\
V_T(373) &= \frac{kT}{q} = 0.0321 \quad \mathrm{V}
\end{aligned}
$$

A questo punto basta ripetere i conti già fatti sopra, ma usando i parametri calcolati a 373 K:

$$
\begin{aligned}
D_n &= \frac{kT}{q}\mu_n = 2.53 \times 10^{-3} \quad \mathrm{m^2 s} \\
L_n &= \sqrt{D_n \tau_n} = 50.36 \quad \mu\mathrm{m} \\
V_{0BC} &= V_T \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} = 0.582 \quad \mathrm{V} \\
V_{CB} &= 5 - 0.6 = 4.4 \quad \mathrm{V} \\
W_{BC} &= \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q}\left(\frac{1}{N_{Abase}} + \frac{1}{N_{Dcoll}}\right)(V_0 + V_{CB})} = 1.14 \quad \mu\mathrm{m} \\
W_{eff} &= 3 - 0.1.14/2 = 2.43 \quad \mu\mathrm{m} \\
\tau_t &= \frac{W^2}{2D_n} = 1.17 \quad \mathrm{ns} \\
\beta_f &= 855 \\
\delta_n(0) &= \frac{n_i^2}{N_A} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = 1.76 \times 10^{22} \quad \mathrm{m^{-3}} \\
I_B &= \frac{Q_n}{\tau_n} = \frac{qS\delta_n(0)W_{eff}}{2\tau_n} = 3.4 \quad \mathrm{mA} \\
I_C &= \beta_f I_B = 2.9 \quad \mathrm{A}
\end{aligned}
$$

3) Le correnti dipendono esponenzialmente da V_{BE}, attraverso il parametro $\delta_n(0)$. Il β_f invece dipende dal rapporto tra il tempo di vita medio (considerato costante) e il tempo di transito. Poiché la mobilità diminuisce con la temperatura, anche il tempo di transito aumenta. Di conseguenza, il β_f a 100 gradi è più piccolo che a temperatura ambiente. Tuttavia, la corrente di base aumenta esponenzialmente con la temperatura, e quindi la diminuzione di β_f viene largamente compensata e anche la corrente di collettore aumenta.