سری هفتم

① $N_{AE} = 10\, N_{DB} \rightsquigarrow P_p = 10 n_n$

P	n	P
E	B	C

$\mu_{nE} = \frac{1}{2}\mu_{PB}$

$W_B = \frac{1}{10} L_p$

$\tau_n = \tau_p$

$\alpha = ?$

$\beta = ?$

$\alpha = B\gamma$

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_{En} + I_{Ep}} = \frac{1}{1 + \frac{D_n^E / L_n^E \; n_p^E}{D_p^B / L_p^B \; p_n^B} \tanh \frac{W_B}{L_p}} \quad ①$$

$$B = \operatorname{Sech} \frac{W_b}{L_p} \quad ②$$

$$①,② \Rightarrow \alpha = \frac{1}{\operatorname{Cosh}\left(\frac{W_b}{L_p}\right) + \frac{D_n^E}{D_p^B}\frac{L_p^B}{L_n^E}\frac{n_p^E}{p_n^B} \operatorname{Sinh}\left(\frac{W_B}{L_p}\right)} \Rightarrow$$

$$\frac{L_p^B}{L_n^E} = \frac{\sqrt{D_p \tau_p}}{\sqrt{D_n \tau_n}} = \frac{\sqrt{\frac{KT}{q} \mu_p^B \tau_p}}{\sqrt{\frac{KT}{q} \mu_n^E \tau_n}} = \sqrt{\frac{\mu_p^B}{\mu_n^E}} = \sqrt{2}$$

$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$

$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$

$$\rightarrow \frac{D_n}{D_p} = \frac{L_n^2/\tau_n}{L_p^2/\tau_p} = \frac{L_n^2}{L_p^2} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{\operatorname{Cosh}(0.1) + (0.5 \times \sqrt{2} \times 0.1)\operatorname{Sin}(0.1)} = \boxed{0.988}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.988}{1 - 0.988} = 82.33$$

2) a) میزان آلایش بیس ← ۱۰ برابر

نصف ← عرض بیس

$$I_C = \frac{qAD_p p_n}{W} = \frac{qAD_p n_i^2}{N_B W_B} e^{\frac{qV_{BE}}{kT}}$$

عرض بیس ← W

N_B ← ۱۰ برابر

W_B ← $\frac{1}{2}$ برابر

$e^{\frac{qV_{BE}}{kT}}$ ← عرض منتج بیس

$$\Rightarrow \underset{\text{جدید}}{I_C} = \frac{1}{5} I_C$$

b) $N_E = 100 N_B$

$W_E = 0.1 W_B$

$$I_{En} = \frac{n_i^2}{N_E \cdot W_E} e^{\frac{qV_{BE}}{kT}} \qquad I_{Ep} = \frac{n_i^2}{N_B \cdot W_B} e^{\frac{qV_{BE}}{kT}}$$

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_{Ep} + I_{En}} = \frac{\frac{1}{N_B \cdot W_B}}{\frac{1}{N_B \cdot W_B} + \frac{1}{N_B \cdot W_E}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B \cdot W_B}{N_E \cdot W_E}} =$$

$$\frac{1}{1 + \frac{N_B \cdot W_B}{100 N_B \times 0.1 W_B}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{10}} = 0.91$$

عرض بیس دیتر < طول نفوذ (L) $\Rightarrow B = \operatorname{sech}\left(\frac{W_b}{2L}\right)^{\circ} = 1$

به ضریب ترابرد بیس

C) $N_E = 100 N_B$

$$I_{E_n} = \frac{n_i^2}{N_E \cdot L} e^{\frac{qV_{BE}}{kT}}$$

$L_n = L_p = L$

$$I_{E_p} = \frac{n_i^2}{N_B \cdot L} e^{\frac{qV_{BE}}{kT}}$$

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_{Ep} + I_{En}} = \frac{\frac{1}{N_B \cdot L}}{\frac{1}{N_B \cdot L} + \frac{1}{N_E \cdot L}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B}{N_E}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B}{100 N_B}}$$

$$= \frac{1}{1 + 0.01} = 0.99$$

$L <$ عرض بیس دایود $\Rightarrow B = \operatorname{Sech} \frac{W_b}{L} = 0$

5) P-n-P

$N_E > N_B > N_C$

$I_{Ep} = 10\ mA$

$I_{En} = 100\mu A = 100 \times 10^{-3} = 0.1\ mA$

$I_{cp} = 9.8\ mA$

$I_{cn} = 1\mu A$

ضریب ترابرد بیس $B = ?$

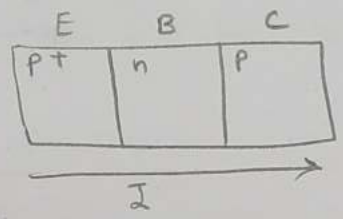
ضریب تزریق امیتر $\gamma = ?$

بهره جریان کامان بیس مشترک $= ?$

بهره جریان کامان امیتر مشترک $= ?$

$I_{CBO} = ?$

حالت نرمال

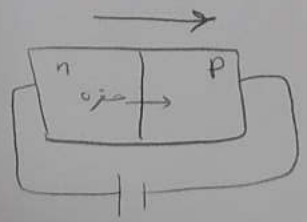


$B = \frac{I_{cp}}{I_{Ep}} = \frac{9.8\ mA}{10\ mA} = 0.98$

$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_{Ep} + I_{En}} = \frac{10\ mA}{10\ mA + 0.1\ mA} = \frac{10}{10.1} = 0.99$

بهره جریان بیس مشترک : $\alpha = B \cdot \gamma = (0.98)(0.99) = 0.97$

بهره جریان امیتر مشترک : $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.97}{1-0.97} = 32.33$



$I_{CBO} = I_{cn} = 1\mu A$

بار الکتریک ذخیره شده در بیس $= 4.9 \times 10^{-11} C$ (Q_B)

$$\tau_t = \frac{Q_B}{I_{cp}} = \frac{4.9 \times 10^{-11} C}{9.8 \times 10^{-3} A} = 5 \times 10^{-9} s = 5 ns$$

متوسط زمان عبور بار از بیس (τ_t) $= ?$

طول عمر بار (τ_p) $= ?$

چون p از امیتر می‌آید و از بیس رد می‌شود و به کلکتور می‌آید.

$$\tau_p = \frac{Q_B}{(1-B) I_{Ep}} = \frac{4.9 \times 10^{-11} C}{0.02 \times 10 \times 10^{-3} A} = 2.45 \times 10^{-7} s$$

$(1 - 0.98)$

---

6) $N_E = 10^{20} cm^{-3}$

$N_B = 10^{18} cm^{-3}$

$N_C = 10^{17} cm^{-3}$

$W_b = 0.5 \mu m$

$E_{max}(CB) = ?$

$C_j = ?$

$V_{CB} = 50 V$

حالت نرمال: E-B مستقیم، C-B معکوس

$$E_{max} = \frac{2 V_{CB}}{W} \quad (1)$$

در مقابل V_{CB} مقدار کوچکی است که قابل صرف نظر کردن می‌شود $\frac{KT}{q} \ln \frac{N_C N_B}{n_i^2}$

$$V_{CB} = \frac{1}{2} E \times W \quad (2)$$

$V_T = V_{bi} + V_{CB}$ (بایاس معکوس)

$$W_{CB} = \sqrt{\frac{2 \varepsilon V_T}{q} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)} \rightarrow$$

$$W^2 = \frac{2 \varepsilon V}{q} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right) \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{W^2 q}{\varepsilon \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)} = 2V \xrightarrow{\div W}$$

$$\rightarrow \frac{W q}{\varepsilon \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)} = \frac{2V}{W} = E$$

در رابطه 2 جایگذاری

$$V_{CB} = \frac{1}{2} \frac{W q}{\varepsilon \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)} \times W \rightarrow W^2 = \frac{2 V_{CB} \varepsilon \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)}{q}$$

$$\longrightarrow W = \sqrt{\frac{2V_{CB}\,\varepsilon\left(\frac{1}{N_a}+\frac{1}{N_d}\right)}{q}} = \sqrt{\frac{2\times 50\times 11.8\times 8.85\times 10^{-14}}{1.6\times 10^{-19}}\left(\frac{1}{10^{18}}+\frac{1}{10^{17}}\right)}$$

$\varepsilon \to \varepsilon_0 \varepsilon_r$

کلکتور و بیس ← (بیس، کلکتور)

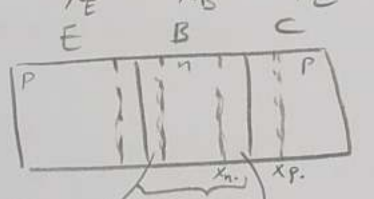
$$\Longrightarrow W = 8.47\times 10^{-5}\ \text{cm}$$ ← در رابطه ① می‌گذاریم (عرض ناحیه تخلیه بین کلکتور و بیس)

$$E = \frac{2V_{CB}}{W} = \frac{2\times 50}{8.47\times 10^{-5}} = 1.18\times 10^{6}\ \text{V/cm}$$

$$C_j = \frac{\varepsilon}{W} = \frac{11.8\times 8.85\times 10^{-14}\ \text{F/cm}}{8.47\times 10^{-5}\ \text{cm}} = 1.23\times 10^{-8}\ \frac{F}{cm^2} = \underbrace{1.23\times 10^{-8}\times 10^{-1}}_{10^{-9}}\times 10^{1} = 12.3\times 10^{-9} = 12.3\ \frac{nF}{cm^2}$$

عرض بیس با عرض چشم‌پوشی از ناحیه تخلیه EB چقدر کوتاه شده؟

منظور از عرض خنثی بیس قسمتی که ناحیه تخلیه وجود ندارد، که عرض مؤثر بیس می‌گویند



از این قسمت صرف نظر شده

پس فقط این قسمت از ناحیه تخلیه از عرض بیس کم کرده است.

فرض کنیم که ترانزیستور P-N-P باشد، قسمت X_{n_0} از بیس کم شده است

$$W = X_{n_0} + X_{p_0} = 8.47\times 10^{-5}\ \text{cm} \quad ③$$

$$X_{n_0} N_d = X_{p_0} N_a \rightarrow X_{p_0} = \frac{X_{n_0} N_d}{N_a} = \frac{X_{n_0} N_B}{N_C} \quad ④$$

④ را در ③ جایگذاری می‌کنیم

$$X_{n_0} + \frac{X_{n_0} N_B}{N_C} = W$$

$$\frac{X_{n_0} N_C + X_{n_0} N_B}{N_C} = W \rightarrow \frac{X_{n_0}(N_C+N_B)}{N_C} = W$$

$$\longrightarrow X_{n_0} = \frac{N_C W}{N_C + N_B} = \frac{10^{17}\times 8.47\times 10^{-5}}{10^{17}+10^{18}} = \frac{10^{17}\times 8.47\times 10^{-5}\ \text{cm}}{10^{17}(1+10)} = 7.7\times 10^{-6}\ \text{cm}$$

⑤

با افزایش ولتاژ بیس کلکتور (که در ناحیه فعال در بایاس معکوس است)، عرض خنثی بیس (عرض مؤثر بیس) کم می‌شود چون عرض ناحیه تخلیه بین کلکتور و بیس زیاد می‌شود. که قبلاً در قسمت اول هم بین V_{CB} و W که عرض ناحیه تخلیه کلکتور و بیس بود رابطه‌ای پیدا شد که نشان می‌دهد با یکدیگر رابطه‌ی مستقیم دارند.

پس به ازای افزایش ولتاژ کلکتور بیس، عرض مؤثر بیس کم می‌شود که به آن مدولاسیون پهنای بیس (اثر ارلی) گفته می‌شود.

8) a) $n_n = P_p$

$$W_b / L_p^n = 0.01 / 1$$

$$\mu_n^p = \mu_p^n \quad , \quad L_p^n = L_n^p$$

$$\alpha = \frac{1}{\cosh\left(\frac{W_b}{L_p}\right) + \frac{D_n^E}{D_p^B}\frac{L_p^B}{L_n^E}\frac{n_p^E}{p_n^B}\sinh\left(\frac{W_B}{L_p}\right)}$$

E	B	C
p	n	p

برای برخی از ساده سازی‌ها به سؤال 1 مراجعه شود.

$$P_p = n_n \Rightarrow n_p = p_n$$

چون $P_p = \frac{n_i^2}{n_p} \rightarrow n_p = p_n$

$$n_n = \frac{n_i^2}{p_n}$$

$$\frac{L_p^B}{L_n^E} = \sqrt{\frac{\mu_p^B}{\mu_n^E}} = \sqrt{1} = 1$$

$$\frac{D_n}{D_p} = \frac{L_n^2}{L_p^2} = 1$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{\cosh(0.01) + \sinh(0.01)} = 0.99$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.99}{1-0.99} = 99$$

b)

$W_b = L_p^n$

$n_n / p_p = 0.01 / 1$

$$\frac{n_n}{p_p} = 0.01 \Rightarrow \frac{\frac{n_i^2}{p_n}}{\frac{n_i^2}{n_p}} = 0.01$$

$$\longrightarrow \frac{n_p}{p_n} = 0.01$$

$$\alpha = \frac{1}{\cosh\left(\frac{W_b}{L_p}\right) + \frac{D_n^E}{D_p^B}\frac{L_p^B}{L_n^E}\frac{n_p^E}{p_n^B}\sinh\left(\frac{W_b}{L_p}\right)}$$

($\frac{D_n^E}{D_p^B} = 1$, $\frac{L_p^B}{L_n^E} = 1$, $\frac{n_p^E}{p_n^B} = 0.01$)

$$\alpha = \frac{1}{\cosh(1) + 0.01 \times \sinh(1)} = 0.64$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.64}{1-0.64} = 1.77$$

---

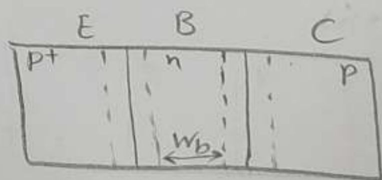
(9) پیوند p-n-p

عرض خنثی بیس $W_b = ?$

عرض خنثی بیس یعنی قسمتی که شامل ناحیه تخلیه نمی‌شود.

$V_{CB} = 0$

برای $\begin{cases} V_{EB} = 0.2^{V} \\ V_{EB} = 0.6^{V} \end{cases}$



$$V_{biCB} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_C N_B}{n_i^2} = 0.025 \ln \frac{10^{16} \times 10^{16}}{(1.5 \times 10^{10})^2} = 0.67^{V}$$

$$W_{CB} = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_T}{q}\left(\frac{1}{N_B} + \frac{1}{N_C}\right)} = \sqrt{\frac{2 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-14} \times 0.67}{1.6 \times 10^{-19}}\left(\frac{1}{10^{16}} + \frac{1}{10^{16}}\right)}$$

$V_T = V_{bi} + V_{CB}^{\nearrow 0} = 0.67$

$$= 4.18 \times 10^{-5}\ cm = 4.18 \times 10^{-5} \times 10^{4} = 0.418\ \mu m$$

$$V_{biEB} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_E N_B}{n_i^2} = 0.025 \ln \frac{10^{19} \times 10^{16}}{(1.5 \times 10^{10})^2} = 0.84^{-V}$$

$V_{EB} = 0.2$

$$W_{EB} = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_T}{q}\left(\frac{1}{N_B} + \frac{1}{N_E}\right)} = \sqrt{\frac{2 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-14} \times 0.64}{1.6 \times 10^{-19}}\left(\frac{1}{10^{16}}\right)}$$

$V_T = V_{bi} - V_{EB} = 0.84 - 0.2 = 0.64^{V}$

$$= 2.89 \times 10^{-5}\ cm$$

$= 2.89 \times 10^{-5} \times 10^{4} = 0.289\ \mu m$

بایاس مستقیم

$V_{EB} = 0.6$

می‌توان از $\frac{1}{N_E}$ صرف نظر کرد چون N_E صدبرابر N_B است که $\frac{1}{N_E}$ را می‌توان صفر گرفت

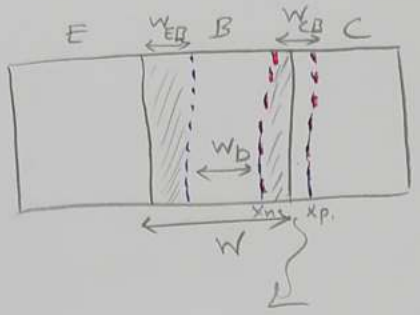
اگر هم حساب کنید مشکلی ندارد.

$V_T = V_{bi} - V_{EB} = 0.84 - 0.6 = 0.24^{V}$

$$W = \sqrt{\frac{2 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-14} \times 0.24}{1.6 \times 10^{-19}}\left(\frac{1}{10^{16}}\right)} = 1.77 \times 10^{-5}\ cm$$

$= 1.77 \times 10^{-5} \times 10^{4} = 0.177\ \mu m$

چون مقدار ناخالصی E خیلی بیشتر از B است پس می‌توان در نظر گرفت که همه‌ی ناحیه‌ی تخلیه در B است.



$$W_{CB} = X_{n.} + X_{p.} \quad (1)$$

$$X_{n.} N_B = X_{p.} N_C \rightarrow X_{p.} = \frac{X_{n.} N_B}{N_C} \quad (2)$$

$$(1),(2) \Rightarrow W_{CB} = X_{n.} + \frac{X_{n.} N_B}{N_C} = \frac{X_{n.} N_C + X_{n.} N_B}{N_C} \Rightarrow$$

$$W_{CB} = \frac{X_{n.} (N_C + N_B)}{N_C}$$

$$\Rightarrow X_{n.} = \frac{N_C}{N_C + N_B} W_{CB}$$

$$W_b = W - W_{EB} - \frac{N_C}{N_C + N_B} W_{CB} \rightarrow \frac{10^{16}}{10^{16} + 10^{16}} \left(4.18 \times 10^{-2}\right) \mu m = 0.024$$

$$\text{If } V_{EB} = 0.2\ V$$

$$\Rightarrow W_b = 1.5 - 0.289 - 0.024 = 1.19\ \mu m$$

$$\text{If } V_{EB} = 0.6$$

$$W_b = 1.5 - 0.177 - 0.024 = 1.3\ \mu m$$

10) P-n-P

$$L_p^B = \sqrt{D_p \tau_p} = \sqrt{\frac{kT}{q} \mu_p \tau_p} = \sqrt{0.026 \times 400 \times 2500 \times 10^{-12}} = 1.61 \times 10^{-4}\,cm$$

$$= 1.61\,\mu m$$

$$D_p = \frac{kT}{q} \mu_p$$

$$L_n^E = \sqrt{D_n \tau_n} = \sqrt{\frac{kT}{q} \mu_n \tau_n} = \sqrt{0.026 \times 150 \times 100 \times 10^{-12}} = 1.97 \times 10^{-5}\,cm$$

$$\times 10^{+4} = 0.197\,\mu m$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\mu_n^E N_D^B W_b}{\mu_p^B N_A^E L_n^E}} = \frac{1}{1 + \frac{150 \times 10^{16} \times 0.2^{\mu m}}{400 \times 5 \times 10^{18} \times 0.193^{\mu m}}} = 0.9992$$

$$B = 1 - \frac{W_b^2}{2L_p^2} \quad \text{یا} \quad B = \text{Sech}\frac{W_b}{L_p} = \text{Sech}\left(\frac{0.2}{1.61}\right) = 0.996$$

از این روش هم $B = 0.996$

$\left(\frac{1}{\text{Cosh}}\right)$ در ماشین حساب

$$\beta = \frac{B\gamma}{1 - B\gamma} = \frac{0.996 \times 0.9992}{1 - (0.996 \times 0.9992)} = 212$$

$$\tau_t = \frac{W_b^2}{2D_p} = \frac{(0.2 \times 10^{-4})^2}{2 \times 10.4} = 1.92 \times 10^{-11}\,S = 19.2\,ps$$

با روش کنترل بار

$\frac{kT}{q}\mu_p = 0.026 \times 400 = 10.4$

چک کنید چرا جواب نمی‌شود

حل المثل متفاوت هست؟

$$\beta = \frac{\tau_p}{\tau_t} = \frac{2500\,ps}{19.2\,ps} =$$