

آیا می‌دانستید با عضویت در سایت جزوه بان می‌توانید به صورت رایگان جزوات و نمونه

سوالات دانشگاهی را دانلود کنید؟؟

فقط کافیست روی لینک زیر ضربه بزنید



[ورود به سایت جزوه بان](#)

Jozveban.ir

telegram.me/jozveban

sapp.ir/sopnuu

جزوات و نمونه سوالات پیام نور



@sopnuu
jozveban.ir

بسم الله الرحمن الرحيم

فیزیک الکترونیکی

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

استاد حسینی جوبه

تهیه کننده: حامد مظاهری

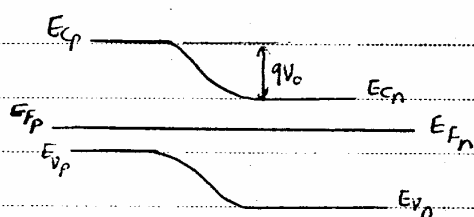
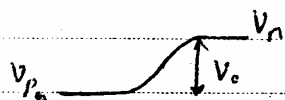
Hamed.mazaheri@gmail.com

شما نیز می توانید مطالب و مقالات خود را برای ما ارسال کنید تا با نام خودتان در سایت قرار داده شود تا دیگر دوستان نیز از آن بهره ببرند.

سیوندیله ای pn حالت تعادل و تحت بایاس از نظریه بسیل پیوند، و آرام بانخاسته، جریاها و درفیت و دبیون

فلیت p مثبت تر از n است $\rightarrow$ بایاس مستقیم (Forward biased) $V_{p0} > 0$
 تحت بایاس $\left\{ \begin{array}{l} \text{فلیت n مثبت تر از p است} \rightarrow \text{بایاس معکوس (Reverse)} \quad -V_{p0} < 0 \end{array} \right.$

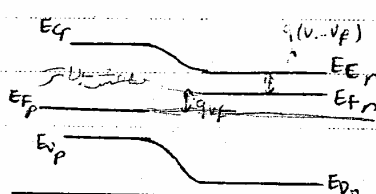
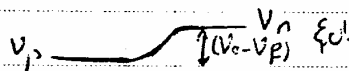
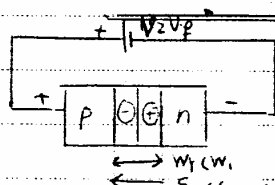
در حالت تعادل



حرکت حامل ϕ	جَبَلی جریان J
1) دبیون خوه $a_1 \rightarrow$	$\rightarrow$
2) درفیت خوه $b_1 \leftarrow$	$\leftarrow$
3) دبیون الکترون $c_1 \leftarrow$	$\rightarrow$
4) درفیت الکترون $d_1 \rightarrow$	$\leftarrow$
$d_1 + c_1$	$\leftarrow$

این طریقه با هم مانع و ممکن الحاق هستند.

در بایاس معکوس که فلیت تر پیوند



حرکت حامل ϕ	جَبَلی جریان J
1) دبیون خوه $a_1 \rightarrow$	$\rightarrow$
2) درفیت خوه $b_1 \leftarrow$	$\leftarrow$
3) دبیون الکترون $c_1 \leftarrow$	$\rightarrow$
4) درفیت الکترون $d_1 \rightarrow$	$\leftarrow$
$a_1 \ll c_1$	$\rightarrow$

پس مستقیم جریان درفیت اکثر از جریان دبیون خواهد شد

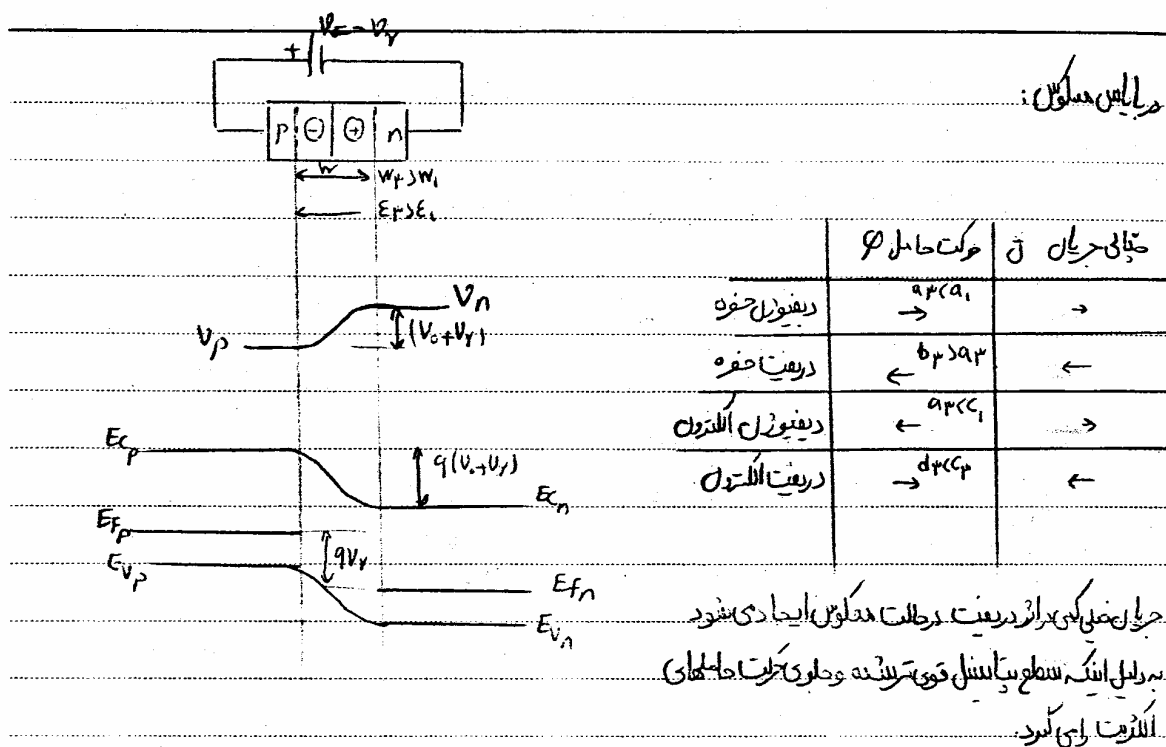
(۷)

جریان دبیون الکترون و خوه با هم جمع شده و برابر می شود این را می گویند

در بایاس مستقیم $V = +V_0$ میزان اکثریتی حاملی بر خلاف میلان اکثریتی داخلی است در نتیجه بیست غلبه جریان دبیون بر صورت درفیت می شود چنانچه در دبیون اکثریتی اکثریتی است انتظار داریم که در بایاس مستقیم

- با اعمال بیس معکوس میلان خارجی جمع جهت با میلان داخلی است در نتیجه جریان دبیون به قدر صفر در بایاس درفیت ای بار

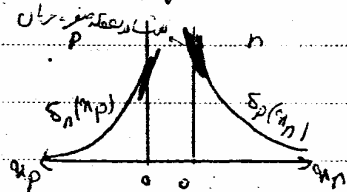
شود جریان درفیت خوه با هم جمع شده و برابر می شود این را می گویند



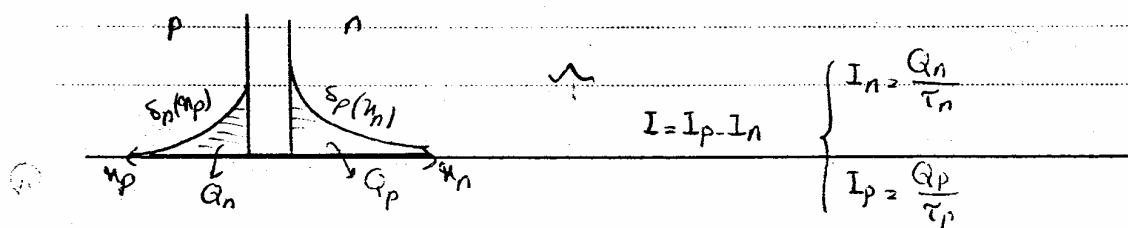
درایان مستقیم: به علت آنکه سد پتانسیل نبیند $(V_n - V_p)$ جریان ناشی از جریان نفوذی (درینفوزل) حامل‌ها خواهد بود. چون مربوط به حامل‌های الکترون می‌باشد جریان زیادی خواهد بود.

درایان معکوس: به علت آنکه سد پتانسیل نبیند $V_p + V_n$ جریان نفوذی بسیار کم است و جریان ناشی از جریان درینفوزل حامل‌های اقلیت که بسیار کم هستند ایجاد می‌شود که با افزایش میدان الکتریکی جریان افزایش می‌دهد.

رابطه جریان و ولتاژ بیوند $p-n$: $I = I_0 (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$ $\leftarrow$ جریان بیوند



از روش اول: نسبت حامل‌های نفوذی در هر بیوند
 $I_p(n_n = 0) - I_n(n_p = 0) = I$
 روش دوم: بارهای تزئینی در هر سمت در حالت دایندار

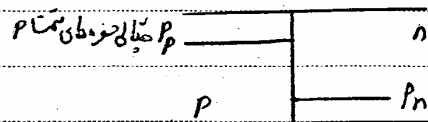


- جابلی حالتی امانی تزیعی:

$$\delta_p(x_p) = e^{\frac{qV_0}{kT}}$$

$$\delta_n(x_n) = e^{\frac{qV_0}{kT}}$$

① در حالت تعادل باقیمانده: $\frac{p_p}{p_n} = e^{\frac{qV_0}{kT}} \Rightarrow p_p = p_n e^{\frac{qV_0}{kT}}$



① در رابطه: $V_0 = P_p$

همان p_p چون ضربه جابلیاس باشد

و با استفاده تغییر می کند

$$p(x_p) = e^{\frac{q(V_0 - V)}{kT}}$$

بیشتر $+V_f$ و کمتر $-V_r$

تغییر می کند $p(x_n) = p_n e^{\frac{qV}{kT}}$

تغییر می کند $p(x_n) = p_n e^{\frac{qV}{kT}}$

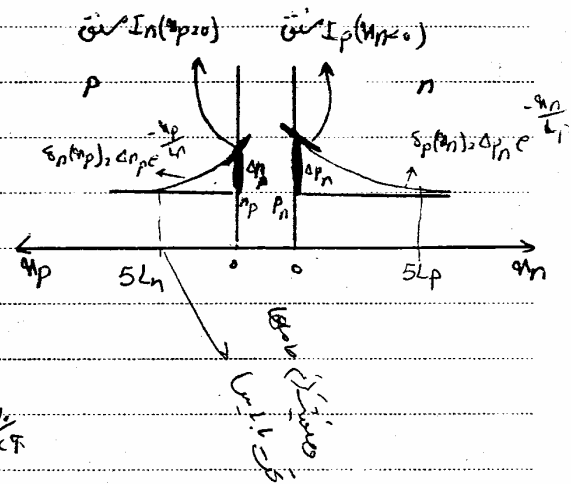
$$\frac{p_n e^{\frac{qV_0}{kT}}}{p(x_n)} = e^{\frac{q(V_0 - V)}{kT}}$$

جابلی حفره ها در نر $\Rightarrow p(x_n) = p_n e^{\frac{qV}{kT}}$

جابلی حفره ها امانی در نر $\Delta p_n = p(x_n) - p_n$

مقدار Δp_n در حالت تعادل

جابلی حفره ها امانی در نر $\Delta p_n = p_n (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$



$$\Delta p_n = \delta_p(x_n = 0) = p_n (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

② در حالت تعادل: $\frac{n_p}{p_p} = e^{\frac{qV_0}{kT}} \Rightarrow n_p = p_p e^{\frac{qV_0}{kT}}$

③ در رابطه: $\frac{n(x_n)}{n(x_p)} = e^{\frac{q(V_0 - V)}{kT}}$

$$\frac{n_p e^{\frac{qV_0}{kT}}}{n(x_p)} = e^{\frac{q(V_0 - V)}{kT}}$$

جابلی الکترون های امانی در نر $\Delta n_p = n_p (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$

④

$$n(x_p) = n_p e^{\frac{qV}{kT}}$$

$$\Delta n_p = n(x_p) - n_p = n_p (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

$$\Delta n_p = \delta n_p(x_p = 0) = n_p \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

$$\frac{\delta' \delta_p(x_n)}{\delta x_n} - \frac{\delta_p(x_n)}{L_p^2} = 0$$

معادله دیفرانسیل حفره:

$$\text{حل مسئله (1)} \rightarrow \delta_p(x_n) = \delta_p(x_n = 0) e^{-\frac{x_n}{L_p}} = \Delta n_p e^{-\frac{x_n}{L_p}}$$

تجلی خود طاق اضافی در n_p حل دومین $L_p \gg$ طول مسافت n

معادله دیفرانسیل الکترول:

$$\frac{\delta' \delta_n(x_p)}{\delta x_p} - \frac{\delta_n(x_p)}{L_n^2} = 0$$

$$\text{حل مسئله (2)} \rightarrow \delta_n(x_p) = \Delta n_p e^{-\frac{x_p}{L_n}}$$

تجلی الکتریک اضافی در p حل فرض $L_n \gg$ طول مسافت p

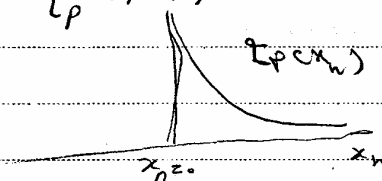
راه اول: مشتق گیری:

$$\text{تجلی جریان دیفرانسیل} \rightarrow J_p(\text{diff}) = -q D_p \frac{d \delta_p(x_n)}{d x_n}$$

$$I_p(x_n) = A \cdot J_p(\text{diff})$$

$$I_p(x_n) = qA \frac{D_p}{L_p} \Delta n_p e^{-\frac{x_n}{L_p}} = qA \frac{D_p}{L_p} \delta_p(x_n)$$

$$\text{(3)} \quad I_p(x_n = 0) = qA \frac{D_p}{L_p} \Delta n_p$$



$$\text{تجلی جریان دیفرانسیل} \rightarrow J_n(\text{diff}) = q D_n \frac{d \delta_n(x_p)}{d x_p} \text{ (4)}$$

(۴)

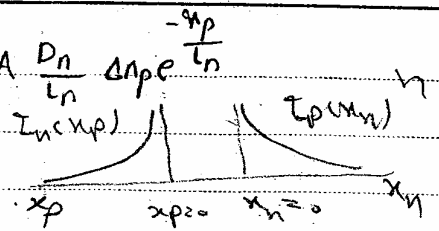
$$I_n(x_p) = A J_n(\text{diff}) \Rightarrow I_n(x_p) = -qA \frac{D_n}{L_n} \Delta n_p e^{-\frac{x_p}{L_n}}$$

$$I_n(x_n) = -qA \frac{D_n}{L_n} \Delta n_p$$

⑤ $I_n(x_p=0) = -qA \frac{D_n}{L_n} \Delta n_p$

* $I = I_p(x_n=0) - I_n(x_p=0)$ تفاضل جول میوه‌ها را می‌زنند

خلافت صحت هم داشتند



$$I = qA \left(\frac{D_p}{L_p} p_n + \frac{D_n}{L_n} n_p \right) (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

$$I = I_0 (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

I_0 وابسته به مشخصات فیزیکی و هندسی پیوند دارد.

$$p_n = p_p e^{-\frac{qV_0}{kT}}$$

$$n_p = n_n e^{-\frac{qV_0}{kT}}$$

$$I_0 = qA \left(\frac{D_p}{L_p} N_A + \frac{D_n}{L_n} N_D \right) e^{-\frac{qV_0}{kT}} (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

$$\Rightarrow I = I_0 (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

$$Q_p = qA \int_0^\infty \delta_p(x_n) dx_n$$

روشنی در

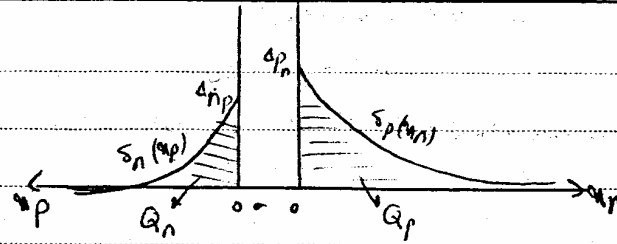
$$Q_p = qA \Delta p_n \int_0^\infty e^{-\frac{x_n}{L_p}} dx_n$$

$$Q_p = qA L_p \Delta p_n$$

⑥ * $I_n(x_n) = -qA D_n \delta_n(x_p)$

نوعی از $I(x) = I_p(x_n) - I_n(x_p)$

$$I(x=0) = I_p(x_n=0) - I_n(x_p=0)$$



$$I_p(x_n \rightarrow 0) = \frac{Q_p}{\tau_p} = qA \frac{L_p}{\tau_p} \Delta p_n$$

$$I_p(x_n \rightarrow 0) = qA \frac{D_p}{L_p} \Delta p_n$$

$$Q_n = -qA \int_0^\infty \delta n(x_p) dx_p = -qA L_n \Delta n_p$$

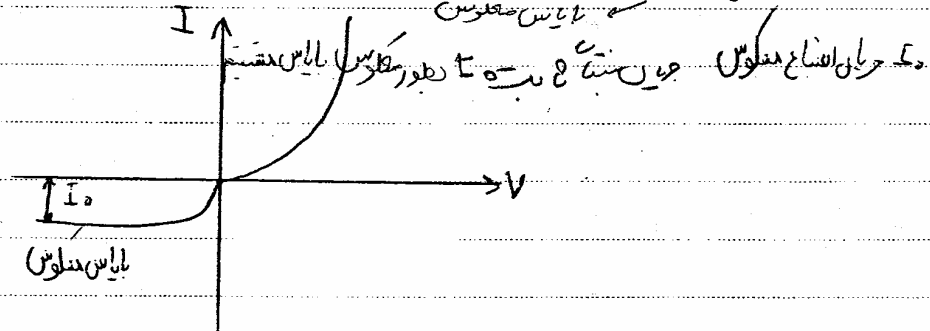
$$I_n(x_p \rightarrow 0) = \frac{Q_n}{\tau_n} = -qA \frac{D_n}{L_n} \Delta n_p$$

$$I = I_p(x_n \rightarrow 0) - I_n(x_p \rightarrow 0)$$

$$I = I_0 (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

بایس مستقیم $\Rightarrow V = V_F \Rightarrow V_F \gg \frac{kT}{q} \Rightarrow I = I_0 e^{\frac{qV_F}{kT}}$

بایس معکوس $\Rightarrow V = -V_F \Rightarrow -V_F \ll -\frac{kT}{q} \Rightarrow I = I_0 (e^{-\frac{qV_F}{kT}} - 1) \Rightarrow I = -I_0$



۷۵. در یک پیوند پلانی، دیالیزم با دانه‌های در حالت تعادل را رسم کرده و مقطر را از دست آورید و با مقدار خط از نمودار مقابل کنید.
 ب. n_i و n_p ، Q ، Q^+ ، W ، Q^- و E را رسم کنید.

$$n_i = 1.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$$

$$k_T = 1.259 \text{ V}$$

$$N_A = 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_D = 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$E_g = 1.1 \text{ eV}$$

$$\epsilon = 11.8 \epsilon_0$$

$$E_0 = 1.1 \times 10^{-18}$$

بقره) در پیوندی پای pn و تحت تابش $V_F = 0.3V$ ، I_P و I_n را یکس n رسم کنید، $S_p(n)$ ، $S_n(p)$ را رسم کنید

$$N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$A_p = 400$$

$$A_n = 1000$$

$$\tau_p = \tau_n = 10 \mu s$$

$$n_i = 10^{10}$$

نحوه تغییرات جزیی حامله‌های اقلیت تحت بایاس:

$$\delta p(x_n) = \Delta p_n e^{-\frac{x_n}{L_p}}$$

جزیی حفره‌دار n:

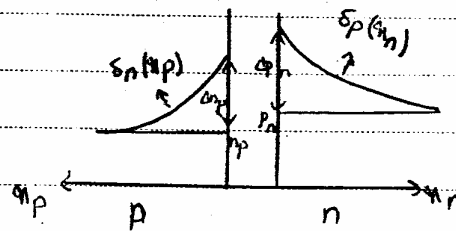
$$\delta n(x_p) = \Delta n_p e^{-\frac{x_p}{L_n}}$$

جزیی الکترون‌دار p:

$$\Delta p_n = p_n (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

$$\Delta n_p = n_p (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

در بایاس مستقیم $\Rightarrow$

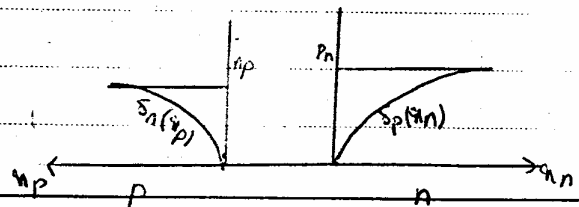
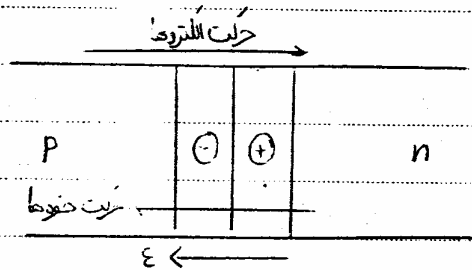


$$V = -V_y \Rightarrow \begin{cases} -V_y \ll -\frac{kT}{q} \\ e^{-\frac{qV_y}{kT}} = 0 \end{cases}$$

در بایاس معکوس:

$$\Delta p_n = -p_n$$

$$\Delta n_p = -n_p$$



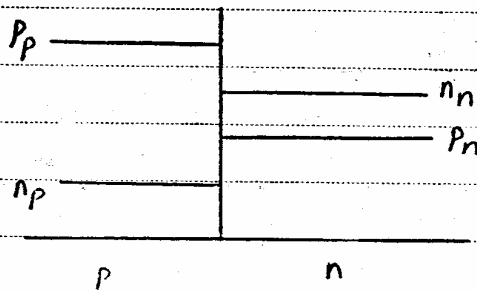
(1)

پسوند p^+n : اظلام در قسمت p خیلی بیشتر از قسمت n است.

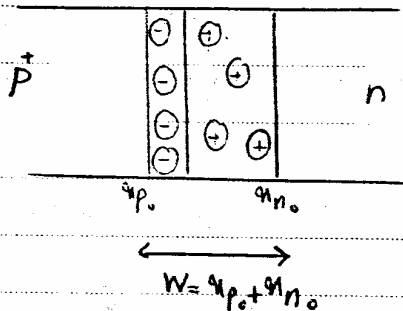
$$n_n = N_D \ll N_A = p_p$$

$$\frac{n_i^2}{p_n} \ll \frac{n_i^2}{n_p}$$

$$n_p \ll p_n : p^+n \rightarrow$$



$$n_n \gg n_p \leftarrow N_D \ll N_A \text{ چون}$$



$$I = I_s (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

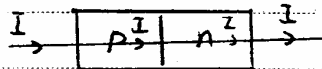
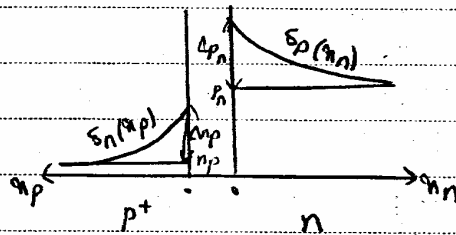
$$I = qA \left(\frac{D_p}{L_p} p_n + \frac{D_n}{L_n} n_p \right) (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

در p^+n چون $p_n \ll n_p$ پس از $\frac{D_n}{L_n} n_p$ صرف نظر:

$$I \approx qA \frac{D_p}{L_p} p_n (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

$$I = I_p (q_n = 0)$$

جریان در پیوند p^+n تقریباً جریان منطقه p باشد که در مدارات
سوئیچینگ باری ورود



جریانهای داخل پیوند $p-n$:

$$I = I_0 (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

$$I = I_p + I_n$$

در جهت n : $I(q_n) = I_p(q_n) + I_n(q_n)$

قبل از ولتاژ اعمال شده:

$$I_p = I_p(q_n) = qA \frac{D_p}{L_p} p_n (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) e^{-\frac{q_n}{L_p}}$$

$$I_n(q_n) = I(q_n) - I_p(q_n)$$

$$\Rightarrow I_n(q_n) = qA \left(\frac{D_p}{L_p} p_n \right) (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) - qA \frac{D_p}{L_p} p_n (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) e^{-\frac{q_n}{L_p}}$$

$$I_n(q_n) = qA \frac{D_p}{L_p} p_n (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) (1 - e^{-\frac{q_n}{L_p}}) + qA \frac{D_n}{L_n} n_p (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

(۱۴)

$$I_n(q_n) = I_{nr}(q_n) + I_{np}$$

متغیر q_n در I_{nr} وابسته به q_n

روشنی: $I(\phi_p) = I_p(\phi_p) + I_n(\phi_p)$

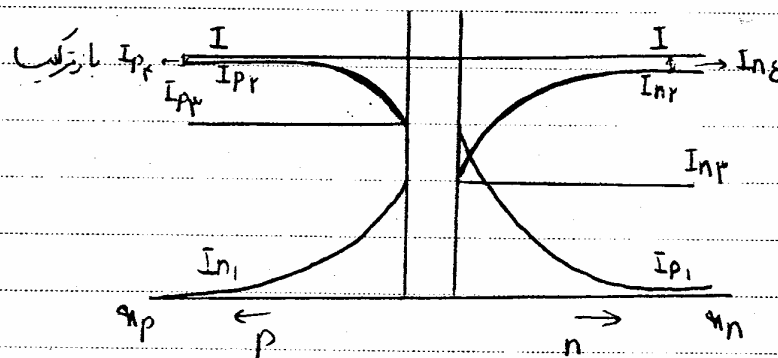
قبل از تابش: $I_{n_i} = I_n(\phi_p) = qA \frac{D_n}{L_n} n_p (e^{\frac{q\phi_p}{kT}} - 1) e^{-\frac{q\phi_p}{L_n}}$

$I_p(\phi_p) = I(\phi_p) - I_n(\phi_p)$

$I_p(\phi_p) = qA \frac{D_n}{L_n} n_p (e^{\frac{q\phi_p}{kT}} - 1) (1 - e^{-\frac{q\phi_p}{L_n}}) + qA \frac{D_p}{L_p} p_n (e^{\frac{q\phi_p}{kT}} - 1)$

$I_p(\phi_p) = I_{p_r}(\phi_p) + I_{p_r}$
 و با توجه به ϕ_p و ϕ_n

جریانهای داخل پیوند p-n:



I_{p_1} : جریان حفره‌های نفوذی از p به n

I_{n_1} : جریان الکترونهای نفوذی از n به p

I_{n_2} : جریان الکترونهای دشت n جهت باز ترکیب با حفره‌های نفوذی I_{p_1}

I_{p_2} : جریان حفره‌های دشت p جهت باز ترکیب با الکترونهای نفوذی I_{n_1}

$I_{p,n}$: جریان حفره‌های اکثریت قسمت m جهت تأمین جریان حفره‌های نفوذی به n
 $I_{n,p}$: جریان الکترون‌های اکثریت قسمت n جهت تأمین جریان الکترون‌های نفوذی به p

$I_{p,n}$: جریان الکترون‌های اکثریت قسمت n که در ناحیه تخلیه در محل پیوند با حفره‌ها ($I_{p,p}$) باز ترکیب می‌شوند (جریان سیارناجین)
 $I_{n,p}$: جریان حفره‌های اکثریت قسمت m که در ناحیه تخلیه در محل پیوند با الکترون‌ها ($I_{n,n}$) باز ترکیب می‌شوند

در رابطه I_r ظاهر می‌شود چون کوچک بوده

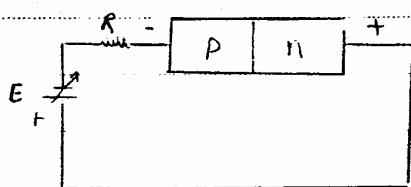
I : در هر n که ارتفاع منحنی جمع شوند I که از داخل پیوند عبوری کند را می‌دهند.

سلسلت در پیوند pn :

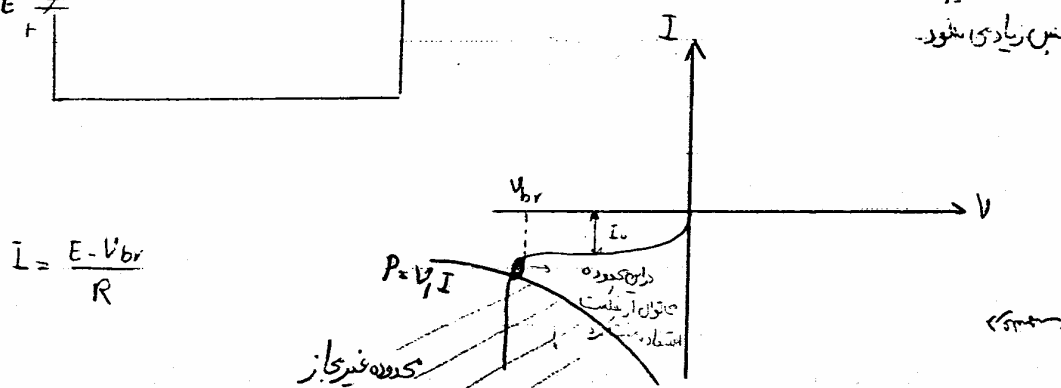
در این معادله و با اعمال ولتاژ محدود ولتاژ شکست (V_{br} : break down) عمل سلسلت انجام می‌شود و جریان معکوس

زیادی از پیوند عبوری کند.

اگر این جریان معکوس توسط مدار محدود شود در حد جریان قابل تحمل پیوند pn باشند، شکست رخ نخواهد داد.



اگر E را بیش از یک سطح جریان انتخاب زیاد می‌شود تا وقتی که به ولتاژ شکست می‌رسد و سپس زیاده‌ای می‌شود.



$$I = \frac{E - V_{br}}{R}$$

سلسله پیوندی در اثر افزایش بیش از حد میدان الکتریکی درون پیوند ایجاد می شود.

ولتاژ پیوند حالت تعادل

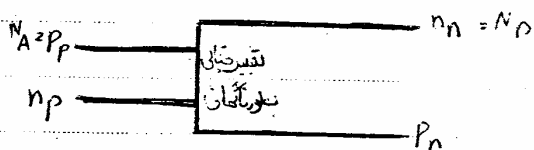
$$E = \frac{2(V_0 + V_r)}{W}$$
 ولتاژ معکوس

$$W$$
 عرض ناحیه خازن

عوامل تعیین کننده } کاهش W ← افزایش E
 در افزایش E } افزایش V_r ← افزایش E

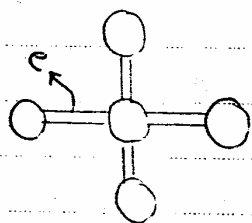
سلسله } زبری
 } بهمنی

سلسله زبری: پیوند پلیمری یا اضافی زیاد دو قسمت n و p ← باعث کاهش W و افزایش E می شود.

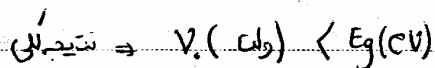


N_A و N_p زیاده تر (از W) هستند.

در سلسله زبری: میدان الکتریکی نوی باعث آرسازی مستقیم الکترودها از پیوندهای کوالان می شود. در نتیجه جریان معکوس ناگهان



به شدت زیادی شود.



تَوَلَّيْزِلْ : حُرَّتْ اَزْ اِيْزِلْدِ تَلَوْنِيْزْ مَرَبْ اِيْزِلْدِيْزْ n اَتَوَلَّيْزِلْ زِدْ لَوْنِيْزْ (بِهْ دِلِّلْ اِيْزِلْدِيْزْ زِيَادُوْزْ اَلْم)

* تعلیمات زوری درون‌های پاس (کمرار ۶۷) اتفاق می‌افتد.

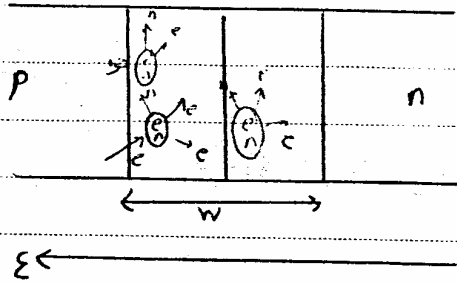
1. نسلک‌های همی (آوالانچ Avalanch) با طولی و عمق p و n معمولاً نسبت (زاد و نسبت)

(۱) اگر $\frac{v_2}{v_1} \leftarrow \frac{v_2}{v_1} \leftarrow \frac{v_2}{v_1}$ (۲) اگر $\frac{v_2}{v_1} \leftarrow \frac{v_2}{v_1} \leftarrow \frac{v_2}{v_1}$

اِزْلَسْ مِيْدَانِ اللّٰتِيْزِيْ بِاَعْتِ اِزْلَسْ اَمْرِيْ حَسْبِيْ الْمَلِكُ وَكَأَمْ خُورِدْ كَمَا بَايْتُوْدْ كُوَالَانْ وَكَارْلَسَارِيْ رَحِمِ اللّٰتِيْزِيْ وَحَسُوْ (EH, p)

حیدر انزلی و مرستاب کے شہزادہ ابن حاتم جدید کے لاشندہ جو باغی کے ارادی عامل حاکم حیدر کی شہزادی و تصویرت محسن والا امام دار

و یکدفعه جریان منطوق زیادی برقرار می شود

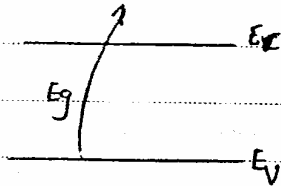


ولتاژ منطوق اسمانی

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{V}{V_{bv}}\right)^n}$$

ولتاژ شکست

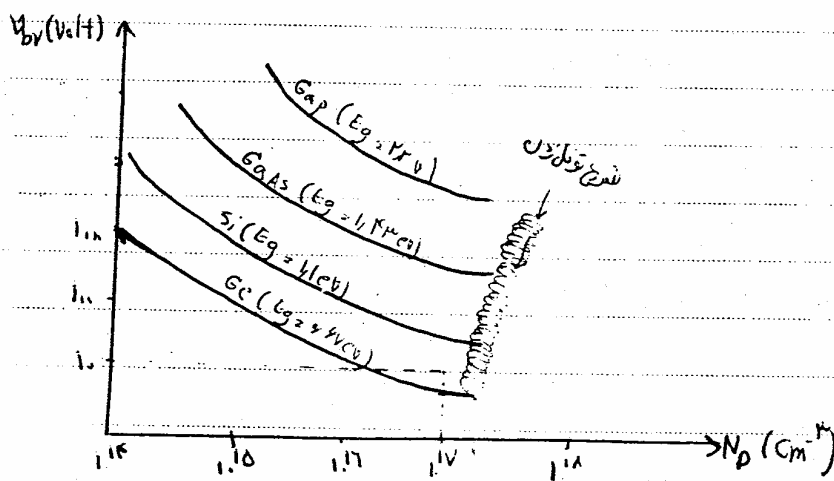
$$\begin{cases} V \rightarrow V_{bv} \\ M \rightarrow \infty \end{cases}$$



هرچه E_g بزرگتر باشد باید انرژی بیشتری داشته باشد و ولتاژ شکست بیشتر باشد

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ناخالصی کمتر} \\ E_g \text{ بیشتر} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ولتاژ شکست بالاتر}$$

بنابراین تغییرات ولتاژ شکست بر حسب خدای احتمالی نامعالمی رهنده N_D برای نیمه هادی مختلف در پیوند p^n



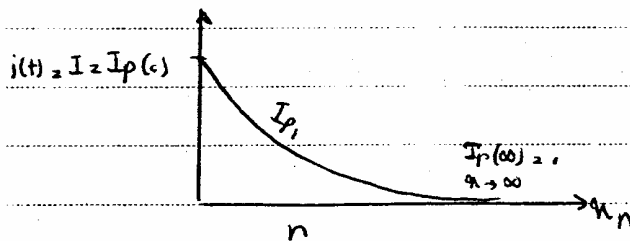
شرایط لوزا (ac):

تغییرات زمانی بارهای ذخیره شده $Q_p(t)$ و

معادله دیفرانسیلی

$$\int_0^\infty \frac{-J_p(\eta, t)}{\delta \eta} d\eta = \int_0^\infty \left(q \frac{\delta p(\eta, t)}{\tau_p} + q \frac{\delta \delta p(\eta, t)}{\delta t} \right) d\eta$$

$$J_p(0) - J_p(\infty) = q \int_0^\infty \left[\frac{\delta p(\eta, t)}{\tau_p} + \frac{\delta \delta p(\eta, t)}{\delta t} \right] d\eta$$

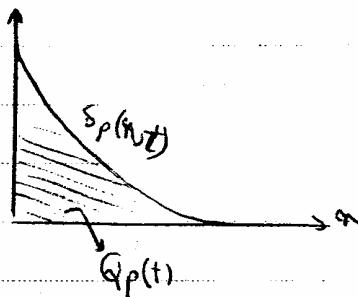


$$J = \frac{i}{A} \quad i(t) = AJ$$

سطح مقطع میوه

$$\text{if } \eta \rightarrow \infty \Rightarrow i_p(0) = i(t), \quad i_p(\infty) = 0$$

$$i(t) = \frac{qA}{\tau_p} \int_0^\infty \delta p(\eta, t) d\eta + qA \frac{\delta}{\delta t} \int_0^\infty \delta p(\eta, t) d\eta$$



$$i(t) = \frac{Q_p(t)}{\tau_p} + \frac{dQ_p(t)}{dt}$$

جریان لحظاتی میوه

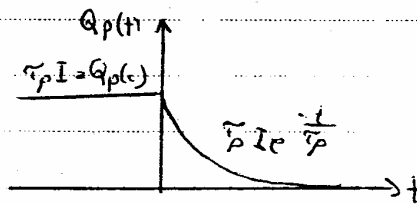
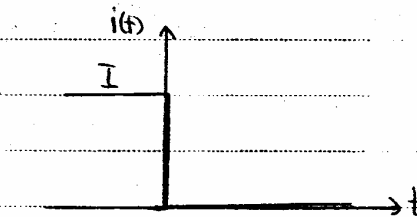
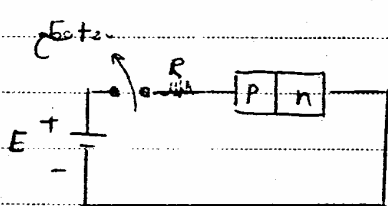
⑧

تغییرات لحظه‌ای بار + نرخ بارگیری بار = جریان لحظه‌ای پیوند

$$\begin{cases} \text{در حالت ماندگار} \Rightarrow \frac{dQ_p(t)}{dt} = 0 \\ i(t) = \frac{Q_p(t)}{\tau_p} \end{cases}$$

- اگر از پیوند pn در حالت زیادی جریان I عبور کند و در لحظه صفر $t=0$ جریان قطع شود

در زمانهای نزدیکتر از صفر $t < 0$ مقدار تغییرات زمانی بارهای ذخیره شده و ولتاژ دوسر پیوند $V(t) = \varphi$



$$Q_p(0) = \tau_p I$$

$$t \geq 0 \Rightarrow 0 = i(t) = \frac{Q_p(t)}{\tau_p} + \frac{dQ_p(t)}{dt}$$

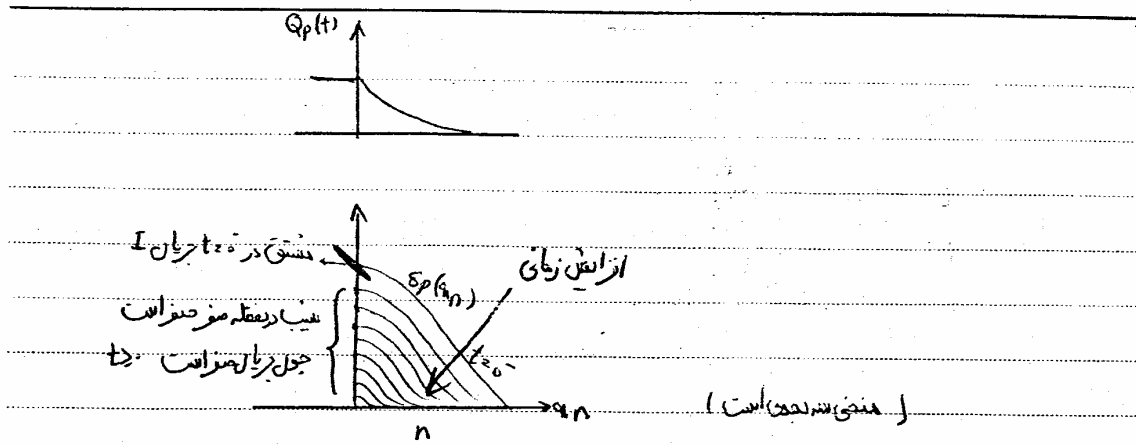
$$\text{تبدیل لاپلاس} \Rightarrow \frac{Q_p(s)}{\tau_p} + sQ_p(s) - Q_p(0) = 0$$

$$Q_p(s) = \frac{\tau_p I}{s + \frac{1}{\tau_p}}$$

تبدیل مقلوب

$$Q_p(t) = \tau_p I e^{-\frac{t}{\tau_p}} \quad t \geq 0$$

در τ_p : طول عمر فرکانس کمینوع بنویسهای نسبتی دارد



$$Q_p = qA \int_0^{\infty} \delta_p(x_n, t) dx_n$$

$$Q_p(t) = qA p_n \left(e^{\frac{qV(t)}{kT}} - 1 \right) \int_0^{\infty} e^{-\frac{x_n}{L_p}} dx_n$$

$$Q_p(t) = qA p_n L_p \left(e^{\frac{qV(t)}{kT}} - 1 \right)$$

$$V(t) = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{\tau_p I}{qA L_p p_n} e^{-\frac{t}{\tau_p}} - 1 \right)$$

برای تسریع در کاهش بار، طول قسمت n یا ضخامت n است از طول نمودار باشد

طول قسمت n $L_p \gg$

یا دریا یا ریا

narrow base diode

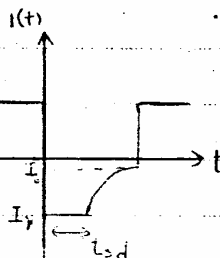
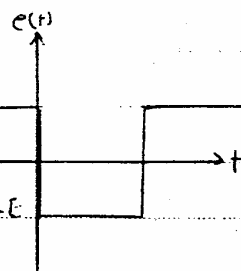
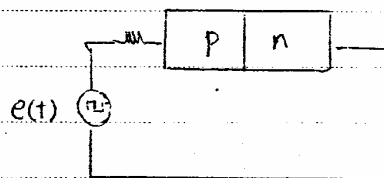
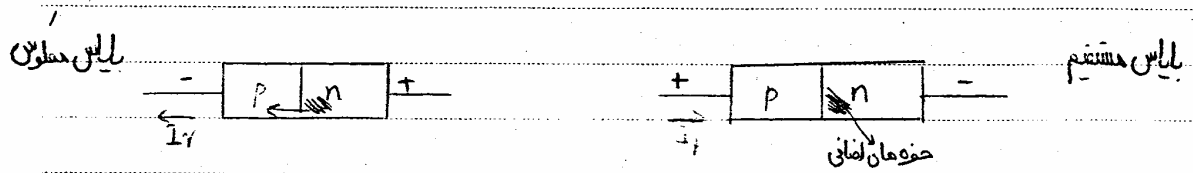
(Reverse Recovery Transient)

اندازه یازایی مملون بوند pn :

اگر بوند pn تحت بلیاس مستقیم که جریان I_F از آن عبوری اند بطور ناگهانی تحت بلیاس مملون قرار گیرد برای مدت زیادی جریان مملون

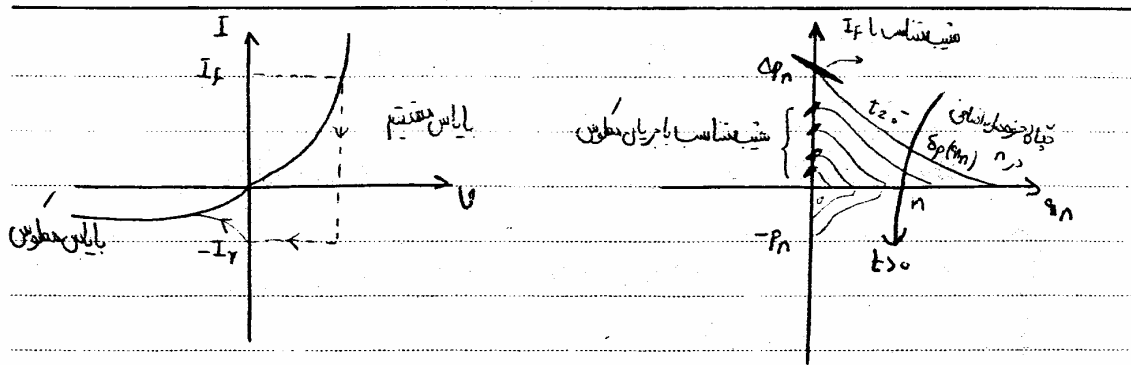
زیاد از آن عبوری اند و پس از گذشت زمان در نقطه به جریان اشباع مملون می رسد.

علت آن: وجود خفوه های اضافی در قسمت n که تحت بلیاس مستقیم قرار گرفته اند و تحت بلیاس مملون در جهت عکس حرکت می کنند.



زمان تاخیر در عبور بار

storage delay time



برای تعیین t_{sd} مدت زمانی که طول می کشد خفوه‌های اضافی منقرض شوند، لازم می‌شود

$$i(-) = I_F$$

$$Q_p(-) = \tau_p I_F$$

$$t \geq 0 \quad i(t) = -I_Y \quad \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \quad i(t) = \frac{Q_p(t)}{\tau_p} + \frac{dQ_p(t)}{dt}$$

$$\text{بسیار آسان} \quad -\frac{I_Y}{s} = \frac{Q_p(s)}{\tau_p} + sQ_p(s) - Q_p(-)$$

$$Q_p(s) = \frac{\tau_p I_F}{s + \frac{1}{\tau_p}} - \frac{I_Y}{s(s + \frac{1}{\tau_p})}$$

$$\textcircled{1} \quad t \geq 0 \quad Q_p(t) = \tau_p \left(-I_Y + (I_F + I_Y) e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right)$$

$$\text{تبدیل به زمان:} \quad \begin{cases} Q_p(t) = qA \int \delta_p(x_{nst}) dx_n = qA \Delta p_n(t) \int_0^\infty e^{-\frac{qn}{L_p}} dq_n \\ \Delta p_n(t) = qA L_p \delta_p(n, t) \end{cases}$$

$$\Delta p_n(t = t_{sd}) = 0$$

$$\textcircled{2} \textcircled{1} \rightarrow t_{sd} = \tau_p \ln \left(1 + \frac{I_F}{I_Y} \right)$$

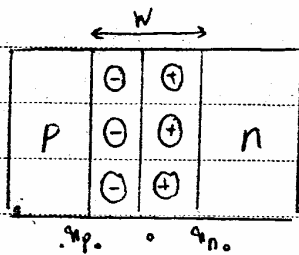
60

یك روش برای تعیین τ_p می‌تواند به‌کاربرد

حازن سویند pn :

میونند p. دو استرازی، دو مدارات از خود نشان می دهد.

۱۱) خارج پیوند C: : مثال پیوند در اثر وجود یاهای مثبت و منفی که در هر پیوند در اثر وجود یاهای مثبت و منفی آنها دیده می شود و این را به پیوند قطبی می گویند.



$$Q^+ = |Q^-|$$

$$Q^+ = q A q n_0 N_D \quad , \quad q n_0 = \frac{W N_A}{N_A + N_D}$$

$$\textcircled{C} \Rightarrow G^+ = \frac{qA_N A_D W}{N_A + N_D}$$

$$\textcircled{1} \quad W_2 = \left[\frac{\gamma E (V_0 - V)}{q} \frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \textcircled{2} \quad Q = A \left[\gamma E (V_0 - V) \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

باری و انستیتو سیندریا $\frac{1}{2}(V - V_0)$ و تشارپ
و تشارپ $\checkmark$ و تشارپ در حالت تقابل

$$V_2 \begin{cases} +V_F & \text{فولت مثبت} \\ -V_F & \text{فولت منفرجه} \end{cases}$$

$$C_j = \frac{dq}{d(v_c - v)} \Rightarrow C_j = \frac{A}{r} \left[\frac{r q \epsilon}{(v_c - v)} \cdot \frac{N_A N_D}{(N_A + N_D)} \right] \frac{1}{\frac{1}{v_c} (1 - \frac{v}{v_c})}$$

$$C_{\text{ج}} = \frac{A}{r} \left[\frac{19E}{V_c} \frac{N_A N_D}{(N_A + N_D)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$C_{j0} = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V}{V_0}}}$$

$$C_{j0} \uparrow \rightarrow V = V_p \uparrow \text{ در بایاس مستقیم}$$

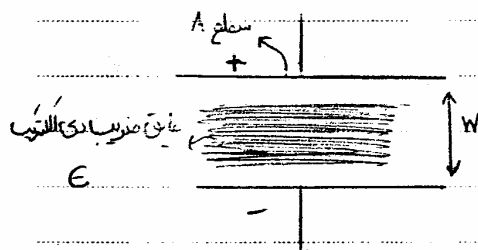
$$V = V_p - V_r \text{ در بایاس معکوس}$$

* مستطازن پیوند در بایاس معکوس کمتر از بایاس مستقیم است و با افزایش V_p مقدار C_{j0} زیادی شود و کاربرد اشخاص C_{j0}

در بایاس معکوس در مدارات VCO (اسیلاتور کنترل شونده با ولتاژ) به عنوان Varactor است

$$V_r = \frac{1}{\Delta}$$

فرمول خازن C_{j0} : آنرا در صورتی که وسط آغوا عایق باشد در نظر می‌گیریم:



$$C_j = \epsilon \frac{A}{W}$$

$$W = \left[\frac{\epsilon (V_0 - V)}{q} \frac{N_A N_D}{(N_A + N_D)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

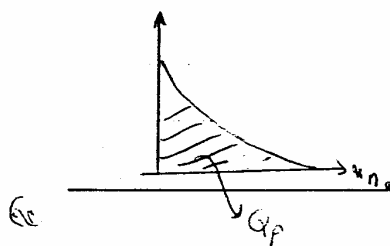
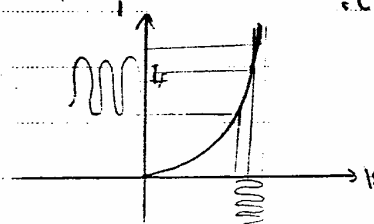
$$C_{j0} = \frac{A}{W} \left[\frac{\epsilon q N_D}{V_0} \right]^{\frac{1}{2}} \leftarrow \text{در پیوند } P^+N \text{ و } N_A \gg N_D$$

$$C_{j0} = \frac{A}{W} \left[\frac{\epsilon q}{V_0} \frac{N_A N_D}{(N_A + N_D)} \right]^{\frac{1}{2}} \leftarrow \text{در پیوند در حالت تعادل}$$

(P) خازن ذخیره بار C_s :

$$C_s = \frac{dQ}{dV} \text{ خازن ذخیره بار}$$

$$G_s = \frac{dI}{dV} \text{ هدایت رسانایی}$$



$$Q_p(t) = \tau_p I = \tau_p I_0 e^{\frac{V}{V_T}}$$

$$C_s = \frac{dQ_p(t)}{dV} = \frac{\tau_p I_0 e^{\frac{V}{V_T}}}{V_T} = \frac{\tau_p I}{V_T} = \tau_p G_s$$

$$G_s = \frac{dI}{dV} = \frac{I_0}{V_T} e^{\frac{V}{V_T}} = \frac{I}{V_T}$$

در بایاس مستقیم دواثرخازنی پیوند C_s خازن پیوند C_j

خازن خنثیویار C_s : که نسبت به C_j موثرتری باشد زیرا اقله نایابی با ولتاژ دارد

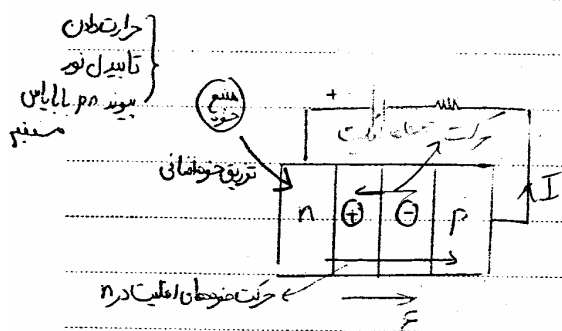
$$C_s = \frac{\tau_p}{V_T} I e^{\frac{V}{V_T}}$$

فصل (۷)

(Bipolar Junction transistor)

ترانزیستور در قطبی BJT

مبانی عملکرد BJT :

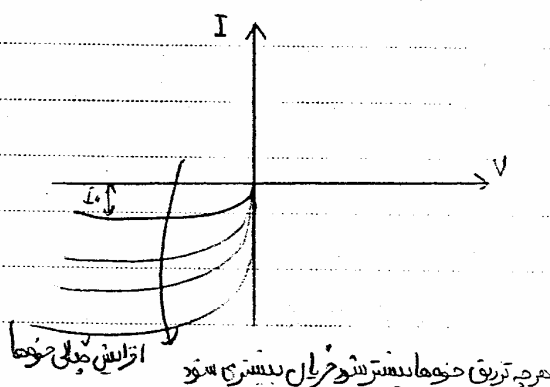


پیوند $p-n$ تحت بایاس معکوس، چون حوضه های اقلیت هستند پس جریان ناچیز از جهت حوضه های اقلیت ایجاد می شود

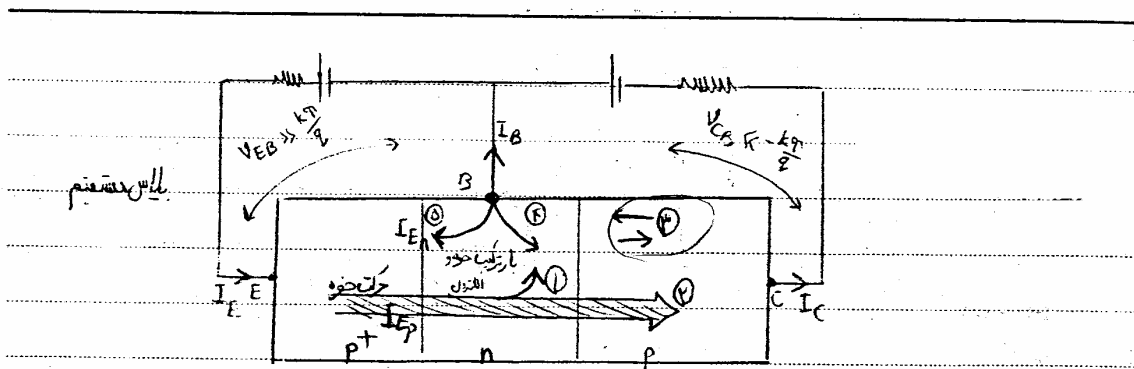
در قطبی معکوس می شود چون هر دو ماده از نوع

«الکترون» در جریان آن می ریزند

برای امداد کار: پیوند $p-n$ با بایاس معکوس:







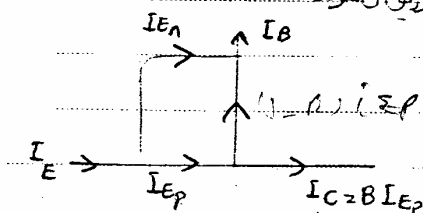
① جریان حفره‌های مثبت اminority در بیس باز ترکیب می‌شوند

② جریان حفره‌های مثبت اminority که توانسته‌اند به الکترود برسند

③ جریان حاملهای اقلیت تحت تاثیر میلوس در بیس الکترود

④ جریان اکثریهای بیس که با حفره‌های ترکیبی از اminority باز ترکیب می‌شوند

⑤ جریان اکثریهای بیس که تحت تاثیر میلوس مستقیم می‌شوند اminority به اminority ترکیبی می‌شوند



ضریب انتقال بیس: $B \leftarrow B < 1$

$$I_C = B I_E$$

$B > 1$ ایده‌آل

$$\delta < 1 \Rightarrow \delta = \frac{I_{EP}}{I_E} = \frac{I_{EP}}{I_{EP} + I_{EP}^{اکثری}} \rightarrow 1$$

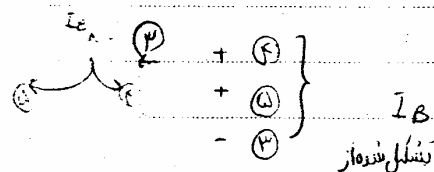
رابطه تریو اminority

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{B I_{EP}}{I_E} = B \delta$$

$\alpha < 1$

$\alpha \rightarrow 1$ ایده‌آل

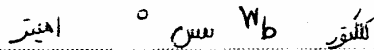
α ضریب انتقال جریان



$$\alpha \in \mathcal{L} \rightarrow \beta \gg \alpha$$

$$Z_c = \frac{R_p}{Z_t}$$

Diagram illustrating the relationship between proper time (τ_p) and proper length (τ_l) in the context of time dilation. A horizontal line with tick marks represents a path. A double-headed arrow below it indicates the proper length τ_l . The proper time τ_p is shown as a fraction of τ_l , with the formula $\tau_p = \beta \tau_l$ written below. To the right, the formula $\beta = \frac{c}{v} = \frac{c}{\frac{c}{\gamma}} = \gamma$ is shown, where γ is the Lorentz factor.



استادان و دانشمندان و نویسندگان و
آزادگان و محققان و دانشمندان و

$\Delta p_E = p_n (e^{\frac{E_F}{kT}} - 1)$ پتانسیل خفیهای اضافی در مرز آمپتربیس

$$\Delta p_C = p_n \left(e^{\frac{MCE}{K_T}} - 1 \right)$$

مسائلہ السیفیہ تر و (۱۲) کے نمونے کی کڑی

$$\frac{\delta_p(u_n)}{\delta u_n'} = \frac{\delta_p(u_n)}{L_P^2}$$

معادله دیفرانسیل:

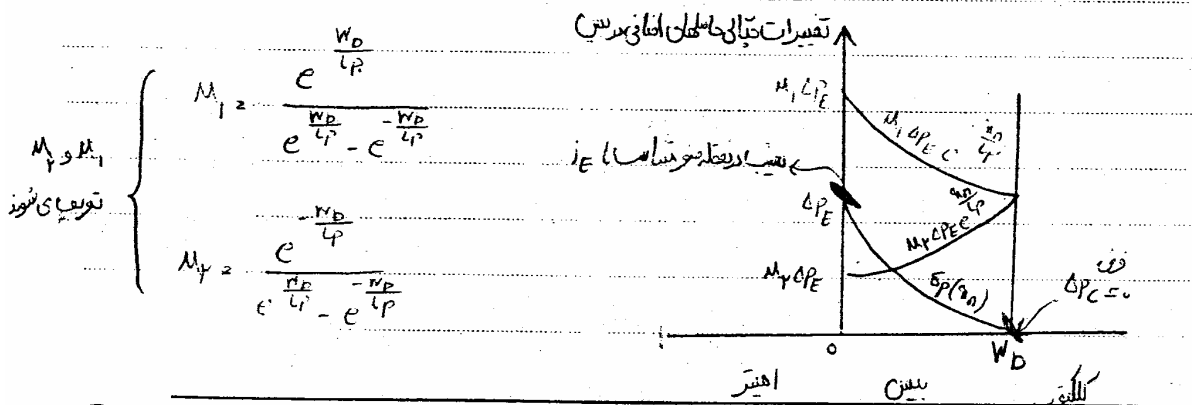
$$\delta_p(u_n) = C_1 e^{\frac{u_n}{L_P}} + C_2 e^{-\frac{u_n}{L_P}}$$

$$\begin{cases} \delta_p(u_n=0) = \Delta P_E = C_1 + C_2 \\ \delta_p(u_n=W_D) = \Delta P_C = C_1 e^{\frac{W_D}{L_P}} + C_2 e^{-\frac{W_D}{L_P}} \end{cases}$$

$$\delta_p(u_n) = C_1 e^{\frac{u_n}{L_P}} + C_2 e^{-\frac{u_n}{L_P}} \begin{cases} C_1 = \frac{\Delta P_C - \Delta P_E e^{-\frac{W_D}{L_P}}}{e^{\frac{W_D}{L_P}} - e^{-\frac{W_D}{L_P}}} \\ C_2 = \frac{\Delta P_E e^{\frac{W_D}{L_P}} - \Delta P_C}{e^{\frac{W_D}{L_P}} - e^{-\frac{W_D}{L_P}}} \end{cases}$$

$$\text{if } \Delta P_C = 0 \Rightarrow \delta_p(u_n) = \Delta P_E \frac{e^{\frac{W_D}{L_P}} e^{-\frac{u_n}{L_P}} - e^{-\frac{W_D}{L_P}} e^{\frac{u_n}{L_P}}}{e^{\frac{W_D}{L_P}} - e^{-\frac{W_D}{L_P}}}$$

$$\delta_p(u_n) = M_1 \Delta P_E e^{-\frac{u_n}{L_P}} - M_2 \Delta P_E e^{\frac{u_n}{L_P}}$$





$$V_0 = (E_{ip} - E_{fp}) + (E_{fn} - E_{in}) = 0.81 + 0.39 = 0.1V$$

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2} = 0.025 \ln \frac{1.1^4 \times 0.17}{(1.0 \times 10^{-10})^2} = 0.1V$$

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (1.0 \times 10^{-7})^2 = 3.14 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$$

$$W = \left[\frac{q V_0}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \right]^{1/2} \Rightarrow W = \left[\frac{3.14 \times 10^{-14} \times 1.1 \times 10^{-16} \times 0.1}{1.7 \times 10^{-19}} \left(\frac{1}{1.1^4} + \frac{1}{0.17} \right) \right]^{1/2}$$

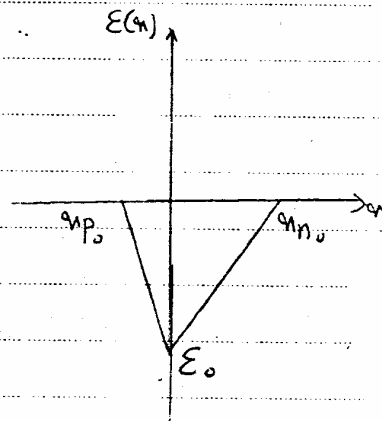
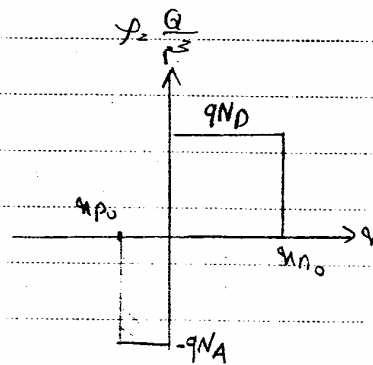
$$W = 1.77 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$q_{p0} = \frac{W N_D}{N_A + N_D} = 0.9 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$q_{n0} = W - q_{p0} = 1.1 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$Q^+ = q A q_{n0} N_D = 6.17 \times 10^{-18} \text{ C}$$

$$E_0 = -\frac{q V_0}{W} = -0.9 \times 10^8 \frac{V}{\text{cm}}$$



تمرین) در مورد n پتانسیل با این مستقیم باران V_p و V_n مطلوب است حساب $I_p(x_n)$ ، $I_n(x_n)$ ، $I_p(x_p)$ ، $I_n(x_p)$ و همچنین

$$N_A = N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$\tau_n = \tau_p = 10^{-8} \text{ s}$$

$$\mu_p = 400 \frac{\text{cm}^2}{\text{V}}$$

$$\mu_n = 1000 \frac{\text{cm}^2}{\text{V}}$$

$$A = 10^{-4} \text{ cm}^2$$

$$n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$I_p(x_n) = qA \frac{D_p}{L_p} p_n e^{-\frac{qV}{kT}} \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

$$\frac{D_p}{L_p} = \sqrt{\frac{D_p \tau_p}{L_p^2}} = \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} = \sqrt{\frac{\mu_p kT}{q \tau_p}}$$

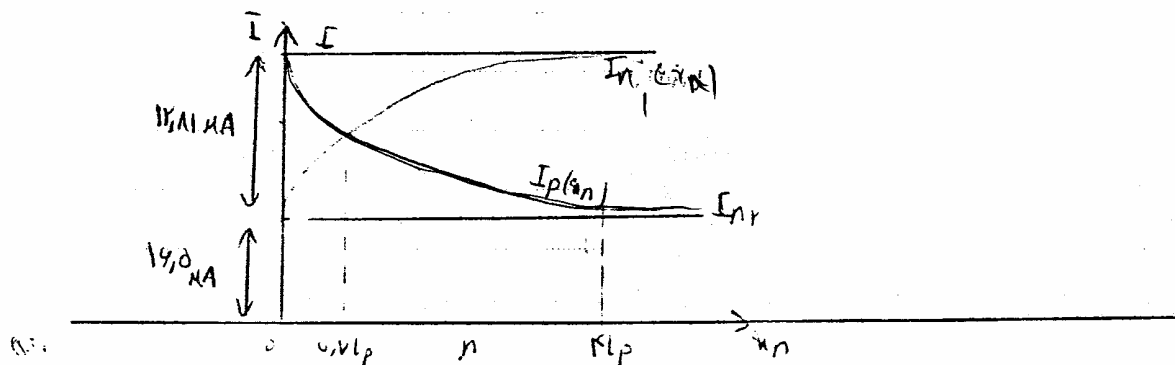
$$I_p(x_n) = 1.7 \times 10^{-19} \times 10^{-4} \times \sqrt{\frac{400 \times 10^{-8}}{1.0 \times 10^{-7}}} \left(\frac{1.5 \times 10^{10}}{10^{19}} \right)^2 e^{-\frac{qV}{kT}}$$

$$I_p(x_n) = 1.7 \times 10^{-17} e^{-\frac{qV}{kT}}$$

حال اگر $I_n(x_n) = \bar{I} - I_p(x_n) = qA \left[\frac{D_p}{L_p} (1 - e^{-\frac{qV}{kT}}) p_n + \frac{D_n}{L_n} n_p \right] (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$

$$I_n(x_n) = \underbrace{1.7 \times 10^{-17} (1 - e^{-\frac{qV}{kT}})}_{I_{n1}} + \underbrace{1.9 \times 10^{-17}}_{I_{n2}}$$

$$I_n(x) = I_{n1}(x_n) + I_{n2}$$

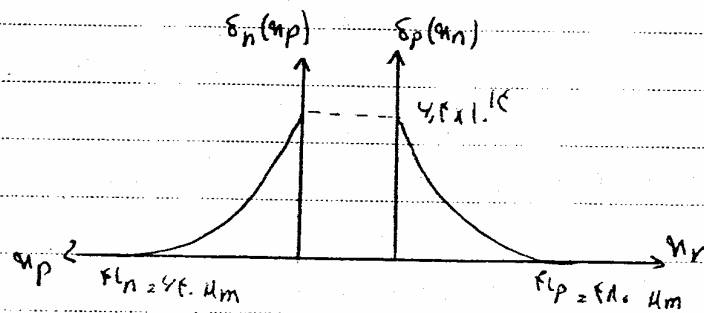


$$\delta_n(\psi_p) = n_p e^{-\frac{\psi_p}{V_T}} \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad \checkmark$$

$$\frac{n_i^2}{N_A} e^{-\frac{\psi_p}{V_T}} \left(e^{\frac{0.7}{0.026}} - 1 \right) \Rightarrow \delta_n(\psi_p) = 9.4 \times 10^{-16} e^{-\frac{\psi_p}{V_T}}$$

$$\delta_p(\psi_n) = p_n \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) e^{-\frac{\psi_n}{V_T}}$$

$$\frac{n_i^2}{N_D} \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) e^{-\frac{\psi_n}{V_T}} = 9.4 \times 10^{-16} e^{-\frac{\psi_n}{V_T}}$$



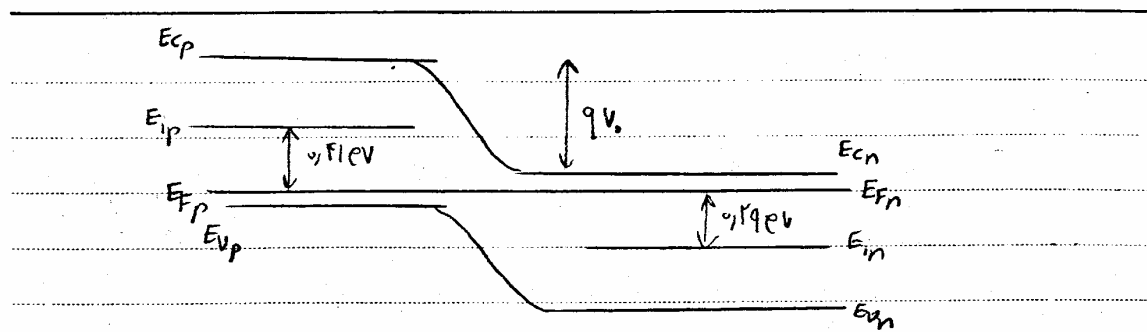
همچنین در سیمونیلان p_n ، V_0 انرژی میانه انرژی به سمت آورده و همچنین I_p و I_n برای V_p و V_n کاملاً منفی

$$n_0 = n_i e^{\frac{E_{F_n} - E_{i_n}}{kT}} \Rightarrow E_{F_n} - E_{i_n} = kT \ln \frac{n_0}{n_i} = kT \ln \frac{N_D}{n_i} \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow E_{F_n} - E_{i_n} = 0.026 \ln \frac{1.5 \times 10^{17}}{1.5 \times 10^{10}} = 0.45 \text{ eV}$$

والتانقل $E_{F_n} = E_{F_p}$

$$E_{i_p} - E_{F_p} = kT \ln \frac{N_A}{n_i} = 0.41 \text{ eV}$$



$$V_0 = (E_{ip} - E_{fp}) + (E_{fn} - E_{in}) = 0.71 + 0.79 = 1.5 \text{ V}$$

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2} = \frac{0.025}{1} \ln \frac{10^{18} \times 10^{16}}{(1.5 \times 10^{10})^2} = 0.71 \text{ V}$$

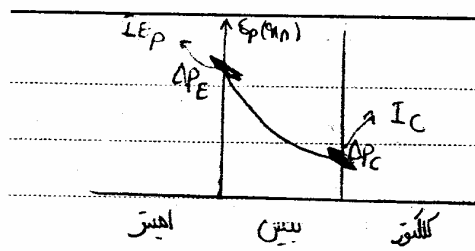
$$I_0 = qA \left[\left(\frac{D_p}{L_p} \right) p_n + \left(\frac{D_n}{L_n} \right) n_p \right]$$

$$I_0 = qA n_i^2 \left(\sqrt{\frac{D_p kT}{q \tau_p}} \times \frac{1}{N_D} + \sqrt{\frac{D_n kT}{q \tau_n}} \times \frac{1}{N_A} \right)$$

$$I_0 = 1.5 \times 10^{-10} \text{ A}$$

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) = 1.5 \times 10^{-10} \left(e^{\frac{0.7}{0.025}} - 1 \right) = 0.99 \text{ } \mu\text{A}$$

(3)



تقریب معادلات درامای ترانزیستور BJT:

$$\phi_p(x_n) = C_1 e^{\frac{q_n}{L_p}} + C_2 e^{-\frac{q_n}{L_p}} \Rightarrow \frac{\delta \phi_p(x_n)}{\delta q_n} = \frac{C_1}{L_p} e^{\frac{q_n}{L_p}} - \frac{C_2}{L_p} e^{-\frac{q_n}{L_p}}$$

حالت دینامیک $I_p = -qAD_p \frac{\delta \phi_p(x_n)}{\delta q_n}$

$$I_{Ep} = I_p(q_n=0) = qAD_p \left. \frac{\delta \phi_p(x_n)}{\delta q_n} \right|_{q_n=0}$$

$$\textcircled{*} I_{Ep} = \frac{qAD_p}{L_p} (C_2 - C_1)$$

اگر $\delta = 1 \Rightarrow I_E = I_{Ep}$

$$I_C = I_p(q_n = W_b)$$

$$I_C = qA \frac{D_p}{L_p} \left(C_2 e^{-\frac{W_b}{L_p}} - C_1 e^{\frac{W_b}{L_p}} \right)$$

$$I_B = I_E - I_C$$

با جایگزینی C_1 و C_2 که قبلاً بدست آمده در معادلات I_E و I_C و استفاده از روابط متقاطع هیستریزاس

$$\cosh q_n = \frac{e^q + e^{-q}}{e^q - e^{-q}} \quad \sinh q_n = \frac{e^q - e^{-q}}{2}$$

$$\cosh q_n = \frac{e^q + e^{-q}}{2}$$

$$I_{Ep} = qA \frac{D_p}{L_p} \left(\Delta P_E \coth \frac{W_b}{L_p} - \frac{\Delta P_C}{\sinh \frac{W_b}{L_p}} \right)$$

$$I_C = qA \frac{D_p}{L_p} \left(\frac{\Delta P_E}{\sinh \frac{W_b}{L_p}} - \Delta P_C \coth \frac{W_b}{L_p} \right) *$$

$$I_B = I_E - I_C$$

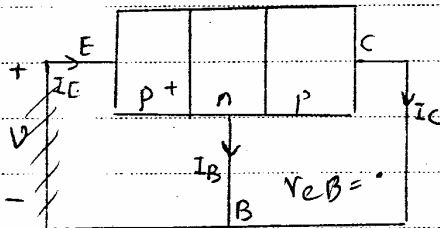
$$\text{آر } \delta = 1 \rightarrow I_E = I_{Ep}$$

$$\Delta P_E = P_n \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right)$$

$$\Delta P_C = P_n \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$$

$$I_B = \frac{qAD_p}{L_p} \left[(\Delta P_E + \Delta P_C) \tanh \frac{W_b}{2L_p} \right]$$

مثال آرا ۱.۸ با استفاده از مدار زیر بدست آید.



الکترون به انتقال کوتاه شده بهین

$$V_{CB} = 0 \Rightarrow \Delta P_C = P_n \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$$

$$r_{EB} \gg \frac{kT}{q}$$

$$\Rightarrow \Delta P_C = 0$$

$$I_{Ep} = qA \frac{D_p}{L_p} \Delta P_E \coth \frac{W_b}{L_p}$$

$$I_C = qA \frac{D_p}{L_p} \frac{\Delta P_E}{\sinh \frac{W_b}{L_p}}$$

$$I_B = I_E - I_C$$

$$\text{آر } \delta = 1 \rightarrow I_E = I_{Ep}$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{qAD_p}{L_p} \Delta P_E \tanh \frac{W_b}{2L_p}$$

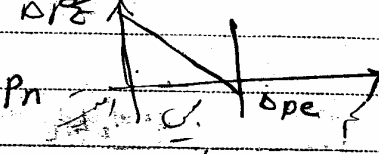
PNP

$$V_{EB} \gg \frac{kT}{q}$$

$$V_{CB} \ll \frac{-kT}{q} \quad \frac{\Delta P_n}{\Sigma n} = P_n e^{kT}$$

$$V_{CB} \ll \frac{-kT}{q}$$

$$\rightarrow \Delta P_C = P_n \left(e^{\frac{q_{VCB}}{k_p T}} - 1 \right) \approx P_n$$



آلر $p_n - p_c$ باسد قابل مروتظر ادين باسد

$$I_E = I_{EP} = qA \frac{D_P}{L_P} \Delta P_E G \cdot h \left(\frac{W_b}{L_P} \right)$$

مقرات الحلال

$$I_C = qA \frac{D_p}{L_p} \frac{\Delta P_E}{\sinh\left(\frac{W_b}{L_p}\right)}$$

$$I_B = I_E - I_C$$

$$\alpha \approx 1 \Rightarrow I_E = I_{E_P}$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{qADp}{L_p} \Delta P_E \tanh \frac{W_b}{\sqrt{L_p}}$$

$$\text{sech } y = 1 - \frac{y^2}{2} + \frac{\Delta y^2}{24} + \dots$$

بسط نسري توابع مسريوالب :

$$\tanh y = y - \frac{y^3}{3} + \dots$$

الر ١ « y با الله تعالى از مقادیر ۲

بِالْأَمْرِ فَتَنْظُرْ لَكُمْ

$$\frac{1}{\sinh y} = \frac{1}{y} - \frac{y}{9} + \frac{Vy^p}{p\gamma_0} + \dots$$

$$\text{Gth } y = \frac{1}{y} + \frac{y}{1^3} - \frac{y^3}{1 \cdot 8} + \dots$$

در این تقریب با ابعاد بالا باید $y = \frac{W_b}{L_p} \ll 1 \leftarrow \frac{W_b}{L_p} \ll 1 \leftarrow W_b \ll L_p$

تقریب اعمال است

$$\begin{cases} I_E = qA \frac{D_p}{L_p} \Delta p_E \left(\frac{1}{\frac{W_b}{L_p}} + \frac{W_b}{2} \right) \\ I_C = qA \frac{D_p}{L_p} \Delta p_E \left(\frac{1}{\frac{W_b}{L_p}} - \frac{W_b}{6} \right) \\ I_B = I_C - I_E = \frac{qA W_b \Delta p_E}{2L_p} \end{cases}$$

معادلات تقریبی
جوابها
استفاده از معادله
هیستریزاس

لا ابعاد تقریبی است

$$\gamma = \frac{I_E}{I_E + I_{En}} = \left(\frac{I_E + I_{En}}{I_E} \right)^{-1}$$

$$\gamma = \left(1 + \frac{I_{En}}{I_E} \right)^{-1}$$

$$\gamma = \left[1 + \frac{L_p n_n \mu_n}{L_p p_p \mu_p} \tanh \frac{W_b}{L_p} \right]^{-1}$$

طول نفوذ الکترون در سمت P
طول نفوذ الکترون در سمت N

$$\gamma = \left[1 + \frac{W_b n_n \mu_n}{L_p p_p \mu_p} \right]^{-1}$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \text{sech} \frac{W_b}{L_p} \quad \alpha = \beta \gamma =$$

$$\frac{I_C}{I_0} = \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

مثال: اگر یک ترانزیستور pnp با حاملی بیشتر ده برابر با حاملی بیش باشد. موصلی حامل اقلیت در اقلیت نصف دو موصلی حاملهای

اقلیت در بیش باشد و گویای بیش یکدهم طول موصل حامل اقلیت باشد طول موصلهای حاملها برابر $\tau_p = \tau_n$ باشد α و β

است $N_A = 10 N_D$
 $L_p \mu_p = L_n \mu_n$
 $W_b = 0.1 L_p$

استفاده کنید

$$\tau_p = \tau_n \rightarrow \frac{L_p}{L_n} = \sqrt{\frac{D_p \tau_p}{D_n \tau_n}}$$

$$\Rightarrow \frac{L_p}{L_n} = \sqrt{\frac{D_p}{D_n}} = \sqrt{\frac{\mu_p \frac{KT}{q}}{\mu_n \frac{KT}{q}}}$$

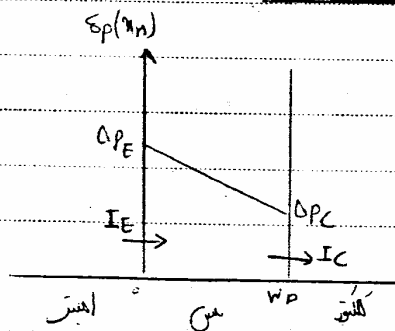
$$\Rightarrow \frac{L_p}{L_n} = \sqrt{\frac{\mu_p}{\mu_n}} = \sqrt{2}$$

$$\alpha = \beta \Delta = \left[G_s h \frac{W_b}{L_p^n} + \frac{L_p^n n_n \mu_n}{L_p^n p_p \mu_p} \sinh \frac{W_b}{L_p^n} \right]^{-1}$$

$$\alpha = \left[G_s h_{0.1} + \left(\frac{1}{2} \times 0.1 \times 0.5 \times \sinh 0.1 \right) \right]^{-1} \Rightarrow \alpha = 0.988$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = 17$$

مدل حقت دیودی The Gupled Diode (ایزول)



این مدل برای ترانزیستور $\beta \geq 20$ و در دماهای بالا استفاده می شود.

$$I_C = b\Delta P_E - \alpha\Delta P_C = I_{CN} + I_{CI}$$

$$I_E = I_{EP} = \alpha\Delta P_E - b\Delta P_C = I_{EN} + I_{EI}$$

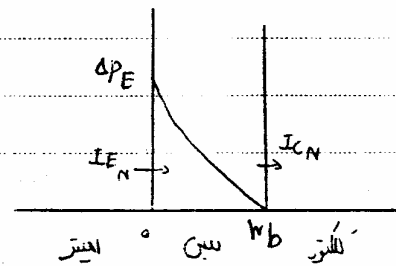
واحدية مكافئة
فنيقية و هنيكية

$$\begin{cases} a = qA \frac{D_p}{L_p} \frac{1}{\sinh \frac{W_b}{L_p}} \\ b = qA \frac{D_p}{L_p} \coth \frac{W_b}{L_p} \end{cases}$$

if $\Delta P_C = 0 \Rightarrow$

$$\begin{cases} I_E = I_{EN} = \alpha\Delta P_E \\ I_C = I_{CN} = b\Delta P_E \end{cases}$$

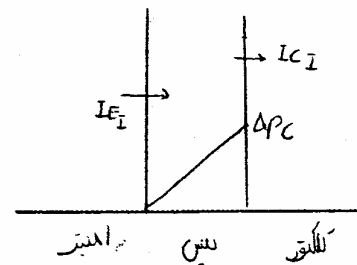
نرمال هنيكية



if $\Delta P_E = 0 \Rightarrow$

$$\begin{cases} I_E = I_{EI} = -b\Delta P_C \\ I_C = I_{CI} = -\alpha\Delta P_C \end{cases}$$

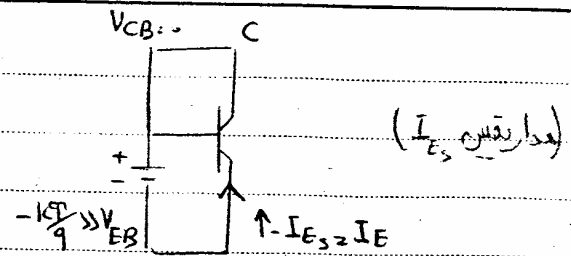
مكافئ (inverse)



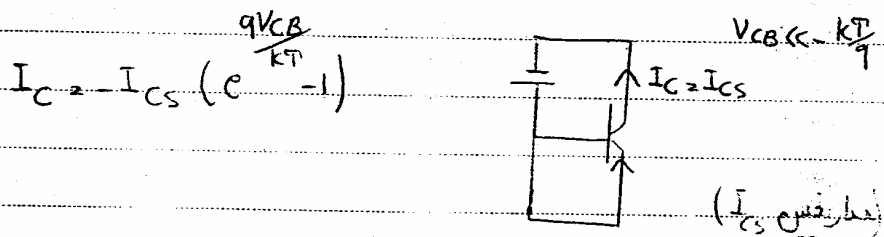
if $V_{CB} = 0 \rightarrow \Delta P_C = 0 = p_n \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right) = 0$

$$I_E = I_{EN} = \alpha\Delta P_E = \underbrace{\alpha p_n}_{I_{ES}} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) = I_{ES} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right)$$

إذا $V_{EB} \ll -\frac{kT}{q} \rightarrow I_E \approx I_{ES}$

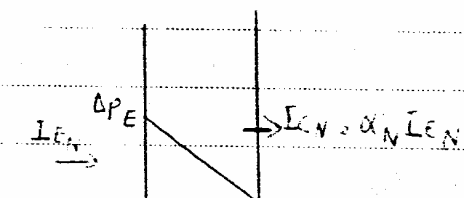
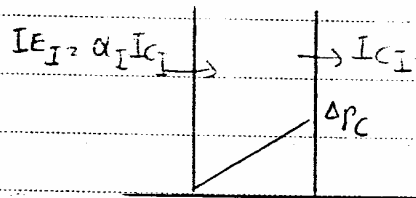


إذا $V_{EB} = 0 \Rightarrow \Delta P_E = 0 \rightarrow I_C \approx I_{CI} \approx \alpha_P P_C = \alpha_P P_n (e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1)$



$I_{EN} = I_{ES} (e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1) \rightarrow I_{CN} = \alpha_N I_{EN}$

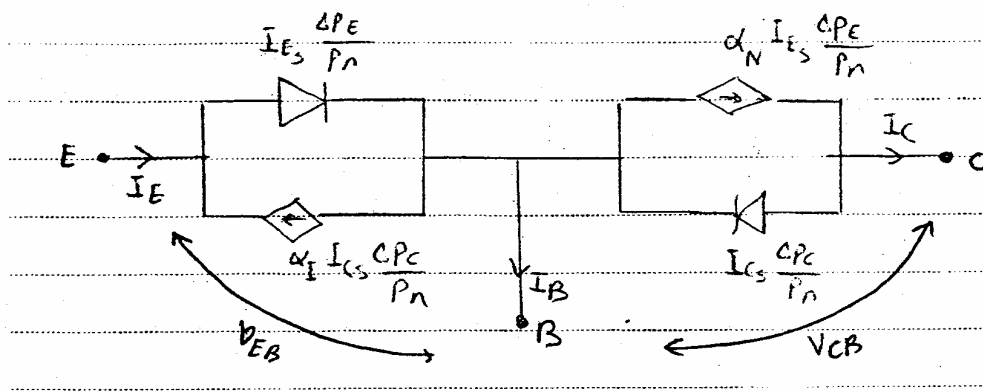
$I_{CI} = I_{CS} (e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1) \rightarrow I_{EI} = \alpha_I I_{CI}$



(*) $I_E = I_{EN} + I_{EI} = I_{EN} + \alpha_I I_{CI} = I_{ES} \frac{\Delta P_E}{P_n} - \alpha_I I_{CS} \frac{\Delta P_C}{P_n}$

$I_E = I_{ES} (e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1) - \alpha_I I_{CS} (e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1)$

III



مدل ایزنول
Ebers & Moll

معادلات ایزنول * $I_C = I_{C_N} + I_{C_I} = \alpha_N I_{E_S} \frac{\Delta P_E}{P_n} - I_{C_S} \frac{C_{P_C}}{P_n}$

$$I_C = \alpha_N I_{E_S} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) - I_{C_S} \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$$

$\approx \alpha_N I_{E_S}$

$\approx \alpha_I I_{C_S}$

همواره $\alpha_N I_{E_S} = \alpha_I I_{C_S}$

① $I_E = I_{E_S} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) - \frac{\alpha_I I_{C_S}}{\alpha_N I_{E_S}} \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$

در حالت ایزنول

② $I_C = \frac{\alpha_N I_{E_S}}{\alpha_I I_{C_S}} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) - I_{C_S} \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$

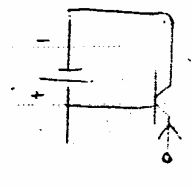
در α_N ضرب کرده و سپس $I_C = \alpha_N I_E$ را دست آورده

$$I_C = \alpha_N I_E - I_{C_S} \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$$

$$I_{C_S} = (1 - \alpha_N \alpha_I) I_{C_S}$$

I_{C_S} معقول $\Rightarrow I_E \approx 0$ و $V_{CB} \ll -\frac{kT}{q}$

$$\Rightarrow I_C = I_{C_S}$$



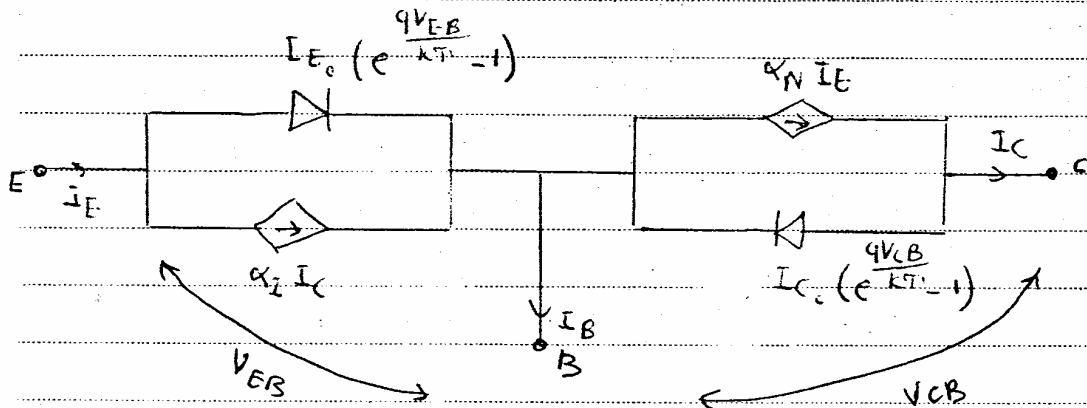
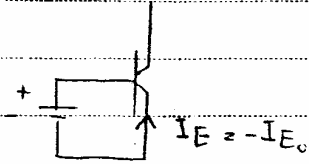
استقرار

خارج الکترون پس وقتی اعتبار را بساز

معادلات
ایزموول

$$\begin{cases} I_E = \alpha_I I_C + I_{E_0} (e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1) \\ I_C = \alpha_N I_E - I_{C_0} (e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1) \end{cases}$$

تویف: $I_{E_0} = (1 - \alpha_N \alpha_I) I_{E_S}$

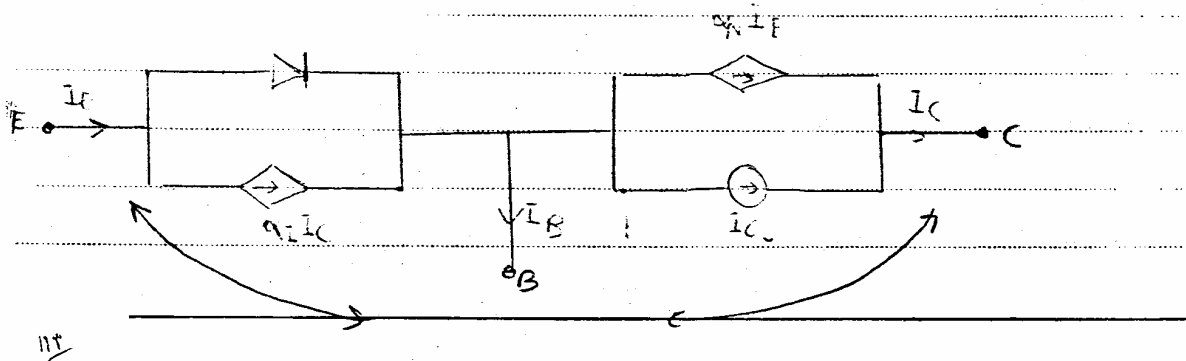


(مدل ایزموول)

در تحلیل مدارات با سیگنال کوچک، ایزموول از مدل ایزموول می توان استفاده نمود.

مثلاً درایا سیگنال ایزموال استفاده داریم

$$\left. \begin{aligned} V_{EB} &\gg \frac{kT}{q} \\ V_{CB} &\ll -\frac{kT}{q} \end{aligned} \right\} \text{ pnp } \rightarrow$$



- حالت قطع-ترانسistor : هر دو بورد بطور معکوس یا اس شده اند

$$\text{PNP} \rightarrow \begin{cases} V_{EB} \ll -\frac{kT}{q} \\ V_{CB} \ll -\frac{kT}{q} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta P_C = -P_n \\ \Delta P_E = -P_n \end{cases}$$

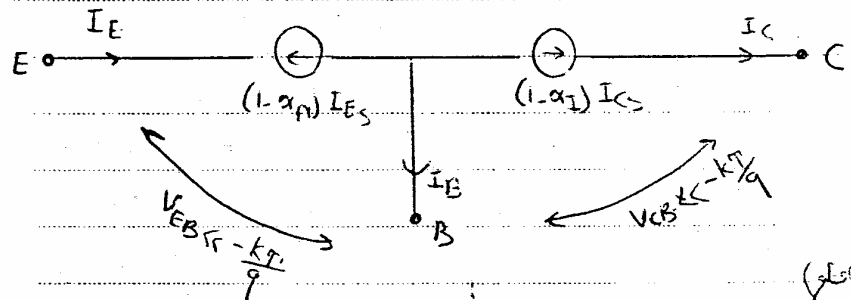
$$\begin{aligned} I_E &= I_{ES} \frac{\Delta P_E}{P_n} - \alpha_I I_{CS} \frac{\Delta P_C}{P_n} \\ &= -I_{ES} + \frac{\alpha_I I_{CS}}{\alpha_N I_{ES}} \end{aligned}$$

$$* I_E = -(1 - \alpha_N) I_{ES}$$

$$\begin{aligned} I_C &= \alpha_N I_{ES} \frac{\Delta P_E}{P_n} - I_{CS} \frac{\Delta P_C}{P_n} \\ &= \frac{\alpha_I I_{CS}}{\alpha_N I_{ES}} + I_{CS} \end{aligned}$$

$$I_C = (1 - \alpha_I) I_{CS}$$

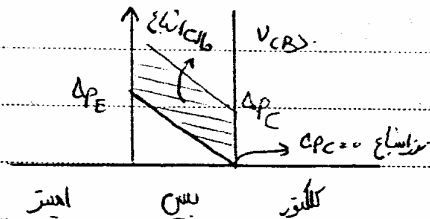
$$I_B = I_E - I_C$$



(منابع: کتاب الکترونیک)

حالت استیج ترانزیستور:

التریبوند اکتیو رینج در بایاس مستقیم باشد از هدا میله ولتاژ دیوید لکتور رینج صوری شود و سنجش بایاس مستقیم می شود



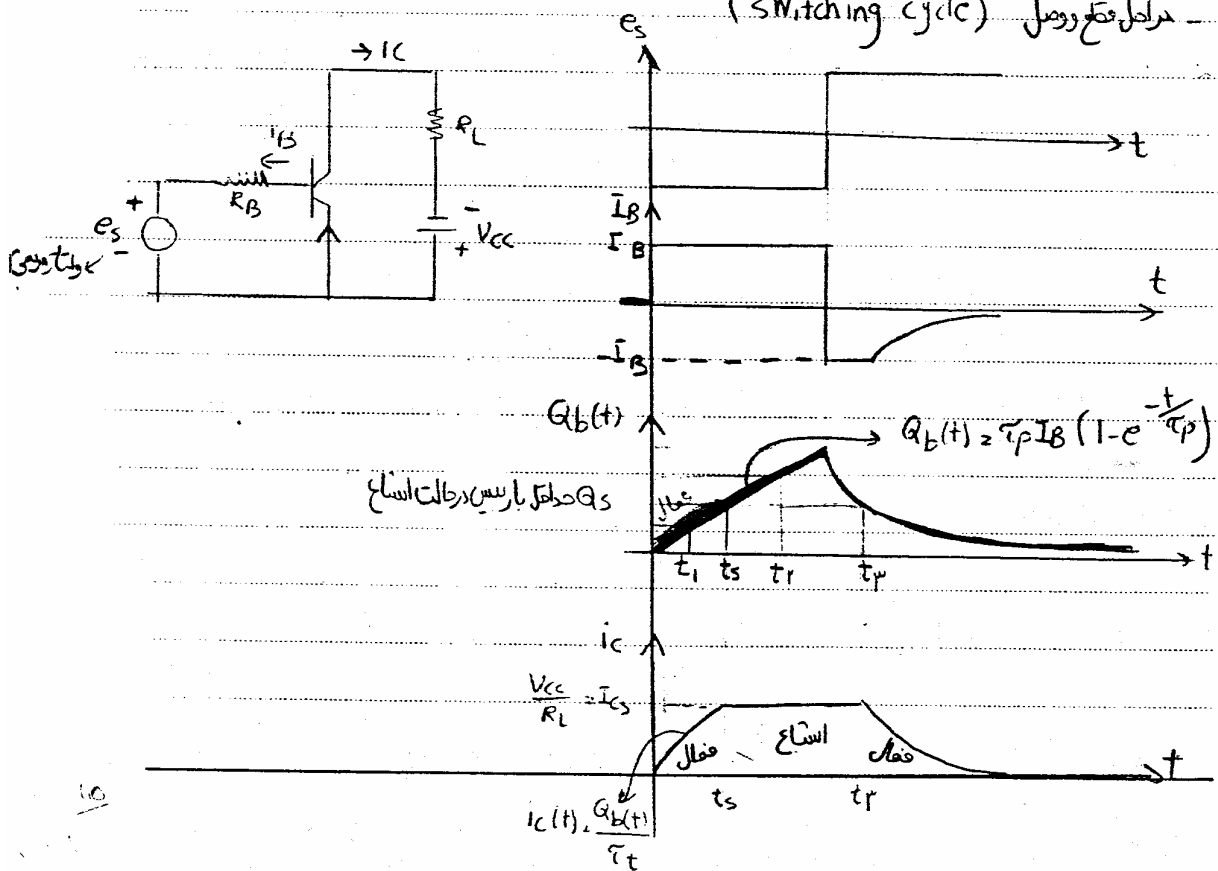
ترانزیستور به استیج می رود

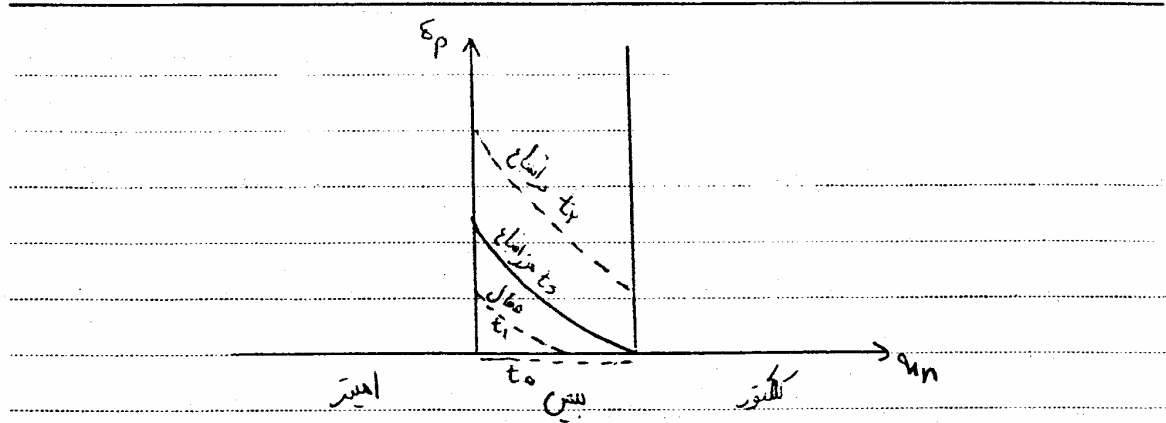
$p^+ n \oplus \oplus p$
 $\vec{x}$

$$I_B > \frac{I_{CS}}{\beta}$$

$$I_{CS} = \frac{V_{CC} - V_{CE sat}}{R_C}$$

در احوال قطع و وصل (switching cycle)





تغییرات $Q_b(t)$

$$I_B(t) = \frac{Q_b(t)}{\tau_p} + \frac{dQ_b(t)}{dt}$$

$$Q_b(0) = 0$$

$$t \geq 0 \Rightarrow I_B = \frac{Q_b}{\tau_p} + \frac{dQ_b}{dt}$$

$$\text{لپلاس} \quad \frac{I_B}{s} = \frac{Q_b(s)}{\tau_p} + sQ_b(s)$$

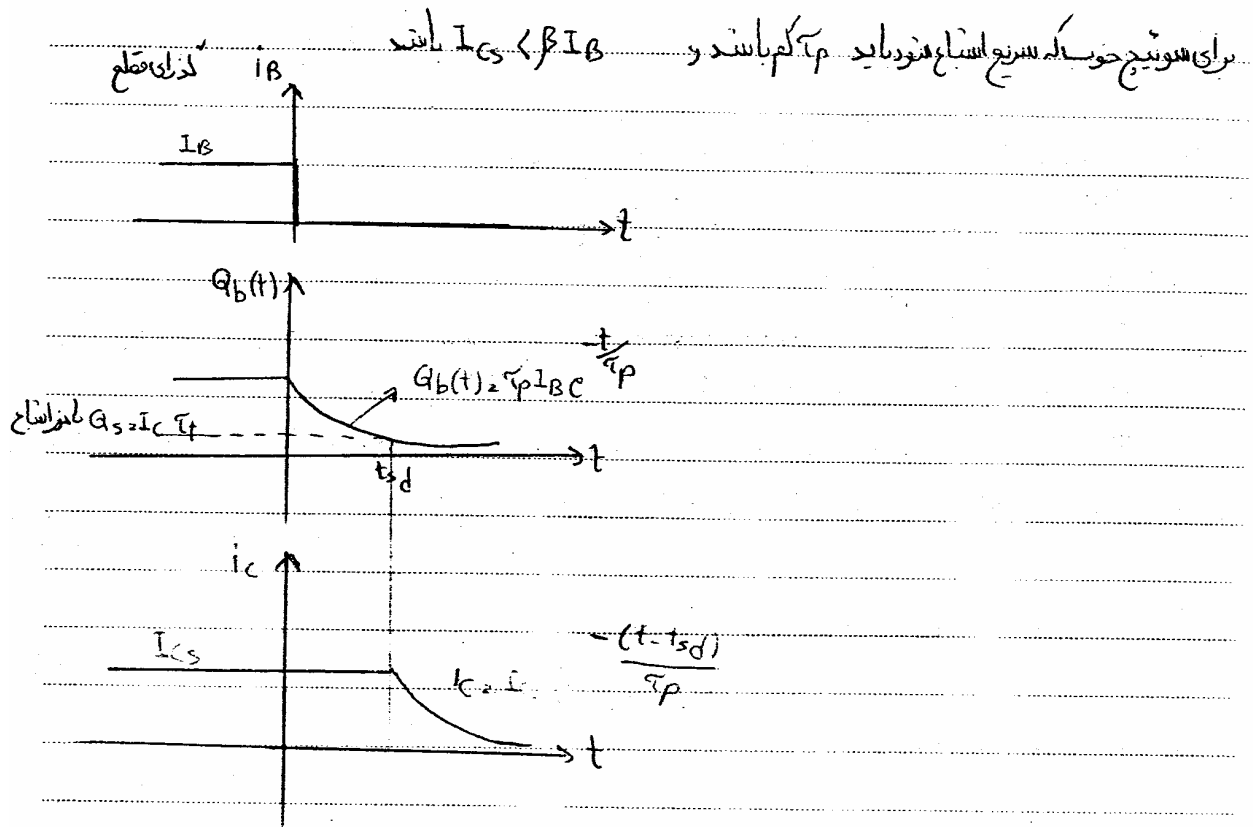
$$Q_b(s) = \frac{I_B}{s(s + \frac{1}{\tau_p})} \Rightarrow Q_b(t) = I_B \tau_p (1 - e^{-\frac{t}{\tau_p}})$$

$$I_C(t) = \frac{Q_b(t)}{\tau_t} \quad \text{تغییرات}$$

حالت پایدار:

$$I_C(t = t_s) = I_{CS} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_L}$$

$$\frac{I_B \tau_p}{\tau_t} (1 - e^{-\frac{t_s}{\tau_p}}) = I_{CS} \Rightarrow t_s = \tau_p \ln \frac{1}{1 - \frac{I_{CS}}{\beta I_B}}$$



تقریب $Q_b(t)$

$$i_B(t) = \frac{Q_b(t)}{\tau_p} + \frac{dQ_b(t)}{dt}$$

$$Q_b(0) = \tau_p I_B$$

$$t \gg 0 \Rightarrow 0 = \frac{Q_b}{\tau_p} + \frac{dQ_b}{dt}$$

تبدیل لاپلاس $0 = \frac{Q_b(s)}{\tau_p} + sQ_b(s) - Q_b(0)$

$$Q_b(s) = \frac{I_B \tau_p}{(s + \frac{1}{\tau_p})} \rightarrow Q_b(t) = I_B \tau_p e^{-\frac{t}{\tau_p}}$$

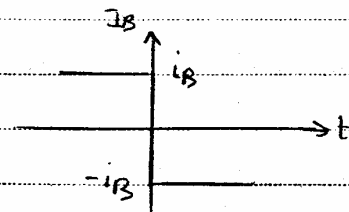
$$Q_b(t = t_{sd}) = I_{CS} \tau_t = \tau_p I_B e^{-\frac{t_{sd}}{\tau_p}}$$

$$t_{sd} = \tau_p \ln \frac{\beta I_B}{I_{cs}}$$

زمان تأخیر در خروج اسباب

$$\frac{\tau_f}{\tau_p} = \beta$$

جول

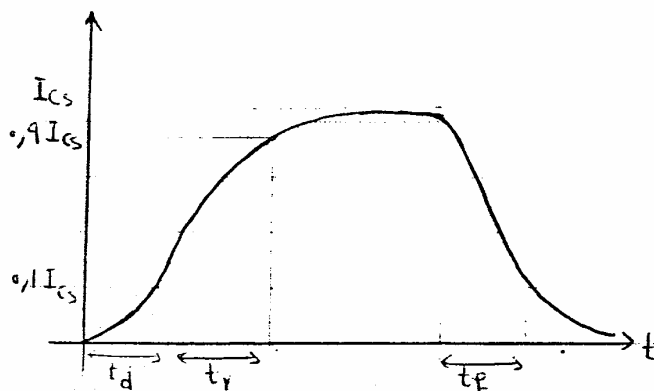


برای تعیین t_{sd} بهتر است که I_B در $t=0$ جای منفی مقدار منفی داشته باشد

برای تعیین $Q_b(t)$ باید به جای منفی در حالت I_B قرار دهیم

$$-I_B = \frac{Q_b}{\tau_p} + \frac{dQ_b}{dt}$$

$$Q_b(t) = \tau_p I_B (1 - e^{-\frac{t}{\tau_p}})$$

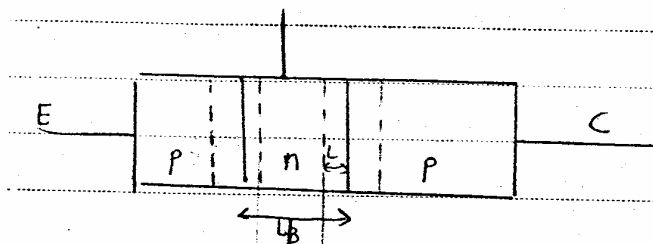


t_d : زمان تأخیر delay

t_r : زمان (rise time) از $0.1 I_{cs}$ تا $0.9 I_{cs}$

t_f : (Fall time) از $0.9 I_{cs}$ تا $0.1 I_{cs}$ زمان است

باریک شدن بایس (Base narrowing):



عین دورنمای (فصل ۱۰) دو

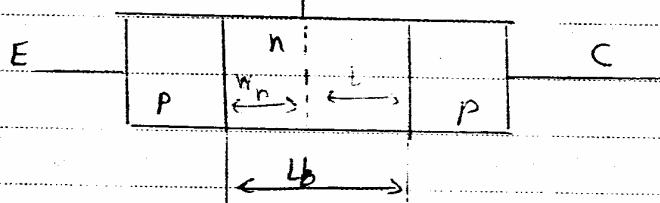
در حالت تعادل: فضای تخلیه

با افت ضعیف

$$L = \eta n_0 = \frac{WNA}{N_A + N_D} = \left[\frac{\tau E V_0}{q} \left(\frac{N_A}{N_D (N_A + N_D)} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{CB} \ll -\frac{kT}{q}$$

حت بایس نزاع:



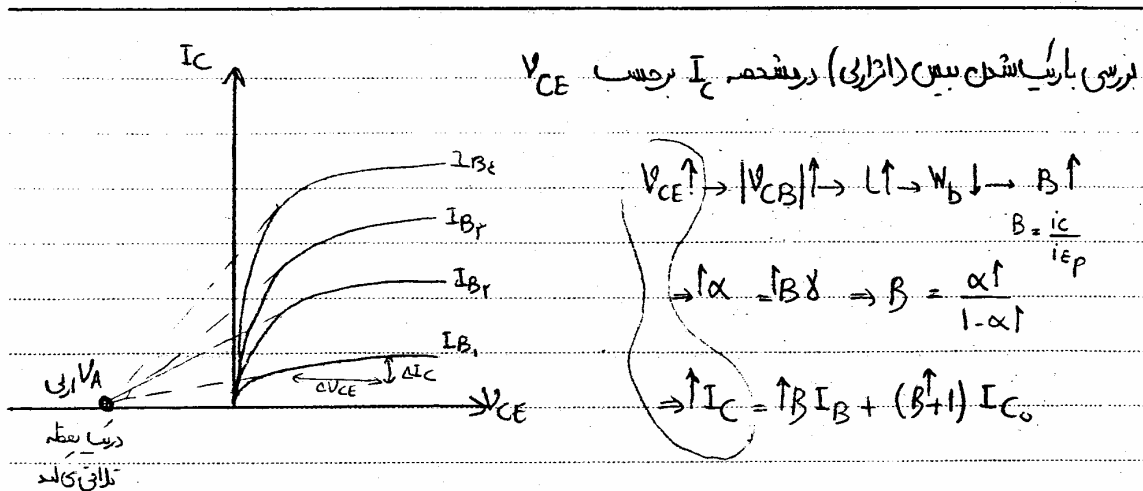
و تار و در هر دو CB

$$V_0 - V_{CB} = -V_{CB} = V_{BC}$$

$$L = \eta n_0 = \frac{WNA}{N_A + N_D} = \left[\frac{\tau E (V_0 - V_{CB})}{q} \left(\frac{N_A}{N_D (N_A + N_D)} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

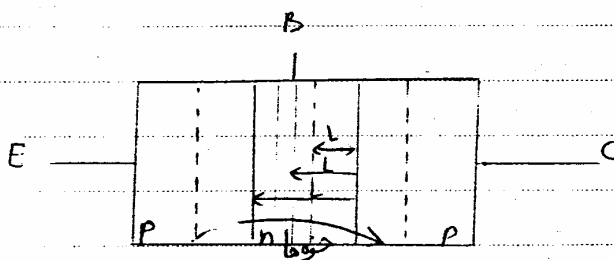
$$\eta n_0 = L \left[\frac{\tau E V_{BC} N_A}{q N_D (N_A + N_D)} \right]^{\frac{1}{2}} \xrightarrow{N_A \gg N_D} L = \left(\frac{\tau E V_{BC}}{q N_A} \right)^{\frac{1}{2}}$$

باریک شدن بایس یا محدود کردن بایس و انزالی → کاهش عرض دورنمای w_b → $L \uparrow \rightarrow |V_{CB}| \uparrow$



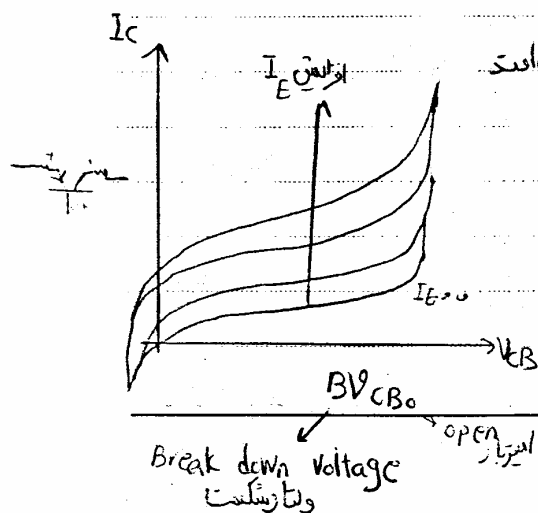
$$\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} = h_{oe} = r_o^{-1} = \left(\frac{V_A}{I_C} \right)^{-1}$$

بالا تر است و لذا ولتاژ ولتاژ بیس



آنها انتخاب زیاد شوند $W_B = c$ (رسیدن دو حامله کلیه دو پیوند)

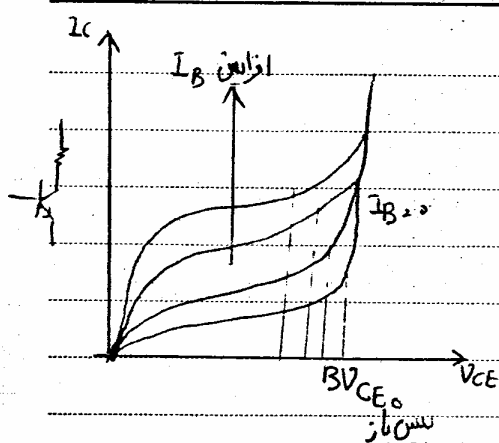
punch through به هم رسیدن جریان حومهها به شدت زیاد می شود و می تواند باعث مسیوب شدن ترانزیستور می شود



معبراً قبل از p.T عمل شکست یعنی پیوند الکتریکی اتفاق می افتد

$$I_C = (\alpha_N I_E + I_{C_0}) \quad \text{منوی بیتی}$$

$$= (\alpha_N I_E + I_{C_0}) \frac{1}{1 - \left(\frac{V_{CB}}{BV_{CB_0}} \right)^r}$$



$$I_E = I_C + I_B$$

اگر $I_B \rightarrow 0 \rightarrow I_E = I_C$

$$I_C = (\alpha_N I_E + I_{C0}) M$$

$$I_C = \frac{M I_{C0}}{1 - M \alpha_N}$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = V_{CB}$$

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{V_{CE}}{BV_{CB0}} \right)^n}$$

اگر $1 - M \alpha_N \rightarrow 0$ است، نسبت اتقاقی افتد و $I_C \rightarrow \infty$ $\left(\frac{BV_{CE0}}{BV_{CB0}} \right)^n \times \alpha_N \leftarrow I_C$

ولتاژ نسبت

$$\Rightarrow BV_{CE0} = BV_{CB0} \sqrt[n]{1 - \alpha_N} \Rightarrow BV_{CE0} \ll BV_{CB0}$$

استقرار کمترین

مدل سیگنال کوچک (small signal)

$$\Delta p_E(t) = p_n \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) \approx p_n e^{\frac{qV_{EB}}{kT}}$$

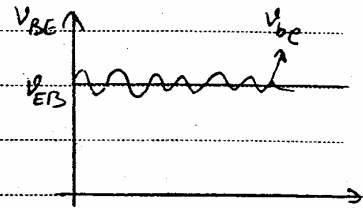
در دور آمپلیفیکیشن

$$V_{EB} = V_{EB}^{(DC)} + V_{EB}^{(AC)}$$

$$\Delta p_E(t) = p_n e^{\frac{q(V_{EB} + V_{eb})}{kT}} = \underbrace{p_n e^{\frac{qV_{EB}}{kT}}}_{\Delta p_E(DC)} e^{\frac{qV_{eb}}{kT}}$$

$$\text{چون } q \ll 1 \rightarrow e^q \approx q + 1 \rightarrow q = \frac{V_{eb}}{\frac{kT}{q}} \ll 1$$

تسلیات کوچک



$$\Delta p_E(t) = \Delta p_E(DC) \left(1 + \frac{qV_{eb}}{kT}\right)$$

$$Q_N(t) = \frac{1}{Y} q A W_b \Delta p_E(t)$$

$$Q_N(t) = \frac{1}{Y} q A W_b \Delta p_E(DC) \left(1 + \frac{qV_{eb}}{kT}\right)$$

$$i_B(t) = \frac{Q_N(t)}{\tau_p} + \frac{dQ_N(t)}{dt}$$

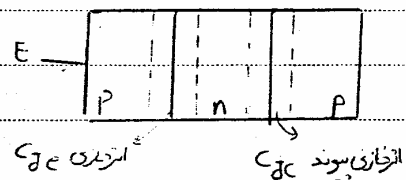
$$i_B(t) = I_B + \underbrace{\left(\frac{qI_B}{kT}\right)}_{G_{sc}} V_{eb} + \underbrace{\left(\frac{q}{kT} I_B \tau_p\right)}_{C_{sc}} \frac{dV_{eb}}{dt}$$

$$i_B(t) = I_B^{(DC)} + i_b^{(ac)}$$

$$i_b = \underbrace{G_{sc}}_{\text{هدایت}} V_{eb} + \underbrace{C_{sc}}_{\text{ظرف}} \frac{dV_{eb}}{dt}$$

$$G_{sc} = \frac{q}{kT} I_B = \frac{I_B}{V_T} = \frac{I_C}{\beta V_T} = \frac{1}{r_n}$$

$$C_{sc} = \frac{qI_B}{kT} \tau_p = G_{sc} \tau_p = \frac{\tau_p}{r_n}$$



کل ظرفیت
پیش آمیخته $C_{\pi} = C_{se} + C_{je}$

$$C_{je} = \frac{A}{Y} \left[\frac{q E}{V_0} \frac{N_{AND}}{(N_A + N_D)} \right]^{1/2}$$

باید دقت داشت که C_{je} در C_{je0} است

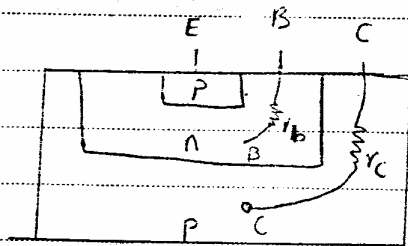
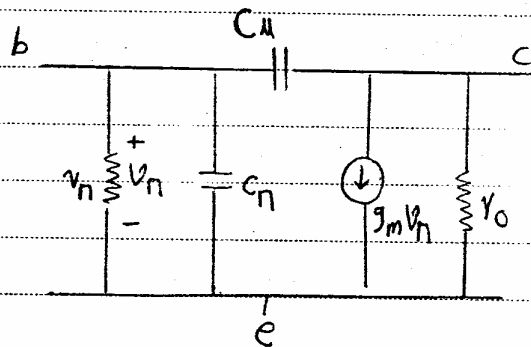
$$C_{je} = \frac{C_{je0}}{\sqrt{1 - \frac{V_{EB}}{V_{0EB}}}}$$

خازن بار خروجی $C_M = C_{jc} = \frac{C_{je0}}{\sqrt{1 - \frac{V_{CB}}{V_{0CB}}}}$

$\tau_p = \beta \tau_f$ طول

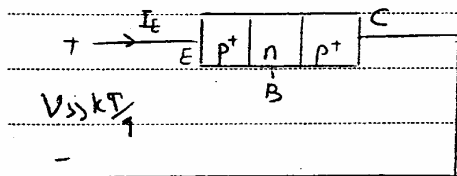
$$I_C = \frac{Q_N(t)}{\tau_p} = \beta I_B + \frac{q \beta I_B V_{EB}}{kT}$$

$$g_m = \frac{q \beta I_B}{kT} = \frac{\beta I_B}{V_T} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1}{\frac{V_T}{\beta}}$$



مقاومت های پیدای تابش و ولت v_b
 الکترودانی x_c

✓ (تئوری) ترانزیستور متجانس pnp تصویرهای زیر نسبت به هم داریم $\frac{kT}{q}$ برای هر مدار حفظ می‌کنیم
 (در این مدارها p از سمت چپ و n از سمت راست است) $\begin{cases} \alpha_N = \alpha_I = \alpha \\ I_{CS} = I_{ES} \end{cases}$ نامی نیست $\delta p(n)$ را هم نباید



از $I_B = 0 \Rightarrow V = V_{EB} + V_{BC}$

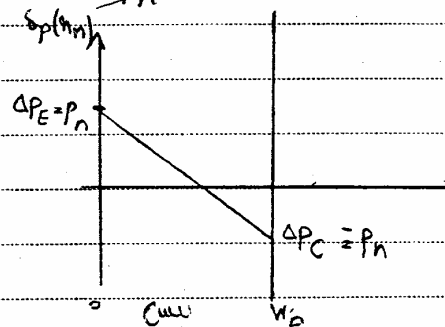
$$V_{EB} \ll V_{BC} \Rightarrow V = V_{BC} \gg \frac{kT}{q} \Rightarrow V_{CB} \ll -\frac{kT}{q}$$

$$\Rightarrow \Delta p_C = p_n \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right) \Rightarrow \Delta p_C = p_n \quad I_B = I_E = I_C$$

$$I_B = I_{ES} \frac{\Delta p_E}{p_n} - \alpha_I I_{CS} \frac{\Delta p_C}{p_n} - \alpha_N I_{ES} \frac{\Delta p_E}{p_n} + I_{CS} \frac{\Delta p_C}{p_n}$$

طبق مدار $I_B = 0 \therefore (1-\alpha) I_{ES} \frac{\Delta p_E}{p_n} + (1-\alpha) I_{ES} \frac{\Delta p_C}{p_n} = 0$

$$\Rightarrow \Delta p_E = -\Delta p_C = p_n$$



$$I_B = 0 \Rightarrow I_E = I_C \Rightarrow \alpha I_C + I_{ES} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) = \alpha I_E - I_{CS} \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} = e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} + 1 \Rightarrow V_{EB} = \frac{kT}{q} \ln 2 \approx 0.17V$$

$$I_E = I_C$$

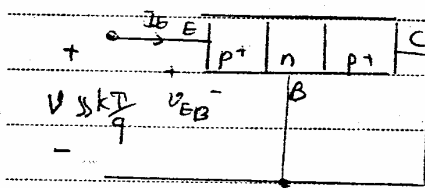
$$I_B = 0 \Rightarrow I_C = I_E$$

$$I_E = \alpha I_C + I_{E0} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{KT}} - 1 \right)$$

ايزر دري

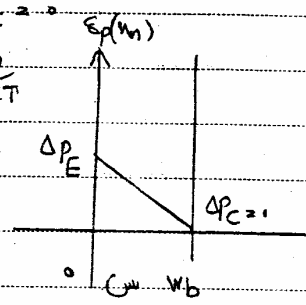
$$I_E = \alpha I_E + I_{E0} (\gamma - 1) \Rightarrow I_E = \frac{I_{E0}}{1 - \alpha}$$

$$I_E = \frac{(1 - \alpha') I_{E5}}{1 - \alpha} = (1 + \alpha) I_{E5}$$



طريقه: $V_{CB} = 0 \rightarrow \Delta p_C = 0$

$$V_{EB} = V_E - V_B \gg \frac{KT}{q} \rightarrow \Delta p_E = p_n e^{\frac{qV_{EB}}{KT}}$$



از معادله $V_{CB} = 0 \rightarrow I_C = \alpha I_E + I_{C0} \left(e^{\frac{qV_{CB}}{KT}} - 1 \right)$

$I_E = \gamma$ (ب)

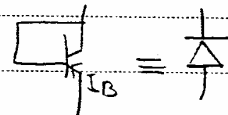
$$\rightarrow I_C = \alpha I_E$$

ايزر $I_E = \alpha I_C + I_{E0} e^{\frac{qV_{EB}}{KT}}$

$$I_E = \alpha I_E + I_{E0} e^{\frac{qV_{EB}}{KT}}$$

$$I_E = \frac{I_{E0}}{1 - \alpha} e^{\frac{qV_{EB}}{KT}} = I_{E5} e^{\frac{qV_{EB}}{KT}}$$

پا. $I_E = I_{E5} e^{\frac{qV_{EB}}{KT}}$

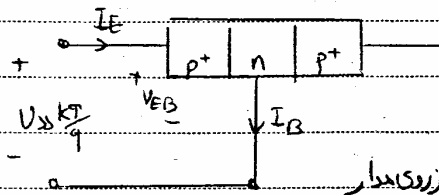


$$I_B = I_E - I_C = I_E - \alpha I_E = \frac{I_{E0}}{1 + \alpha} e^{\frac{qV_{EB}}{KT}}$$

(ج)

۱۱۰

✓ شکل ©:

الف: احتمالی حاصل‌های احتمالی در بین $\delta_p(n)$

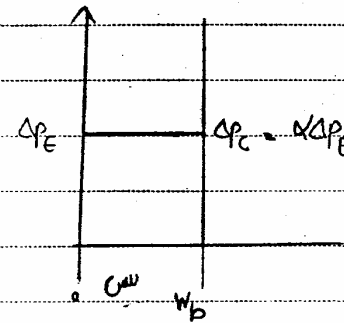
بزرگ

$$V_{EB} = V_T \ln \frac{I_E}{I_S}$$

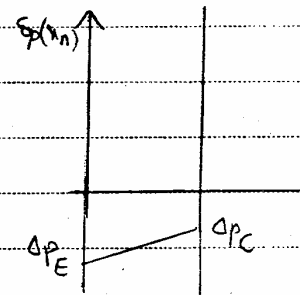
$$\Delta p_E = p_n e^{\frac{qV}{kT}}$$

طبقاً $I_C = 0$

$$\frac{I_{CS}}{p_n} (\alpha \Delta p_E - \Delta p_C) = 0 \rightarrow \Delta p_C = \alpha \Delta p_E$$

ب) اگر $V \ll -\frac{kT}{q}$ یعنی V منفی است و I_E و $V_{CB} = 0$ و $\delta_p(n)$

$$V = V_{EB} \ll -\frac{kT}{q} \rightarrow \Delta p_E = -p_n \rightarrow \Delta p_C = \alpha \Delta p_E = -\alpha p_n$$

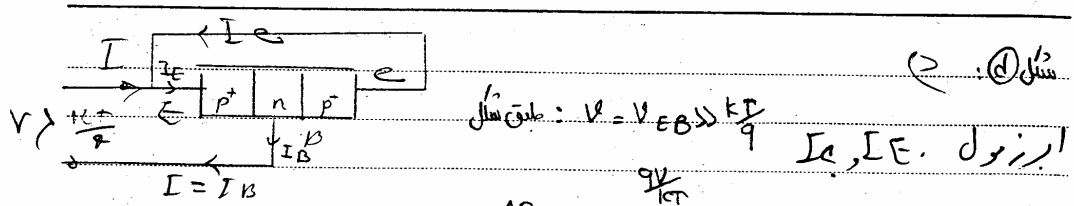
طبقاً $I_C = 0$

$$V_{EB} = V \ll -\frac{kT}{q} \rightarrow I_E = \alpha I_C - I_{E0} = -I_{E0}$$

$$\text{چون } I_C = 0 \rightarrow \alpha I_E - I_{C0} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) = 0$$

$$V_{CB} = \frac{kT}{q} \ln(1 - \alpha)$$

۱۳۰

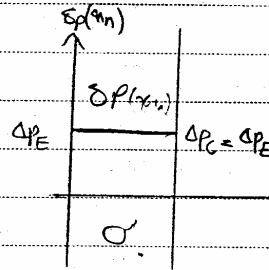


طبقه اول: $V = V_{EB} \gg \frac{kT}{q}$

ابزار مول I_E, I_C

$\rightarrow \Delta P_E = p_n e^{\frac{qV}{kT}}$

طبقه دوم: $V_{CB} = V \gg \frac{kT}{q} \rightarrow \Delta P_C = p_n e^{\frac{qV}{kT}}$



$I = I_E - I_C$

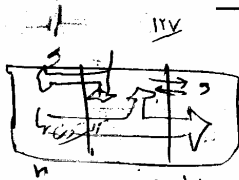
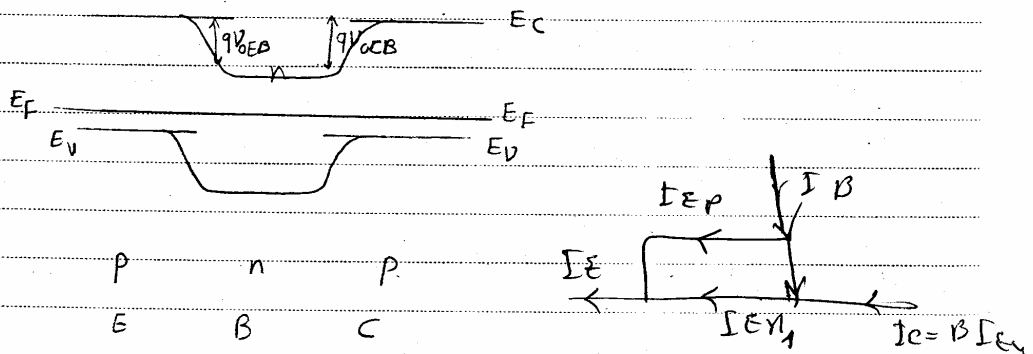
(ب) $I = \beta I_E$

ابزار دوم: $I = \alpha I_C + I_{E0} (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) - \alpha I_E + I_{C0} (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$

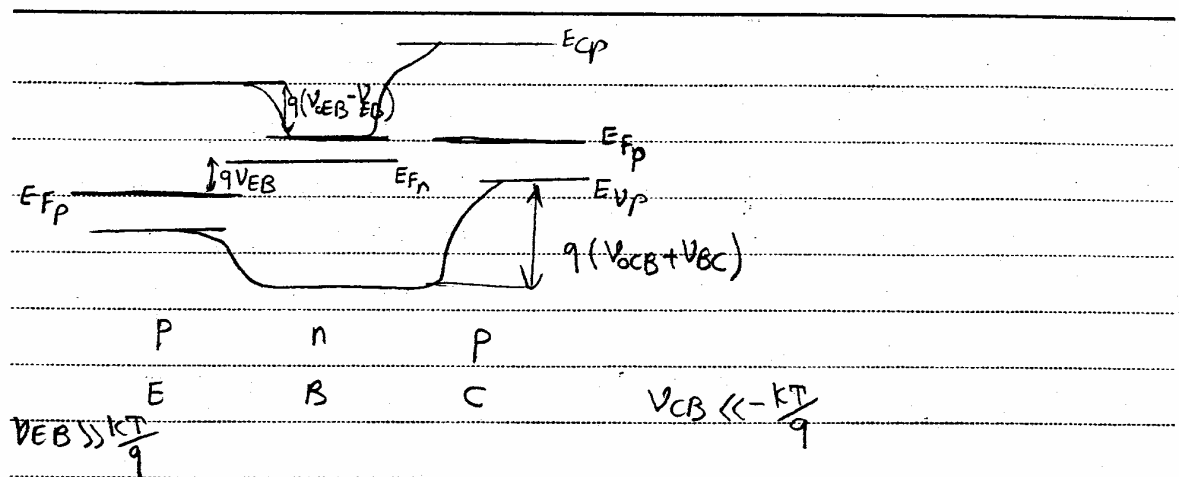
$I = -\alpha I + \gamma I_{E0} e^{\frac{qV}{kT}}$

$I = \frac{\gamma I_{E0}}{1+\alpha} e^{\frac{qV}{kT}} \left(\frac{\gamma (1-\alpha^2) I_{E0}}{1+\alpha} e^{\frac{qV}{kT}} - \gamma (1-\alpha) I_{E0} e^{\frac{qV}{kT}} \right)$

(۲) دیالوگ با دانشجو برای شارژر و npn و pnp در حالت معادل و وقت مایه نرغال



۱. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۲. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۳. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۴. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۵. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۶. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۷. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۸. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۹. جریانهای مختلف در ترانزیستور
۱۰. جریانهای مختلف در ترانزیستور



۳) در یک ترانزیستور متقابل pnp (الف) جریان $I_E = I_C$

ب) اگر $V_{CB} = 4.5V$ باشد جریان I_B را برای $V_{EB} = 0.3V$ و برای $V_{EB} = 0.6V$ حساب کنید.

ج) مقایسه β و β_A را حساب کنید.

$$\mu_p^p = 250 \quad \mu_n^n = 1300 \quad \tau_n^p = 71 \text{ ksec} \quad N_A = 6^{14} \quad N_D = 10^{18} \quad W_B = 9.8 \mu m$$

$$n_i = 1.5 \times 10^{10} \quad \frac{kT}{q} = 26 \text{ mV} \quad \mu_n^p = 250 \quad A = 1 \text{ cm}^2$$

$$\text{الف: } L_p = \sqrt{D_p \tau_p} = \sqrt{\frac{\mu_p kT}{q} \tau_p} \quad \tau_p = 10.1 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$\frac{D_p}{L_p} = \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} = \sqrt{\frac{\mu_p kT}{q} \tau_p}$$

$$p_n = \frac{n_i^2}{N_D} = 2.25 \times 10^{-5}$$

$$I_{E_s} = (qA \frac{D_p}{L_p} p_n) Gth \frac{W_D}{L_p} = 1.1 \text{ fA}$$

γ, β, α

ب) $\alpha_I = \alpha_N$ جواب

$$\alpha = \beta \gamma = \beta \alpha I = \text{sech} \frac{W_D}{L_p} = 0.99$$

$$I_B = I_E - I_C = (1 - \alpha) I_{E_s} \left(e^{\frac{qV_{EB}}{kT}} - 1 \right) - (\alpha - 1) I_{C_s} \left(e^{\frac{qV_{CB}}{kT}} - 1 \right)$$

$$I_B = \begin{cases} 1.1 \text{ fA} & V_{EB} = 0.3 \\ 1.1 \text{ fA} & V_{EB} = 0.4 \end{cases}$$

ج) $\beta_{DC} = \beta = 0.991$

$$\alpha = \beta \gamma = 0.991$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = 11$$