

# 14. ZIRKUITU ANPLIFIKADOREEN ANALISIA

---

H parametroak darabiltzan zirkuitu baliokidean argi ikusten denez,  $i_b$  txiki bat behartuz gero,  $i_c$  proportzionala eta nahiko altua lor dezakegu. Menpeko korrante-sorgailu hori anplifikazioaren oinarria den transistore-efektuaren adierazlea da.

Beraz, basea sarreratzat eta kolektorea irteeratzat joz gero -hau da, igorle komuneko egituran-, korrante-irabazi bat agertzen zaigu. Zer esan dezakegu tentsioei buruz? Zer gertatzen da egitura ezberdinekin? Zer nolako tentsioa aplikatu behar dugu sarreran korrante jakin bat lortzeko?; hau da, zenbat da sarrerako inpedantzia? Irteerako tentsioak eskatzen duen korrantea, zer nolako kargei eman dakioke irabazirik galdu gabe?; hau da, zenbat da zirkuituaren irteerako inpedantzia? Galdera horien erantzunak bilatzea da ikasgai honen helburua.

Hasteko, anplifikazioaren kontzeptua ikusiko da, igorle komuneko zirkuitu bat analizatuz. Gero, seinale alferno nagusiak erlazionatzen dituen karga-zuzen dinamikoa aurkeztuko da eta, hori erabiliz, tarte dinamikoaren kontzeptua eta optimizazioa landuko dira. Azkenean, konfigurazio batzuk analizatuko dira, beren ezaugarriak atereaz.

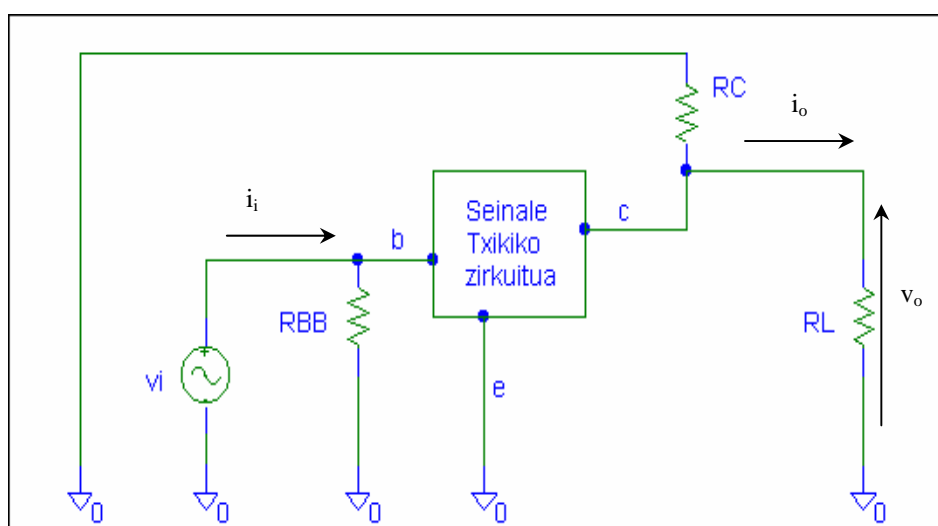
## 14.1 Anplifikazioa, karga-zuzen dinamikoa eta distortsioa

### 14.1.1 ANPLIFIKAZIOA

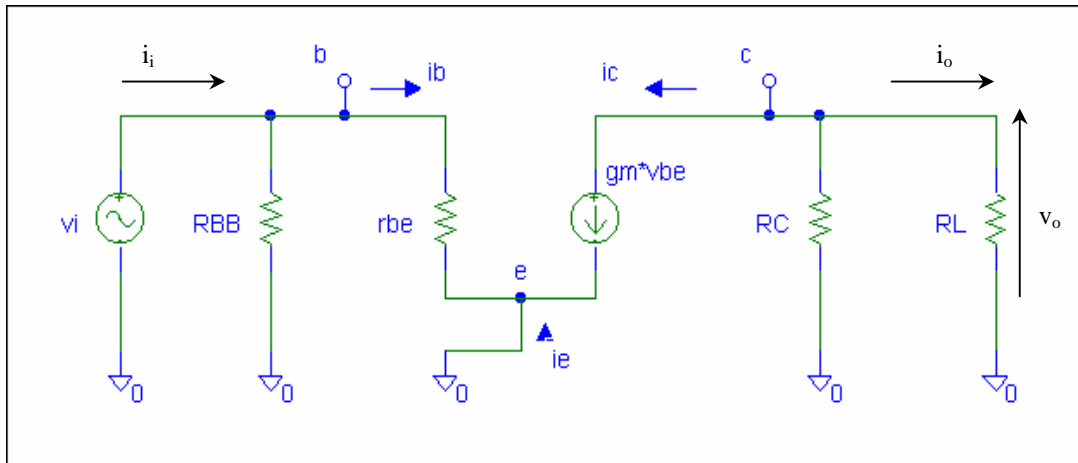
Hasi baino lehen. Anplifikazioa ebatzi baino lehen, polarizazioa analizatu behar da. Urrats horretan, seinale txikiko zirkuituan erabiltzen diren osagaiak *finkatzen* ditugu transistorea aktiboan dagoela ziurtatu ondoren. Orain, osagai jarraituei gainjarrita agertuko diren seinale alternoen analisiaren txanda da.

Alternoko seinaleak kalkulatzeko, lan-maiztasun horri dagokion zirkuitua planteatu behar dugu. Transistorea beraren zirkuitu baliokideaz aldatzeaz gain, seinale jarraituko sorgailuak ezabatzen ditugu (tentsio-sorgailuak zirkuitulaburtuz eta korrante-sorgailuak zirkuitu irekian utziz), eta kondentsadoreak dagokien inpedantziak aldatzen ditugu. Normalean, erraztearren, kondentsadoreen inpedantziak infinitutzat edo nulutzat jotzen ditugu. Maiztasun baxuetan lan egiten dugunez, transistorearen zirkuitu baliokidean agertzen diren kondentsadoreak (oso txikiak) zirkuitu irekian uzten ditugu eta kanpoko zirkuitukoak (balio oso handikoak, *infinituak*) zirkuitulaburtzen ditugu.

Hala, 13.8 Irudiko zirkuitutik abiatuta, 14.1 eta 14.2 Irudietako zirkuituak lortzen ditugu. Irteerako magnitude nagusiak  $R_L$  kargan lortzen ditugun korrantea eta tentsioa dira. Kontuan hartu karga kanpoko zirkuitu orokor bat edo beste etapa bat dela.



**14.1 Irudia.** Seinale txikia ebazteko zirkuitu orokorra



#### 14.2 Irudia. Seinale txikia ebazteko $\pi$ -zirkuitu erraztua

##### Tentsio-irabazia

Zirkuituko osagai guztiak jakinez gero, analitikoki kalkula ditzakegu korronteak eta tentsioak.

Adibidez:  $r_{be} = 1\text{k}$ ; ( $R_C = 50\Omega$ ),  $g_m = \beta / r_{be} = 0.1 \text{ A/V}$  eta  $R_L = 50 \Omega$  hartuz:

$$i_b = v_i / r_{be}$$

$$i_c = g_m \cdot v_i = \beta / r_{be} \cdot v_i = \beta \cdot i_b$$

$$v_o = -i_c \cdot (R_C // R_L) = -g_m \cdot (R_C // R_L) \cdot v_i = -0.1 \cdot (50 // 50)\Omega \cdot v_i = -2.5 \cdot v_i$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\beta \cdot g_{be} \cdot (R_C // R_L) = -2.5$$

Ikusten denez, sarrerako seinalearen forma duen **tentsioa** lortzen dugu irteeran, baina handiagoa, **anplifikatuta**. Gainera, kasu horretan, alderantziz agertzen da.

##### Korronte-irabazia

Analisiarekin jarraituz,

$$i_o = \frac{v_o}{R_L} = \frac{-\beta \cdot g_{be} \cdot (R_C // R_L) \cdot v_i}{R_L}$$

$$i_i = \frac{v_i}{R_{BB} // r_{be}}$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = -\beta \cdot \frac{g_{be} \cdot (R_C // R_L) \cdot (R_{BB} // r_{be})}{R_L}$$

**Sarrerako inpedantzia:** sarreran dagoen sorgailuak (eskuinerantz) ikusten duen inpedantzia:

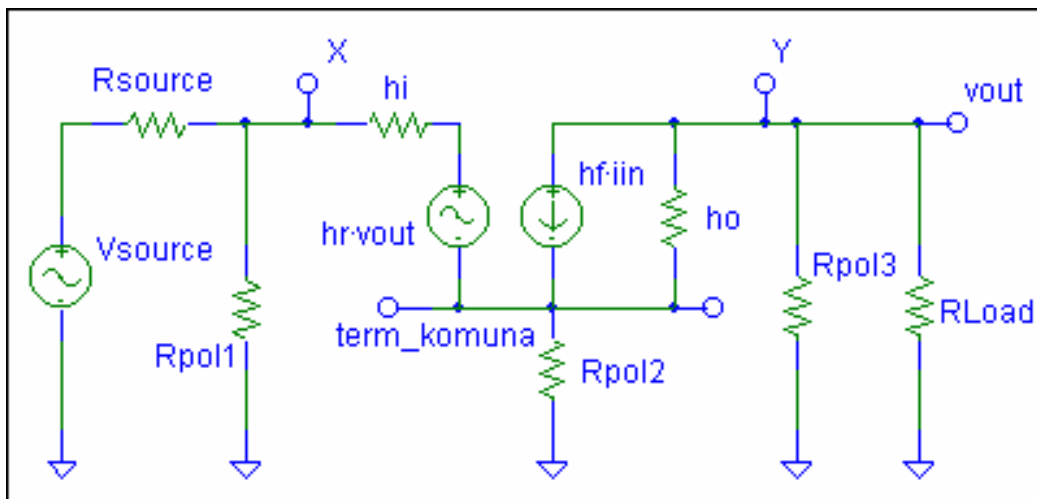
$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_i} = R_{BB} // r_{be}$$

**Irteerako inpedantzia:** kargak (ezkerrerantz) ikusten duen inpedantzia

$$Z_{out} = \langle \text{Thevenin baliokidea kalkulatu} \rangle = R_C$$

Lehen esan bezala, amplifikazioaren oinarria, transistore-efektuak dakarren korronte-amplifikazioa da.

Analisi horiek h parametroak erabiliz ere egin daitezke, hurrengo irudian aurkezten den zirkuitu orokorra erabiliz.



**14.3 Irudia.** Amplifikazioa analizatzea h parametroak erabiliz: zirkuitu orokorra

Kasu bakoitzaren zirkuitua analizatuz gero, tentsio- eta korronte-irabaziak eta sarrerako eta irteerako inpedantziak kalkulatu genituzke.

### 14.1.2 KARGA-ZUZEN DINAMIKOA

Seinaleen osagai alternoen arteko erlazioak linealak direnez,  $i_c(t)$  eta  $v_{ce}(t)$  aldagaiak zuzen batean irudika daitezke.

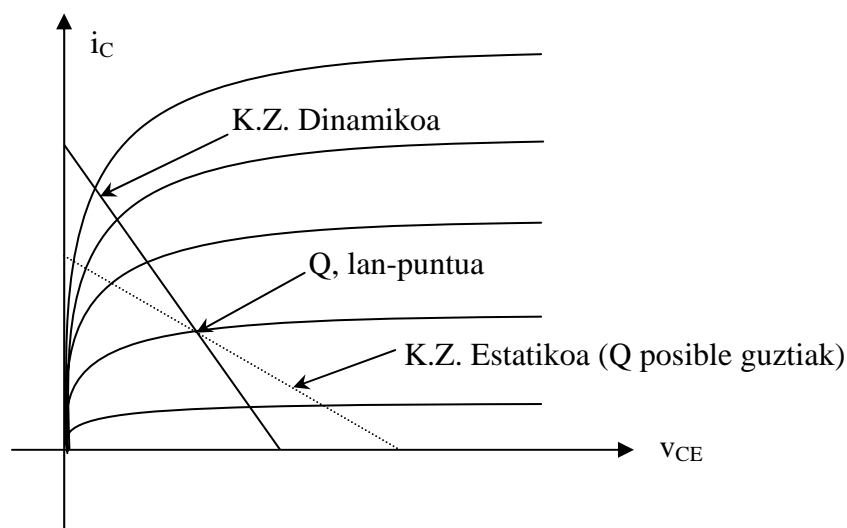
$$v_{ce} = -i_c \cdot (R_C // R_L), \quad \text{eta } x_X(t) = X_X + x_x(t) \text{ denez,}$$

$$(v_{CE} - V_{CE}) = (i_c - I_C) \cdot (R_C // R_L)$$

Hau da,  $i_c = i_c(v_{CE})$  funtzioa,  $V_{CE}$ ,  $I_C$  puntutik (Q puntutik) pasatzen den zuzena da:

$$(i_c - I_C) = -(v_{CE} - V_{CE}) / (R_C // R_L)$$

Zuzen hori kanpoko zirkuituak ematen digun *karga-zuzen dinamikoa* da.



14.4 Irudia. Karga-zuzen dinamikoa (npn batean)

Zuzena Q puntutik pasatzen da eta , kasu honetan,  $-1/(R_C // R_L)$  da haren malda.

### 14.1.3 DISTORTSIOA ETA TARTE DINAMIKOA

Sarrerako seinalearen anplitudea *handia* bada,  $v_{CE}$  eta  $i_c$  magnitudeen (aurrikusitako) balioak negatiboak izatera irits daitezke. Orduan, transistorea lan-gune aktibotik irtengo da eta asetarean edo etenduran sartu. Orain arte erabilitako erlazio linealak ez dira beteko eta, horrenbestez, agertzen diren korranteek eta tentsioek ez dute sarrerako seinalearen forma: *distortsio* izeneko fenomeno agertzen da (soinu-anplifikadoreetan, distortsioak (linealtasun ezak) zarata-itxura hartzen du).

Etendurara,  $i_c = 0$  denean sartuko gara (eta ez da  $i_c < 0$  agertuko –npn kasuan-):

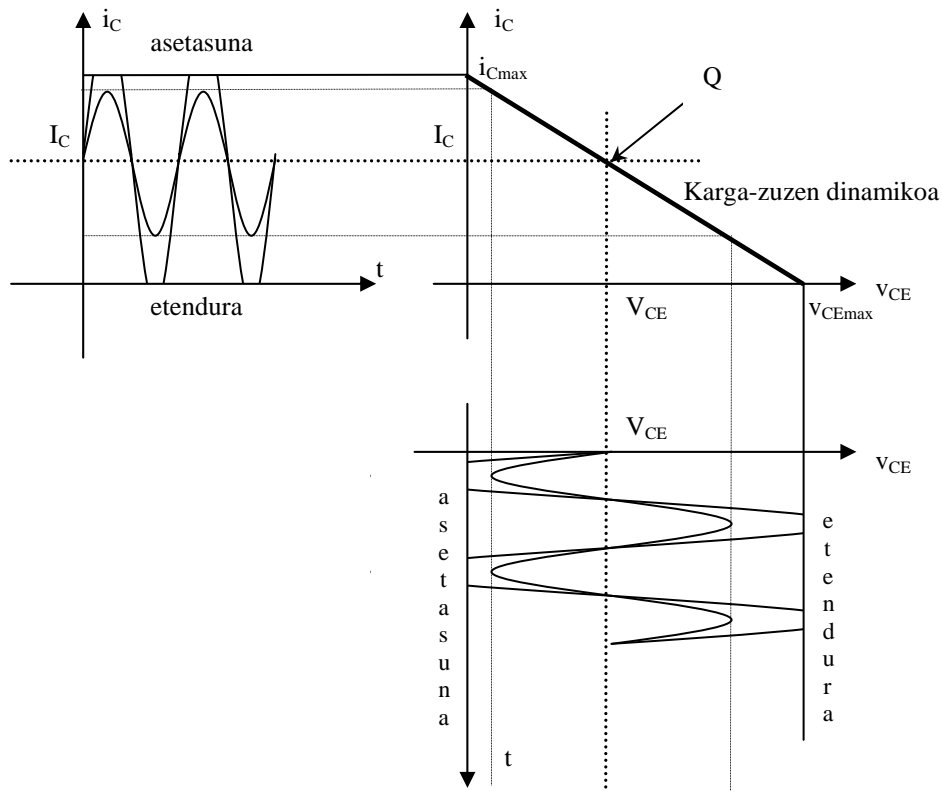
$$v_{CE} = V_{CE} + I_C \cdot (R_C // R_L) \rightarrow v_{ce} = I_C \cdot (R_C // R_L).$$

Beraz, bada lor daitekeen  $v_{CEmax}$  jakin bat.

Asetasunean,  $v_{CE} \sim 0$  izango da (zirkuituan  $-npn$  transistoreekin- ezin izango da  $v_{CE}$  negatiborik agertu):

$$i_c = I_C + v_{CE} / (R_C // R_L) \rightarrow i_c = -v_{CE} / (R_C // R_L)$$

Eta horrek  $i_{Cmax}$  jakin batera garamatza.



### 14.5 Irudia. Distortsioa eta tarte dinamikoa

Beraz, badago anplifikatzeko muga bat eta distortsiorik gabeko irteerako anplitude maximo bat. **Distortsiorik gabe lor daitekeen irteerako anplitude maximoa tarte dinamikoa da.**

Kasu horretan,  $\min(v_{CEmax} - v_{CE}; v_{CE} - v_{CEmin})$  adierazpenak ematen digu tarte dinamikoa (irteerako seinale alternoak distortsiorik gabe har dezakeen anplituderik handiena).

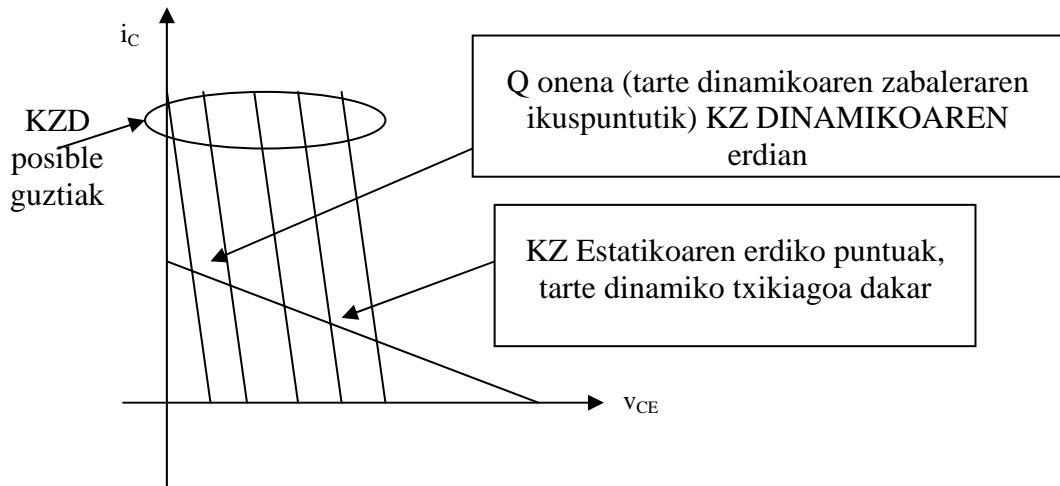
Oharra:  $v_{CEmax} < V_{CC}$  beti betetzen da, zeren eta:

$$v_{CEmax} = v_{CE} + I_C \cdot (R_C // R_L)$$

$$\text{eta } V_{CC} = v_{CE} + I_C \cdot R_C ; \text{ eta } (R_C // R_L) < R_C \text{ baitira.}$$

### 14.1.3 TARTE DINAMIKOA OPTIMIZATZEN

**Tarte dinamikorik handiena izateko**, Q karga-zuzen dinamikoaren erdian egotea komeni zaigu geometria dela eta. Egoera horretatik Q asetasunerantz edo etendurarantz mugitzen badugu, tartea murrizten dugu, argi eta garbi ikusten denez.



**14.6 Irudia.** Tarte dinamikorik handiena lortzen

Beraz, Q puntua, ahal izanez gero, karga-zuzen dinamikoaren erdian kokatu beharko genuke (tarte dinamikorik zabalena lortzearren).

Hala beteko bada,  $V_{CEmax} = 2 \cdot V_{CE}$

eta  $i_{Cmax} = 2 \cdot I_C$

Eta, beraz,  $\frac{i_{Cmax}}{V_{CEmax}} = m_{KZD} = \frac{I_C}{V_{CE}}$

Hau da, Q karga-zuzen dinamikoaren erdian kokatzeko,  $m_{KZD} = I_C / V_{CE}$ .

Horretaz gain, zuzen dinamikoaren malda ahalik eta txikiena izatea komeniko litzateke (luzera maximoa izatearren). Karga-zuzen estatikoa eta dinamikoa bat datozenean lortzen da hori. Beraz, lan-puntuak ez du zuzen estatikoaren erdian egon behar, baina, bi karga-zuzenak berdinak badira Q karga-zuzen estatikoaren erdian kokatzen badugu, **tarte dinamiko handienetako handiena** lortzen dugu egoera horretarako tarte dinamikorik handiena lortzeaz gain.

Beraz, tarte dinamikorik handiena lortzeko:

- a) KZDaren malda minimoa lortu.

$R_L$  kalkulatzeko beste baldintzarik ez badigute ematen, geuk finka dezakegu (kontuz: problemaren baldintzak ondo azertu behar dira). **Gure ohiko zirkuituetan**, posible bada,  $R_L = \infty$  egin behar dugu eta horrela KZD eta KZE bat datoz.

Orduan, karga-zuzena marraztu ondoren, Q erdian kokatuko dugu (posible bada: batzuetan beste baldintza batzuek behartuko dute Q).

- b) Normalean,  $R_L$  ez da infinitua.

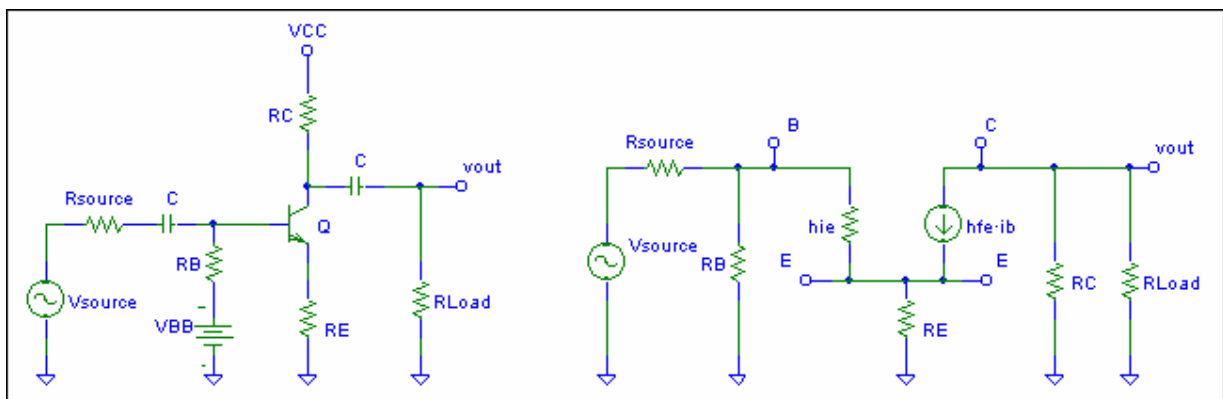
Orduan, karga-zuzen estatikoa marraztu ondoren (eta Q puntua finkatzeko beste baldintzarik ez badago), karga-zuzen dinamikoaren malda duen zuzen bat marraztu. Eskuinerantz edo ezkererantz mugitu, bi aldeetatik distantzia bera izan arte (orduan  $v_{Cemax} \sim 2 \cdot V_{CE}$  eta  $I_{Cmax} \sim 2 \cdot I_C$ ).

Horrekin batera, ez dugu aurreko ikasgaietan ikusitakoa ahaztu behar: Q aukeratzera, egonkortasuna ziurtatzen dituzten baldintzak jarri beharko ditugu (posible bada).

## 14.2 Egituren analisia

### 14.2.1 IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

Egitura horren analisia, 14.1.1 puntuan oinarritzko analisia egiteko erabiltzeaz gain, 6, 7, 11, 13 eta 14 ( $R_E = 0$  hartuz) eta 2, 3 eta 9 ariketetan egiten da. Hemen, h parametroen bidezko zirkuitua eta ondorioak aurkezten dira.



**14.7 Irudia.** Igorle komuneko zirkuitu baliokidea ( $h$  parametroen bidez)



Igorle komuneko egitura,

$$A_v = -h_{fe} \cdot \frac{R_B // (h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E)}{R_S + R_B // (h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E)} \cdot \frac{R_C // R_L}{h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E}$$

$$A_i = -h_{fe} \cdot \left[ R_B // (h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E) \right] \cdot \frac{R_C // R_L}{h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E} \cdot \frac{1}{R_L}$$

$$Z_{in} = R_B // (h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E)$$

$$Z_{out} = R_C$$

Askotan,  $R_E = 0$  behartzen da, eta orduan:

$$A_v = -h_{fe} \cdot \frac{R_B // h_{ie}}{R_S + R_B // h_{ie}} \cdot \frac{R_C // R_L}{h_{ie}}$$

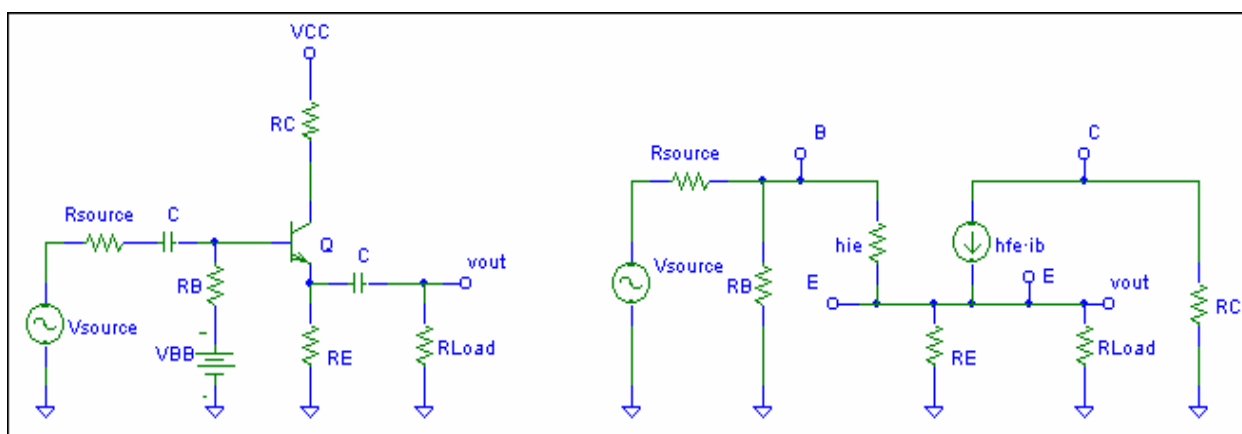
$$A_i = -h_{fe} \cdot \frac{R_B // h_{ie}}{h_{ie}} \cdot \frac{R_C // R_L}{R_L}$$

$$Z_{in} = R_B // h_{ie} \text{ eta } Z_{out} = R_C$$

Ikusten denez, tentsio eta korrante-irabaziak altuak eta negatiboak izaten dira (handiagoak  $R_E \sim 0$  bada) eta sarrerako eta irteerako inpedantziak ertainak dira.

#### 14.2.2 KOLEKTORE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

Hamargarren ariketan lantzen den egitura horri dagokion zirkuitua 14.8 Irudikoa da.



14.8 Irudia. Kolektore komuneko zirkuitu baliokidea ( $h$  parametroen bidez)

$$A_v = \frac{R_B // [h_{ie} + h_{fe} \cdot (R_E // R_L)]}{R_S + R_B // [h_{ie} + h_{fe} \cdot (R_E // R_L)]} \cdot \frac{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_L)}{h_{ie} + h_{fe} \cdot (R_E // R_L)} \leq 1$$

$$A_i = (h_{fe} + 1) \cdot \frac{R_B // [h_{ie} + h_{fe} \cdot (R_E // R_L)]}{h_{ie} + h_{fe} \cdot (R_E // R_L)} \cdot \frac{R_E // R_L}{R_L}$$

$$Z_{in} = R_B // [h_{ie} + h_{fe} \cdot (R_E // R_L)]$$

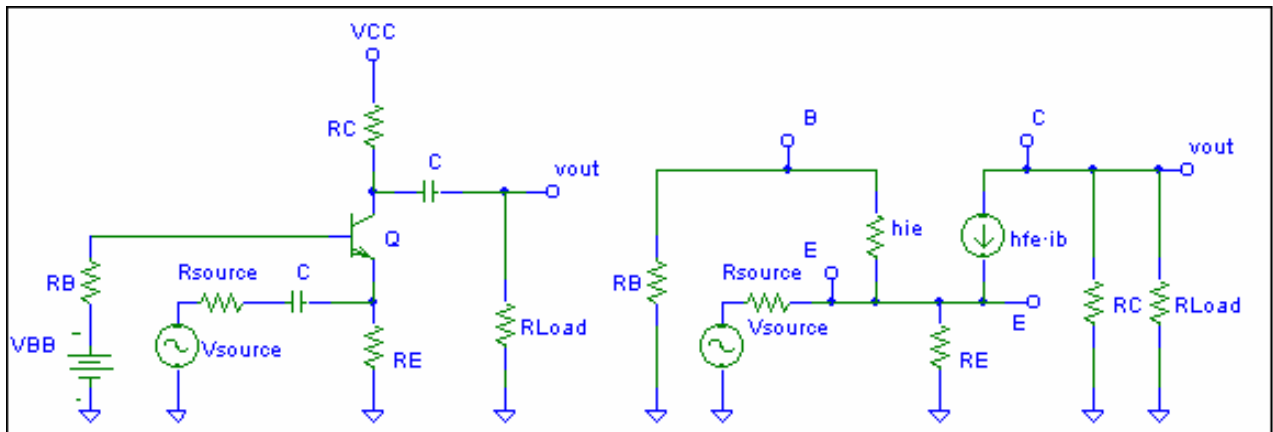
$$Z_{out} = R_E // \frac{h_{ie} + R_B // R_S}{h_{fe}}$$

Kasu horretan, ez dago tentsio-irabazirik baina korrante-irabazia nahiko handia da (eta positiboa). Bestalde, sarrerako inpedantzia oso altua izaten da eta irteerakoa nahiko txikia.

Tentsio-irabazia,  $A_v \sim 1$  izaten da eta  $v_{out} = v_e \sim v_b = v_{in}$ . Nolabait, irteerako tentsioak sarrerakoari jarraitzen dio eta *igorleko jarraitzailea* deitzen diogu egiturari.

### 14.2.3 BASE KOMUNEN ANPLIFIKADOREA

Egitura horren zirkuitu orokorra 14.9 Irudikoa da (laugarren eta hamaikagarren ariketetan lantzen da).



**14.9 Irudia.** Base komuneko zirkuitu baliokidea ( $h$  parametroen bidez)

$$A_v = h_{fe} \cdot \frac{R_E // \frac{h_{ie} + R_B}{h_{fe} + 1}}{R_S + R_E // \frac{h_{ie} + R_B}{h_{fe} + 1}} \cdot \frac{R_C // R_L}{h_{ie} + R_B}$$

$$A_i = \frac{R_E // \frac{h_{ie} + R_B}{h_{fe} + 1}}{\frac{h_{ie} + R_B}{h_{fe}}} \cdot \frac{R_C // R_L}{R_L} \leq 1$$

$$Z_{in} = R_E // \frac{h_{ie} + R_B}{h_{fe} + 1} \text{ eta } Z_{out} = R_C$$

Formula horien arabera, tentsio-irabazia handia (eta positiboa) bada ere, korronte-irabazia txikia da. Inpedantziei dagokienez, sarrerakoa txikia da; irteerakoa, berriz, ertaina (handia ere izan daiteke).

#### 14.2.4 EGITUREN ARTEKO KONPARAZIOA

PARAMETROA	EGITURA		
	IGORLE KOMUNA	KOLEKTORE KOMUNA	BASE KOMUNA
$A_v$ (tentsio-irabazia)	Handia eta negatiboa	< 1	Handia eta positiboa
$A_i$ (korronte-irabazia)	$\sim -\beta$	$\sim \beta + 1$	$\sim \beta / (\beta + 1)$
$Z_{in}$	Ertaina	Handia	Baxua
$Z_{out}$	Handia / Ertaina	Nahiko txikia	Handia / Ertaina

Gogoan hartu  $R_{out} R_L$  kargak ikusten duen inpedantzia baliokidea dela. Irteerako inpedantziak, etapa bat baino gehiago dituen zirkuituen analisia errazteaz gain, lortuko diren loturen (zirkuituen egokipenen) berri ematen digu.

#### EMAITZEN ANALISIA ETA EGITUREN APLIKAZIOAK:

- Tentsio- eta korronte-irabazi handiak ematen dizkigun egitura bakarra, igorle komunekoa da. Gainera, haren sarrerako eta irteerako inpedantziak egokiak izaten dira gehienetan. Hori dela eta, gehien erabiltzen dena da.
- Kolektore komuneko egiturak erresistentzia oso bestelakoak dituzten etapak egokitzeko (konektatzeko) erabili ohi da.
- Base komuneko egiturak tentsio-irabazi handia lortzen du, seinalea inbertitu edo alderantztu gabe. Horretaz gain, oso aproposa da bi etapetako inpedantziak korronteari begira egokitu nahi ditugunean (hau da,  $R_i$  txikia eta  $R_{out}$  handia bilatzen ditugunean).

