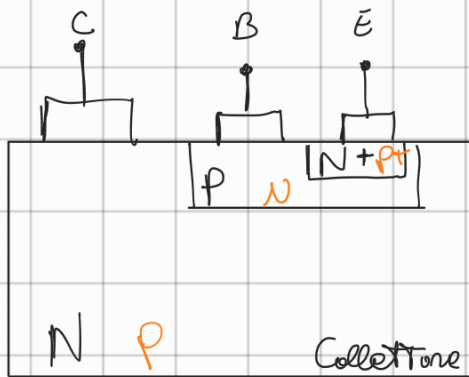


BJT Ci sono 2 tipi

l'altra è quale, NPN, PNP

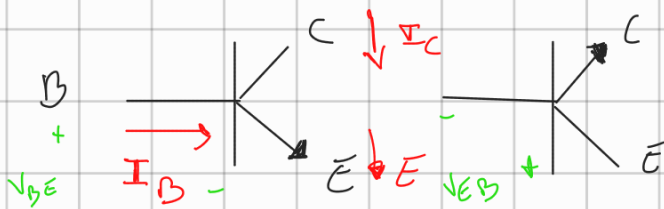


- Substrato drogato N, ^{poi} metallizzato $\rightarrow$ Collettore
- Maschera e diffondere P, metallizzato $\rightarrow$ Base
- Mascheratura N⁺ su P, metallizzato $\rightarrow$ Emitter

- E, emissione di Elettroni
- C, collezione di elettroni

Per PNP si cambiano tutti i segni delle tensioni, cambiano versi delle correnti, portatori magg. sono lacune $\Rightarrow$ mobilità diversa, densità corrente diversa

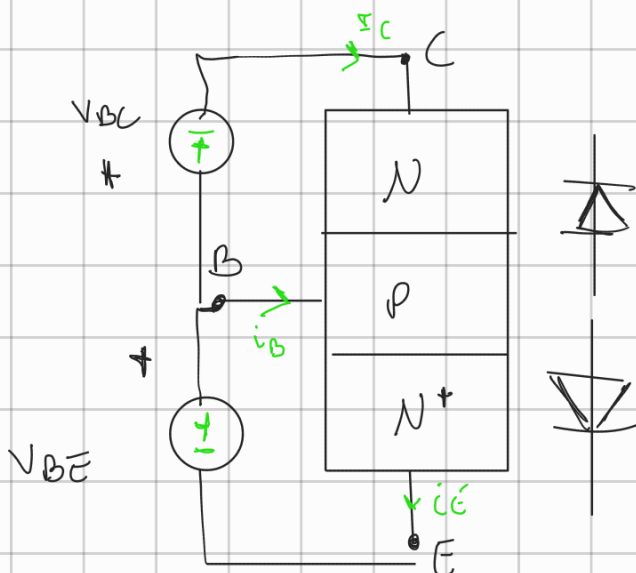
simbolo



• Correnti in gioco, 3

(Mos ha una sola corrente, corrente DS)

- Posso anche vederlo come (n-p-n⁺) e ora come 2 generatori, il comportamento dell'oggetto dipende dalle tensioni che io applico



• Problema: i diodi sono back to back

- Se uno è polarizzato in diretta, anche se l'altro è polarizzato in diretta, la corrente dovrebbe scorrere nel senso opposto

non può funzionare, è perfettamente simmetrico, funziona per le asimmetrie

regime E molto più drogato di C, e la Base ha uno spessore molto più piccolo di collezione o emissione

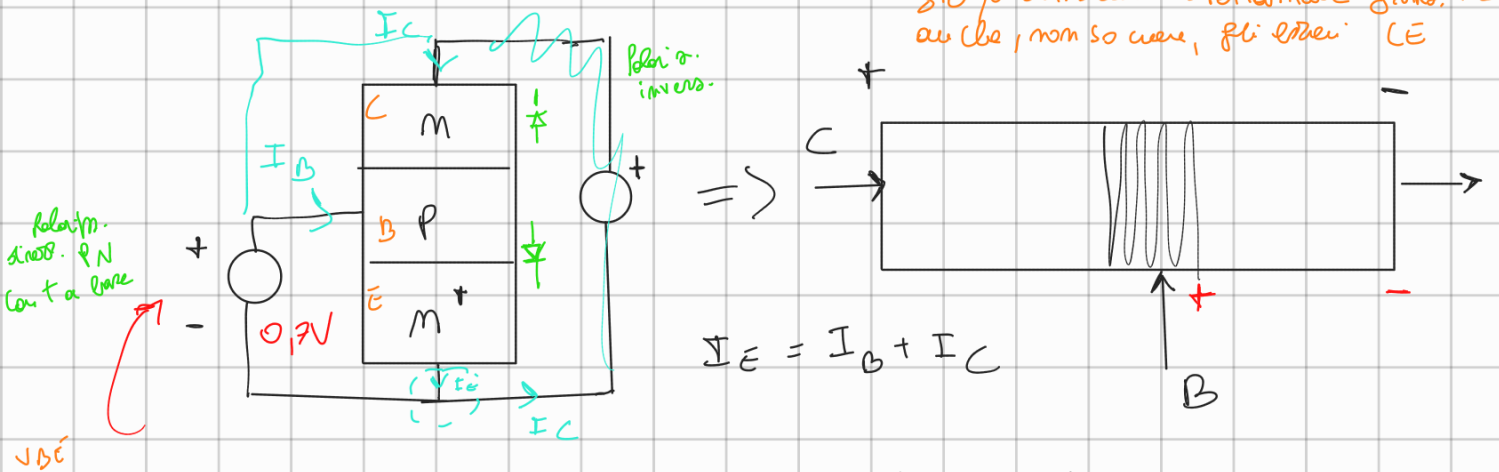
La base è molto fina

• Spessore base $0,1 \mu m \div 10 \mu m$ Perché?

Config. di emettitore comune.

es. polarizzo in diretta la giunzione $p-n$ e applico un potenziale esterno, dunque $0,7V$

dal punto di vista delle cariche ho sto polarizzando direttamente giunzione BE e anche, non so come, gli altri CE



Se voglio portare in variazione questa polarizzazione devo doppiare una tensione $> 0,7V$, es. $0,7V$

Se $V_{CE} > V_{BE}$, giunzione CE è polarizz. inversamente

$$\text{infatti } V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$$

• in base, ho una regione svuotata prevalentemente nella base, e in E ho poco e niente, però è anche PICCOLINA, perché è polarizzata direttamente, condotta

Se non fosse polarizzata, avrei una reg. svuotata nella base, siccome è polarizzata direttamente, tende a diminuire. e

$\Rightarrow$ Sulla base ho un potenziale positivo, dunque gli elettroni tendono a muoversi verso la base. Essi trovano delle lacune (base drogata tipo P), ma ne trovano poche (E di tipo N^+). Tanti elettroni trovano poche lacune con cui si ricombinano, ma colando lacune, sbilancio il potenziale e devo reintrodurre delle lacune. Reintroducendo lacune, entra allora una corrente di base I_B che è destinata a

devono mantenere il potenziale V_B e per tenere piccola la reg. svuotata e is per ripristinare la base
ripuliranno le lacune che si cancellano, ma
non tutti gli elettroni che passano attraverso LA CUNE
pelle sono molto di più gli el. che passano da E a B, rispetto alla
base

• Un elettrone che supera la regione svuotata, è in
base, non si è ricombinato, gli elettroni vedono comunque
un potenziale positivo, ^{quello del + al collettore} continuano la loro corsa nell'
altra regione svuotata equamente distribuita in N
(drogati N e P allo stesso modo).

=> Se il potenziale collettore è suff. alto, gli elettroni
si ritrovano nel collettore

(comparsa densità di elettroni nel collettore è
minore, N) allora ho un FLUSSO di elettroni
da E a C, allora ho una corrente, da C a E.

=> La corrente di Base è quella che vede il
passaggio possibile, ^{altrimenti} gli elettroni non passerebbero
in C, la CORRENTE della Base è
L'INTERRUPTORE. La corrente che scorre nel
COLLETTORE è un MULTIPLO della corrente di
Base

l'interruttore nel BJT è la CORRENTE di base,
rende possibile la migrazione di el da E a B

BJT è un AMPLIFICATORE di CORRENTE
di Base a fronte di una corrente di Base, ho
una corrente di collettore che è un multiplo.

=> Corrente di Emittore? facciamo KI
$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta I_B = I_B (1 + \beta)$$

dove β = fattore di amplificazione e $I_E \sim I_C$

$\Rightarrow \beta \gg 1$, β è molto grande e dipende dal rapporto dei drogaggi

$\Rightarrow$ a fronte di una corrente di base I_B scende una $I_E \approx \beta I_B$

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$

$V_{BC} + V_{BE} = V_{EC}$

da prima?!
No

$\Rightarrow$ • Costando i potenziali V_{BE} e V_{BC} posso gestire il funzionamento del BJT!

es. se non applico $V_{BE} \Rightarrow I_B = 0$
 $\Rightarrow I_E = I_C = 0$

Ho interdetto il diodo V_{BE} , sono in SATURAZIONE INVERSA
tutte le correnti sono nulle

Ma S, SATURAZIONE: Regione di AMPLIFICAZIONE, corrente costante di valore della V_{GS}

BJT, SATURAZIONE: come reg. LINEARE MOS

REGIONE ATTIVA DIRETTA: AMPLIFICAZIONE

Allora, detto ciò

$$I_C = \beta_F I_B$$

FORWARD

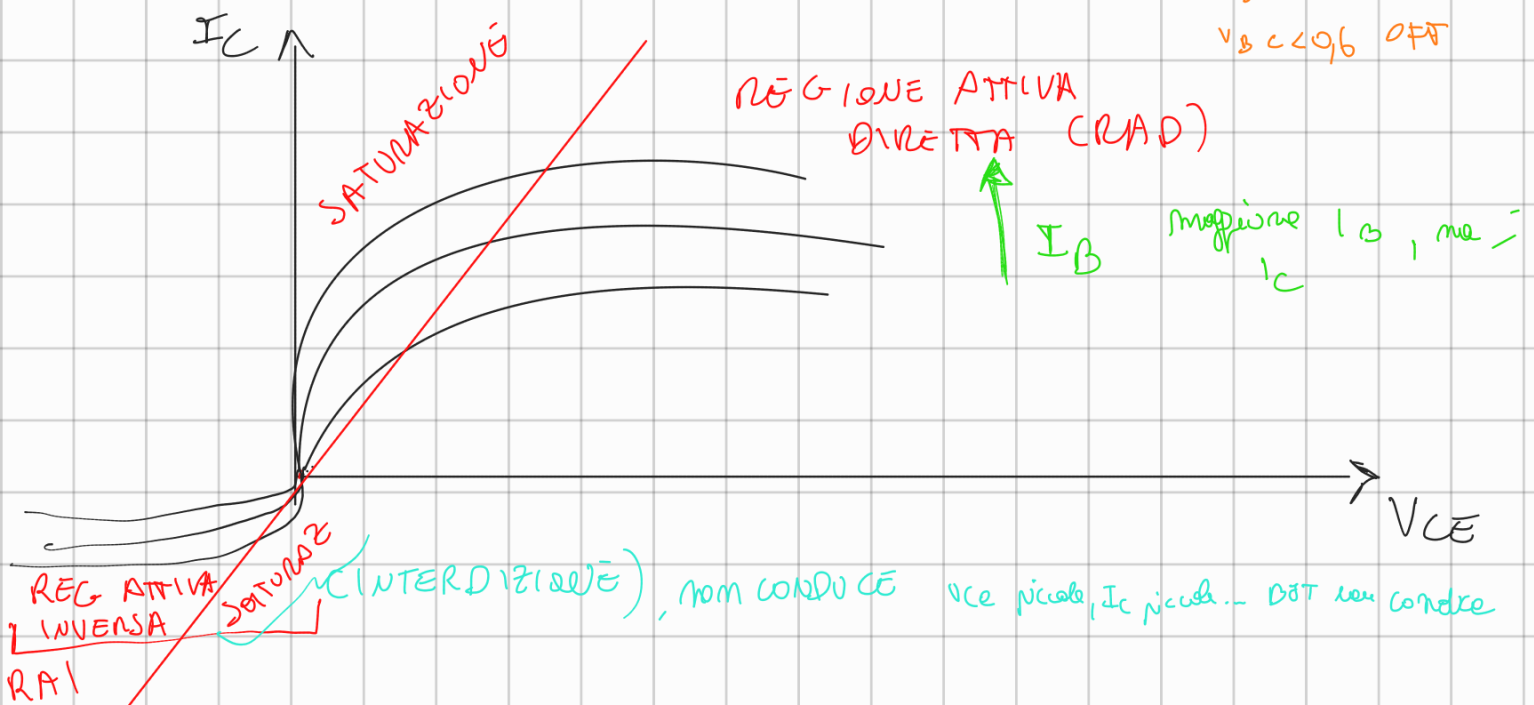
$$I_E = (1 + \beta_F) I_B$$

ora qui è I_B che controlla I_C , meglio I_B , meglio I_C

ma.... se applico una tensione negativa ad un diodo, la corrente non è proprio 0, ma è corrente inversa di saturazione...

Ma se CONTROFORNIZZO le GIUNZIONI, la corrente scende...

Sono in RAI se $V_{BE} > 0.6$, ON
 $V_{BE} < 0.6$ OFF



=> La corrente INVERSA di SATURAZIONE è piccola, ma c'è nel MOS invece, la corrente inversamente non scorre diversamente non ho 4 terminali, devo stare su Source da Bulk altrimenti avrei diodo base base e D polarizzato bene (applicando + a S e - a D)

=> Potrei anche avere una corrente da Emissione a Colletto senza alterare strappi, ma essendo il dispositivo ASIM ho poca amplificazione, ho N e P, le lacune e elettroni nel passaggio da N -> P, si ricombinano, e a N⁺ passano pochi elettroni da N -> P -> N⁺ ho poco passaggio di elettroni

• Regione di SATURAZIONE la si ottiene quando
 ... Tabellina

		V_{BE}	
		Diretta	Inversa
V_{BE} diretta	D	1	2
V_{BE} inversa	I	4	3

- Posso avere 4 regioni di Fun.
- 1 SATURAZIONE INTERA APERTO?
- (2) RAD, AMPLIFICAZIONE per piccoli segnali
- (3) INTERD. INTERRUZIONE?
- 4 RAI Reg. ATTIVA INVERSA

BJT come interr. per la INTERRUZIONE (SAT.) ed OFF, interdic.

$$V_{BE} = 0,7, V_{BC} = 0,8 \Rightarrow V_{CE} = 0,1$$

$$\text{es. } V_{BE} = 0,7 \quad V_{BC} = -0,8 \Rightarrow V_{CE} = V_{BE} - V_{BC} = 1,5, \text{ RAD}$$

$$V_{BC} = 0,8$$

$$V_{CE} = 0,1, \text{ SATURAZ } V_{CE} \text{ piccola, Satur.}$$

$$V_{BE} = -0,8, V_{BC} = 0,7 \Rightarrow V_{CE} = -1,5, \text{ RAD}$$

$$V_{BE} = -0,8 \quad V_{BC} = -0,8 \quad V_{CE} = 0 \quad \text{INTERD.}$$

- Al variare di I_B , se la V_{CE} è piccola > TO APRENDO e chiudendo un interruttore. (corrente 0 (interd), corrente qualunque)

Entrambe in diretta, apre interruttore e aumento I_B , aumento corrente.
 in sat. il BJT è un interruttore, al variare di I_B , se V_{CE} piccola, No $V_{corrente}$

- Se voglio usare il BJT come amplificatore, devo fare in modo che lavori in RAD, come MOS (in saturazione)

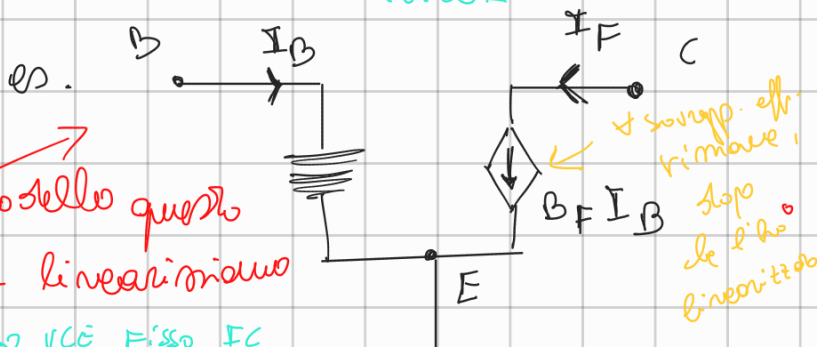
$$I_{CE} \gg I_B \gg I_{OS}(\text{MOS})$$

MODELLO DI TRASPORTO

eq. che dominano questo 4 regioni

qual è la corrente che scorre in un BJT?

SPOILER



$$\text{Se } I_F = I_C \quad I_F = I_{\text{Forward}} \quad \text{Collector}$$

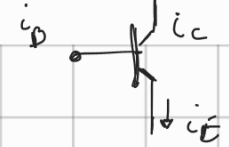
$$\Rightarrow I_B = \frac{I_F}{\beta_F}$$

I portatori minoritari sono molto pochi BJT si basa

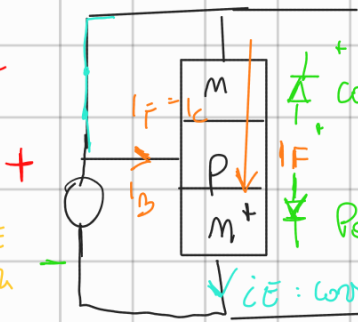
sul passaggio di portatori minoritari, prendo spunto da quelli che non si riciclano in base, che riescono a passare port. minoritari: quelli che non si riciclano in base

Sovrapposizione degli effetti... ho 2 generatori e 4 effetti

Scelgo modo lavoro: V_{CE} , I_C fissati
 1) Circuito 1° generatore e lo spreco, cortocircuito
 C.C. V_{BC}



V_{CE}
 V_{BC}



• Applico tensione positiva alla base e collettore

$$\Rightarrow V_{BE} \text{ diretta}, V_{BC} = I$$

$\Rightarrow$ Sono in ZONA 2, RAD

Polarizzata direttamente

i_E : corrente totale di corrente p-n. base-emettitore

Creando 2 generatori, perisco TUTTE e le combinazioni

β_F 50 ÷ 500, dipende dalla fisica del semiconduttore
 Pauli el., polo lacune

se polarizzo diretto BC, e inverso BE, non ho β_F ma
 β_R 1 ÷ 10
 poca corrente, poli elettroni, polo lacune

Come corrente di diodo

$$I_F = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right]$$

Tensione a temperatura ambiente 25mV

$$i_F = i_C$$

$$i_B = \frac{i_F}{\beta_F}$$

β_F forward

Pauli elettroni, polo lacune

$$\Rightarrow I_B = \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] = \frac{I_F}{\beta_F}$$

$$I_E = (\beta_F + 1) \left(\frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] \right) \Rightarrow (\beta_F + 1) I_B$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$\Rightarrow I_E = \left(\frac{\beta_F + 1}{\beta_F} \right) I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$I_E \cdot \alpha_F = I_B$$

$$\alpha_F = \frac{i_C}{i_E}$$

$$1/\alpha_F$$

$$\Rightarrow \alpha_F = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} \approx 1$$

α_F varierà tra $0,8 \div 1$

avuto α_F , e varierà $0,1 \div 0,6$, avuto β_F

β_F piccolo

I_F in questi casi

$$\Rightarrow I_C = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$I_B = \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$I_E = (\beta_F + 1) I_B = (\beta_F + 1) \left[\frac{I_0}{\beta_F} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right) \right]$$

da libro $i_E = i_C + i_B$

$$\alpha = \frac{i_C}{i_E} \quad \beta = \frac{i_C}{i_B}$$

$$\Rightarrow i_C = \alpha I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$\Rightarrow i_B = (1 - \alpha) i_E$$

$$i_B = (1 - \alpha) I_0 e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1$$

$$\beta = \frac{i_C}{i_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

MA FUNZIONA

IN INVERSA

c.c. V_{BE} , anche V_{BC}

Per come ho messo i segni

$$\Rightarrow I_R = -I_E$$

va da catted. a anodo

$$\Rightarrow I_R = I_0' \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right]$$

è diversa
può divenire persino
ma è valore
piccolo,

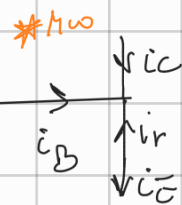
$$\Rightarrow I_B = \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$I_B = \frac{I_R}{\beta_F}$$

$$I_R = -I_E \quad \text{vale anche}$$

$$I_C = - \left(\frac{\beta_F + 1}{\beta_F} \right) I_0 \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$I_C = -I_R - \frac{I_R}{\beta_F}$$



$$i_C = -i_B - i_R$$

α e β saranno
più piccole

α_F, β_F

Ho messo insieme le 2 condiz. dei generatori. Allora
PS $\bar{E}$ e le metto insieme

I_C e I_E si scartano
radi in INVERSA

$$I_0 e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - I_0' e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} + I_0' = \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$I_0 e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - I_0 e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - \frac{1}{\beta_F} I_0 e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} + \frac{I_0}{\beta_R}$$

$$\Rightarrow I_C = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] - \frac{(\beta_R + 1) I_0}{\beta_R} \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right] \quad \text{raccolgo}$$

$$\left\{ I_C = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} \right] - \frac{I_0}{\beta_R} \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right] \right\}$$

$$I_E = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] + \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] - I_0 \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$\left\{ I_E = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} \right] + \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] \right\}$$

$$I_B = \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] + \frac{I_0}{\beta_R} \left[e^{\frac{V_{BC}}{V_T}} - 1 \right] \quad \text{ip si dormano} \Rightarrow$$

Modello delle eq di trasporto del BJT perché

il valore di V_{BC} e V_{BE} noi capiamo in quale zona siamo

Es. ZONA di INTERAZIONE

$$V_{BE}, V_{BC} < -4 \frac{kT}{q} = -4 V_T \quad \text{en. elettroni polarizz. in inverse}$$

in questo schema vediamo poca corrente

$$I_E = -\frac{I_0}{\beta_F} \approx 0$$

$$I_C = \frac{I_0}{\beta_R} \approx 0$$

$$I_B = -\frac{I_0}{\beta_F} - \frac{I_0}{\beta_R}$$

$$I_C + I_B = I_E \quad \text{con } k_C$$

REGIONE ATTIVA DIRETTA

RAD

V_{BE} polarizzato con V_{BC} inverso.

$$V_{BE} \gg 4 \frac{kT}{Q}$$

$$V_{BC} \ll -4 \frac{kT}{Q}$$

$$I_C = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \right] + \frac{I_0}{\beta_r}$$

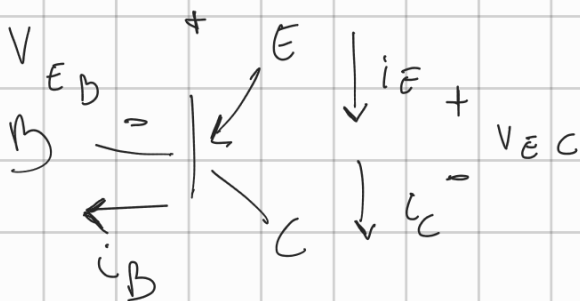
$$I_B = \frac{I_0}{\beta_r} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right] - \frac{I_0}{\beta_r}$$

$$I_E = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \right] + \frac{I_0}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right]$$

$$\Rightarrow I_C \approx I_E = I_0 \left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \right]$$

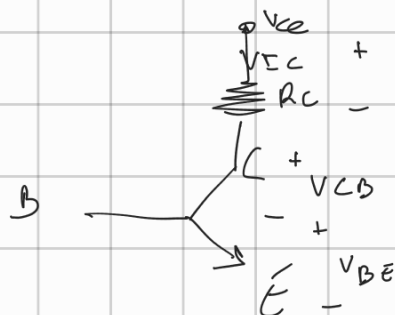
domina ciò che è
pilato dalla giunzione Base-Emissione
e I_B è una frazione (β_F) di I_C

BJT PNP



in polarizzazione $\beta_{NPN} = 2.5 \beta_{PNP}$

per avere massima



$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CB} + V_{BE}$$

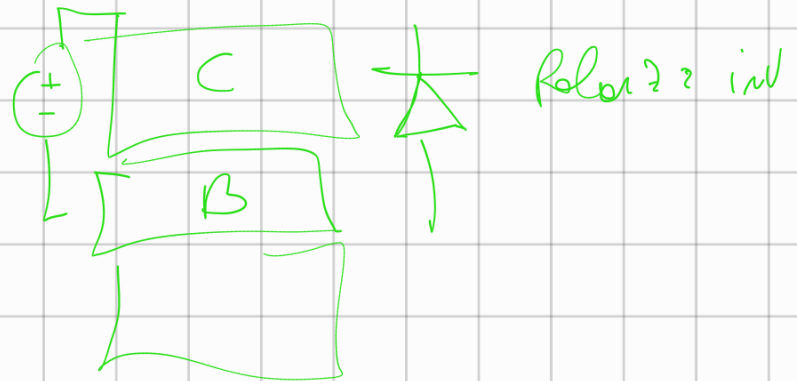
$$V_{CB} = V_{CC} - I_C R_C - V_{BE}$$

$$V_{BE} > 0$$

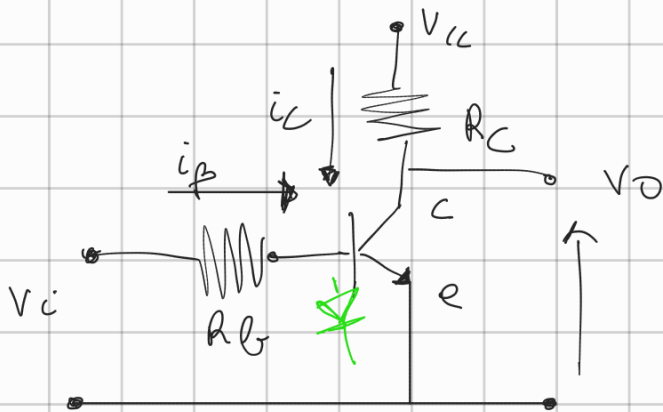
$$V_{CE} > V_{BE}$$

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$

$$V_{BC} = -2V, \text{ Negative}$$



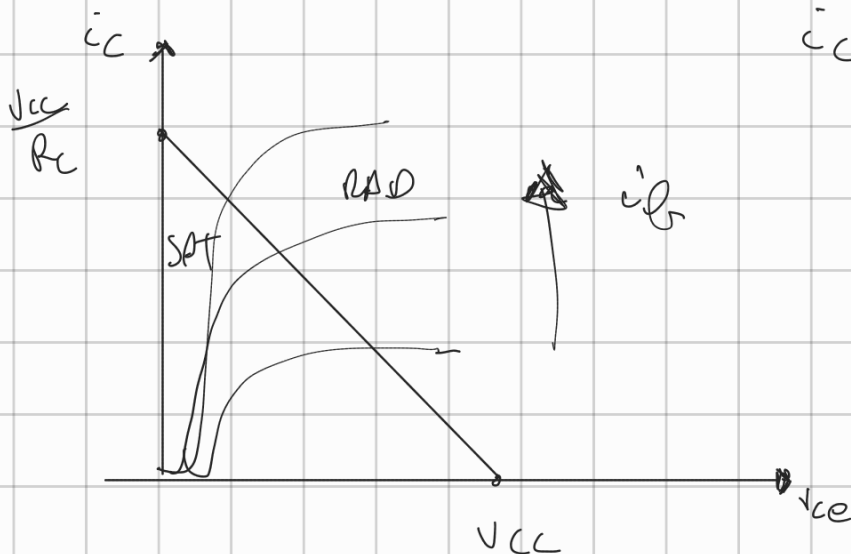
Da libro: BJT come interruzione



$$V_{CC} = i_C R_C + V_{CE}$$

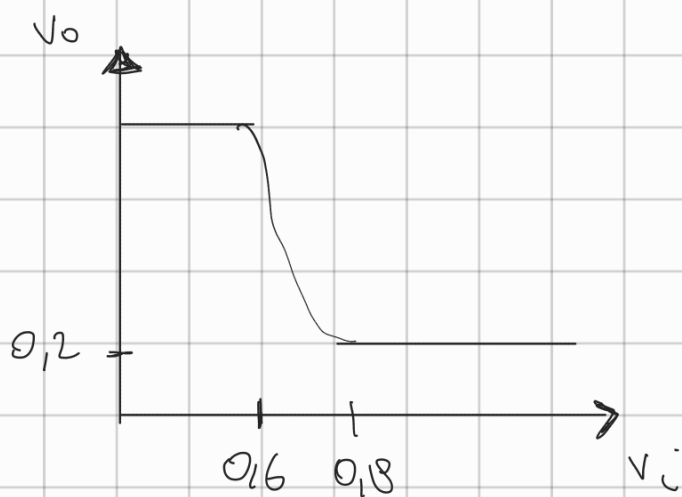
$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC} = V_{BE} + V_{CB}$$

$$i_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$



$$V_i = V_{BE}$$

$$V_o = V_{CE}$$



$$V_{ce} = V_{be} + V_{cb}$$

$$V_{ce} = V_{cc} - i_c R_c$$

$$V_{cb} = V_{cc} - i_c R_c - V_{be}$$

$$V_{bc} = R_c i_c + V_{be} - V_{cc}$$

$V_{be} < 0,6$ o zero in sat o interl.

$$V_{ce} = V_{cc}$$

$\hookrightarrow V_{bc} < 0,6$! con Bipolarino BC! zero
in interl, $i_c = 0$, tutto V_{cc} cade su V_{ce}

Non cade nessuna delle resistenze

Per $V_i > 0,6$ $V_{be} > 0$

e da KV per trovare i_B , corrente che scorre nell'ip.

diviso in un dato
tra B e E

$$-V_i + R_B i_B + 0,6 = 0$$

$$i_B = \frac{V_i - 0,6}{R_B}$$

all'aumentare di V_i , aumenta i_B

all'aumentare di i_B , si alza la cond. di uscita
inizialmente spostarsi verso la saturazione
in quanto $i_c = \beta i_B$

Se avuta i_B , V_{CE} si calcola

$$\text{infatti } V_{CE} = V_{CC} - R_C i_C$$

* Avuto valore di i_C
su R_C si avrà
 V_{CE}

$$i_C = \frac{\beta_F (V_i - 0,6)}{R_B}$$

Quando però $V_{CE} < 0,2$ entra in saturazione

Se consideriamo che V_{BE} aveva fino a $0,8$ V.

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C i_C = V_{CC} - \frac{R_C}{R_B} \beta_F (V_i - 0,8) = 0,2$$

$$\Rightarrow V_i = \left(V_{CC} - 0,2 \right) \frac{R_B}{R_C \beta_F} + 0,8$$

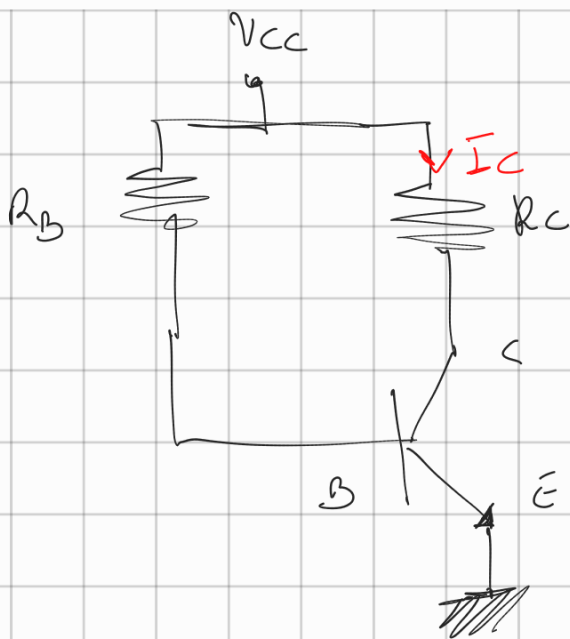
$\downarrow$ questo

BJT in sat per cui $V_{BE} \approx 0,8$

BJT si stabilizza alla β_{eff} di valore $0,2$ volt

Polarizzazione BJT in RND

* Se in RND se V_{BE} è polarizzato



$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \beta_F I_B$$

se polarizziamo,
0,6

Sono in RAO se $V_{CE} > 0,2$

$$\text{dove } V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$\Rightarrow -I_C R_C > -V_{CC} + 0,2$$

$$I_C R_C < V_{CC} - 0,2$$

esempio $I_C = \beta_F \frac{V_{CC} - 0,6}{R_B}$

$$\frac{R_C}{R_B} \beta_F (V_{CC} - 0,6) < V_{CC} - 0,2$$

Se sono in RAO, abbiamo saturazione.

es. $\beta_F = 100$, $V_{CC} = 9V$

$$\frac{R_C}{R_B} 940 < 4,8$$

$$R_C < \frac{4,8}{1,40} \text{ k}\Omega$$

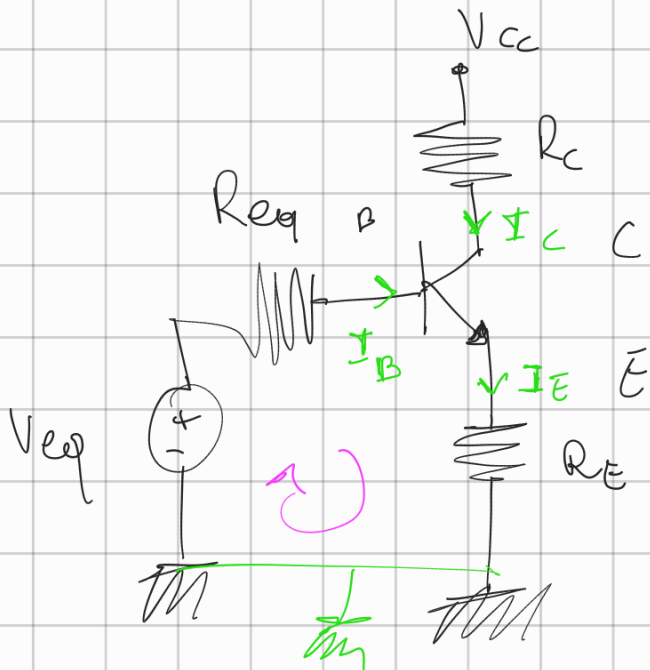
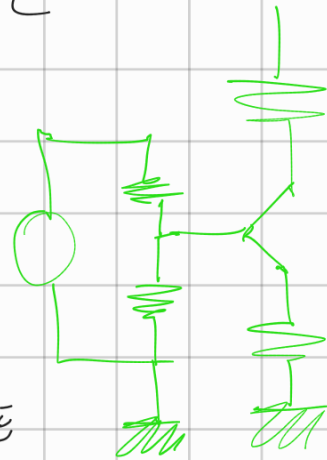
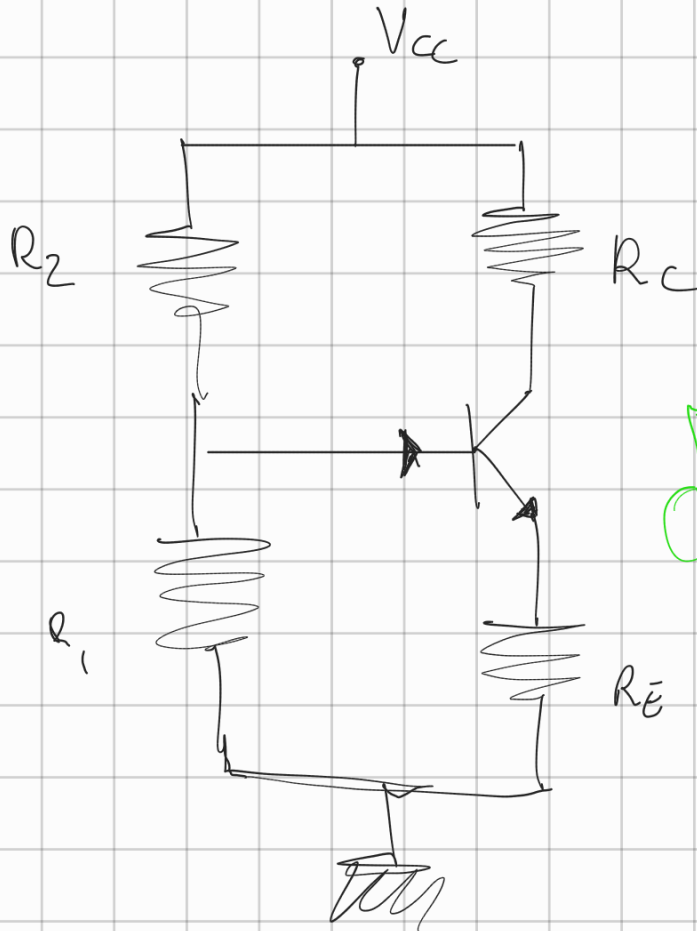
R_B deve essere 100 volte più grande di R_C altrimenti la coppia converge e sono in SAT

$$R_c \ll$$

$$\frac{R_p}{100}$$

$$f_p \ll 100 \cdot R_c$$

Approximate BJT can be resistor.



$$V_{eq} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc}$$

$$R_{eq} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

da KV $-V_{eq} + R_{eq} I_B + V_{BE} + I_E R_E = 0$

ed essendo $I_E = I_B + I_C = (1 + \beta F) I_B \approx I_C = \beta F I_B$

$$V_{eq} - V_{BE} = R_{eq} I_B + \underbrace{\beta F I_B}_{I_C} R_E$$

$$I_C R_E \gg R_{eq} I_B \Rightarrow \frac{I_C}{I_B} \gg \frac{R_{eq}}{R_E}$$

$$\beta F \gg \frac{R_{TH}}{R_E}$$

$\Rightarrow$ Di solito è
verificata essendo
 βF grande

$$\frac{V_{eq} - V_{BE} \approx 0,6}{R_E} \approx I_C$$

$$I_C \approx I_E$$

Voglio che $V_{CE} \geq 0,2 V$

ovvero che $V_{CC} - (R_C + R_E) I_C \geq 0,2$

cioè se $V_{CC} - \frac{(R_C + R_E)(V_{eq} - 0,6)}{R_E} \geq 0,2$

$$\left(\frac{R_C}{R_E} + 1 \right) \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} - 0,6 \right) \leq V_{CC} - 0,2$$

$$I_C = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E}$$

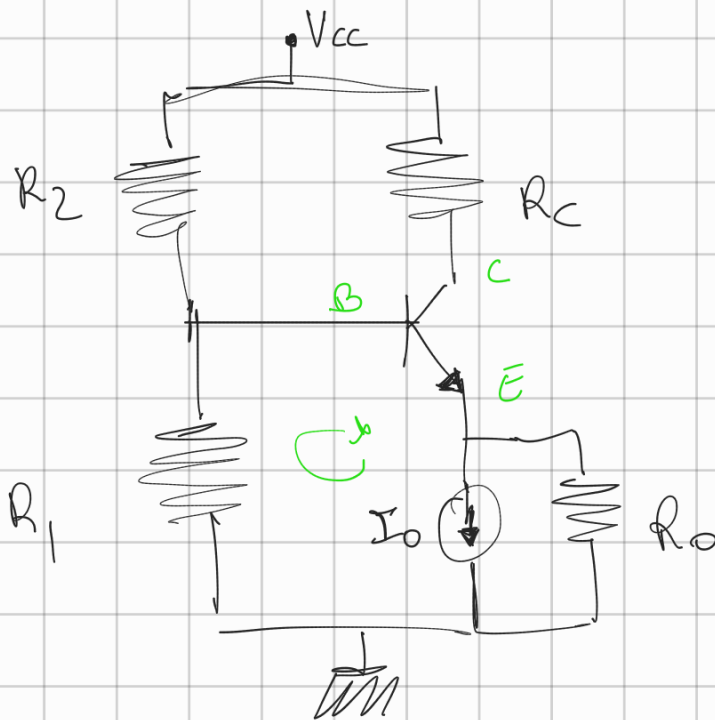
R_E controlla

le variazioni di I_C

Stabilità e grandezza di uscita

Così da mantenerlo in LAD, se I_C aumenta
 Bipo a se' di $V_{TH} = V_{BE}$, il BJT non
 scende più in LAD

Polarizzazione BJT con generatore di
 corrente.



• R_o grande, $I_E \approx I_o \approx I_C$

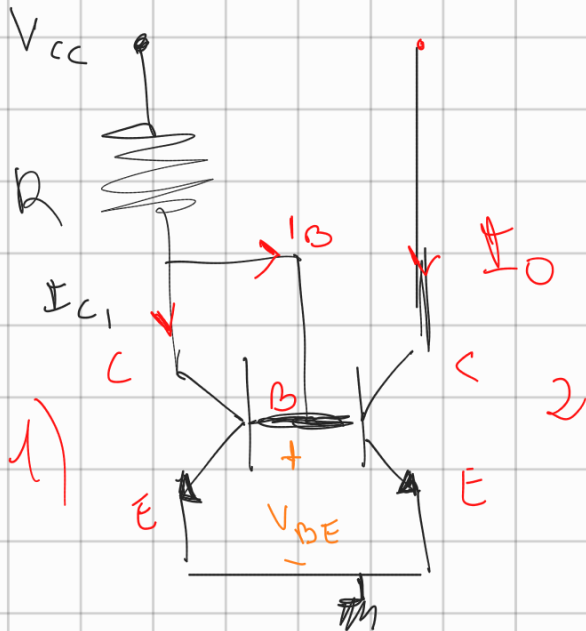
$$- \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} + V_{BE} + R_o (I_E - I_o) = 0$$

$$\boxed{I_E - I_o} \approx I_C = \frac{V_B - V_{BE}}{R_o}$$

variaz. della
 corrente di
 collector

dovuta a $V_B (V_{CC})$ e V_{BE} , stesso
 di R_o

Specchio di Corrente BJT



$$V_{BE1} = V_{BE2}$$

1) è in RAD?

Se in RAD se $V_{CE} > 0$?

$$V_{CE1} = V_{BE1} \Rightarrow V_{BE} = 0$$

Se anche 2) è in RAD, allora
 allora la stessa corrente
 in quanto hanno lo stesso V_{BE}
 e quindi la stessa corrente

$$I_{C1} \approx I_B \quad V_{CE} = V_{BE}$$

$$V_{CC} = I_{C1} R + V_{CE} = I_{C1} R + V_{BE}$$

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R} = I_O$$

Forzo I_O ad avere parte costante, dipende da V_{CC} e R

$$R_{O1} = \frac{V_A}{I_O} \approx 20-50 \Omega$$