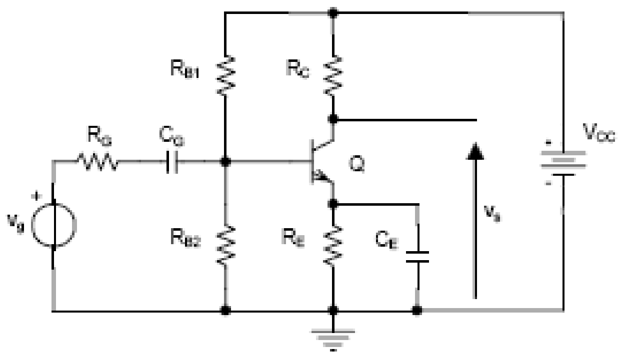
Université de M'sila
Faculté de technologie
Département d'électronique
1ere année Master Microélectronique
Module : Conception des circuits intégrés analogiques

COURS 2 : Amplificateur à un étage bipolaire

1. Principe de l'amplification

Pour étudier les montages à amplification linéaire, on est conduit à considérer **deux régimes,** d'une part **le régime d'alimentation continu ou régime statique** de l'élément actif, absolument nécessaire pour placer celui-ci dans la région de ses caractéristiques, adéquate au fonctionnement prévu, et d'autre part le **régime alternatif ou régime dynamique** développé autour du régime continu, sous l'action du signal appliqué.

Expliquons le principe de l'amplification à partir du schéma suivant (montage Emetteur commun) :



Le condensateur *CG* assure la liaison de l'étage avec le générateur. Le rôle du condensateur *CE* est de découpler la source par rapport à la masse. En régime statique, **les condensateurs sont équivalents à des circuits ouverts**. En régime dynamique et aux fréquences de travail du montage, ces condensateurs doivent se comporter comme **des courts-circuits**. De ce fait, la topologie diffère selon le régime à étudier.

2. Fonctionnement en continu (régime statique)

Pour analyser le fonctionnement en continu, il faut déterminer 6 inconnues : 3 courants (I_C, I_E, I_B) et 3 tensions (V_B, V_C, V_E).

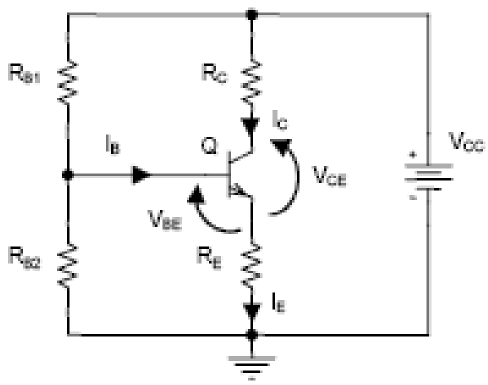
On dispose de 6 équations :

- La loi d'Ohm et/ou la loi des mailles dans les circuits reliés à la base, à l'émetteur et au collecteur, soit 3 équations.
- Les trois équations du transistor, en faisant l'hypothèse que le transistor est en régime actif linéaire (sauf s'il est évident d'après le schéma qu'il n'est pas en régime linéaire) :
    1. Conservation de la charge : $I_E = I_B + I_C$
    2. Équation d'Ebers-Moll sous forme simplifiée : $V_{BE} = 0.6V$ (indépendamment de I_C) ou dans sa forme complet : $I_C = I_S \exp(V_{BE}/U_T)$
    3. Équation d'amplification du courant : $I_C = \beta I_B$

On a donc 6 équations à 6 inconnues. Si l'on utilise la forme simplifiée de l'équation d'Ebers-Moll, ces équations sont linéaires, ce qui permet de faire tous les calculs de manière analytique, et qui fournit une approximation, généralement suffisante pour une première analyse. Une fois la solution trouvée, il faut s'assurer qu'elle est en accord avec l'hypothèse selon laquelle le transistor est en régime actif linéaire. Si ce n'est pas le cas, il faut mettre en cause cette hypothèse, et refaire les calculs à partir des autres hypothèses (transistor bloqué ou transistor actif saturé).

Exemple (circuit de base)

Le circuit de base utilisé est le suivant dans un mode de polarisation avec résistance d'émetteur et pont de base :



$$\begin{cases} V_B = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E \\ V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E \end{cases}$$

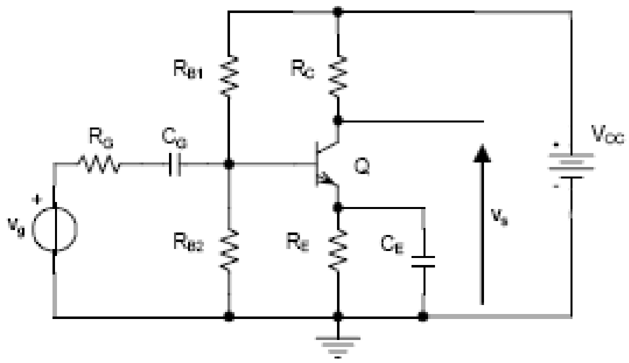
Avec

$$V_B = \frac{R_{B_2}}{R_{B_1} + R_{B_2}} V_{CC}$$

$$R_B = R_{B_1} // R_{B_2}$$

3. Fonctionnement en alternatif (régime dynamique petit signal)

3.1 Montage émetteur commun



En régime actif linéaire, une petite variation v_{BE} de V_{BE} entraîne une petite variation i_B de I_B, ce qui entraîne une variation i_C de I_C et une variation i_E de I_E *(voir la figure)*

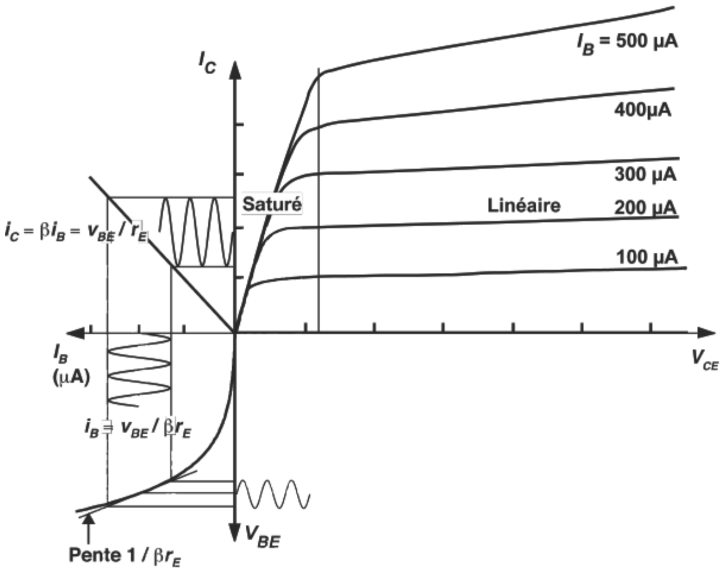
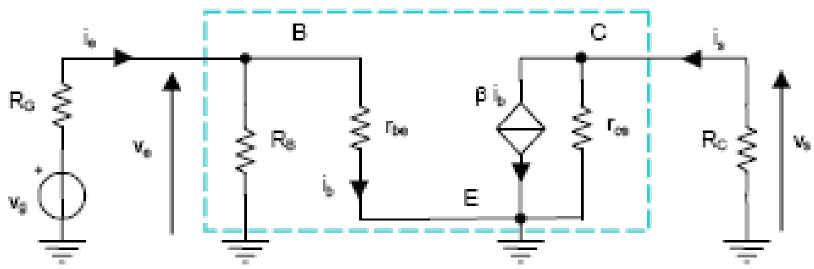


Schéma équivalent dynamique (r_{ce} >> R_C) :



Equations du circuit :

$$v_e = r_{be}\, i_b \,,\; i_e = \frac{v_e}{R_B} + i_b \,,\; v_s = -\beta\, i_b \left(R_C \,//\, r_{ce}\right),\; i_s = \beta\, i_b + \frac{v_s}{r_{ce}}$$

Résistance d'entrée :

$$z_e = \frac{v_e}{i_e} = R_B \,//\, r_{be}$$

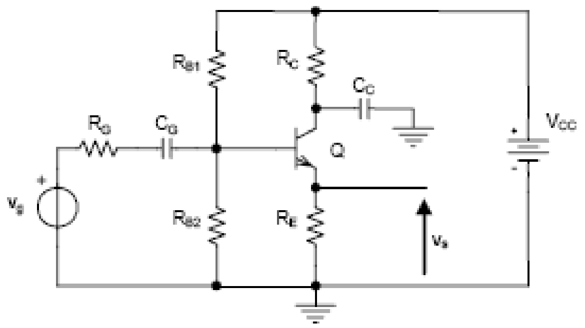
Résistance de sortie vue par :

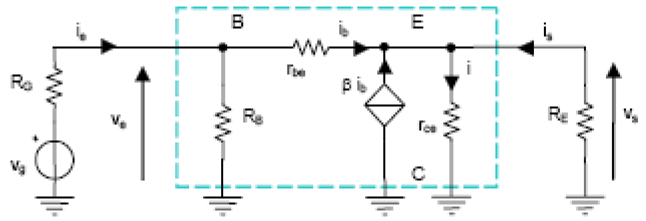
$$R_C \;:\; z_s = r_{ce} \quad (\text{car } i_b = 0\,)$$

Gain en tension :

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{\beta\left(R_C \,//\, r_{ce}\right)}{r_{be}} \cong -\frac{\beta R_C}{r_{be}}$$

3.1 Montage collecteur commun





Equations du circuit

$$i_e = \frac{v_e}{R_B} + i_b \,,\; v_e = \left[r_{be} + (\beta+1)\left(R_E \,//\, r_{ce}\right)\right] i_b \,,\; i_s + (\beta+1) i_b = i \,,\; v_s = (\beta+1) i_b \left(R_E \,//\, r_{ce}\right),\; r_{ce}\, i + R_E\, i_s = 0$$

Résistance d'entrée

$$z_e = R_B \,//\left[r_{be} + (\beta+1)\left(R_E \,//\, r_{ce}\right)\right] \cong (\beta+1) R_E \;\; (\text{si } R_B >> r_{be} + (\beta+1) R_E \text{ et } i \cong 0\,)$$

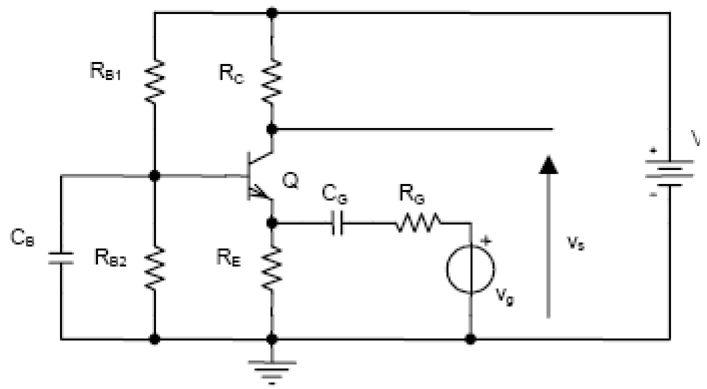
Résistance de sortie vue par *RE*

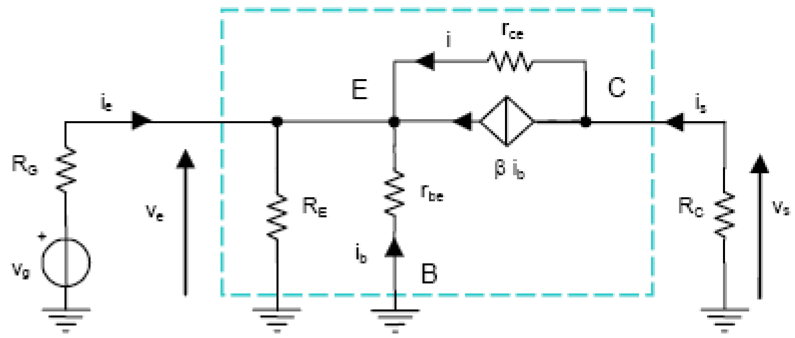
$$\begin{cases} i_0 = i - (\beta+1) i_b \\ v_0 = r_{ce}\, i \\ v_0 = -\left(r_{be} + R_G \,//\, R_B\right) i \end{cases}$$

$$z_s = r_{ce} \,//\, \frac{r_{be} + R_B \,//\, R_G}{\beta+1} \cong \frac{r_{be}}{\beta+1}$$

Gain en tension : $$A_v = \frac{v_s}{v_e} \cong \frac{(\beta+1)R_E}{r_{be}+(\beta+1)R_E} < 1 \quad (r_{ce} >> R_E)$$

3.3 Montage base commune





Equations du circuit

$$v_e = -r_{be}\, i_b\,,\; i_e + (\beta+1) i_b + i = \frac{v_e}{R_E}\,,\; i_s = \beta i_b + i\,,\; v_s = -R_C\, i_s\,,\; r_{be}\, i_b = R_C\, i_s + r_{ce}\, i$$

Résistance d'entrée

$$z_e = \frac{v_e}{i_e} = \frac{r_{be}}{\dfrac{r_{be}}{R_E} + \beta + 1} \cong R_E \,//\, \frac{r_{be}}{\beta+1} \cong \frac{r_{be}}{\beta+1} \quad \left(\text{si } R_E >> \frac{r_{be}}{\beta+1} \text{ et } r_{ce} \text{ grand}\right)$$

Résistance de sortie vue par *RC*

$$\begin{cases} v_0 = r_{ce}\, i - v \\ i_0 = g_m v + i \\ v = -R i_0 \end{cases} \quad \text{avec } R = R_G \,//\, R_E \,//\, r_{be}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v_0 = r_{ce}\, i_0 - v\,(1 + g_m r_{ce}) \\ v = -R i_0 \end{cases}$$

$$z_s = \frac{v_0}{i_0} = R + r_{ce}\,(1 + g_m R) \cong r_{ce}\,(1 + g_m R)$$

Gain en tension :

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} \cong \frac{\beta R_C}{r_{be}} \quad (r_{ce} \text{ très grand})$$