

Amplificateur différentiel à transistors bipolaires (pages 1 et 2).

Gain différence : mise en évidence de la zone de linéarité (page3)

Gain de mode commun (page4)

Amélioration du facteur de différentiation (R.R.M.C.) par un générateur de courant de polarisation (page 5).

Schéma équivalent aux petites variations aux fréquences moyennes, avec une résistance R de polarisation et un générateur de courant (page 6).

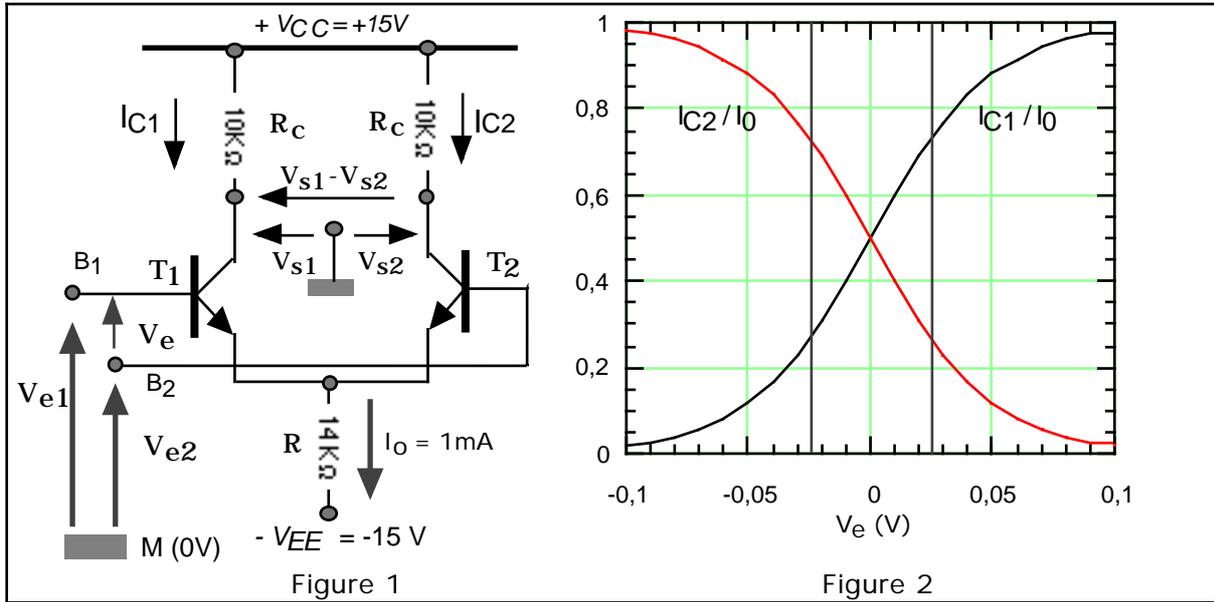
Application : modulation d'amplitude (page 7).

AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL A TRANSISTORS BIPOLAIRES

On appelle amplificateur différentiel parfait, un amplificateur à liaisons directes possédant deux entrées et deux sorties exclusivement proportionnelles à la différence des signaux d'excitation.

Cette propriété donne lieu à de nombreuses applications :

- Amplification d'une différence de potentiel entre deux noeuds isolés de la masse : amplificateur opérationnel, voltmètre électronique...
- Amplification avec de faibles dérives en température.



L' amplificateur différentiel de la figure 1 est constitué par deux transistors T₁ et T₂ identiques, soumis à la même température, montés en émetteur commun et polarisés par une résistance R.

Lorsque $V_{e1} = V_{e2} = 0 \text{ V}$ $I_{C1 \text{ repos}} = I_{C2 \text{ repos}} = I_0/2$ et dans tous les cas : $I_{C1} + I_{C2} = I_0$

1) UTILISATION EN MODE SYMÉTRIQUE

Lorsqu'on applique aux entrées B₁ et B₂ deux tensions continues V_{e1} et V_{e2} , en exploitant la relation fondamentale :

$$I_C = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right)$$

on obtient les relations suivantes :

$$\frac{I_{C1}}{I_0} = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{V_{e1} - V_{e2}}{U_T}\right)}$$

$$\frac{I_{C2}}{I_0} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{V_{e1} - V_{e2}}{U_T}\right)}$$

La figure 2 montre que I_{C1}/I_0 et I_{C2}/I_0 sont proportionnels à V_e pour $|V_e| = |V_{e1} - V_{e2}| \ll 2 U_T$ conduisant à définir une transconductance différentielle autour de $V_e = 0 \text{ V}$:

$$|G_{md}| = \left| \frac{dI_{C2}}{dV_e} \right| = \left| \frac{dI_{C1}}{dV_e} \right| = \frac{I_0}{4 U_T}$$

représentant la moitié de la transconductance de chaque transistor.

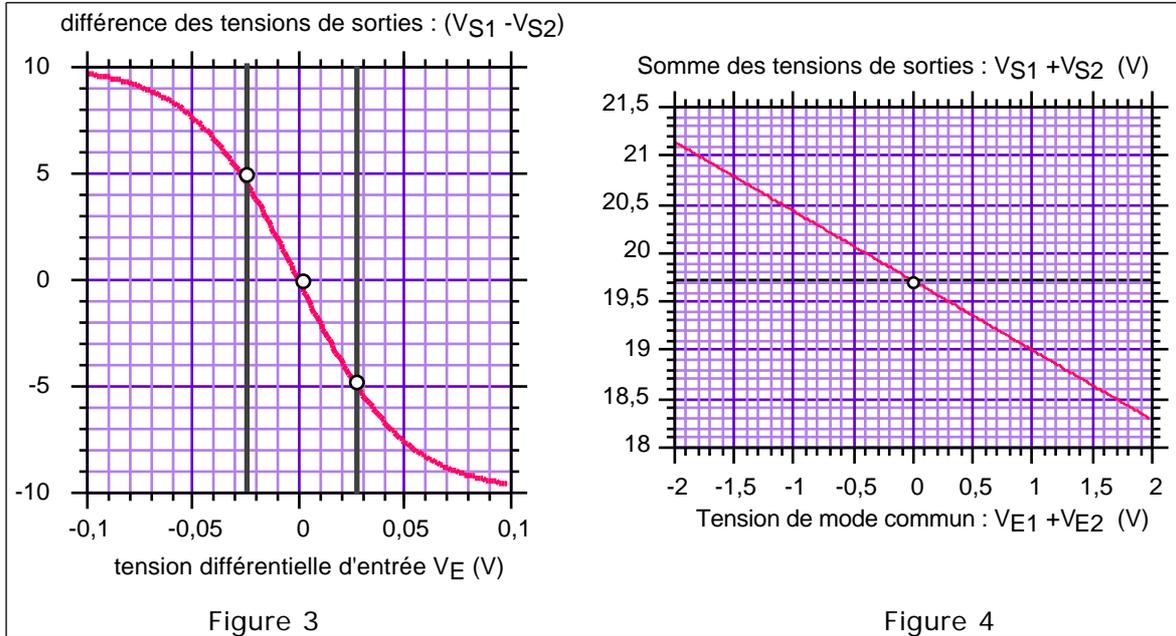
La différence des tensions de sorties représentée en figure 3 est alors telle que :

$$V_{S1} - V_{S2} = -R_C I_0 \tanh\left(\frac{V_{e1} - V_{e2}}{2 U_T}\right) \quad \text{avec : } \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

Dans la zone de linéarité, on obtient avec $\tanh(x) \approx x$ pour x faible :

$$V_{S1} - V_{S2} = -\frac{I_o}{2 U_T} R_C (V_{e1} - V_{e2})$$

d'où le gain de mode différence : $A_d = \frac{V_{S1} - V_{S2}}{V_{e1} - V_{e2}}$



Cependant, ce montage est aussi sensible à la somme des tensions d'entrées (figure 4) et conduit à définir un gain de mode commun A_c représentant le défaut majeur du montage :

$$A_c = \frac{V_{S1} + V_{S2}}{V_{e1} + V_{e2}}$$

On définit alors un coefficient de qualité du montage appelé le facteur de différentialité ou Rapport de Réjection du Mode Commun généralement exprimé en déciBels :

$$R.R.M.C = F_d = \frac{A_d}{A_c}$$

2) UTILISATION EN MODE ASYMÉTRIQUE

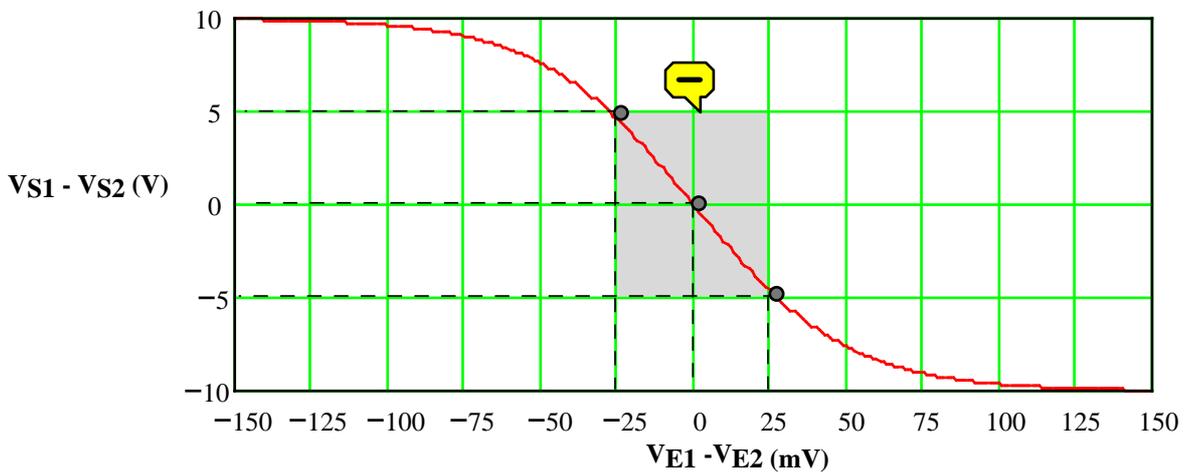
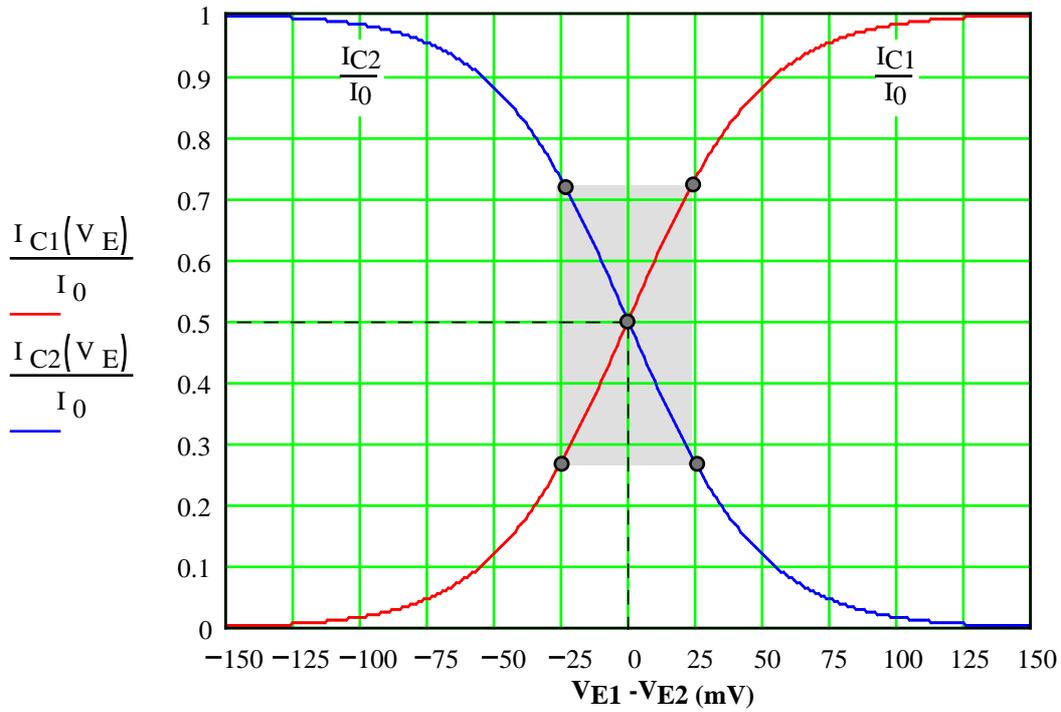
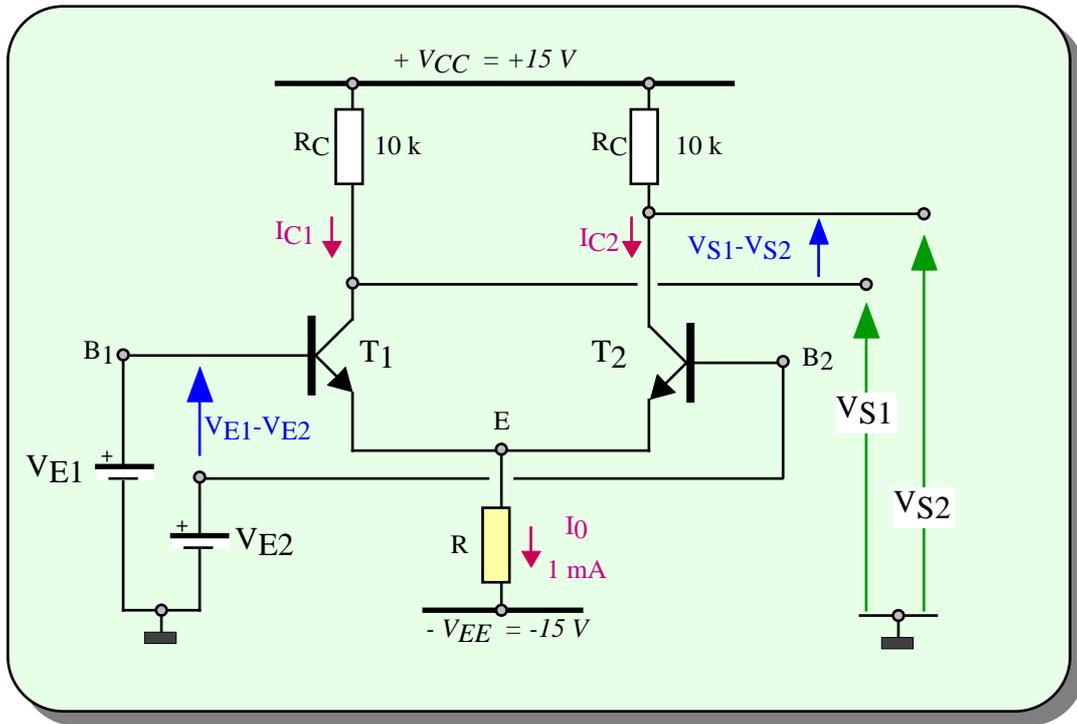
Dans la plupart des cas, la différence des tensions $V_{S1} - V_{S2}$ n'est pas exploitée. Au contraire, on utilise exclusivement la sortie V_{S1} (ou V_{S2}) par rapport à la masse. Dans ces conditions :

$$V_{S1} = \frac{I}{2} A_d \left[(V_{e1} - V_{e2}) + \frac{(V_{e1} + V_{e2})}{F_d} \right]$$

$$V_{S2} = -\frac{I}{2} A_d \left[(V_{e1} - V_{e2}) - \frac{(V_{e1} + V_{e2})}{F_d} \right]$$

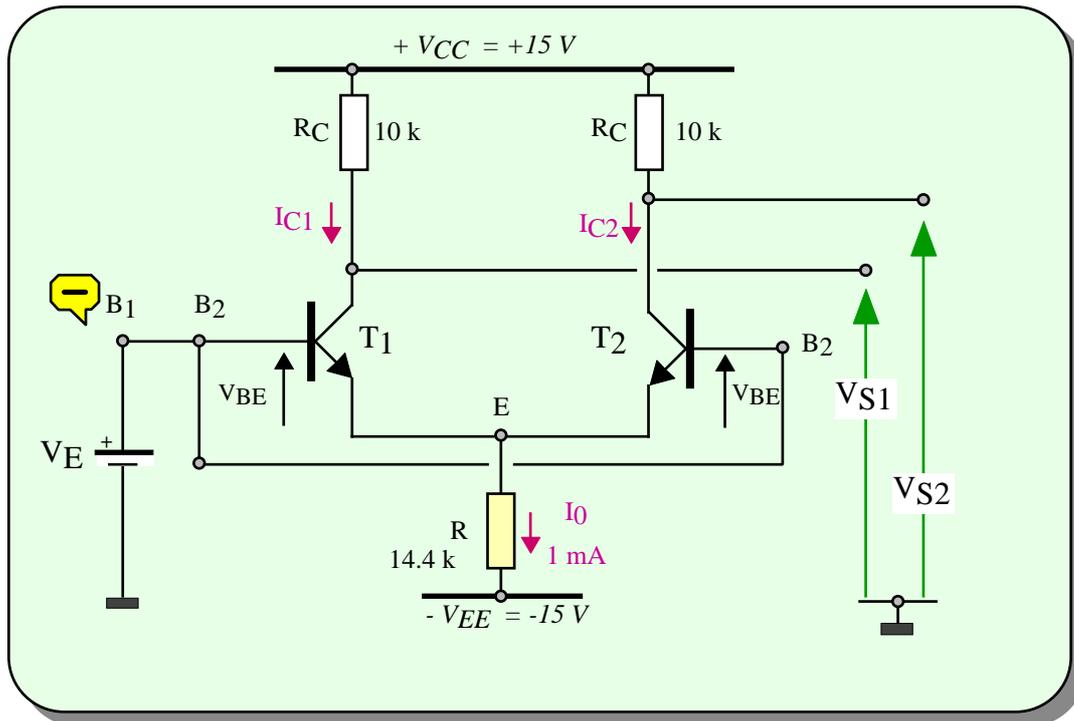
La tension continue de sortie V_{S1} (ou V_{S2}) sera proportionnelle à $V_{e1} - V_{e2}$ à condition que le facteur de différentialité ou Rapport de Réjection du Mode Commun soit très élevé. A cet effet, on doit modifier le montage de la figure 1 en remplaçant la résistance R de polarisation par un générateur de courant continu I_o ayant une résistance dynamique R_i importante (par exemple : exploitation de la résistance de sortie du montage base commune ($k r_{ce}$), miroir de courant amélioré etc.)

AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL A TRANSISTORS BIPOLAIRES



AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL A TRANSISTORS BIPOLAIRES

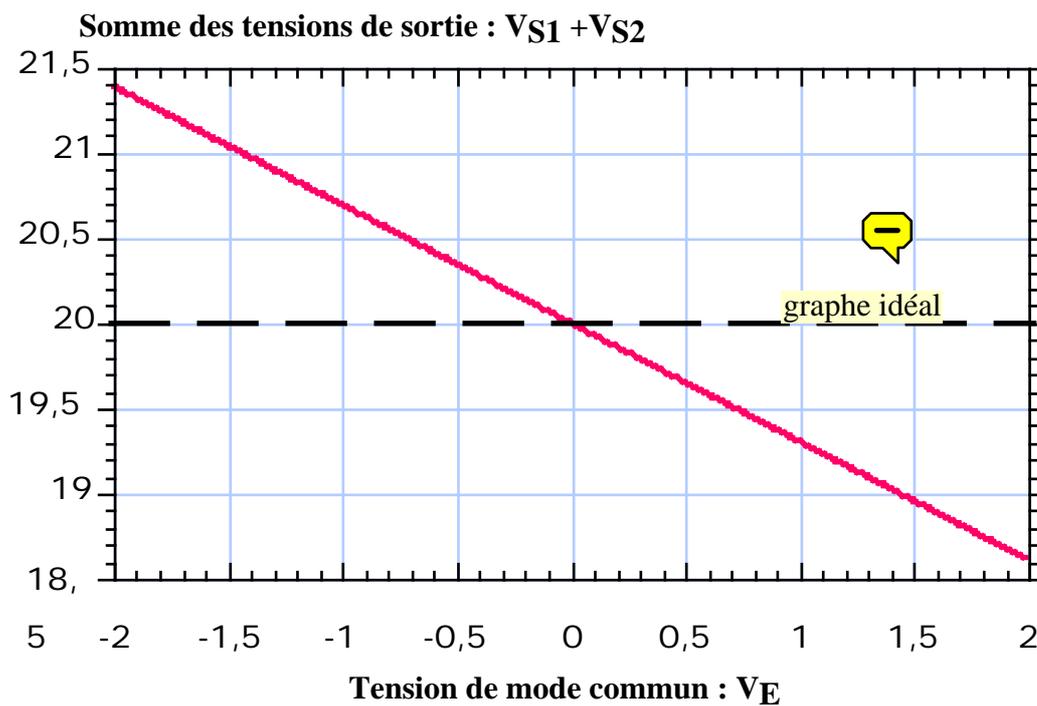
MODE COMMUN



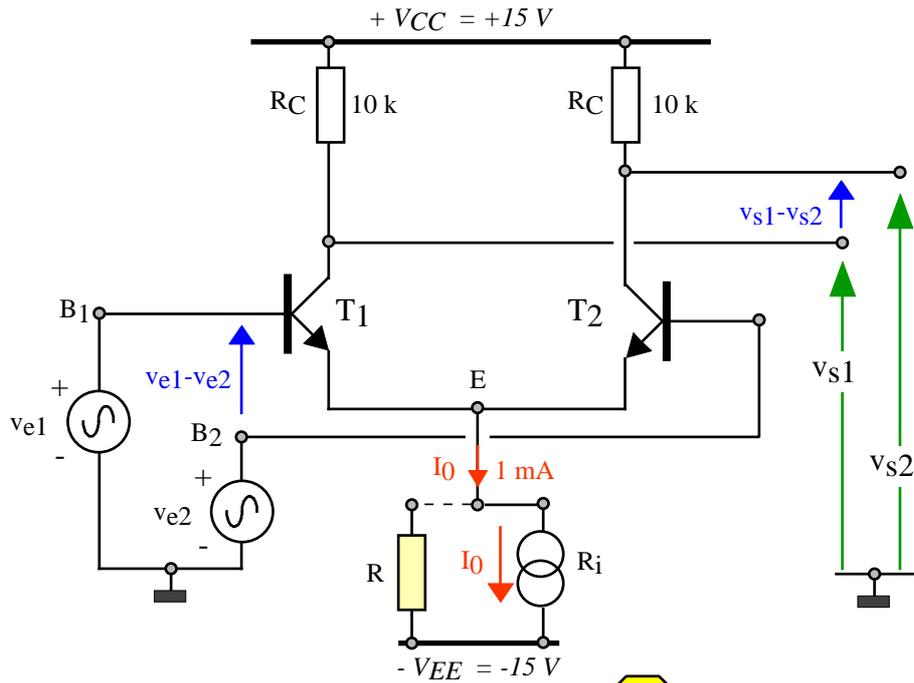
$$V_E = V_{BE} + RI_0 + V_{EE} \quad I_0 = \frac{V_{EE} + V_E - V_{BE}}{R}$$

$$V_{S1} = V_{CC} - R \frac{I_0}{2} \quad V_{S2} = V_{CC} - R \frac{I_0}{2}$$

$$V_{S1} + V_{S2} = 2V_{CC} - \frac{R_C}{R} (V_{EE} + V_E - V_{BE})$$



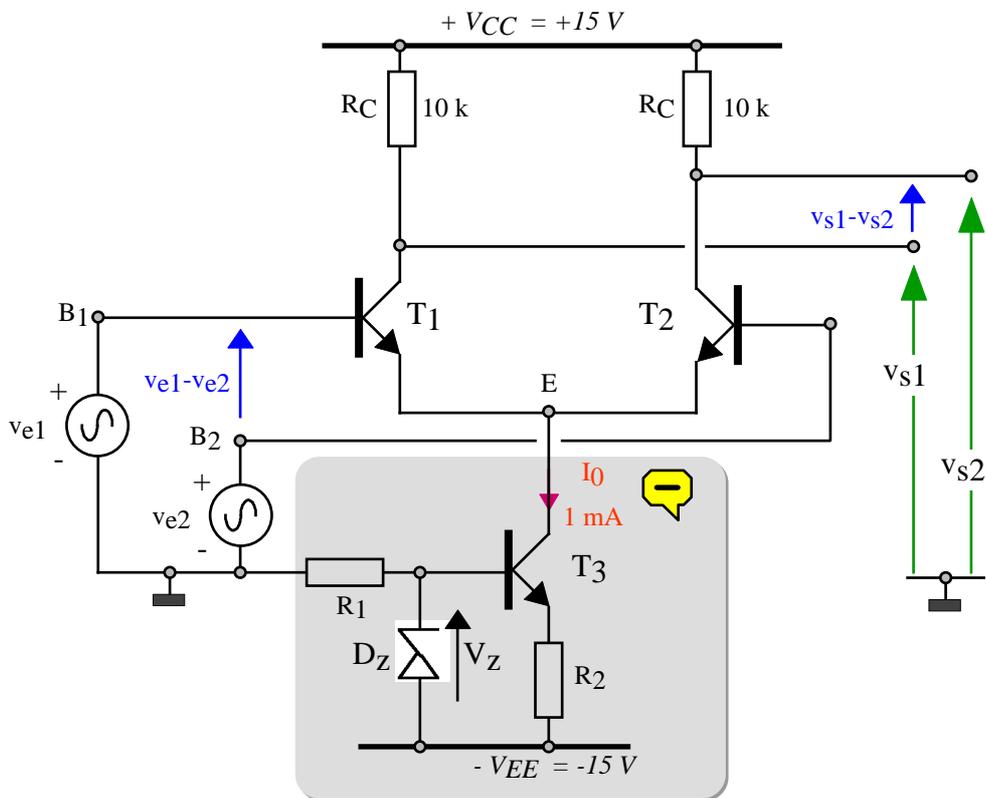
AMELIORATION DU FACTEUR DE QUALITE F_d POLARISATION PAR GENERATEUR DE COURANT



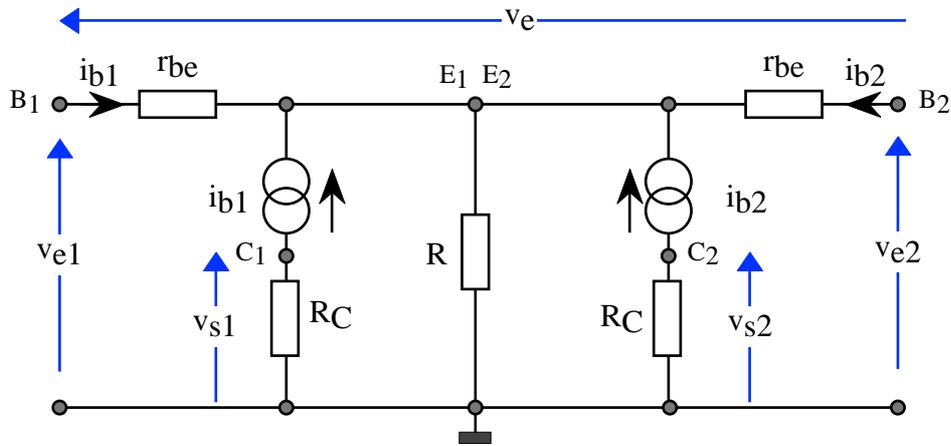
$$A_d = -g_m R_C = -\frac{I_0}{2U_T} R_C$$

$$A_c = -\frac{\beta R_C}{r_{be} + 2(\beta + 1)R}$$

$$F_d(R.R.M.C.) = \frac{A_d}{A_c}$$



**SCHÉMA EQUIVALENT AUX PETITES VARIATIONS
DE L'AMPLIFICATEUR DIFFÉRENTIEL AVEC R**

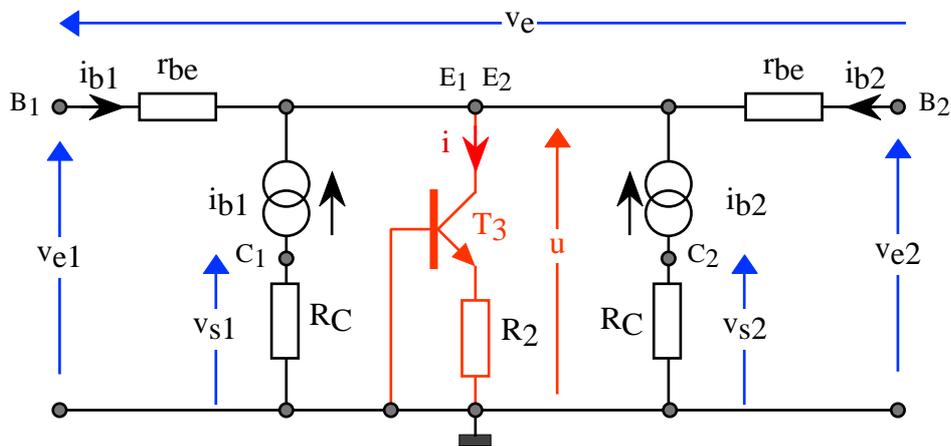


$$A_d = -g_m R_C = -\frac{I_0}{2U_T} R_C$$

$$A_c = -\frac{\beta R_C}{r_{be} + 2(\beta + 1)R}$$

$$F_d(R.R.M.C.) = \frac{A_d}{A_c}$$

**SCHÉMA EQUIVALENT AUX PETITES VARIATIONS
DE L'AMPLIFICATEUR DIFFÉRENTIEL AVEC GÉNÉRATEUR DE COURANT**

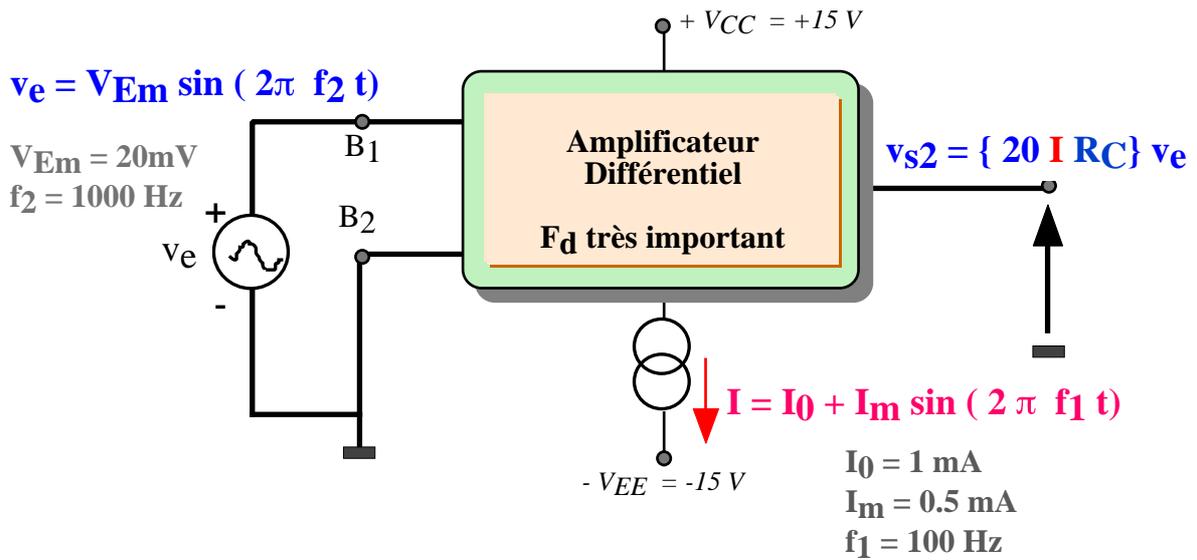


L'expression de la résistance interne R_i du générateur de courant est égale à celle du rapport de u/i

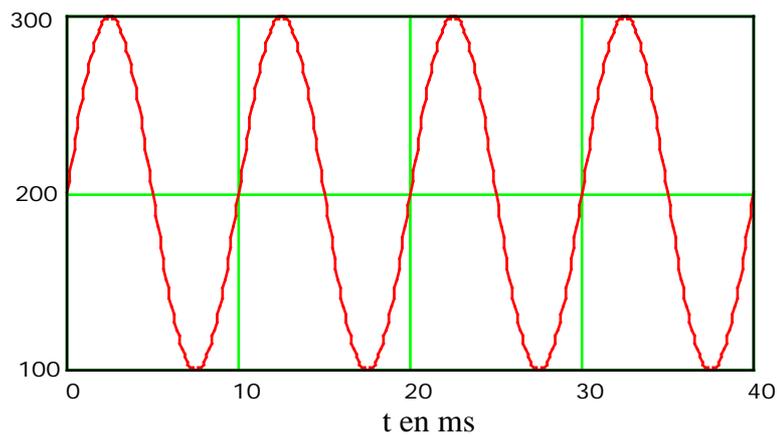
$$A_d = -g_m R_C = -\frac{I_0}{2U_T} R_C$$

$$A_c = -\frac{\beta R_C}{r_{be} + 2(\beta + 1)R_i}$$

MODULATION D'AMPLITUDE



Gain du montage en fonction du temps (tension v_e nulle)



Evolution de la tension de sortie v_{s2} en fonction du temps

