

11. TRANSISTORE BIPOLARRA EGOERA ESTATIKOAN

Diodoa, erresistentzia, harila edota kondentsadorea osagai pasiboak ziren; transistorea, berriz, aktiboa da; hau da, korrante-, tentsio- eta potentzia-irabaziak lor ditzake. Elektronika analogikoan eta telekomunikazioetan duen garrantzia, beraz, begi-bistakoa da, amplifikadorea nahitaezko etapa baita sistema elektronikoko gehienetan. Baina, gainera, erraz kontrolatzen den etengailua denez, elektronika digitalaren (eta gaur egungo munduaren) oinarria ere bada.

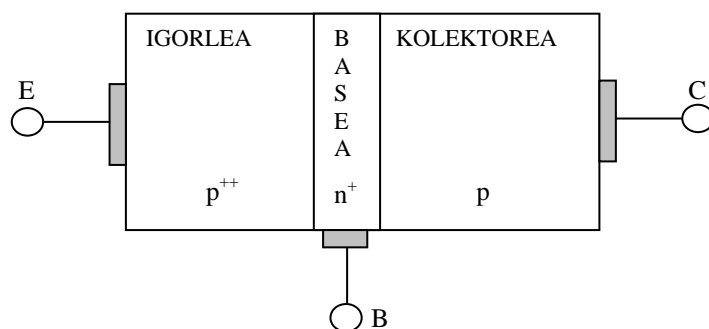
Transistoreak, orokorrean, bi mota nagusikoak izaten dira: bipolarrak eta eremu efektukoak. Datozen lau ikasgaietan, **transistore bipolarra** (BJT, Bipolar Junction Transistor) aztertuko dugu, eta, hurrengoetan, eremu efektuko transistorea edo FETa (Field Effect Transistor) analizatuko da.

Transistore bipolarra pn junturako eragingailu bat da, eta, bere funtzionamenduan bi eramaile motek parte hartzen dutenez, **bipolar** izena jasotzen du.

BJTari buruzko lehenengo ikasgai honetan, eragingailuan aplikatutako tentsio eta korranteen noranzkoak definituko ditugu eta BJTaren egitura eta fabrikazioa deskribatuko dira. Funtzionamenduko lau eskualdeak ikusiko ditugu, arreta gune aktiboan jarriz, modurik erabiliena baita. Aktiboan, garraio-faktorea (α_T), injekzio-eraginkortasuna (γ) eta korrante jarraituko irabaziak (α eta β parametroak) definituko dira.

11.1 Transistore bipolarren egitura eta fabrikazioa

Transistore bipolarra, edo junturako transistorea, bi pn juntura oso hurbil dituen dispositibo erdieroalea da. Bi junturek eskualde bat elkarbanatzen dutenez, guztira hiru eskualde daude. Erdiko eskualdearen dopaketa eta muturreko eskualdeena mota ezberdinekoa da.



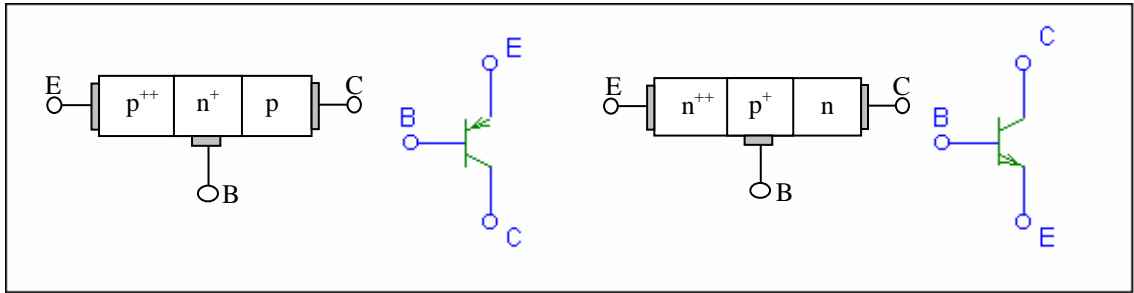
11.1 Irudia. Transistorearen egitura (pnp transistorea)

Egitura fisikotik eratortzen denez, oinarritzko bi BJT egitura edo mota daude: **nnp** eta **pnp**. Horrela deitzen dira, haien eraikuntzan erabiltzen diren eskualde motak horiek direlako. Bi motak asko erabiltzen dira, bai dispositibo diskretu gisa bai zirkuitu integratuetan, baina, diseinu askotan, npn mota nahiago dugu, zeren eta, azkarrago konmutatzeaz gain, haren anplifikazioaren irabazia normalean handiagoa baita.

Erdiko eskualdea *oinarri* edo *base* deitzen da eta oso estua izan behar du; hau da, oso laburra bertako urrienen barreiapeneko luzerarekin alderatuta. Horretan oinarrituko da, hain zuzen ere, transistore-efektua.

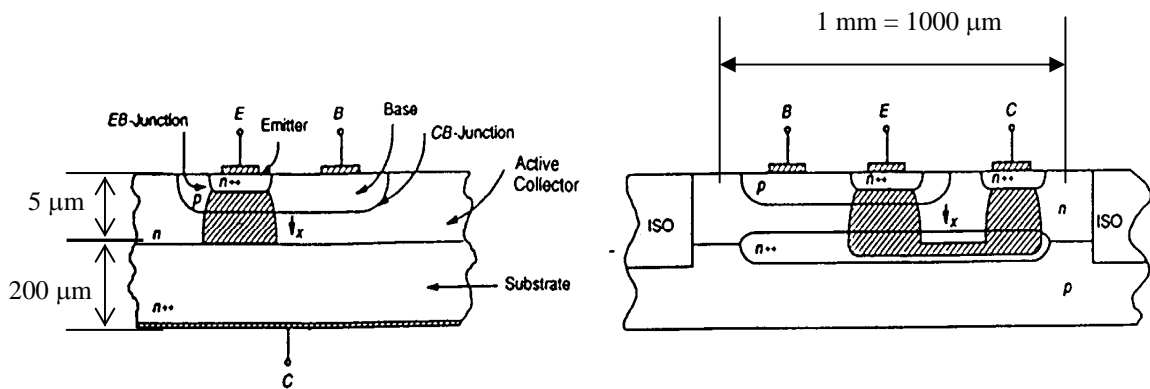
Ertzetako bi eskualdeak *igorlea* (emisorra) eta *kolektorea* (biltzailea) dira. Hasiera batean, bi eskualde horiek trukagarriak direla pentsa genezake, baina, dispositibo errealetan, igorleko dopaketa kolektorekoa baino altuagoa da (oinarriaren dopaketa beste bien bitartekoa da). Hori dela eta, igorlea eta kolektorea trukatzeko ez da funtzionamenduaren koska aldatzen, baina ezaugarri elektrikoak bai (beraz, muntaietan ezin ditugu trukatu).

11.2 Irudian, pnp eta npn transistoreen zirkuitu-ikurrak azaltzen dira. IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) delakoan adostutako irizpidearen arabera, korronteak positibotzat hartzen dira dispositibora sartzen direnean. Geziak, igorle/oinarri-juntura zuzenean polarizatzerakoan, korronteak hartzen duen noranzkoa adierazten du (beraz pnp edo npn motak bereizten ditu).



11.2 Irudia. Oinarritzko BJTen egiturak eta zirkuitu-ikurrak: ezkerrean, pnp egitura, eta, eskuinean, npn mota

FABRIKAZIOA



11.3 Irudia. n^+pn transistorea eraikitzeko erabiltzen diren bi egitura: diskretua (ezkerrean) eta integratua (eskuinean)

Egitura diskretua n^{++} substratu batetik edo olata batetik abiatzen da. Horretan, erresistibitate handiko n motako geruza epitaxiala (kolektorea) hazten da. Ondoren, oxidoz estaltzen da eta, leiho bat ireki ondoren, p motako oinarria barreiatzen da (tenperatura altuan). Azkenean, n^{++} igorlea barreiatzen da eta metalezko kontaktuak gauzatzen dira (Al-Si aleazioaz).

Zirkuitu integratuetan, BJT guztiak oinarri edo substratu bera dute eta, arrazoi teknologikoak direla eta, kontaktu guztiak gainazal bakarrean egoten dira. Kasu horretan, erresistibitate handiko p motako olata batetik abiatzen gara. Bertan, n^{++} eskualde txiki bat (lurperaturiko geruza izango dena) barreiatzen da. Jarraian, kolektorearen papera beteko duen n motako geruza epitaxiala hazten da. Gero, p motako basea barreiatzen da. Azkenik, n^{++} motako bi eskualde barreiatzen dira: bata igorlea izango da; besteak, berriz, kolektorean

kontaktu ohmikoa lortzea erraztuko du. Goiko irudian, transistorearen eskualde erabilgarria marraztu da (lurpeko geruzaren funtzioa, erresistentzia txikiko bidea aurkeztea da).

ISO izenaz adierazitako eskualdeak material dielektriko (isolatzaile) batez eratzen dira eta dispositiboak elektrikoki isolatzeko erabiltzen dira. Normalean, SiO₂ siliziozko oxidozko putzuak izaten dira. Isolamendua lortzeko erabili ohi den beste prozedura p-n juntura isolatzaileak dira (alderantziz polarizatuak).

11.2 Funtzionamendu moduak edo lan-guneak

BJT transistorearen junturak zuzenean edo alderantziz polariza daitezkeenez, lau polarizazio-konbinaketa ditugu. Ondorioz, lau lan-gune bereizten dira.

Taula 11.1. Junturen polarizazio posibleak eta lan-guneak

Igorle-Oinarria	Kolektore-Oinarria	Lan-gunea
Zuzenean	Alderantziz	Gune aktiboa
Alderantziz	Alderantziz	Etendura
Zuzenean	Zuzenean	Asetasuna
Alderantziz	Zuzenean	Alderantzizko gunea

BJTek **eskualde aktiboan** lan egin ohi dute. Seinale anplifikadore lineal ia guztietan (adibidez, anplifikadore operazionaletan), transistoreak eskualde horretan polarizatzen dira, bertan irabazirik handiena eta distortsiorik txikiena lortzen direlako.

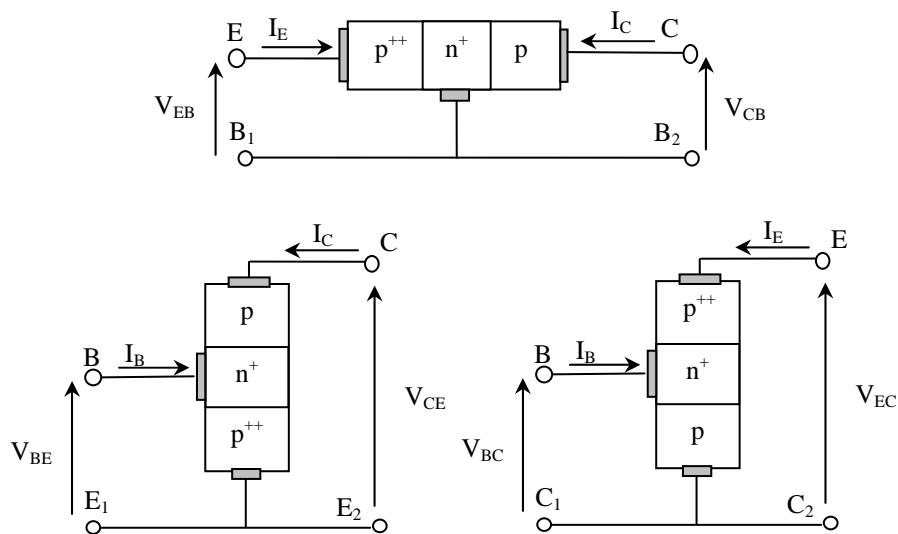
Itxitako etengailuek oso tentsio txikia dute beren terminalen artean nahiz eta korrante handia eroan. Kasu hori BJT transistoreen **asetasunari** dagokio. Egoera horrek ‘zero’ - edo maila logiko baxua- du izena zirkuitu logiko batean.

Etenik dagoenean, zirkuitu irekian dago, etengailu irekien antzera. Egoera horrek ‘bat’ - edo maila logiko altua- du izena zirkuitu logiko batean.

Alderantzizko gunean, igorleak eta kolektoreak beren ohiko paperak trukatu dituzte. Seinale-irabazirik bilatzen ez denean erabilgarria izan daiteke: adibidez, elektronika digitalean (TTL Transistor-Transistor-Logic logikan).

ERABILERA KO KONFIGURAZIOAK

Zirkuitu aplikazioetan, transistorearen terminal bat sarreran eta irteeran agertzen da. Hiru terminal ditugunez, hiru egitura erabili ohi dira (ikus 11.4 Irudia) : base komunekoa (igorletik sartuz), igorle komunekoa eta kolektore komunekoa (azken bi horietan basetik sartuz).



11.4. Irudia. Konfigurazio posibleak

Geroago ikusiko ditugun arrazoiengatik, igorle komunekoa konfigurazioa erabili ohi da BJTa tentsio-anplifikadore gisa erabiltzeko.

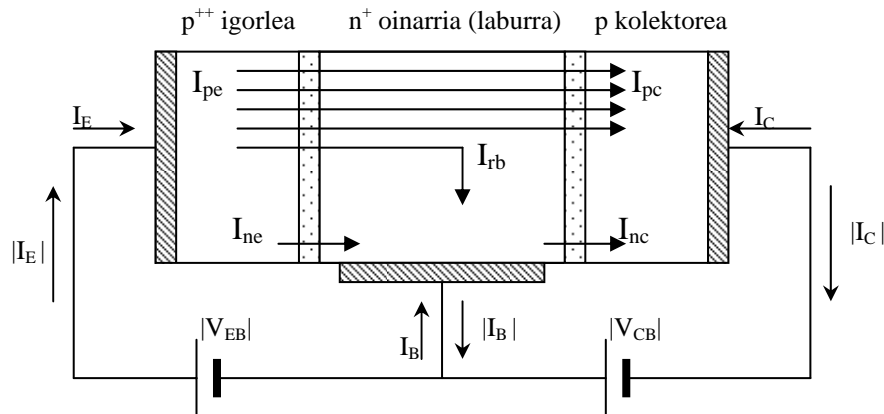
11.3 Funtzionamendu kualitatiboa: transistore-efektua

Demagun npn motako BJT bat dugula (npn baten kasua gutziz analogoa da).

Bi pn juntura ditugu eta, beraz, diodorako esandakoak hemen ere balio du. Φ_T , $\varepsilon(x)$ eta $\rho(x)$, orduan bezala ebazten dira bi juntura horietan ere.

Demagun npn transistorea tarte aktiboan polarizatzen dugula; hau da, igorlearen eta basearen arteko juntura zuzenean ($V_{EB} > 0$) eta basearen eta kolektorearen artekoa alderantziz ($V_{CB} < 0$) polarizatzen ditugu.

11.5 Irudian, tentsio horiek eta eragiten dituzten korronteak adierazi ditugu.



11.5 Irudia. Modu aktiboa: tentsioen polaritateak, korronteen osagaien noranzkoak eta E, B eta C terminaletako korronteen noranzkoak azaldu dira

Hurrengo hipotesiak onetsiko ditugu:

- Igorlea, basea eta kolektorea homogeneoak eta estrintsekoak dira.
- Kontaktuak ohmikoak dira (ez dago erresistentziarik eta $S_{\text{kontaktu}} = \infty$).
- Junturak latzak dira eta bertan Erabateko Despopulatzearen Hipotesia zuzenesten da.
- Eskualde neutroetan ez da tentsiorik agertzen (nahiko dopatuta daudenez, beren erresistentziak oso baxuak dira).
- Espazioko kargako eskualdeetan ez dago sorkuntzarik ez eta birkonbinaketarik (korrontek konstante mantentzen dira hura zeharkatzean).
- Injekzio baxuan gaude.

Hipotesiak onartuta, kanpotik aplikatzen den tentsio osoa junturretan agertzen da.

IGORLEA

Igorleko juntura zuzenean polarizatuz, potentzial langa jaisten da eta, horren ondorioz, igorlean hain ugariak diren hutsuneak basera pasa daitezke (I_{pe}). Gauza bera gertatzen da baseko elektroiekin, igorlera pasatzen baitira (I_{ne} korrontea, igorletik basera).

Beraz, igorletik baserako, korronte handia agertzen da ($I_e = I_{pe} + I_{ne}$).

Diodoren analisitik dakigunez, $I_{pe} = K_1 \cdot \exp(V_{EB})$ eta $I_{ne} = K_2 \cdot \exp(V_{EB})$.

Igorlea basea baino askoz dopatuagoa denez, $K_1 \gg K_2$, $I_{pe} \gg I_{ne}$

eta $I_e \approx I_{pe}$.

KOLEKTOREA

Bestalde, kolektoreko juntura alderantziz polarizatu dugunez ($V_{CB} < 0$), urrienen igarotzea errazten da (hutsuneak erraz pasatzen dira basetik kolektorera; halaber, elektroiak kolektoretik basera).

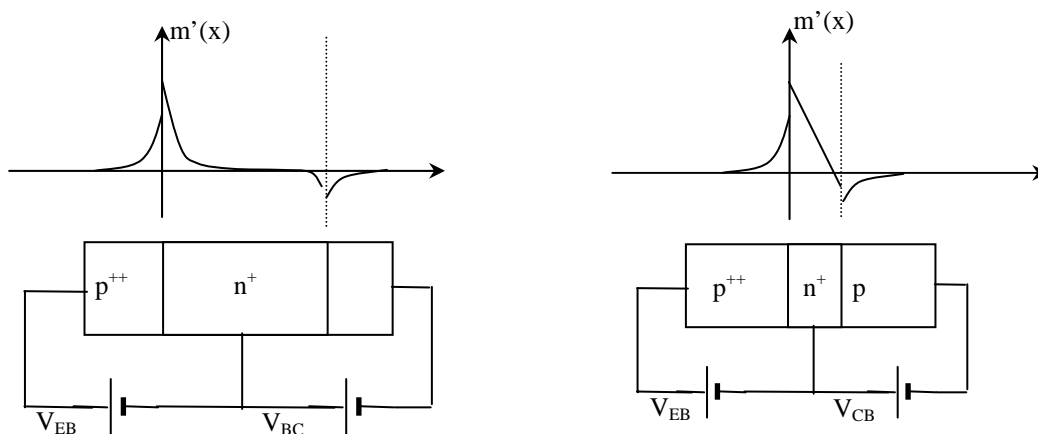
Kolektoretik, elektroi gutxi batzuk (termikoki sortutakoak) basera pasatuko dira. Horiek dakarten korronea –gogoratu diodoaren analisia- kolektoreari dagokion asetasuneko korronea da: oso korrone txikia ($I_{nc} = I_{sat \text{ kolektore}}$).

Kolektoreko junturako hutsuneen korronearen neurria, berriz, oso bestelakoa da. Izan ere, igorletik basera injektatu diren hutsuneez (I_{pe}/q), kolektoreko junturaraino heltzekotan, ez dute arazorik izango hura zeharkatzeko. Gainera, basea (barreiapeneko luzerarekin alderatuz) luzea balitz, oso hutsune gutxi helduko liriateke kolektoreko junturaraino, baina, oinarria oso laburra denez, birkonbinatzen (bidean galtzen) diren hutsuneak oso gutxi izaten dira ($I_{rb}/q < 0.01 \cdot I_{pe}/q$). Beraz, igorletik injektaturiko hutsune gehienak kolektorera pasatzen dira: $I_{pc} = I_{pe} - I_{rb} \approx I_{pe}$.

Kolektoreak, igorleak igorritako eramaileak jasotzen (biltzen) dituzenez, BC junturako korronea oso altua izaten da (hutsuneen korronea, batik bat: $|I_c| \approx I_{pc}$). Beraz, **transistore efektua** deitzen den portaera hori dela eta, BC junturak, korrone handia jasotzen du nahiz eta alderantziz polarizatu.

BASEA

Aurrekoaren gakoa oinarria laburra izatean datza. Bestela, igorletik kolektorera bidalitako eramaileak ez liriateke haraino iritsiko, eta I_{pc} sorkuntza termikoari dagokiona litzateke. Orduan, kolektoreko korronea aintzat ez hartzeko modukoa litzateke: $I_c = I_{pc} + I_{nc} = I_{sat}$ (ikus 11.6 Irudiko profilak).



11.6 Irudia. Eramaileen kontzentrazioen profilak, basea luzea denean (ezkerrean) eta laburra denean (eskuinean).

Basetik irtengo den korronterako, beraz:

$$|I_B| = (I_{ne} - I_{nc}) + (I_{pe} - I_{pc}) = I_{ne} - I_{nc} + I_{rb}$$

TERMINAL BAKOITZEKO KORRONTEAK

Barne-korronteen noranzkoak ondorioztatu egiten ditugunez, positiboak izango dira. Terminal bakoitzeko korronteak -positiboak direnean- sartu egiten direnez, zeinuak egokiro jarri behar dira (irteten den osagaia negatiboa izango da eta sartzen dena, positiboa):

$$I_E = I_{pe} + I_{ne}$$

$$I_C = - [I_{pc} + I_{nc}]$$

$$I_B = - [I_{ne} - I_{nc} + I_{rb}]$$

Ikusten denez, $I_E + I_C + I_B = 0$ $I_{pe} - I_{pc} = I_{rb}$ (Kirchoff betetzen da).

Diseinu egokia erabiliz $N_e > N_b > N_c$ eta $W_b \ll L_{pb}$ betetzen direnez,

$$I_E \approx I_{pe} \quad (I_{ne} \ll I_{pe}, N_e \gg N_b)$$

$$I_C \approx - I_{pc} \quad (I_{pc} \gg I_{nc}, I_{pc} \approx I_{pe} \text{ eta } I_{nc} \propto I_{sat BC})$$

$$I_B \approx - I_{ne} - I_{rb} \quad (I_{nc} \propto I_{sat BC})$$

$$I_B \approx - I_{ne} \quad (\text{basea laburra denez, } I_{rb} \text{ oso txikia da})$$

Hurbilketak egin ondoren, Kirchoffen legeak ez dira, itxura batean, betetzen. Baina $I_E + I_C + I_B = 0$, noski.

Kontuan hartu aktiboan I_B oso txikia dela eta $|I_E| > |I_C|$ betetzen dela:

1. $I_{pc} = I_{pe} - I_{rb}$ (nahiz eta txikia izan, positiboa da)
2. $I_{ne} > I_{nc}$. I_{ne} polarizazio zuzeneko korronte bat da, eta I_{nc} alderantziz polarizatutako diodo bateko eskualde bati dagokio.

BASEKO KORRONTEAREN GARRANTZIA

I_B , oso txikia izan arren, behar-beharrezkoa da transistorearen funtzionamendurako. I_B korronteak bi osagai nagusi ditu: batetik, basetik igorlerantz injektatu behar diren elektroiena ($-I_{ne}$); eta, bestetik, igorletik abiatu eta kolektorerraino iritsiko ez diren hutsuneekin birkonbinatzeko behar diren elektroiena ($-I_{rb}$). Bi kasuetan, basetik sartu beharreko elektroiak dira.

Baseko korrante hori tamainaz txikia baina ezinbestekoa denez, kontroleko aldagai gisa erabil daiteke aplikazio batzuetan.

Baina, gainera, I_C kolektoreko korranteak, baseko korrantearen forma bera izaten du, baina tamainaz handiagoa da. I_B sarreratzat eta I_C irteeratzat hartzen baditugu, transistoreak, nolabait, korrantea amplifikatu egiten du.

Adibidez, $I_{ce} = 0.99 \cdot I_{pe}$ bada, $I_C \approx -0.99 \cdot I_E$; eta, -Kirchoff aplikatuz, $-I_B = -0.01 I_E$.

Beraz, $I_C \approx 99 \cdot I_B$, ia ehun aldiz handiagoa den korrantea lortzen da.

Orain artekoa, zeinuak aldatuz, **n^+pn transistoreentzat** ere aplikagarria da:

$V_{BE} > 0$, $V_{BC} < 0$, $I_E < 0$, $I_B > 0$, $I_C > 0$

Heltzen diren urrienak jasotzeko, nahikoa da kolektore-base juntura alderantziz polarizatzea. Beraz, **aktiboan** (EB juntura zuzenean eta BC juntura alderantziz daudenean), **I_C ez dago BC junturako tentsioaren menpe** lehenengo hurbilketan.

11.4 Modu aktiboaren analisi kuantitatiboa: zirkuituko parametro nagusiak

Transistore-efektua areagotzearen, igorleko korrante guztia kolektoreko korrante bilakatzea komeni zaigu, baina hori ezin da %100ean lortu. Efektua kuantifikatzeko, BJTaren barne-parametro batzuk definituko ditugu. Horien bidez, transistorea modu aktiboan karakterizatu eta modelatuko dugu.

Garapen horretan pnp transistore motarekin lan egiten dugu (nnp transistoreen kasua analogoa da).

IGORPEN EFIZIENTZIA EDO INJEKZIO ERAGINKORTASUNA (γ)

$$\gamma = \frac{\text{Igorleak basean injektatutako eramaileen korrantea}}{\text{Igorleko korrante osoa}}$$

$$\gamma = \frac{I_{pe}}{I_E} = \frac{I_{pe}}{I_{pe} + I_{ne}} = \frac{I_{pe}/I_{ne}}{I_{pe}/I_{ne} + 1}$$

$$\gamma_e \equiv \frac{I_{pe}}{I_{ne}} \text{ injekzioaren erlazioa definituz, } \gamma = \frac{\gamma_e}{\gamma_e + 1}$$

$\gamma \approx 1$ izatea komeni zaigunez, γ_e oso altua izatea bilatuko dugu.

BASEKO GARRAIO FAKTOREA (α_T)

$$\alpha_T = \frac{\text{Igorletik basera injektaturik, kolektorera heltzen diren eramaileak}}{\text{Igorletik basera injektatzen diren eramaileak}}$$

$$\alpha_T = \frac{I_{pc}}{I_{pe}} = \frac{I_{pc}}{I_{pc} + I_{rb}} = \frac{I_{pc}/I_{rb}}{I_{pc}/I_{rb} + 1}$$

$$\beta_b \equiv \frac{I_{pc}}{I_{rB}} \text{ bada, } \alpha_T = \frac{\beta_b}{\beta_b + 1}$$

$\alpha_T \approx 1$ izatea –hau da, β_b oso altua izatea- komeni zaigu guri. Eta, horretarako, base laburrek dakarten I_{rb} txikia behar dugu.

SEINALE HANDIKO IRABAZIAK: α ETA β PARAMETROAK

α_T parametroaren definiziotik:

$$I_{pc} = \alpha_T \cdot I_{pe} = \alpha_T \cdot \gamma \cdot I_E$$

$$I_c = -[I_{pc} + I_{nc}] = -[\alpha_T \cdot \gamma \cdot I_E + I_{nc}]$$

eta $\alpha \equiv \alpha_T \cdot \gamma$ definituz ($0 < \alpha < 1$, beti),

$$I_c = -\alpha \cdot I_E - I_{nc}$$

Diseinutik $\alpha_T \approx 1$ eta $\gamma \approx 1$ badira, $\alpha \approx 1$.

Igorlea zirkuitu irekian utziz base-kolektore juntura alderantziz polarizatzen badugu, kolektoreko terminaletik BC *diodoaren* alderantzizko korronea (asetasuneko korronea) lortuko dugu. Kanpotik erraz neur daiteke parametro hori, eta I_{CB0} edo I_{C0} deitzen diogu.

$$I_{CB0} \equiv I_{C0} = I_c \Big|_{I_E=0 \text{ eta } V_{CB}<0} = -I_{nc} \text{ (irteten denez, negatiboa da).}$$

$$I_{sat} = I_{nc} + I_{pcinjektorikgabe} \approx I_{nc}$$

Beraz, transistorea **tarte aktiboan badago:**

$$\mathbf{I_C = - \alpha \cdot I_E + I_{C0}}$$

Zeinuei dagokienez, beraz: $I_C < 0$, $I_{C0} < 0$ eta $I_E > 0$.

Npn transistoreetan, ekuazio bera erabil daiteke, baina korronteen zeinua kontrakoak dira ($I_C > 0$, $I_{C0} > 0$, $I_E < 0$).

Honakoa hau izan daiteke ekuazioaren beste adierazpen bat:

$$\alpha = -\frac{I_C - I_{C0}}{I_E - 0} = \frac{|I_C - I_{C0}|}{|I_E - I_{E0}^*|}$$

I_{E0}^* I_{C0} neurtzean dugun erreferentziako I_E igorleko korrontea adierazteko asmatu dugu, baina I_{E0} izena beste parametro baterako erabiltzen da: I_{C0} korrontearen analogoarako, hain zuzen ere; beraz, I_{E0} , $I_C = 0$ behartuz eta EB juntura alderantziz polarizatuz igorletik sartzen den korrontea da.

Igorlea sarreratzat eta kolektorea irteeratzat hartzen baditugu, α korronte-irabazia litzateke. Hori dela eta, **α parametroa seinale handiko base komuneko konfigurazioaren** noranzko zuzeneko **korronte-irabazia** da.

$$\alpha = \alpha_T \cdot \gamma = \frac{I_{pc}}{I_{pe}} \cdot \frac{I_{pe}}{I_E} = \frac{I_{pc}}{I_E}$$

α , kolektorera iristen den igorleko korrontearen adierazlea da. Beraz, basean gertatzen diren galeren berri ematen digu eta transistore efektuaren adierazle nagusietakoa da. Transistoreen diseinuak $\alpha \approx 1$ lortzea bilatuko du.

Askotan, β parametroa erabilgarriagoa gertatzen da:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \text{ formulaz definitzen da (eta, beraz, } \alpha = \frac{\beta}{1+\beta} \text{)}$$

$$I_C = -\frac{\beta}{\beta+1} \cdot I_E + I_{C0} \text{ eta}$$

$$I_E = -\frac{\beta+1}{\beta} \cdot [I_C - I_{C0}]$$

$I_C + I_B + I_E = 0$ aplikatuz,

$$-\frac{\beta+1}{\beta} \cdot [I_C - I_{C0}] + I_B + I_C = 0$$

$$-(\beta+1) \cdot I_C + (\beta+1) \cdot I_{C0} + \beta \cdot I_B + \beta \cdot I_C = 0'$$

$$-I_C + (\beta+1) \cdot I_{C0} + \beta \cdot I_B = 0'$$

Eta $I_C = \beta \cdot I_B + (\beta + 1) \cdot I_{C0}$ (formula horrek bakarrik tarte aktiboan balio du).

Ekuazio horretan ikusten denez, I_C , I_B eta I_{C0} korronteek noranzko berbera dute.

[npn transistoreen ekuazioetan, zeinu berberak erabiltzen dira]

Igorle komuneko egituran (hau da: sarreratzat, basea eta, irteeratzat, kolektorea hartuz) korronteen arteko erlazioak analizatzen baditugu:

$$I_C - I_{C0} = \beta \cdot I_B + \beta \cdot I_{C0} \Rightarrow \beta = \frac{I_C - I_{C0}}{I_B + I_{C0}} = \frac{I_C - I_{C0}}{I_B - (-I_{C0})} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

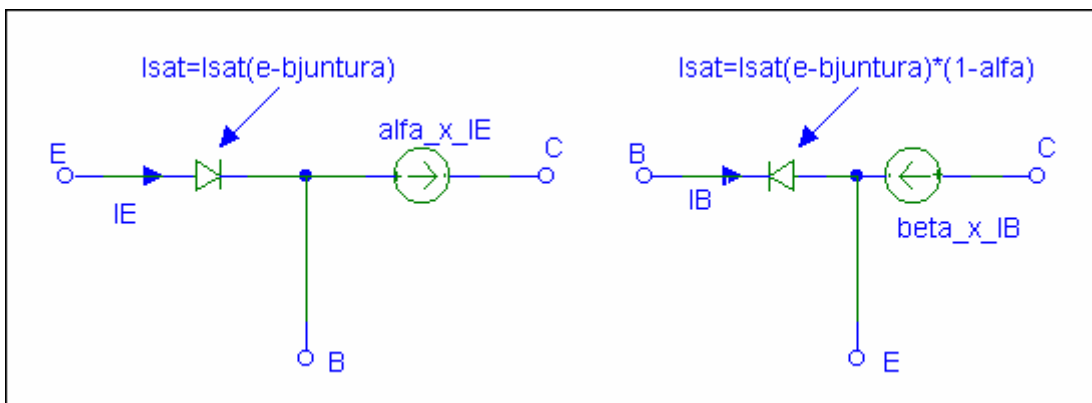
$I_E = 0$ eta $V_{CB} < 0$ direnean $I_B = -I_{C0}$ dela kontuan hartuz, β , $I_E = 0$ denetik oraingo egoerara (aktibora) pasatzen garenean dauden kolektoreko(-aren?) eta baseko(-aren?) korronteen hazkundearen arteko erlazioa da. Ondorioz, **β parametroa, seinale handiko igorle komuneko** noranzko zuzeneko **korrante-irabazia** da.

Lehenago kualitatiboki esandakoa orain kuantitatiboki egiaztatzen dugu: I_B txikiaz, I_C handia lortu edo kontrolatzen dugu. Horrek aplikadoreak eraikitzeko aukera ematen digu.

Transistore efektua nabaria bada, β handia izango da (baita β_b eta γ_e ere). Hau da: α_T eta $\alpha \sim 1$ badira, β nahiko handia da. Aplikazioen eta diseinuen arabera, 10-10.000 tarteko β duten transistoreak erabiliko ditugu (guk laborategian erabiliko ditugun ohiko transistoreen β 50-300 ingurukoa izaten da).

ZIRKUITU BALIOKIDEAK

Hala, modu aktiboan (I_{C0} arbuiauz), transistorearen zirkuitu baliokideak 11.7 Irudikoak izaten dira.



11.7 Irudia. Transistorearen zirkuitu baliokideak modu aktiboan (I_{C0} aintzat hartu gabe)

DISEINURAKO BALDINTZAK

Aurreko garapenak honako bi baldintza hauek dakartza diseinurako:

1. Igorle-base juntura oso asimetrikoa izatea, eta horretarako igorlea oso dopatuta egotea ($N_E \gg N_B \Rightarrow \gamma \approx 1$).
2. Basea oso laburra izatea ($w_B \ll L_{pB} \Rightarrow \alpha_T \approx 1$).

