

CHAPITRE 5

Analyse des transistors BJT

- Avec permission de Prentice Hall

Modeles des transistors BJT

- **Un modèle est un circuit équivalent qui représente les caractéristiques AC du transistor.**
- **Le modèle utilise des éléments du circuit qui rapprochent le comportement du transistor.**
- **Les modèles les plus répandus du transistor en petits signaux AC sont:**
 - **Modèle r_e**
 - **Modèle hybride équivalent**

Le modèle r_e du transistor

- Les BJTs sont des composants contrôlés en courant; par conséquent le modèle r_e utilise une diode et une source de courant pour dupliquer le comportement du transistor.
- Un inconvénient du modèle est sa sensibilité au niveau DC. Ce modèle est conçu pour des conditions spécifiques du circuit.

Configuration a base commune

$$I_c = \alpha I_e \quad r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_e}$$

Impédance d'entrée:

$$Z_i = r_e$$

Impédance de sortie:

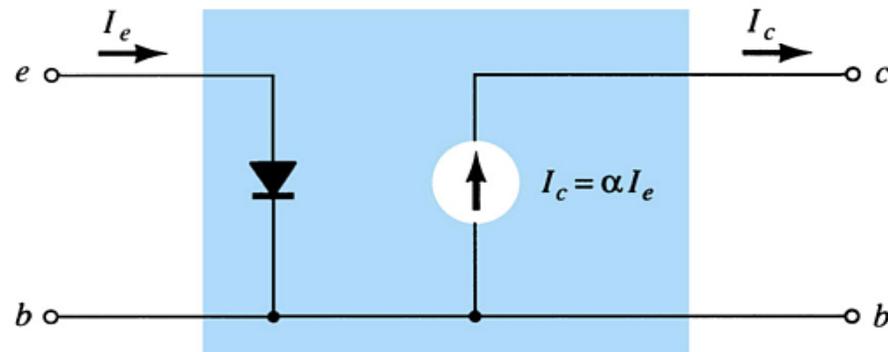
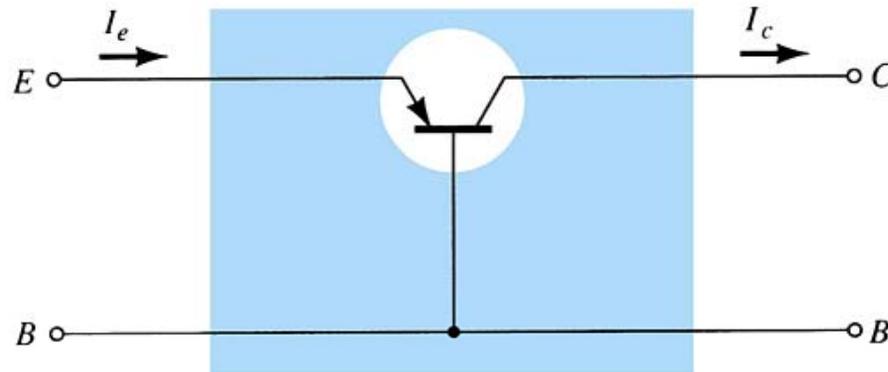
$$Z_o \cong \infty \Omega$$

Gain en tension:

$$A_v = \frac{\alpha R_L}{r_e} \cong \frac{R_L}{r_e}$$

Gain en courant:

$$A_i = -\alpha \cong -1$$



Configuration a base commune

$$I_c = \alpha I_e \quad r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_e}$$

Impédance d'entrée:

$$Z_i = r_e$$

Impédance de sortie:

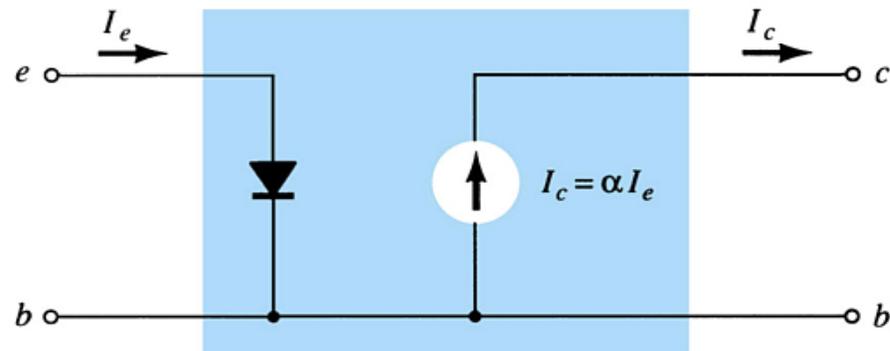
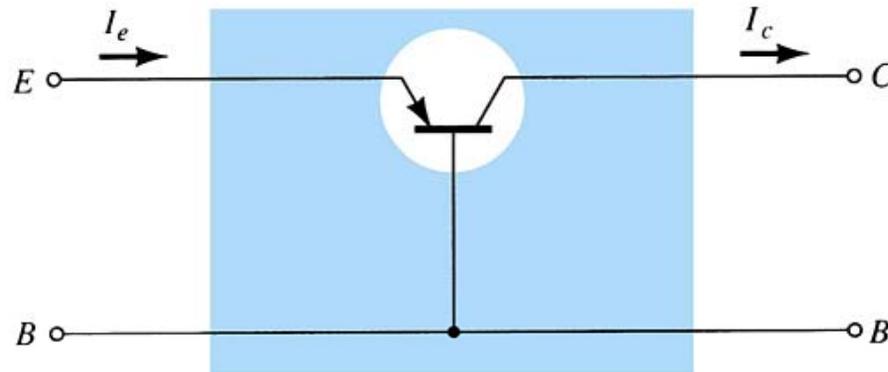
$$Z_o \cong \infty \Omega$$

Gain en tension:

$$A_v = \frac{\alpha R_L}{r_e} \cong \frac{R_L}{r_e}$$

Gain en courant:

$$A_i = -\alpha \cong -1$$



Configuration à émetteur commun

Impédance d'entrée:

$$Z_i = \beta r_e$$

Impédance de sortie:

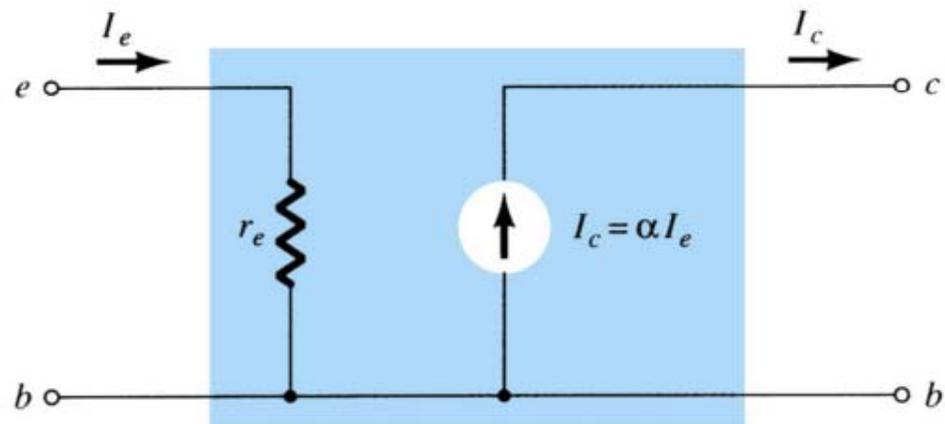
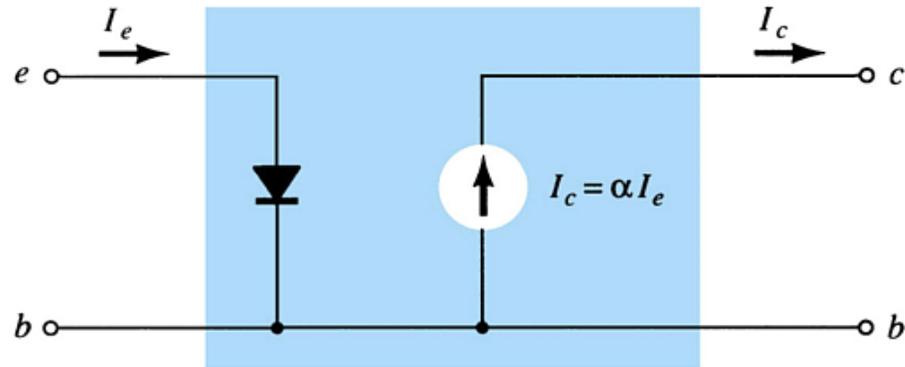
$$Z_o = r_o \cong \infty \Omega$$

Gain en tension:

$$A_v = -\frac{R_L}{r_e}$$

Gain en courant:

$$A_i = \beta \Big|_{r_o = \infty}$$



Configuration à collecteur commun

Impédance d'entrée:

$$Z_i = (\beta + 1)r_e$$

Impédance de sortie:

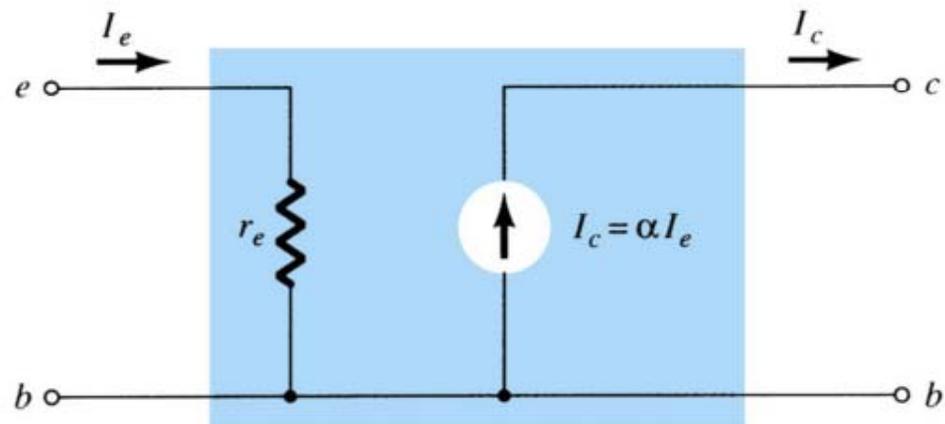
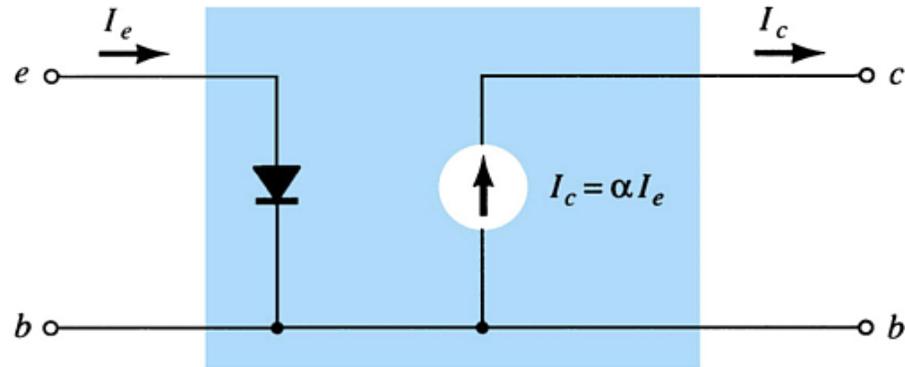
$$Z_o = r_e \parallel R_E$$

Gain en tension:

$$A_v = \frac{R_E}{R_E + r_e}$$

Gain en courant:

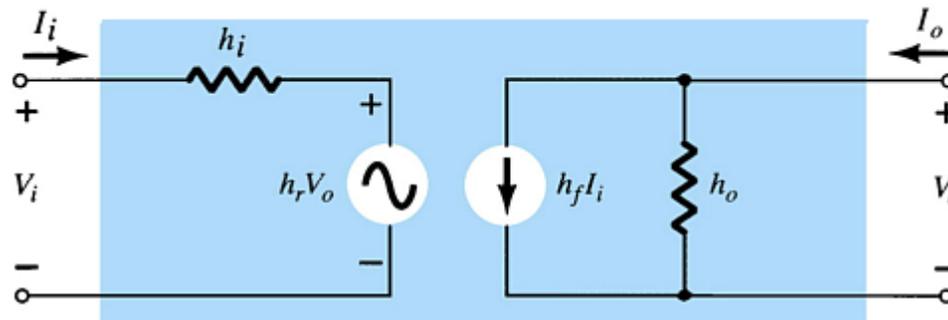
$$A_i = \beta + 1$$



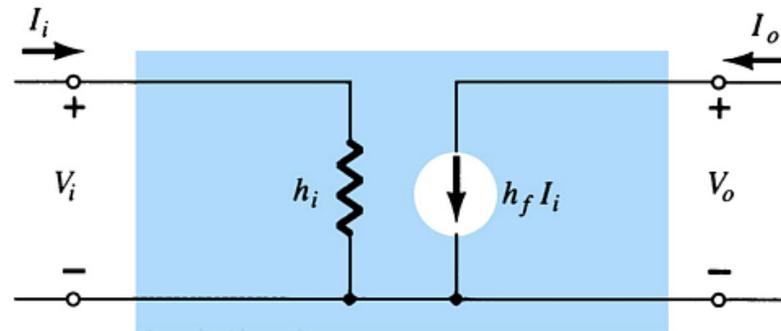
Le Modèle équivalent hybride

Les paramètres hybrides suivants sont utilisés avec le transistor BJT. Ces paramètres se trouvent dans la fiche des spécifications du transistor.

- h_i = résistance d'entrée
- h_r = rapport inverse de tensions (V_i/V_o) $\cong 0$
- h_f = rapport direct de courants (I_o/I_i)
- h_o = conductance de sortie



Modèle Simplifié des Paramètres h



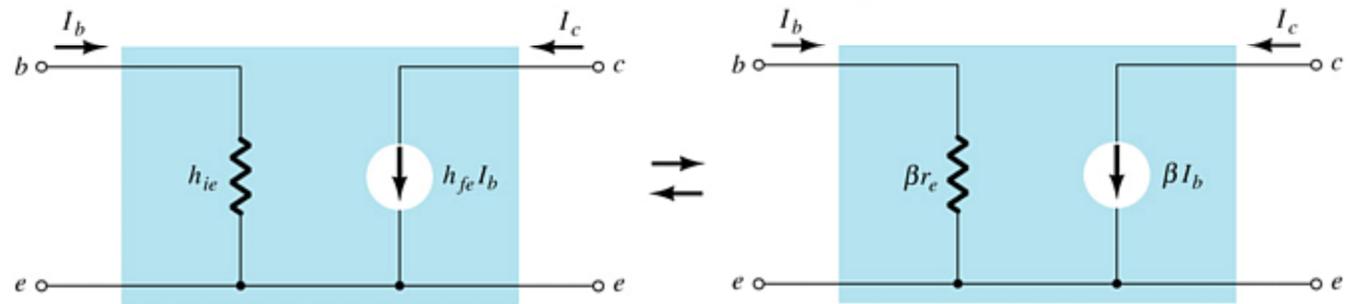
- h_i = résistance d'entrée
- h_f = rapport direct de courants (I_o/I_i)

Modèle r_e vs. Paramètre h

Émetteur commun

$$h_{ie} = \beta r_e$$

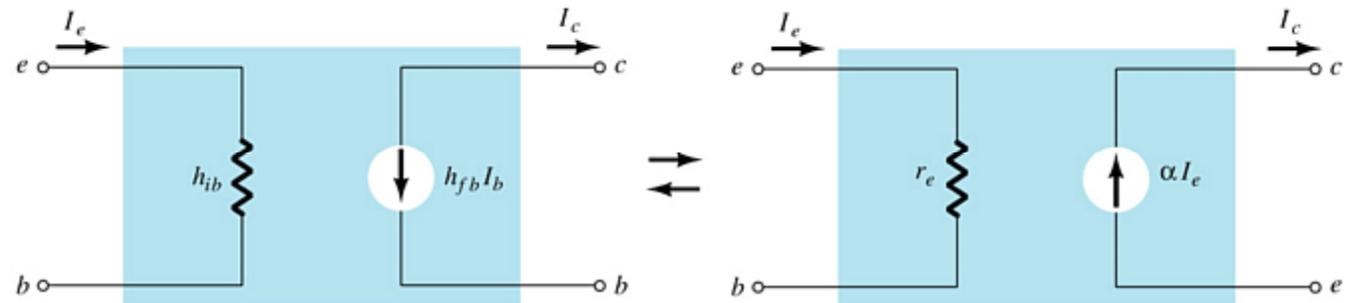
$$h_{fe} = \beta_{ac}$$



Base commune

$$h_{ib} = r_e$$

$$h_{fb} = -\alpha \cong -1$$



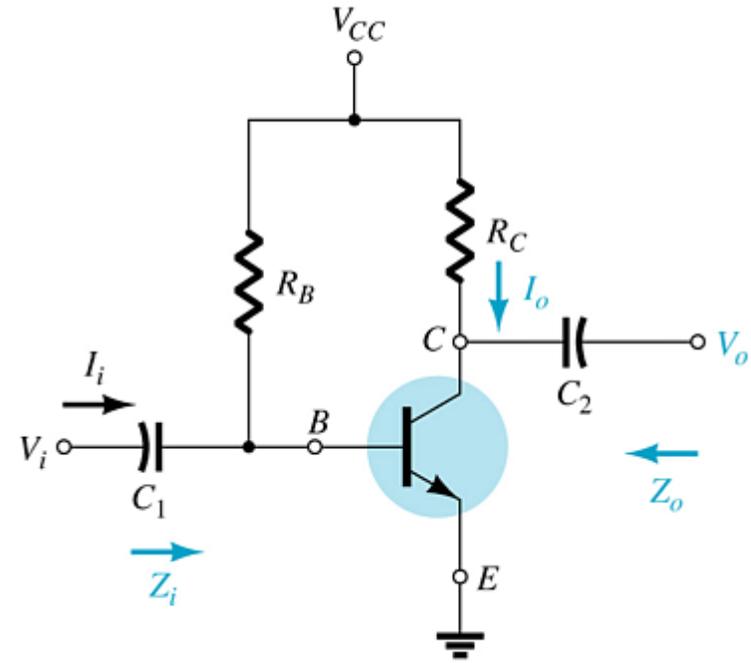
Le Modèle hybride en π

Le modèle hybride en π est très utile pour l'analyse des applications du transistor dans les hautes fréquences.

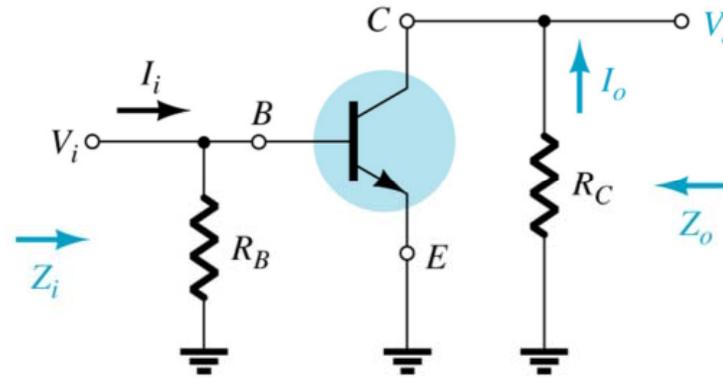
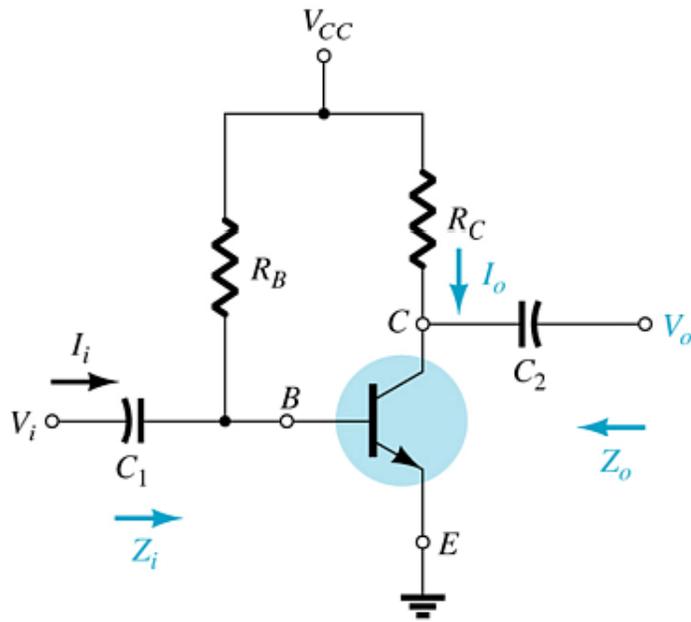
Pour la zone des fréquences basses le modèle hybride en π ressemble le modèle des paramètres r_e , et nous pouvons utiliser celui-ci.

Configuration à polarisation fixe et émetteur commun

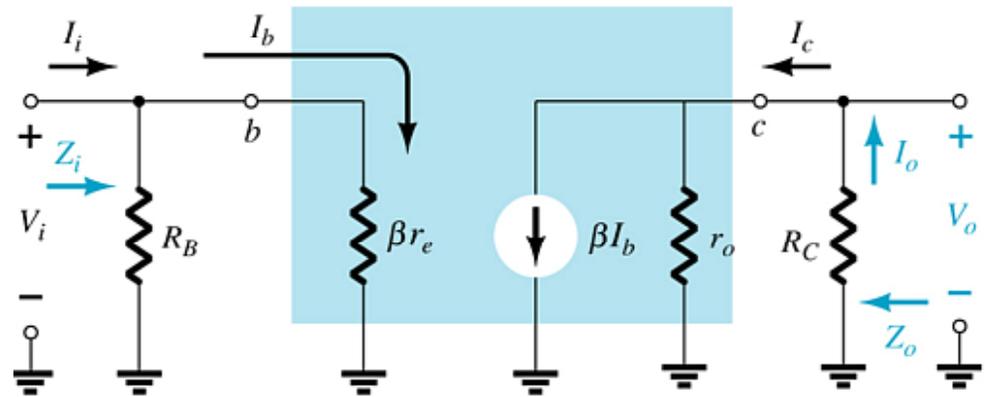
- Le signal d'entrée est appliqué à la base
- La sortie est par le collecteur
- L'impédance d'entrée est haute
- L'impédance de sortie est basse
- Haut gain en tension et en courant
- Décalage de phase de 180°



Configuration à polarisation fixe et émetteur commun



AC équivalent



Modèle r_e

Calculs à polarisation fixe et émetteur commun

Impédance d'entrée:

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e$$

$$Z_i \cong \beta r_e \mid R_E \geq 10\beta r_e$$

Impédance de sortie:

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$

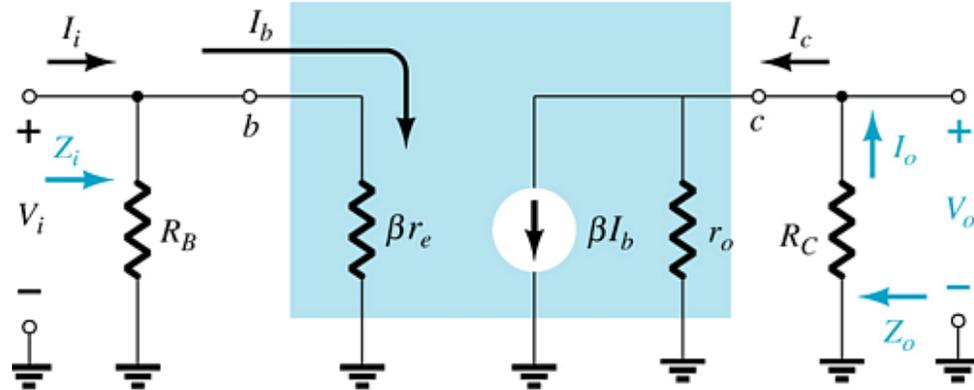
$$Z_o \cong R_C \mid r_o \geq 10R_C$$

Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{(R_C \parallel r_o)}{r_e}$$

$$A_v \cong -\frac{R_C}{r_e} \mid r_o \geq 10R_C$$

commun



Gain en courant:

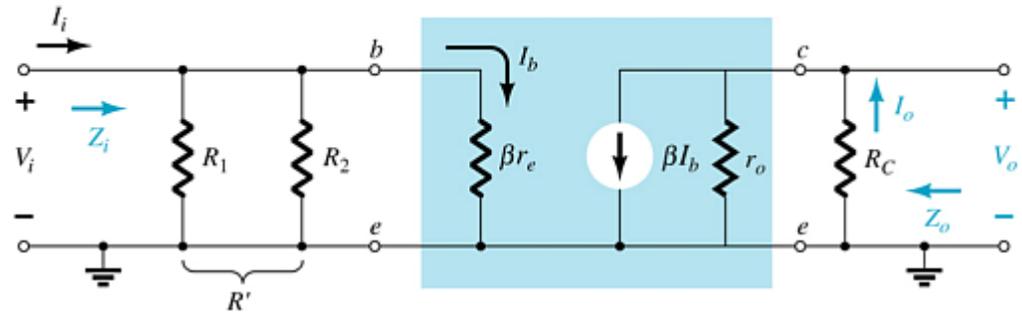
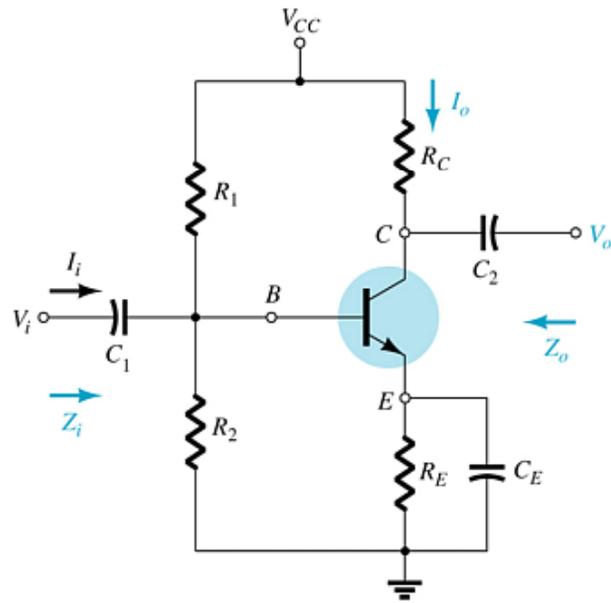
$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_B r_o}{(r_o + R_C)(R_B + \beta r_e)}$$

$$A_i \cong \beta \mid r_o \geq 10R_C, R_B \geq 10\beta r_e$$

Gain en courant à partir du gain en tension:

$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_C}$$

Polarisation par pont de base à émetteur commun



Dans le modèle r_e il faut déterminer β , r_e , et r_o .

Calculs pour la polarisation par pont de base et émetteur commun

Impédance d'entrée:

$$R' = R_1 \parallel R_2$$

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e$$

Impédance de sortie:

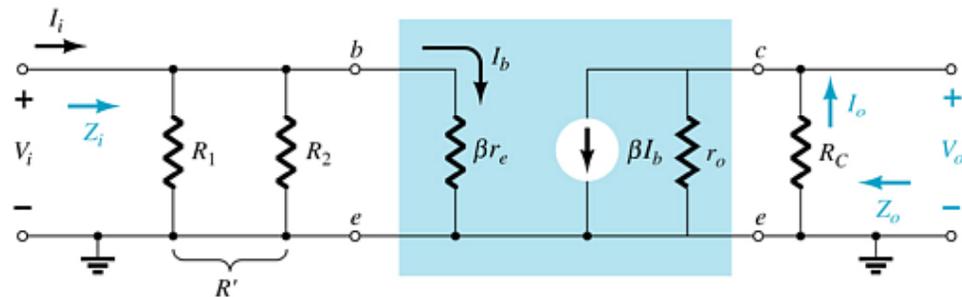
$$Z_o = R_C \parallel r_o$$

$$Z_o \cong R_C \Big|_{r_o \geq 10R_C}$$

Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C \parallel r_o}{r_e}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_C}{r_e} \Big|_{r_o \geq 10R_C}$$



Gain en courant:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R' r_o}{(r_o + R_C)(R' + \beta r_e)}$$

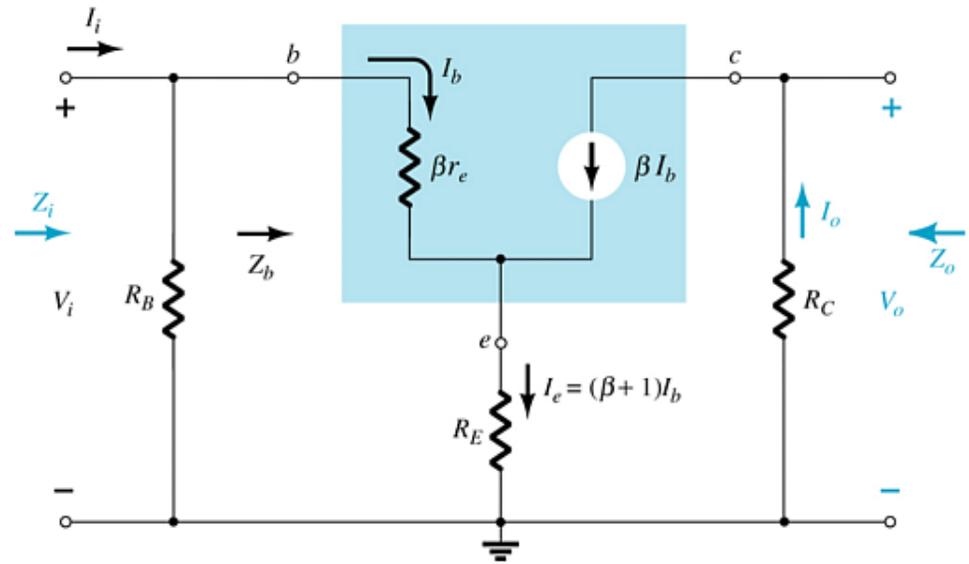
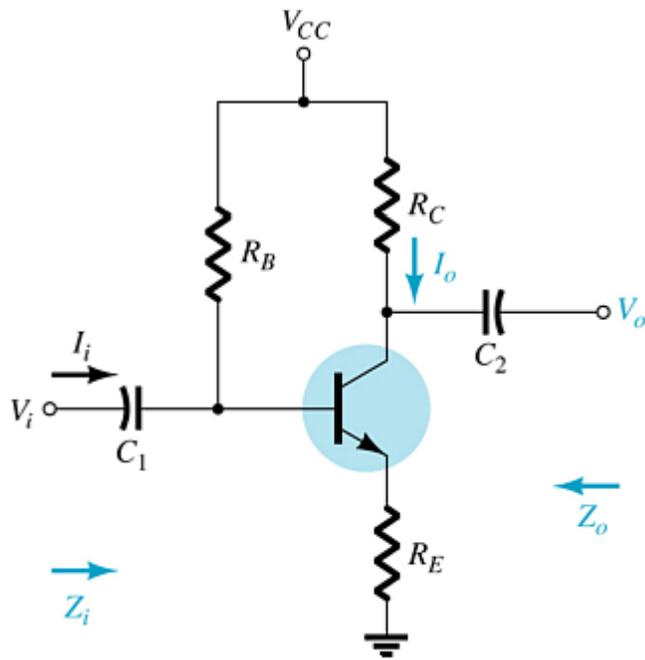
$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \cong \frac{\beta R'}{R' + \beta r_e} \Big|_{r_o \geq 10R_C}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \cong \beta \Big|_{r_o \geq 10R_C, R' \geq 10\beta r_e}$$

Gain en courant à partir du gain en tension:

$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_C}$$

Configuration à polarisation fixe et émetteur commun



Calculs des impédances

Impédance d'entrée:

$$\mathbf{Z_i = R_B \parallel Z_b}$$

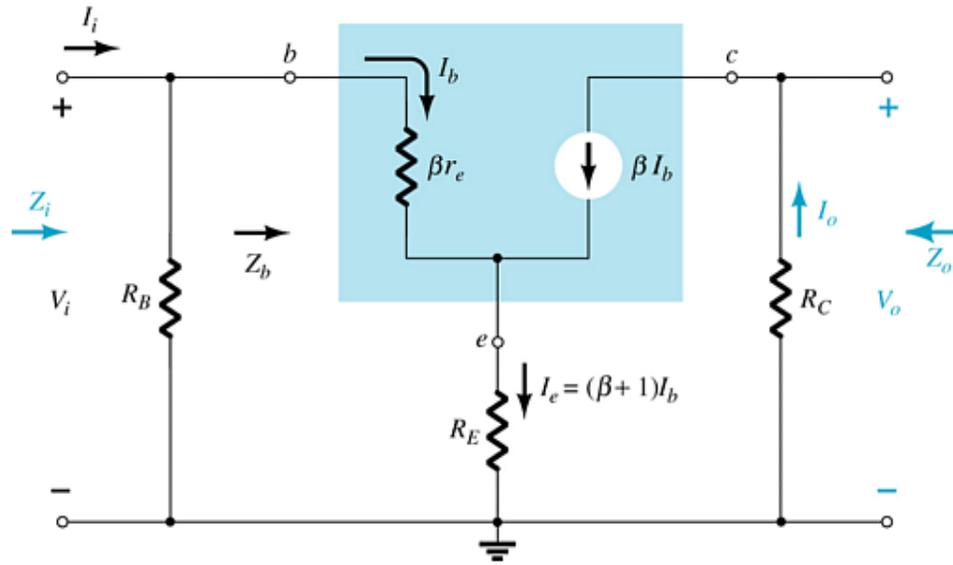
$$\mathbf{Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E}$$

$$\mathbf{Z_b \cong \beta(r_e + R_E)}$$

$$\mathbf{Z_b \cong \beta R_E}$$

Impédance de sortie:

$$\mathbf{Z_o = R_C}$$



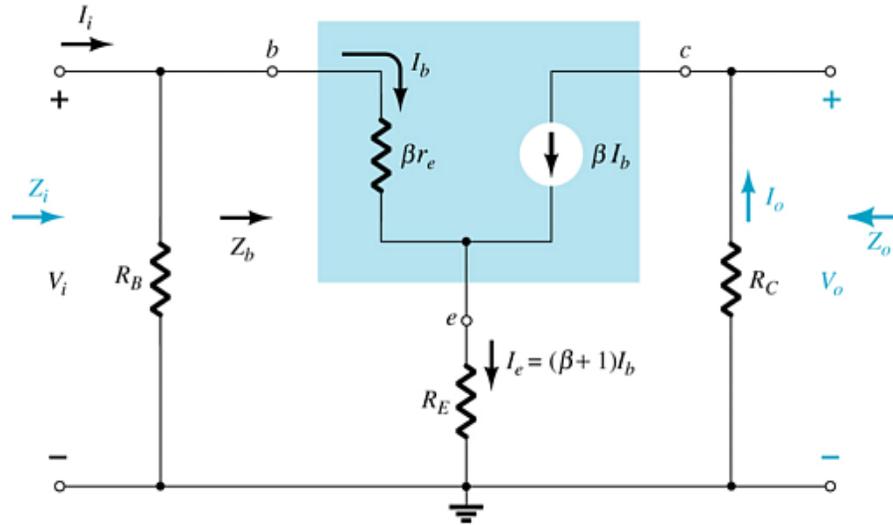
Calcul du Gain

Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\beta R_C}{Z_b}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C}{r_e + R_E} \Big|_{Z_b = \beta(r_e + R_E)}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_C}{R_E} \Big|_{Z_b \cong \beta R_E}$$



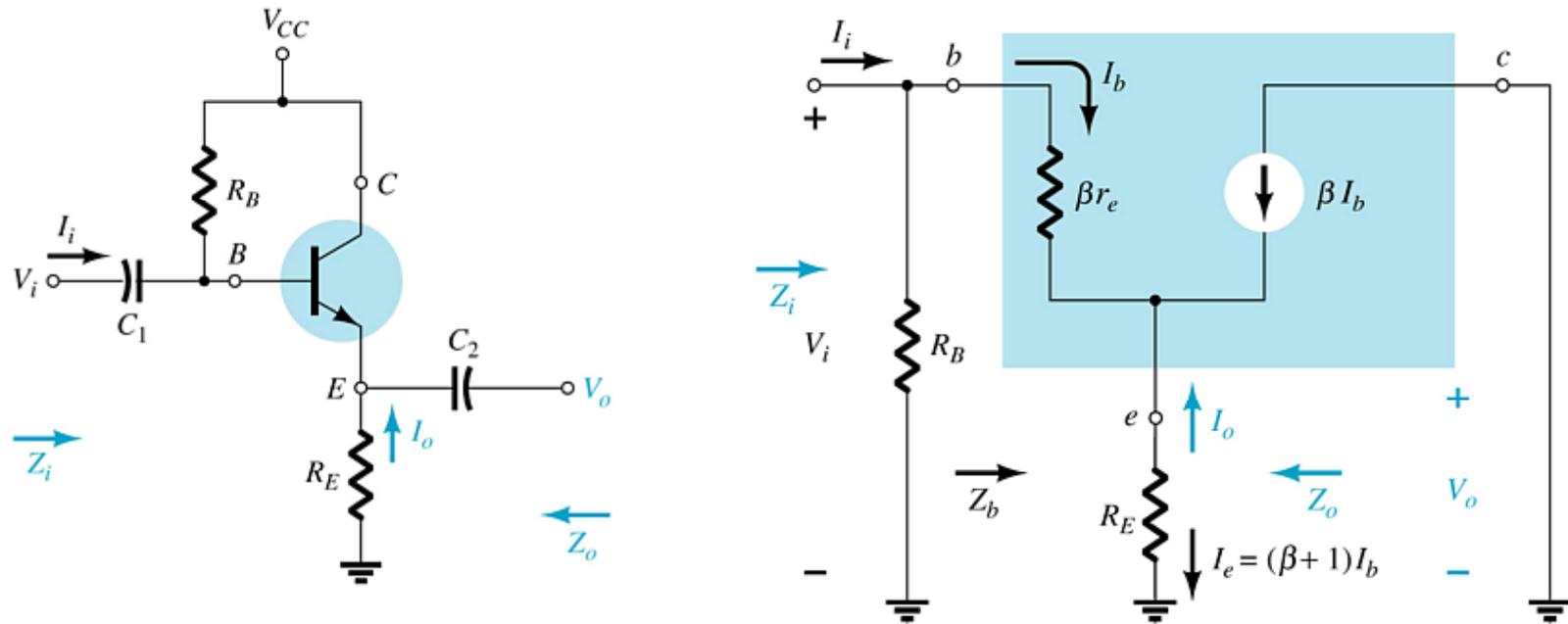
Gain en courant:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$$

Gain en courant à partir du courant en gain:

$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_C}$$

Configuration suiveur d'émetteur



- **Aussi appelée configuration à collecteur commun.**
- **L'entrée s'applique à la base et la sortie est par l'émetteur.**
- **Il n'y a pas décalage de phase entre entrée et sortie**

Calculs d'impédance

Impédance d'entrée:

$$Z_i = R_B \parallel Z_b$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E$$

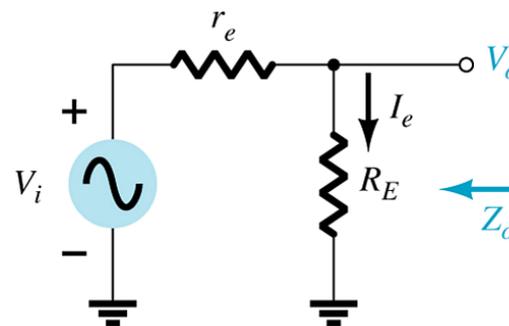
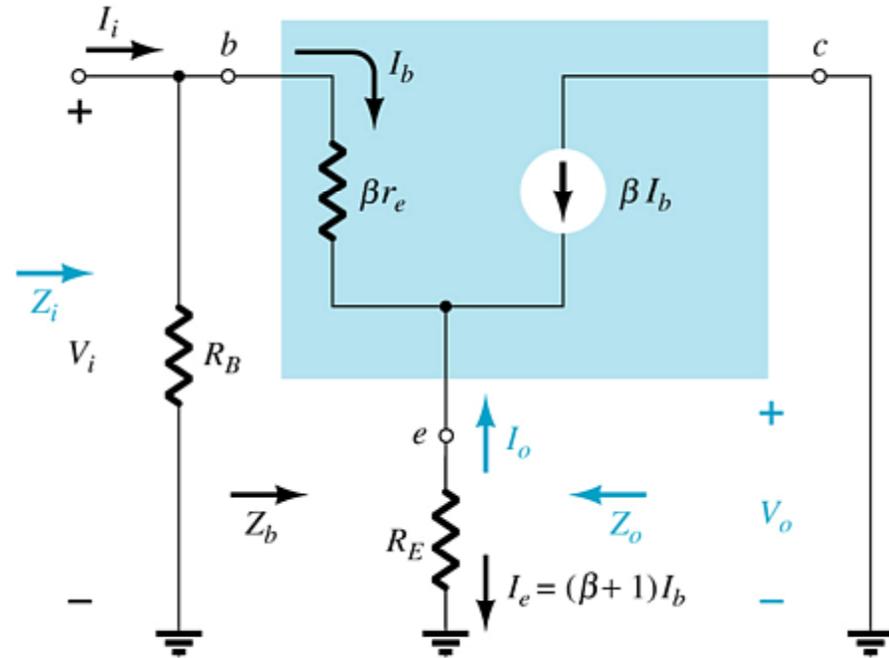
$$Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$$

$$Z_b \cong \beta R_E$$

Impédance de sortie:

$$Z_o = R_E \parallel r_e$$

$$Z_o \cong r_e \mid R_E \gg r_e$$



Calcul du gain

Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + r_e}$$

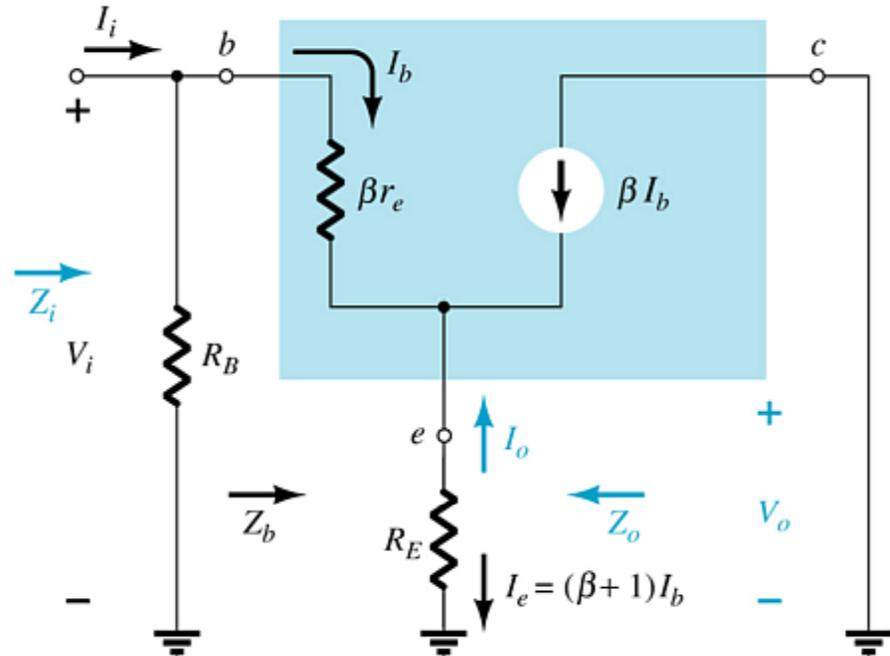
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong 1 \quad \left| \quad R_E \gg r_e, R_E + r_e \cong R_E \right.$$

Gain en courant:

$$A_i \cong -\frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$$

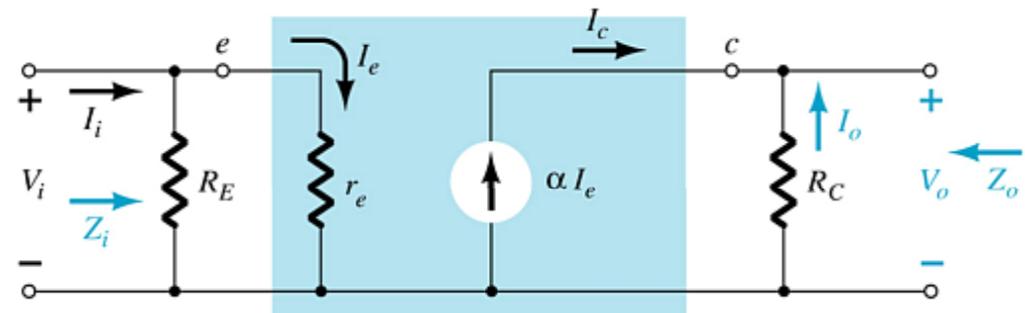
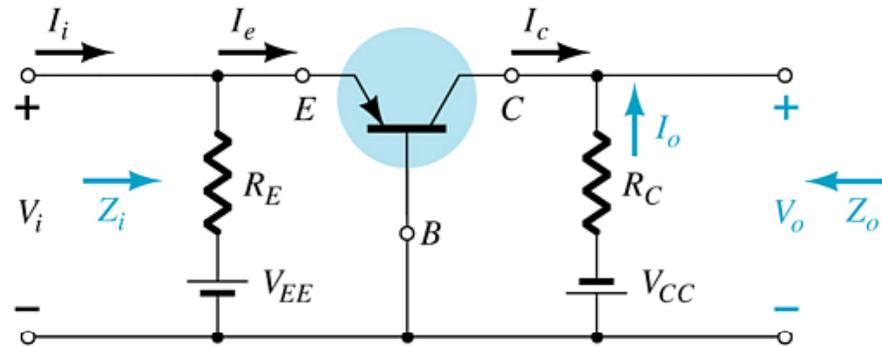
Gain en courant à partir du gain en tension:

$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_E}$$



Configuration à base commune

- L'entrée est appliqué à la base.
- La sortie est prise du collecteur.
- Impédance de base petite.
- Impédance de sortie haute.
- Gain en courant moins de l'unité.
- Très haut gain en tension.
- Pas de décalage de phase entre entrée et sortie.



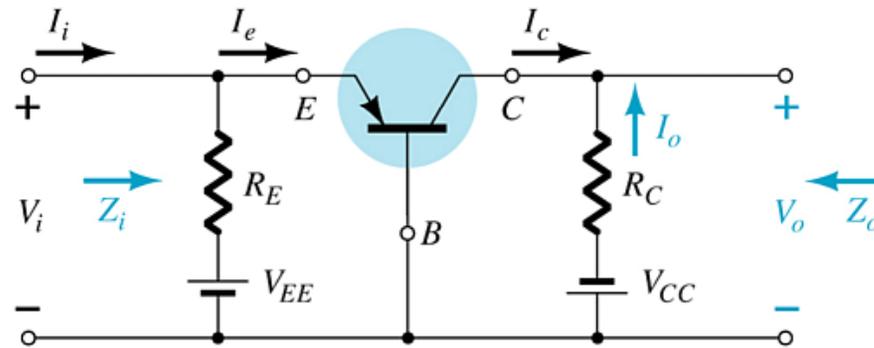
Calculs

Impédance d'entrée:

$$Z_i = R_E \parallel r_e$$

Impédance de sortie:

$$Z_o = R_C$$

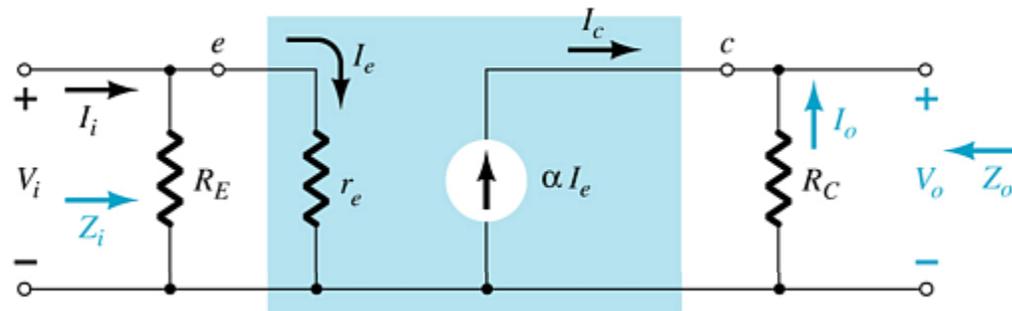


Gain en tension:

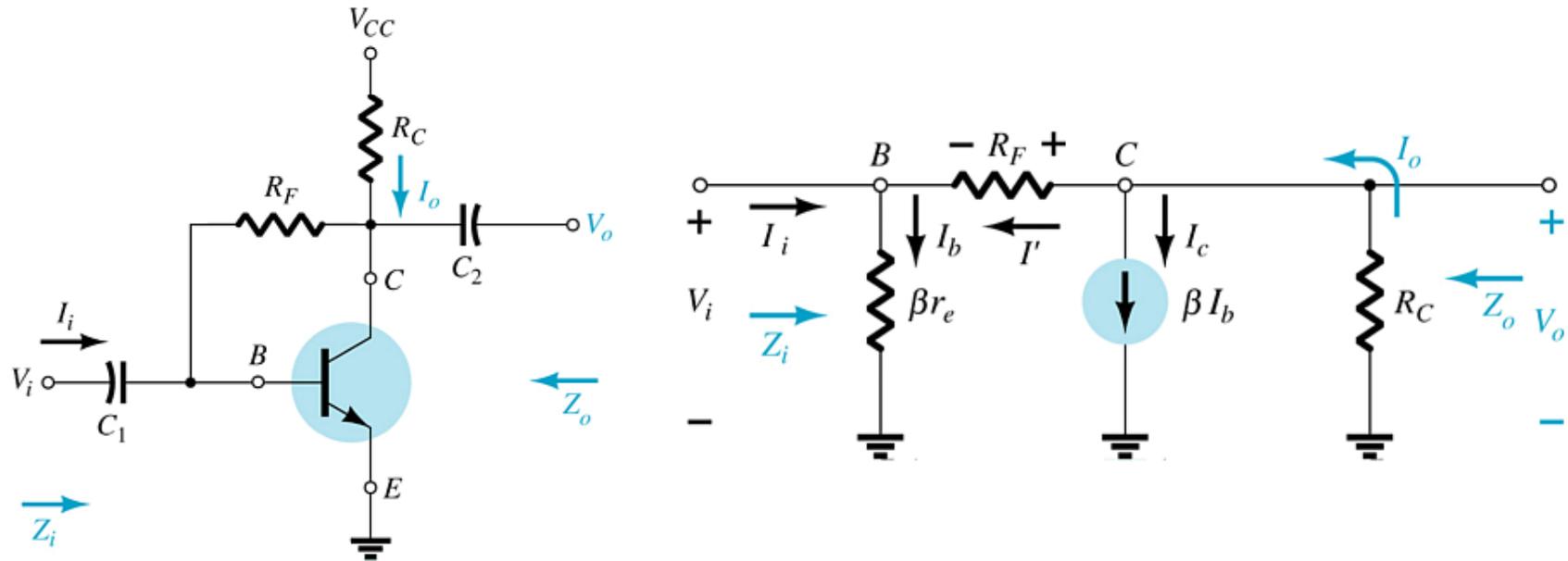
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\alpha R_C}{r_e} \cong \frac{R_C}{r_e}$$

Gain en courant:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = -\alpha \cong -1$$



Configuration à émetteur commun à retroaction



- C'est une variante de la configuration à émetteur commun et configuration fixe
- L'entrée est appliquée à la base
- La sortie s'applique au collecteur
- Il y a un décalage de phase de 180° entre entrée et sortie

Calculs

Impédance d'entrée:

$$Z_i = \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_F}}$$

Impédance de sortie:

$$Z_o \cong R_C \parallel R_F$$

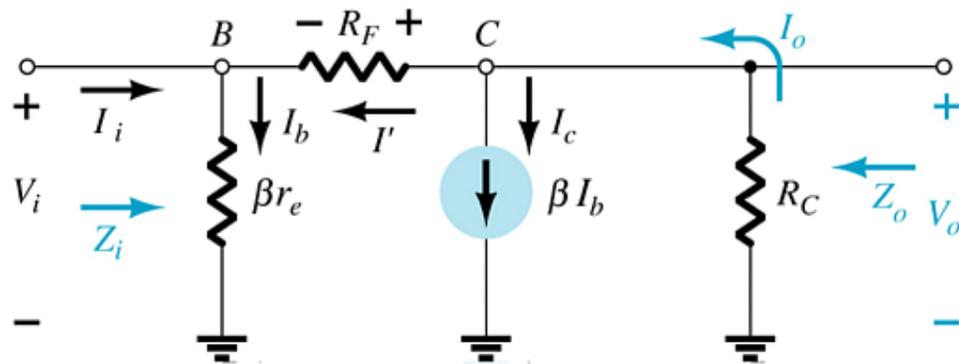
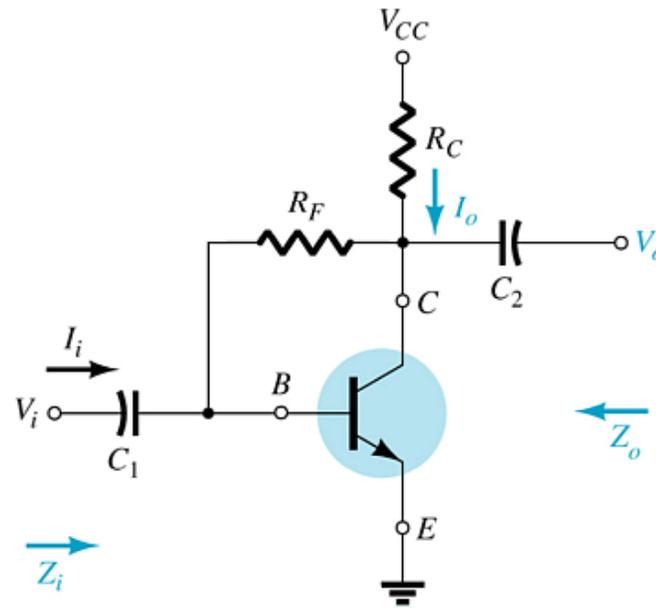
Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C}{r_e}$$

Gain en courant:

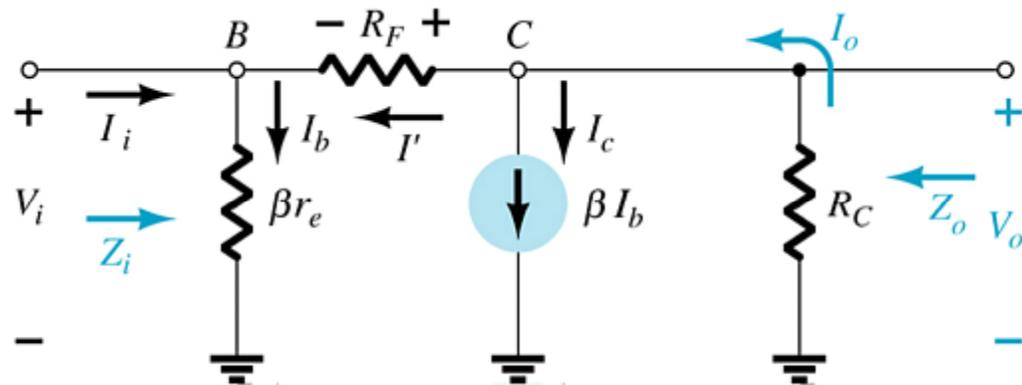
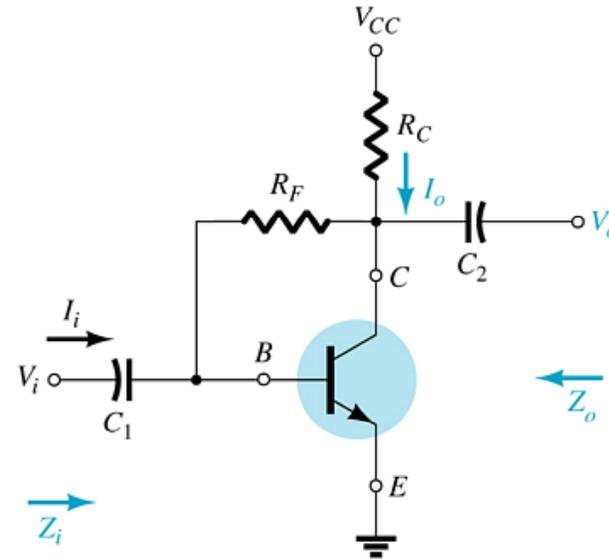
$$A_{i1} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_F}{R_F + \beta R_C}$$

$$A_{i2} = \frac{I_o}{I_i} \cong \frac{R_F}{R_C}$$



Configuration par retroaction de collecteur

- C'est une variante de la configuration à émetteur commun et configuration fixe
 - L'entrée est appliquée à la base
 - La sortie s'applique au collecteur
 - Il y a un décalage de phase de 180° entre l'entrée et la sortie



Calculs

Impédance d'entrée:

$$Z_i = \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_F}}$$

Impédance de sortie:

$$Z_o \cong R_C \parallel R_F$$

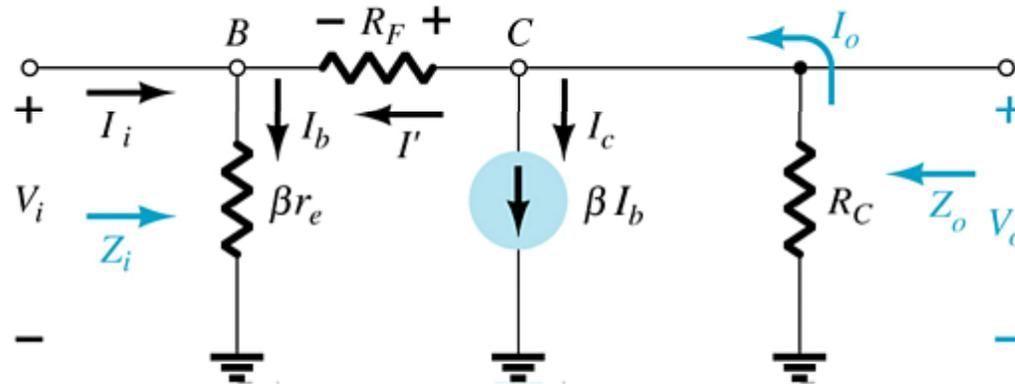
Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C}{r_e}$$

Gain en courant:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_F}{R_F + \beta R_C}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \cong \frac{R_F}{R_C}$$



Systeme à deux ports

Cette approche:

- Réduit le système à deux ports
- Fournit une vision "Thévenin" en sortie
- Il facilite l'impact de la charge variable

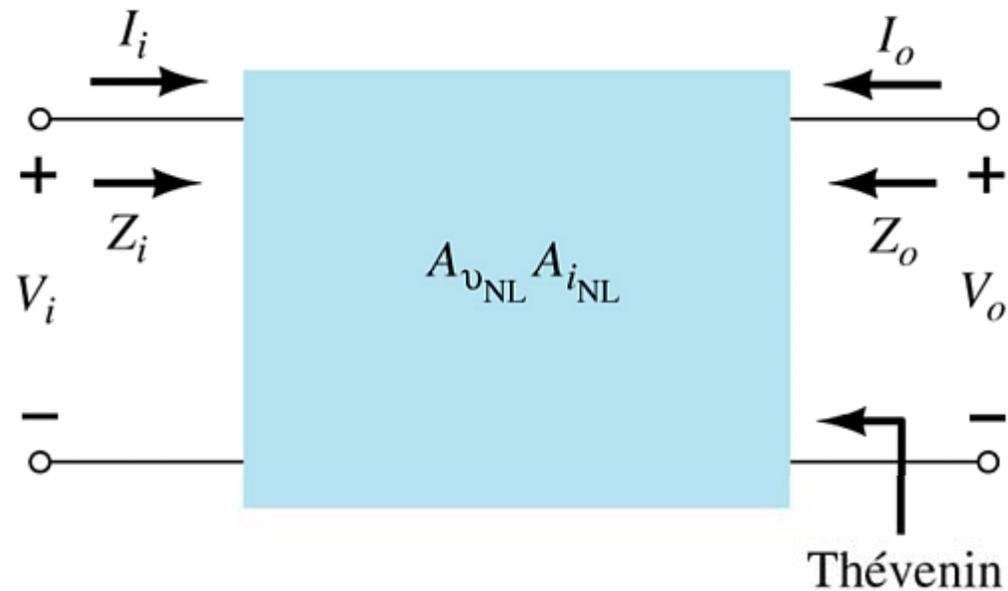
Avec V_i à 0 V:

$$Z_{Th} = Z_o = R_o$$

La tension à terminal ouvert est:

$$E_{Th} = A_{vNL} V_i$$

avec A_{vNL} étant le gain en tension.



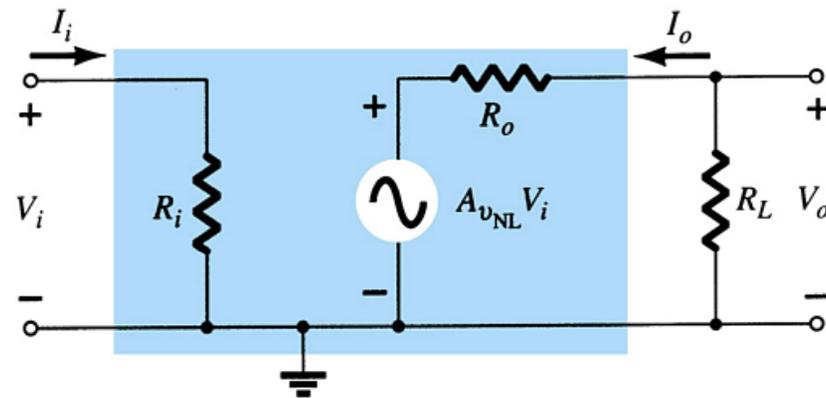
Effet de la charge sur le gain

Le modèle peut être appliqué à tout amplificateur contrôlé par tension.

L'ajout d'une charge réduit le gain:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L}{R_L + R_o} A_{vNL}$$

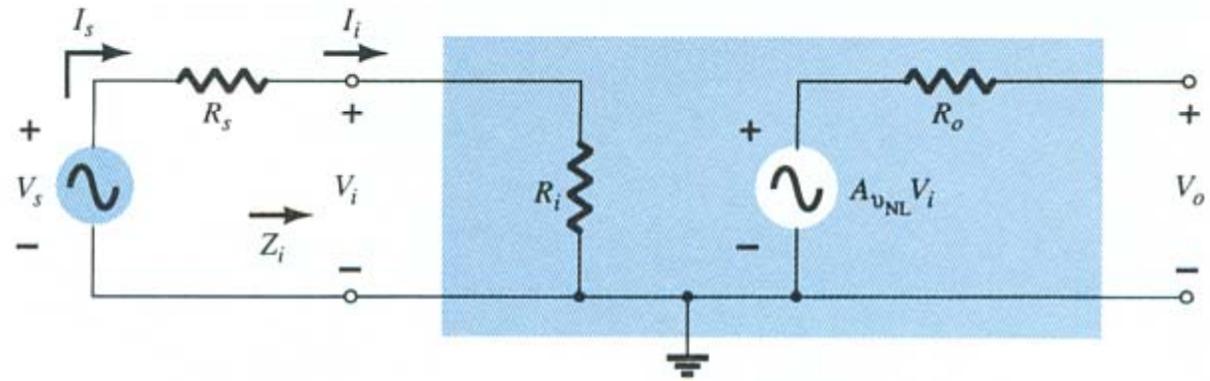
$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_L}$$



Effet de l'impédance source sur le gain

La fraction du signal entrant dans l'amplificateur est:

$$V_i = \frac{R_i V_s}{R_i + R_s}$$



La résistance interne de la source réduit le gain.

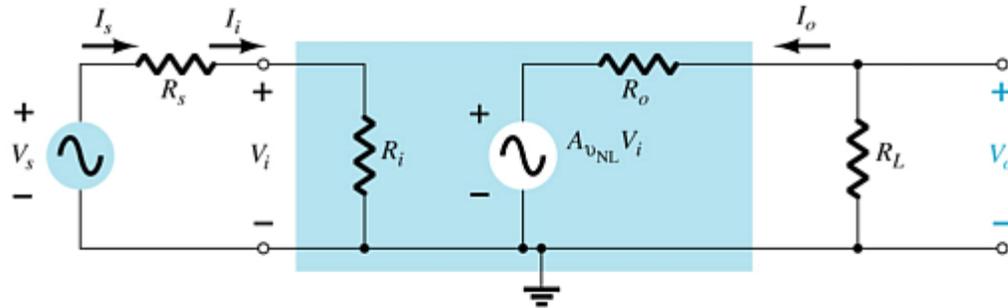
$$A_{vs} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} A_{vNL}$$

Effet combiné

Impact de R_L :

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L A_{vNL}}{R_L + R_o}$$

$$A_i = -A_v \frac{R_i}{R_L}$$



Impact de R_L et de R_s :

$$A_{vs} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{R_L}{R_L + R_o} A_{vNL}$$

$$A_{is} = -A_{vs} \frac{R_s + R_i}{R_L}$$

Systeme en cascade

- **La sortie d'un amplificateur est l'entrée de l'amplificateur suivant**
- **Le gain total est determiné par le produit des gains des étages induviduels.**
- **Les circuits de polarisation DC sont isolés par les condensaters de couplage.**
- **Les calculs DC sont idépendants pour chaque étage.**
- **Les calculs du gain et et d'impédance sont dépendants**

Amplificateurs R-C BJT en couplage

Impédance d'entrée, première étage

$$Z_i = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

Impédance de sortie, deuxième étage:

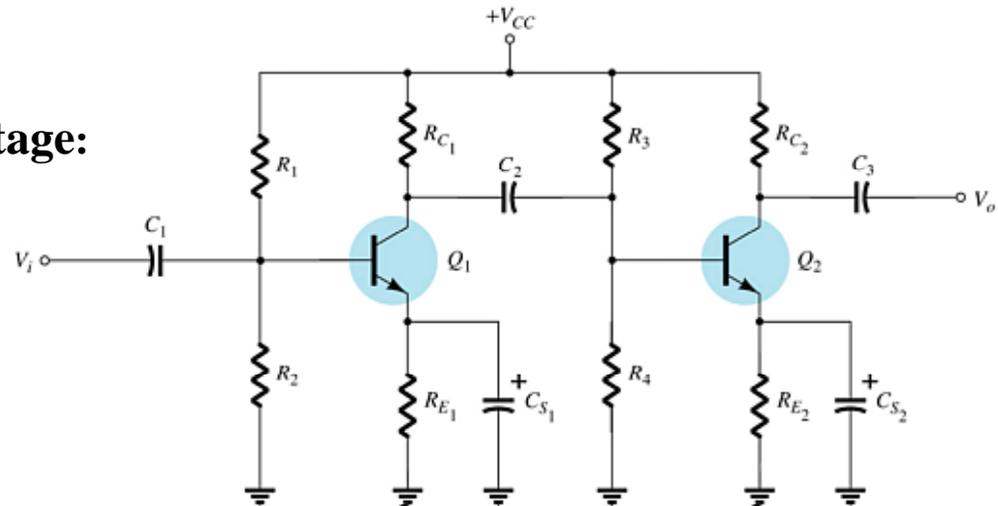
$$Z_o = R_C$$

Gain en tension:

$$A_{v1} = \frac{R_C \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e}{r_e}$$

$$A_{v2} = \frac{R_C}{r_e}$$

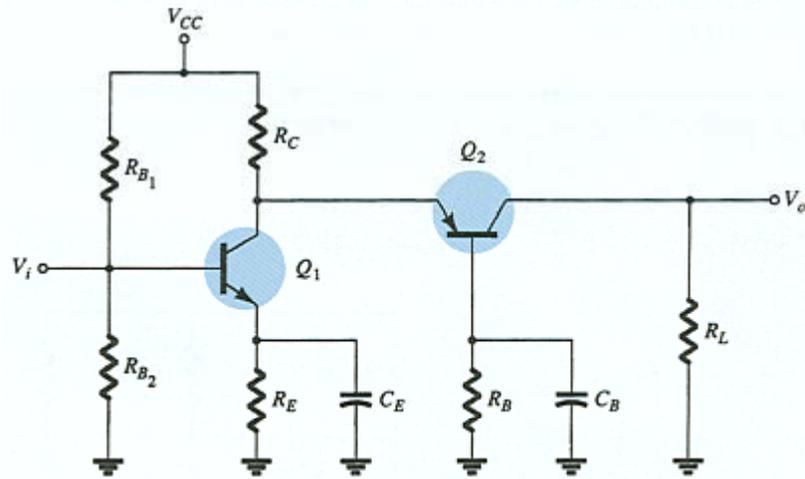
$$A_v = A_{v1} A_{v2}$$



Connexion en Cascode

Cet exemple est une combinaison CE–CB. This arrangement provides high input impedance but a low voltage gain.

The low voltage gain of the input stage reduces the Miller input capacitance, making this combination suitable for high-frequency applications.

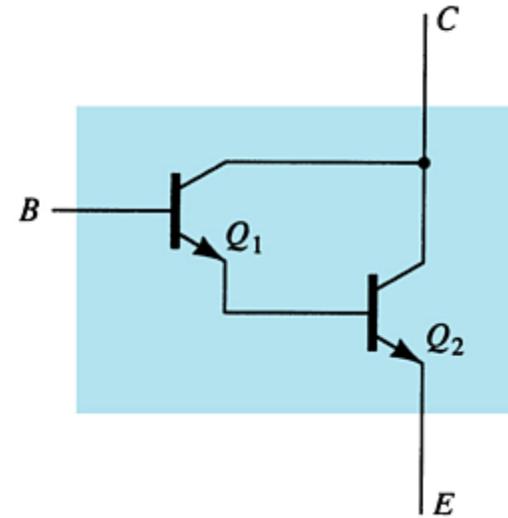


Le circuit Darlington

Le circuit Darlington fournit un très haut gain— le produit des gains individuels:

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2$$

Par conséquent le circuit comporte une haute impédance d'entrée.



Polarisation des circuits Darlington

Courant de base:

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

Courant d'émetteur:

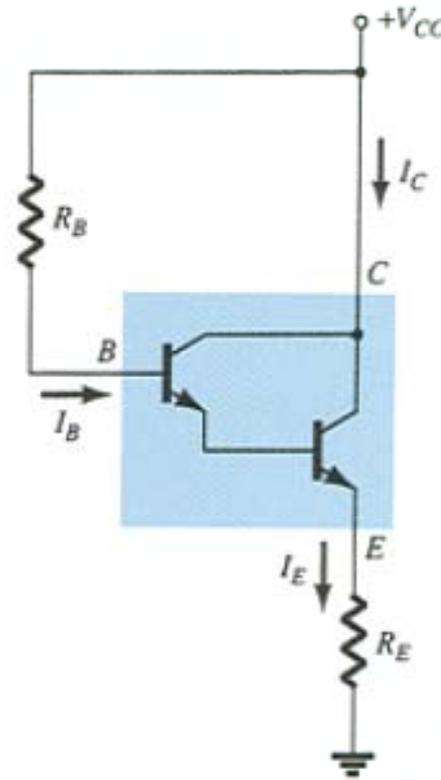
$$I_E = (\beta_D + 1)I_B \cong \beta_D I_B$$

Tension d'émetteur:

$$V_E = I_E R_E$$

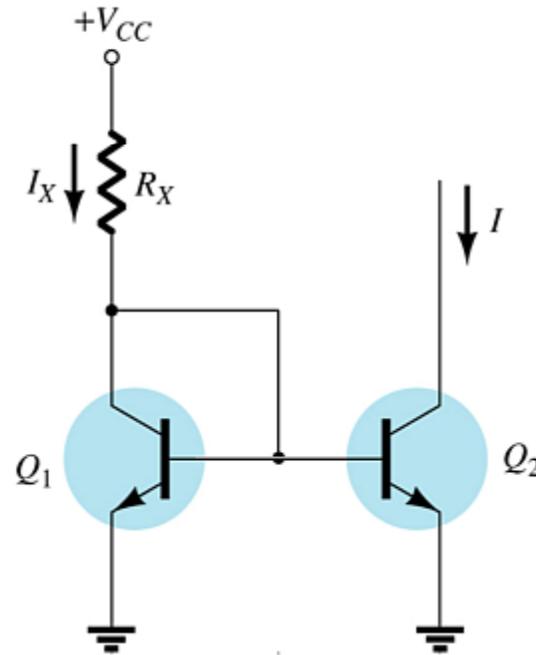
Tension de base:

$$V_B = V_E + V_{BE}$$



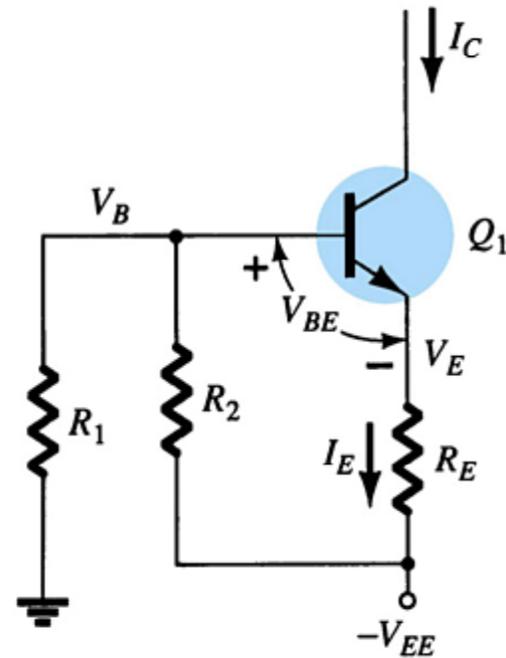
Circuits miroir de courant

Génèrent un courant constant dans les circuits intégrés.



Circuits sources de courant

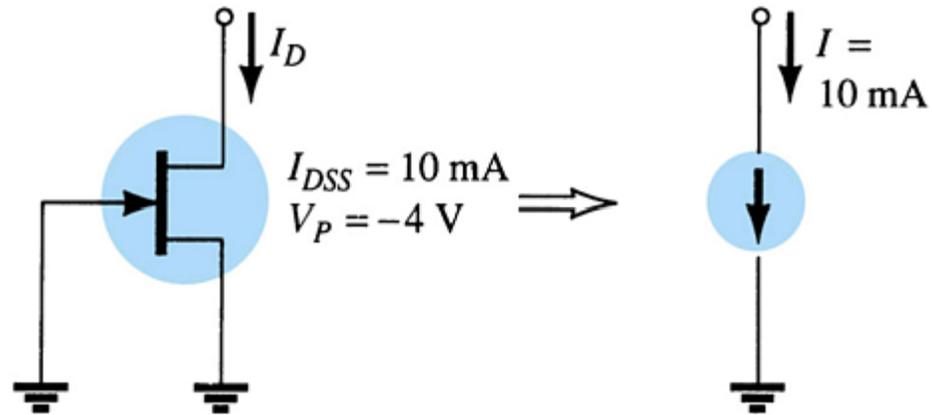
Ces circuits peuvent se construire avec des FETs, BJTs, ou par une combinaison.



$$I_E \cong I_C$$

more...

Circuits sources de courant



$$V_{GS} = 0 \text{ V}$$
$$I_D = I_{DSS} = 10 \text{ mA}$$

Configuration á polarisation fixe

Impédance d'entrée:

$$Z_i = R_B \parallel h_{ie}$$

Impédance de sortie:

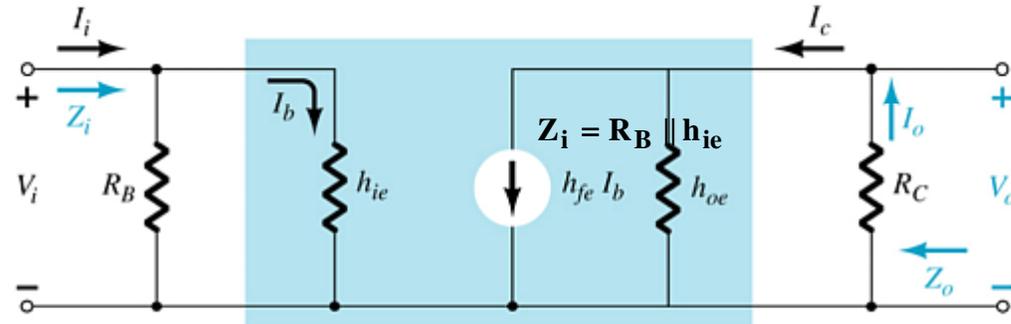
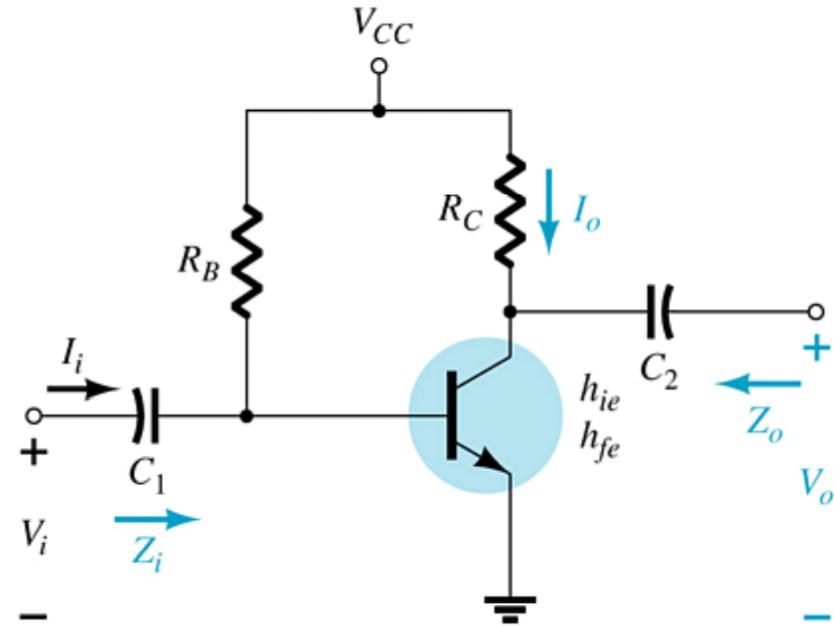
$$Z_o = R_C \parallel 1/h_{oe}$$

Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fe}(R_C \parallel 1/h_{oe})}{h_{ie}}$$

Gain en courant:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \cong h_{fe}$$



Configuration par pont diviseur de tension

Impédance d'entrée:

$$Z_i = R' \parallel h_{ie}$$

Impédance de sortie:

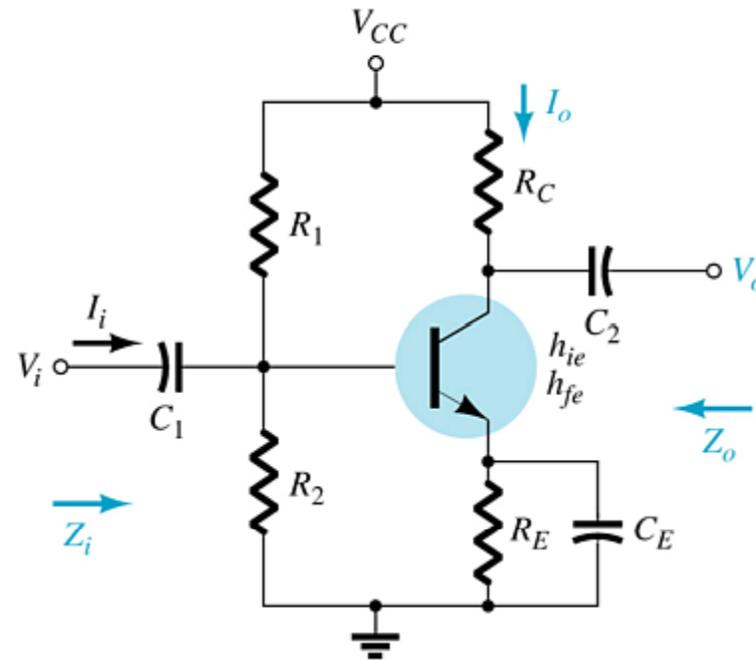
$$Z_o \cong R_C$$

Gain en tension:

$$A_v = -\frac{h_{fe}(R_C \parallel 1/h_{oe})}{h_{ie}}$$

Gain en courant:

$$A_i = -\frac{h_{fe} R'}{R' + h_{ie}}$$



Configuration suiveur d'émetteur

Impédance d'entrée:

$$Z_b = h_{fe} R_E$$

$$Z_i = R_o \parallel Z_b$$

Impédance de sortie:

$$Z_o \cong R_E \parallel \frac{h_{ie}}{h_{fe}}$$

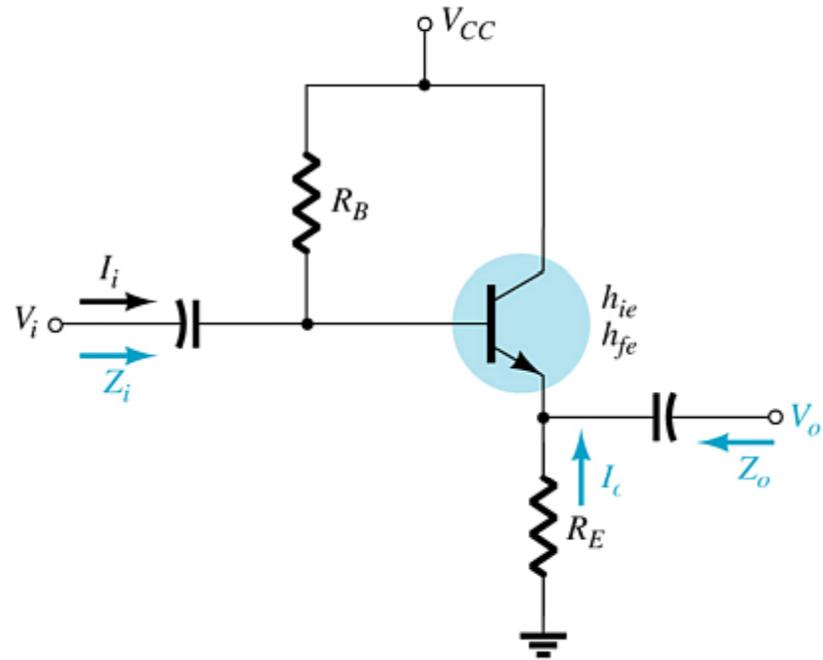
Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + h_{ie}/h_{fe}}$$

Gain en courant:

$$A_i = \frac{h_{fe} R_B}{R_B + Z_b}$$

$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_E}$$



Configuration Base commune

Impédance d'entrée:

$$Z_i = R_E \parallel h_{ib}$$

Impédance de sortie:

$$Z_o = R_C$$

Gain en tension:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fb} R_C}{h_{ib}}$$

Gain en courant:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = h_{fb} \cong -1$$

