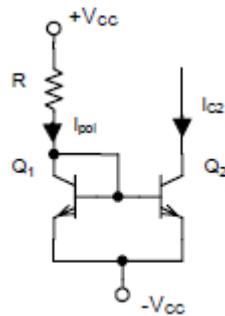


COURS 3 : les miroirs de courant bipolaires

Au sein d'un circuit intégré ou discret, il est nécessaire de polariser les différents étages qui le compose et d'employer des charges dynamiques de très grande valeur. Les sources de courant répondent à cette demande. Ainsi, une source de courant peut s'identifier à un étage de polarisation si son courant de référence est constant, mais si ce dernier possède aussi une composante variable, alors la source servira de transfert dynamique en courant.

1.Miroir de courant élémentaire

L'effet miroir consiste à reconduire le courant en entrée vers la sortie du montage avec une précision plus ou moins importante et en inversant le sens. En premier lieu, l'étude porte sur l'effet miroir produit à partir de la plus simple des topologies (appelé miroir élémentaire) au sein des régimes continu et dynamique.



Afin de polariser la jonction base-émetteur du transistor $Q2$, une diode peut être utilisée. Il importe de contrôler la stabilité des courants et tensions de polarisation en fonction de la température. Une nette amélioration sera apportée par la présence d'une diode dont la caractéristique non linéaire est semblable à la jonction base-émetteur de $Q2$. Ceci explique que le transistor $Q1$ est monté en diode et fonctionne dans sa zone active ($V_{BE} > 0$ jonction en direct et $V_{CB} = 0$ jonction en inverse). Les deux transistors sont donc appairés (technologiquement identiques).

Il est important de remarquer que l'entrée de ce circuit (côté transistor monté en diode) se compose d'une source de tension continue V_{CC} associée à une résistance R , ce qui produit un transfert de courant uniquement statique. L'ensemble constituera un dipôle équivalent à une impédance en régime dynamique aux faibles signaux.

1.1. Etude du régime continu

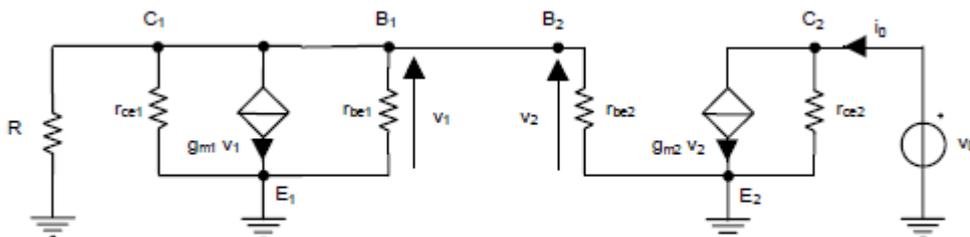
$$Q_1 \equiv Q_2 \rightarrow I_{BS_1} = I_{BS_2} = I_{BS} \text{ et } \beta_1 = \beta_2 = \beta \Rightarrow \begin{cases} I_{C_1} = \beta_1 I_{B_1} = \beta I_{BS} e^{\frac{V_{BE_1}}{U_T}} \\ I_{C_2} = \beta_2 I_{B_2} = \beta I_{BS} e^{\frac{V_{BE_2}}{U_T}} \end{cases}$$

$$\text{topologie} \rightarrow \begin{cases} V_{BE_1} = V_{BE_2} \\ I_{pol} = I_{C_1} + I_{B_1} + I_{B_2} \\ 2V_{CC} = R I_{pol} + V_{BE_1} \end{cases}$$

$$\text{d'où } I_{C_1} = I_{C_2} \text{ et } I_{B_1} = I_{B_2} \Rightarrow I_{pol} = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) I_{C_2} \cong I_{C_2} \text{ (effet miroir)}$$

1.2. Etude du régime dynamique (faibles signaux aux fréquences moyennes)

le schéma équivalent en dynamique du miroir élémentaire est donné par la figure:



Calculons maintenant l'impédance dynamique de la source vue entre le collecteur de Q_2 et la masse:

$$r_{be_1} = r_{be_2} = \frac{U_T}{I_{C_0}} \beta, \quad g_{m_1} = g_{m_2} = \frac{\beta}{r_{be_1}} \text{ et } r_{ce_1} = r_{ce_2} \cong \frac{V_A}{I_{C_0}} \quad (V_A : \text{tension d'Early})$$

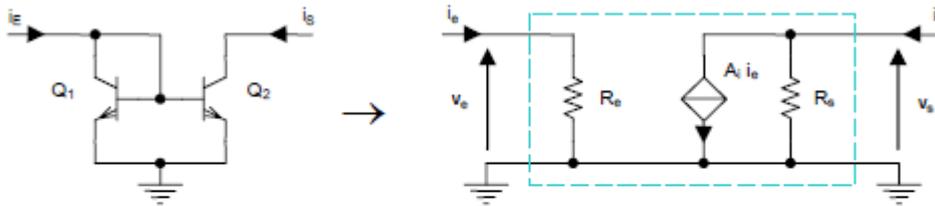
Q1 monté en diode de résistance:
$$r = r_{be_1} \parallel \frac{1}{g_{m_1}} \parallel r_{ce_1} = \frac{r_{be_1}}{\beta + 1} \parallel r_{ce_1} \cong \frac{r_{be_1}}{\beta + 1}$$

d'ou l'impédance Z_0 est donnée par:

$$Z_0 = \frac{V_0}{i_0} = r_{ce_2}$$

conclusion: Toute source de courant, ayant fonction d'étage de polarisation, pourra se mettre sous la forme: d'une source de courant I_0 en continu et d'une résistance Z_0 en régime dynamique

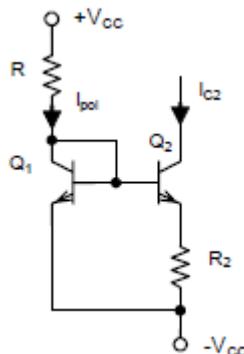
Si le courant d'entrée de la source est tel que $i_E(t) = IE + i_e(t)$, c'est-à-dire constitué d'une composante continue et d'un courant variable faible signal, la fonction de la source est alors un transfert de courant en régime dynamique aux faibles signaux (et non un étage de polarisation). L'ensemble constituera un quadripôle équivalent à un amplificateur de courant dont la caractérisation est la suivante :



$$A_i = \left(\frac{i_s}{i_e} \right)_{v_s=0} = \frac{\beta}{\beta + 2}, \quad R_e = \left(\frac{v_e}{i_e} \right)_{v_s=0} = \frac{r_{be_1}}{\beta + 2}, \quad R_s = \left(\frac{v_s}{i_s} \right)_{i_e=0} = r_{ce_2}$$

2. Source de WIDLAR

Ce type de source présente un effet lentille de courant afin d'obtenir des courants plus faibles que le courant de référence.



2.1. Etude du régime continu

$$Q_1 \equiv Q_2 \rightarrow \begin{cases} I_{C_1} = \beta_1 I_{B_1} \cong \beta I_{BS} e^{\frac{V_{BE_1}}{U_T}} \\ I_{C_2} = \beta_2 I_{B_2} \cong \beta I_{BS} e^{\frac{V_{BE_2}}{U_T}} \end{cases}$$

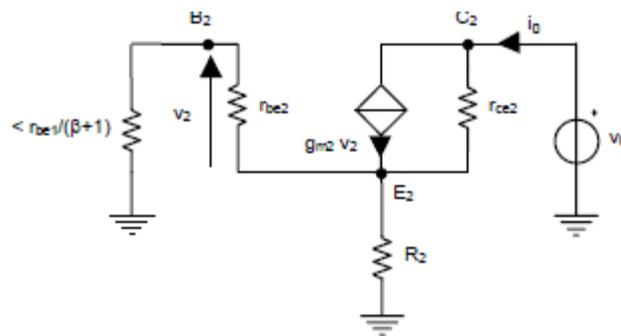
$$\text{topologie} \rightarrow \begin{cases} V_{BE_1} = V_{BE_2} + R_2 I_{E_2} \\ I_{pol} = I_{C_1} + I_{B_1} + I_{B_2} \\ 2V_{CC} = R I_{pol} + V_{BE_1} \end{cases} \quad \text{avec } I_{B_1} > I_{B_2} \text{ car } V_{BE_1} > V_{BE_2}$$

$$\text{Si } \beta \gg 2 \rightarrow \begin{cases} V_{BE_1} \cong V_{BE_2} + R_2 I_{C_2} \\ I_{pol} \cong I_{C_1} \cong \beta I_{BS} e^{\frac{V_{BE_1}}{U_T}} \end{cases} \Rightarrow I_{pol} \cong \beta I_{BS} e^{\frac{V_{BE_2}}{U_T}} e^{\frac{R_2 I_{C_2}}{U_T}} \text{ soit } I_{pol} \cong I_{C_2} e^{\frac{R_2 I_{C_2}}{U_T}}$$

On peut vérifier au sein de cette expression que si $R_2 = 0$, on retrouve le cas du miroir de courant élémentaire. Si la source de Widlar est symétrique (présence de $R_1 = R_2$ sur l'émetteur de Q_1), on obtiendra l'effet miroir avec meilleure stabilité thermique (réaction par résistance d'émetteur).

2.2 Etude du régime dynamique (faibles signaux aux fréquences moyennes)

le schéma équivalent en dynamique du miroir de type widlar est donné par la figure:



On calcule maintenant l'impédance dynamique de la source vue entre le collecteur de Q_2 et la masse

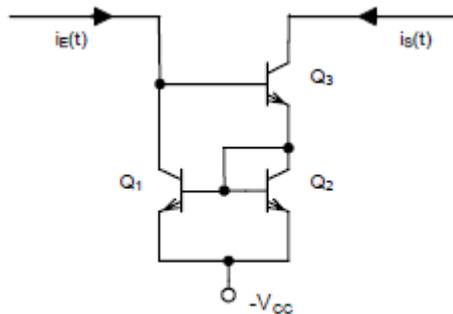
$$Z_0 = \frac{v_0}{i_0} = r_{be_2} // R_2 + \left(1 + \frac{\beta R_2}{R_2 + r_{be_2}} \right) r_{ce_2} \cong \left(1 + \frac{\beta R_2}{R_2 + r_{be_2}} \right) r_{ce_2}$$

$$\text{si } R_2 = 0 \Rightarrow Z_0 = r_{ce_2} \text{ (miroir élémentaire)}$$

L'intérêt d'une source de Widlar asymétrique, en tant qu'étage de polarisation, réside dans l'obtention d'un courant plus faible (effet lentille) pour la polarisation de l'étage d'entrée d'un circuit intégré par exemple, associé à une impédance dynamique plus importante que celle du miroir élémentaire. Ajoutons que le faible courant continu est obtenu par une valeur raisonnable de la résistance R , contrairement au miroir.

3. Source de WILSON

C'est un miroir de courant de haute précision. Si le courant d'entrée présente une composante variable, le montage s'identifie à un quadripôle de transfert en courant unité, d'impédance dynamique d'entrée de valeur très faible et d'impédance dynamique de sortie de valeur très importante



Référence:

1. Electronique des dispositifs cours par Sylvain geronimi université Paul Sabatier

Autre référence :

2. Microelectronic Circuits Adel S. Sedra University of Waterloo; Kenneth C. Smith University of Toronto; OXFORD UNIVERSITY PRESS; SEVENTH EDITION