

ANALYSE D'UN MONTAGE CAPTEUR DE TEMPERATURE →

On considère en figure 1, un montage capteur de température suivant qui utilise :

- Deux transistors NPN identiques dont le fort gain en courant β rend négligeable leur courant de base I_B .
- Un amplificateur opérationnel idéal A_0 fonctionnant en mode linéaire.

L'ensemble du montage est soumis à la même température T en degré Kelvin ($273 + T$ °C).

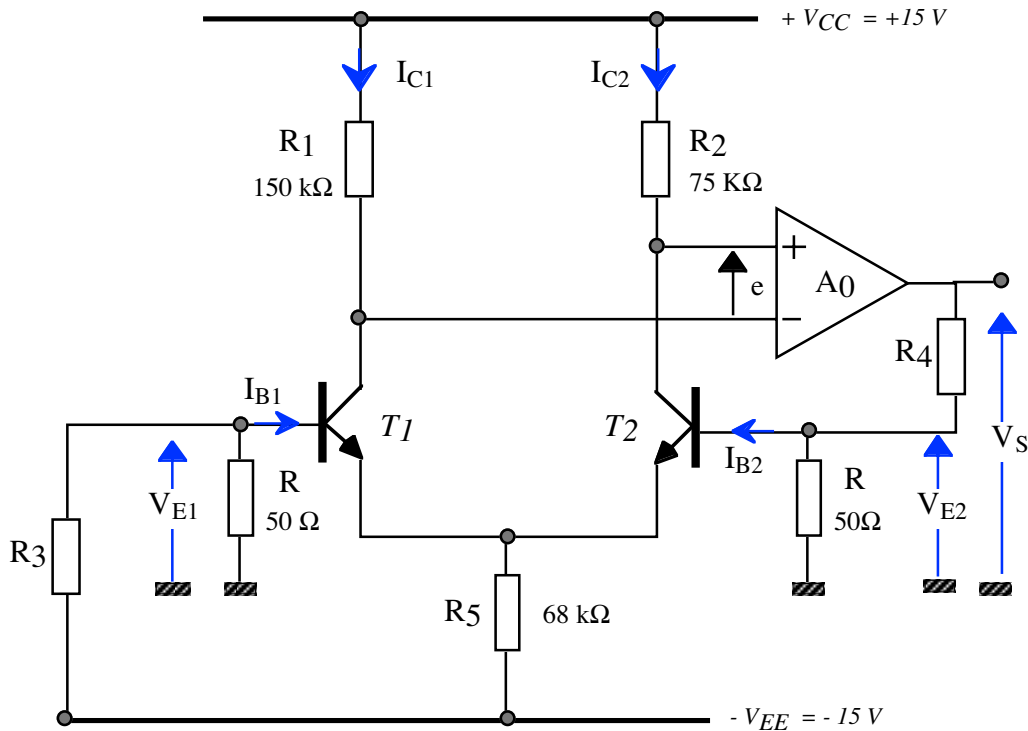


Figure 1 : montage capteur de température

1) Donner l'expression de la tension d'entrée V_{E1} entre base et masse du transistor T_1 en fonction de la tension d'alimentation V_{EE} , R_3 et R . Quelle est aussi, la relation simple, liant la tension d'entrée V_{E2} entre base et masse du transistor T_2 à la tension de sortie V_S de l'amplificateur opérationnel ?

2) Les transistors T_1 et T_2 , qui sont identiques et à la même température, obéissent à la loi :

$$I_C = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right) \quad \text{où} \quad U_T = \frac{k}{q} T \quad \text{et} \quad I_{SBC}(T_1) \equiv I_{SBC}(T_2)$$

En déduire l'expression de la tension $V_E = V_{E1} - V_{E2}$ en fonction des courants de collecteur I_{C1} , I_{C2} et U_T .

3) Compte-tenu des résultats des questions précédentes, déterminer l'expression de la tension de sortie V_S de l'amplificateur opérationnel en fonction de V_{EE} , R , R_3 , R_4 , U_T , I_{C1} et I_{C2} .

4) Sachant que l'amplificateur opérationnel idéal fonctionne en mode linéaire avec un grand gain en tension A_0 , que peut-on dire de sa tension d'entrée différentielle e ?

En déduire la relation simple liant les courants de collecteur I_{C1} et I_{C2} aux résistances R_1 et R_2 .

5) Montrer que la tension de sortie V_s de l'amplificateur opérationnel peut s'écrire : $V_s = a T + b$ où a et b sont des constantes indépendantes de la température.

Donner les expressions de a et b .

6) On désire que ce capteur de température possède :

- Une sensibilité telle que : $\Delta V_s / \Delta T = 0,1 \text{ V.K}^{-1}$.
- Une tension de sortie nulle à la température : $T = 273 \text{ °K}$ (soit 0°C).

Calculer les valeurs à donner aux résistances R_4 et R_3 . On donne : $k/q = 86,2 \cdot 10^{-6} \text{ V/°K}$.

7) L'amplificateur opérationnel parfait, étant alimenté par : $+V_{CC} = +15 \text{ V}$ et $-V_{EE} = -15 \text{ V}$, calculer la valeur de la température minimale et maximale en degré Celsius que l'on peut de mesurer avec ce montage. Les résultats obtenus sont-ils compatibles avec l'utilisation de dispositifs au silicium ? Commenter votre réponse.

CORRIGE

Q1 : Diviseur de tension, I_{B1} négligeable : $V_{E1} = -V_{EE} \frac{R}{R + R_3}$

Idem pour $V_{E2} = V_S \frac{R}{R + R_4}$

Q2 : $I_{C1} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE1}}{U_T}\right)$ $I_{C2} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE2}}{U_T}\right)$ avec : $V_E = V_{E1} - V_{E2} = V_{BE1} - V_{BE2}$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \exp\left(\frac{V_E}{U_T}\right)$$

$$V_E = U_T \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}}\right)$$

Q3 : En utilisant les résultats précédents :

$$V_S = -V_{EE} \frac{R_4 + R}{R_3 + R} - U_T \frac{R_4 + R}{R} \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}}\right)$$

Q4 : $e = 0$ $0 = -R_2 \cdot I_{C2} + R_1 \cdot I_{C1}$ soit : $\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{R_2}{R_1}$

Q5 : $V_S = -V_{EE} \frac{R_4 + R}{R_3 + R} - U_T \frac{R_4 + R}{R} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$ où $U_T = \frac{kT}{q}$

$$V_S = a \cdot T + b$$

$$a = -U_T \frac{R_4 + R}{R} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$b = -V_{EE} \frac{R_4 + R}{R_3 + R}$$

a > 0 et b < 0

Q6 : Coefficient directeur : $\frac{\Delta V_S}{\Delta T} = 0.1V / ^\circ K$ qui correspond à (-a)

$$\frac{k}{q} \frac{R_4 + R}{R} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 0.1VK^{-1}$$

Tension de sortie nulle pour $T = 273 K$ $b = -27,3$

$R_4 = 83,7 k\Omega$ $R_3 = 45,9 k\Omega$

Q7 : $V_S = 0,1T - 27,3$

$T_{\max} = 150^\circ C$ $T_{\min} = -150^\circ C$