

## TENSION DE REFERENCE STABLE EN TEMPERATURE

L'utilisation dans les circuits intégrés de générateur de tension continue de référence, stable en température, est capitale. En effet, il n'est pas envisageable que la fonctionnalité de certains systèmes soit dépendante de la température. Il existe des circuits de tension de référence appelés "Band-Gap" très stables vis-à-vis des variations de la température. Le schéma synoptique d'un tel circuit est donné en figure 1.

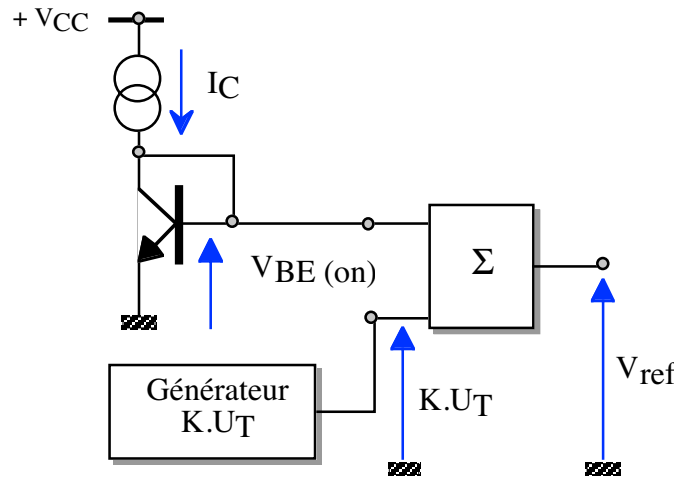


Figure 1 : Schéma synoptique du montage

Le montage est basé sur l'addition de deux tensions :

- La tension  $V_{BE(on)}$  d'un transistor dont la variation en température est négative
- La tension  $K.U_T$  dont la dérive en température positive compense la dérive précédente de telle sorte que :  $V_{ref} = V_{BE(on)} + K.U_T$  (1)

On rappelle la loi fondamentale du transistor bipolaire :  $V_{BE} = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_C}{I_{SBC}}\right)$  (2)

Les variations, en fonction de la température, de la tension base émetteur ainsi que celle du potentiel  $U_T$  sont données ci-dessous :

$$\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = \frac{V_{BE(on)} - 1.262}{T_0} = -2.2 \text{ mV.K}^{-1} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta U_T}{\Delta T} = \frac{U_T}{T_0} = +86 \text{ } \mu\text{V.K}^{-1} \quad (4)$$

où  $T_0$  représente la température ambiante soit 300 K (27°C).

Dans toute l'étude qui va suivre, les transistors sont supposés identiques, avec un gain en courant suffisamment important pour négliger le courant de base devant le courant de collecteur. De même la tension de Early est supposée infinie.

### A. ETUDE GENERALE

- 1) Déterminer les variations des tensions  $V_{BE}$  et  $U_T$  sur la plage de température (-55 °C ; +80 °C).
- 2) Quelle valeur doit prendre le paramètre K dans l'équation (1) pour obtenir un coefficient en température nul de la tension de sortie  $V_{ref}$  à la température  $T_0$  (soit :  $\left[ \frac{\Delta V_{ref}}{\Delta T} \right]_{T=T_0} = 0$ ) ?
- 3) Que vaut dans ces conditions la tension  $V_{ref}$  ? Cette valeur est appelée tension de référence "Band-Gap".

### B. ETUDE DU GENERATEUR DE TENSION PROPORTIONNELLE A $U_T$

*Le montage de la figure 2 est un circuit dont la tension  $V_3$  aux bornes de la résistance  $R_3$  est, sous certaines conditions, proportionnelle à la tension  $U_T$ .*

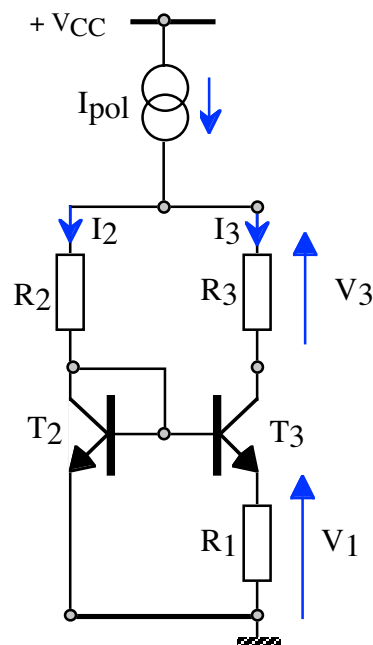
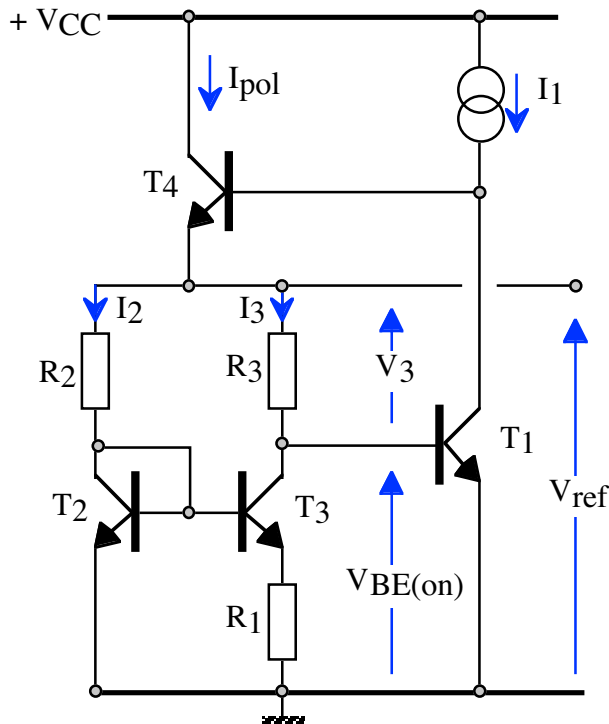


Figure 2 : générateur  $K U_T$

- 4) Ecrire l'expression de la tension  $V_1$  aux bornes de la résistance  $R_1$  en fonction des tensions  $V_{BE2}$  et  $V_{BE3}$  des transistors  $T_2$  et  $T_3$ .
- 5) A l'aide de l'équation (2), réécrivez l'expression précédente en fonction de  $U_T$ ,  $I_2$  et  $I_3$ .
- 6) En admettant que :  $\frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}$ , déterminer l'expression de la tension  $V_3$  en fonction de  $U_T$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
- 7) En déduire alors, l'expression du paramètre K de l'équation (1) en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

### C.ETUDE DU GENERATEUR DE TENSION BAND-GAP

Le schéma du montage complet est donné en figure 3. La tension de sortie  $V_{ref}$  est égale à la somme de la tension  $V_3$  précédente et de la tension  $V_{BE(on)}$  du transistor  $T_1$ .



8) On souhaite disposer d'une tension  $V_{ref}$  ayant un coefficient de température nul à  $T_0 = 300$  K. Etablir dans ces conditions, l'expression liant les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  à  $V_{BE(on)}$ ,  $V_{ref}$  et  $U_T$ .

9) Quelle condition doit satisfaire la tension  $V_{BE(on)}$  pour assurer un point de repos correct du transistor  $T_3$  ?

10) Application numérique. on choisit  $I_2 = 330\mu A$  et  $I_3 = 33\mu A$ .

- Exprimer  $R_2$  en fonction de  $V_{ref}$ ,  $V_{BE2}$  et  $I_2$ .
- Exprimer  $R_3$  en fonction de  $V_{ref}$ ,  $V_{BE1}$  et  $I_3$ .

Déterminer la valeur à donner aux résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  pour obtenir :  $\left[ \frac{\Delta V_{ref}}{\Delta T} \right]_{T=T_0} = 0$

## CORRIGE

$$Q1 : \Delta V_{BE} = -0,297 \text{ V} \quad \Delta U_T = +11,61 \text{ mV}$$


---

$$Q2 : \left. \frac{dV_{ref}}{dT} \right|_{T_0} = \left. \frac{dV_{BE}}{dT} \right|_{T_0} + K \left. \frac{dU_T}{dT} \right|_{T_0} \quad K = 25,58$$


---

$$Q3 : V_{ref} = 1,262 \text{ V}$$


---

$$Q4 : V_1 = V_{BE2} - V_{BE3}$$


---

$$Q5 : V_1 = U_T \ln\left(\frac{I_2}{I_{SBC}}\right) - U_T \ln\left(\frac{I_3}{I_{SBC}}\right) \quad V_1 = U_T \ln\left(\frac{I_2}{I_3}\right)$$


---

$$Q6 : V_3 = R_3 \cdot I_3 \text{ avec : } I_3 = \frac{V_1}{R_1} \quad V_3 = \frac{R_3}{R_1} U_T \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)$$


---

$$Q7 : K = \frac{R_3}{R_1} \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)$$


---

$$Q8 : \text{On doit satisfaire à la relation (1) : } K = \frac{V_{ref} - V_{BEon}}{U_T} \quad \frac{R_3}{R_1} \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right) = \frac{V_{ref} - V_{BEon}}{U_T}$$


---

$$Q9 : V_{BEon} > R_1 \cdot I_3 \text{ pour éviter la saturation du transistor } T_3.$$


---

$$Q10 : R_2 = \frac{V_{ref} - V_{BE2}}{I_2} \quad R_3 = \frac{V_{ref} - V_{BE1}}{I_3}$$

$$R_3 = 20 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_1 = \frac{R_3}{K} \ln(10) = 1,8 \text{ k}\Omega$$