

1 CONCEPTION D'UN LUXMETRE

On désire réaliser un luxmètre, c'est-à-dire un appareil convertissant un éclairement (Lux) en une tension proportionnelle. Le capteur de lumière est une photo résistance qui exploite la variation de la résistance d'un semi-conducteur soumis à une source de photons. La caractéristique de la photo résistance est donnée en figure 1. Cette figure représente en coordonnées log-log, l'évolution de la résistance $R(L)$ du capteur en fonction de l'éclairement.

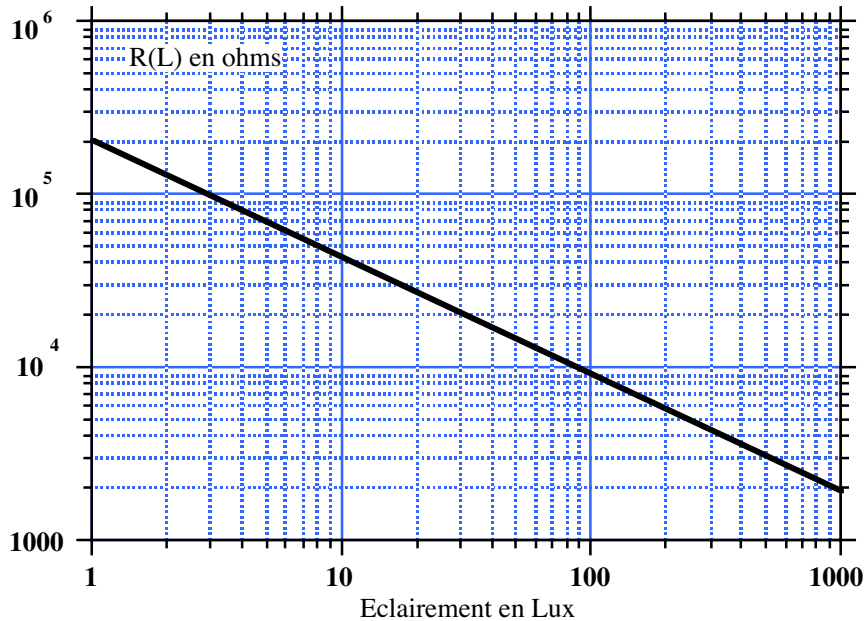


Figure 1 : caractéristique de la photo résistance.

- Sachant que le graphe de la figure 1 est linéaire dans un système de coordonnées log-log, montrer que la loi de variation de la photo résistance est de la forme : $R(L) = R_1 L^{-\alpha}$ (1). Déterminer en exploitant la figure 1, la valeur de la résistance R_1 et du coefficient α de la relation (1).

Afin d'obtenir une tension de sortie du luxmètre proportionnelle à l'éclairement reçu par la photo-résistance, on propose, en figure 2, un schéma synoptique du luxmètre. Le luxmètre qui utilise une tension de référence V_{ref} afin de transformer la variation de résistance $R(L)$ en variation de courant $I(L)$, est composé de deux étages :

- Un amplificateur de transrésistance logarithmique tel que : $V_{S1} = k_1 \ln \left[\frac{k_2}{I(L)} \right]$ (2) avec :

$$I(L) = \frac{V_{ref}}{R(L)} \quad (3) \quad (\text{la tension } V_E \text{ est supposée très inférieure à la tension } V_{ref}).$$

- Un amplificateur de tension exponentiel délivrant : $V_S = k_3 \exp(-k_4 V_{S1})$ (4)

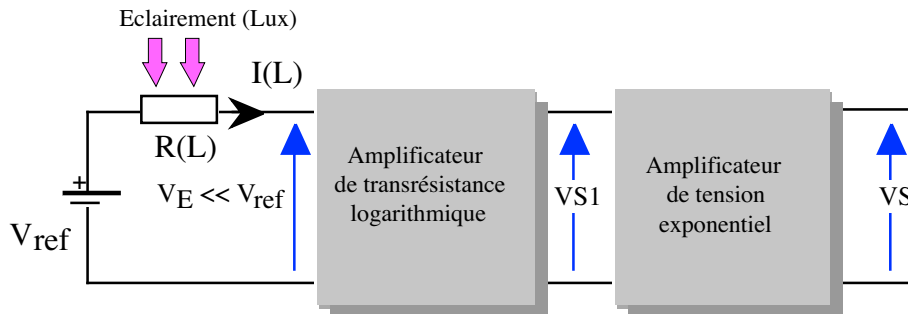


Figure 2 : schéma synoptique du Luxmètre

2. Compte tenu de la loi de variation de $R(L)$ en fonction de L (équation 1), exprimer la tension de sortie V_S du montage complet en fonction de R_1 , α , V_{ref} , des coefficients k_i des amplificateurs et de l'éclairement L du capteur. Montrer que :

$$V_S = k_3 \left[\frac{k_2 R_1}{V_{ref}} \right]^{-k_1 k_4} L^{\alpha k_1 k_4} \quad (5)$$

Sachant que la tension de sortie V_S doit être proportionnelle à l'éclairement L , quelle relation doit-on satisfaire dans la relation (5) ?

Le schéma du montage réalisant la tension de référence V_{ref} et le schéma du premier étage du luxmètre est donné en figure 3. Les amplificateurs opérationnels sont supposés idéaux. Les transistors bipolaires T_1 et T_2 intégrés sur la même " puce " sont identiques et obéissent à la loi :

$$I_C = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_B E}{U_T}\right) \quad (6) \quad \text{avec : } I_{SBC1} = I_{SBC2}.$$

Leur gain en courant est supposé suffisamment important pour négliger le courant I_B devant I_C .

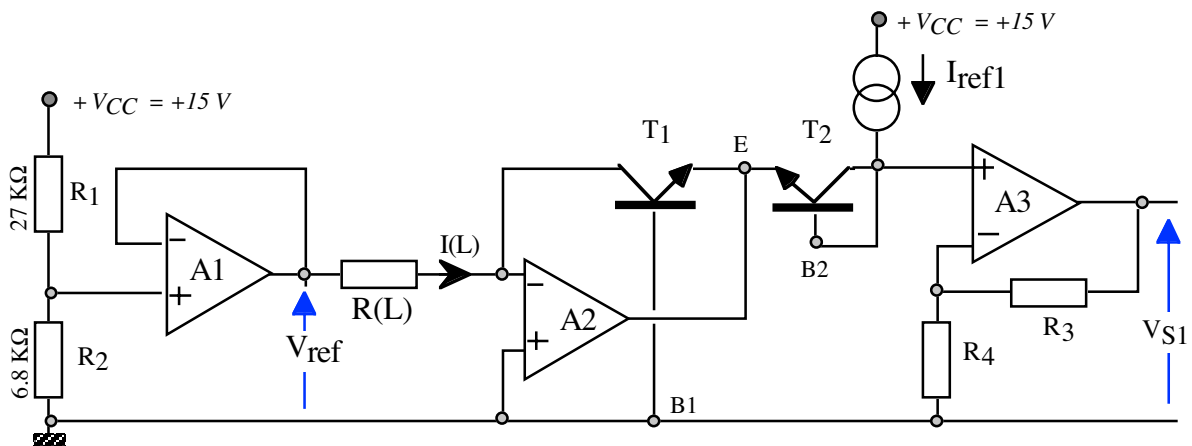


Figure 3 : schémas de la tension de référence et du premier étage du luxmètre

3. Dans quelle configuration est monté l'amplificateur opérationnel A_1 ? Déterminer la valeur de la tension de référence V_{ref} . L'amplificateur A_1 est-il vraiment nécessaire pour réaliser V_{ref} ? justifier votre réponse.
4. La fiche technique de la photo résistance indique une puissance P_{max} à ne pas dépasser de 100 mW. La valeur de la tension V_{ref} calculée précédemment est-elle compatible avec P_{max} ?

5. En analysant le schéma donné en figure 3 et en utilisant notamment la relation (6), déterminer l'expression de la tension de sortie V_{S1} du montage en fonction des résistances R_3, R_4 , de la tension U_T , du générateur de courant I_{ref1} et du courant d'entrée $I(L)$.
En déduire l'expression des coefficients k_1 et k_2 de la relation (2).

Le schéma de l'amplificateur de tension exponentiel est donné en figure 4. Les amplificateurs opérationnels sont encore supposés idéaux. Les transistors bipolaires T_3 et T_4 intégrés sur la même "puce" sont identiques en tout point aux transistors T_1 et T_2 du premier étage, ils obéissent à la relation (6).

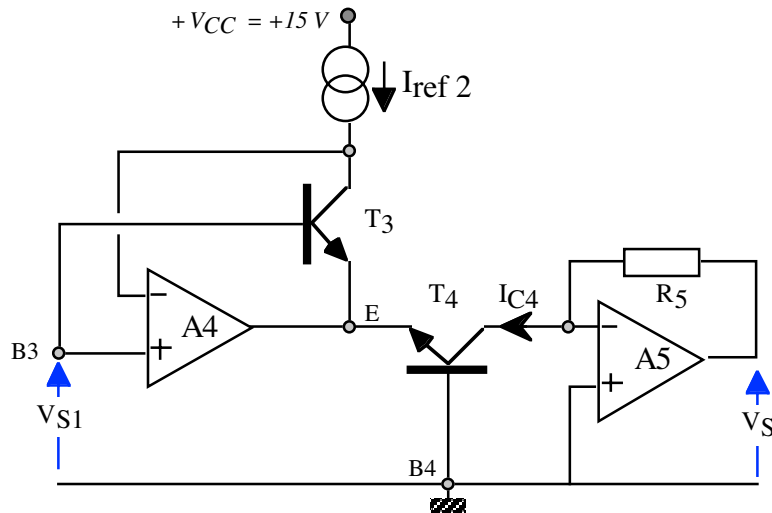


Figure 4 : Schéma du deuxième étage : amplificateur exponentiel

6. En analysant le schéma donné en figure 4 et en utilisant notamment la relation (6), déterminer l'expression de la tension de sortie V_S du montage en fonction de la résistance R_5 , de la tension U_T , du générateur de courant I_{ref2} et de la tension V_{S1} .
En déduire l'expression des coefficients k_3 et k_4 de la relation (4).
7. Exprimer la tension de sortie V_S du luxmètre en fonction de l'éclairement L . Pour cela, on utilisera les résultats de la question 2 et l'on prendra maintenant : $I_{ref1} = I_{ref2} = I_{ref}$.
8. On choisi de prendre $R_5 = 6.8 \text{ K}\Omega$. Déterminer la valeur des résistances normalisées R_3 et R_4 ainsi que la valeur des générateurs de courant I_{ref} de telle manière que :
- La tension de sortie V_S soit proportionnelle à l'éclairement L
 - La tension de sortie V_S soit égale à 10V pour un éclairement de 1000 Lux.
9. Proposer une solution la plus simple possible pour réaliser les générateurs de courant continus I_{ref} .

CORRECTION

1. La linéarité du graphe de la figure 1 permet d'écrire : $\log R(L) = a - b \cdot \log L$

Exprimons la fonction R (L) : $R(L) = 10^{(a-b \cdot \log(L))} = 10^a (10^{\log(L)})^{-b}$

Soit encore :

$$\boxed{R(L) = 10^a L^{-b}}$$

Solution en prenant deux points du graphe de la figure 1 : $R_1 = 200 \text{ k}\Omega$ $\alpha = 2/3$.

2. Sachant que : $V_{S1} = k_1 \ln \left[\frac{k_2}{I(L)} \right]$ et $V_S = k_3 \exp(-k_4 V_{S1})$, on en déduit :

$$V_S = k_3 \exp\left(-k_4 k_1 \ln \left[\frac{k_2}{I(L)} \right]\right)$$

On peut écrire cette expression sous la forme : $V_S = k_3 \left[\exp\left(\ln \frac{k_2}{I(L)}\right) \right]^{-k_1 k_4}$ soit :

$$V_S = k_3 \left[\frac{k_2}{I(L)} \right]^{-k_1 k_4}$$

Introduisons alors l'expression du courant I (L) : $I(L) = \frac{V_{ref}}{R_1 L^{-\alpha}}$

$$V_S = k_3 \left[\frac{k_2}{V_{ref}} R_1 L^{-\alpha} \right]^{-k_1 k_4} \quad \boxed{V_S = k_3 \left[\frac{k_2 R_1}{V_{ref}} \right]^{-k_1 k_4} L^{\alpha k_1 k_4}}$$

La tension de sortie V_S sera proportionnelle à L à condition que : $(\alpha \cdot k_1 k_4) = 1$. Expression du

coefficient directeur : $k_3 \left[\frac{k_2 R_1}{V_{ref}} \right]^{-k_1 k_4}$.

On doit donc satisfaire la relation : $\boxed{k_1 k_4 = \frac{1}{\alpha}}$

3. L'AOP A_1 est monté en suiveur de tension (gain unité). Sa résistance d'entrée est infinie.

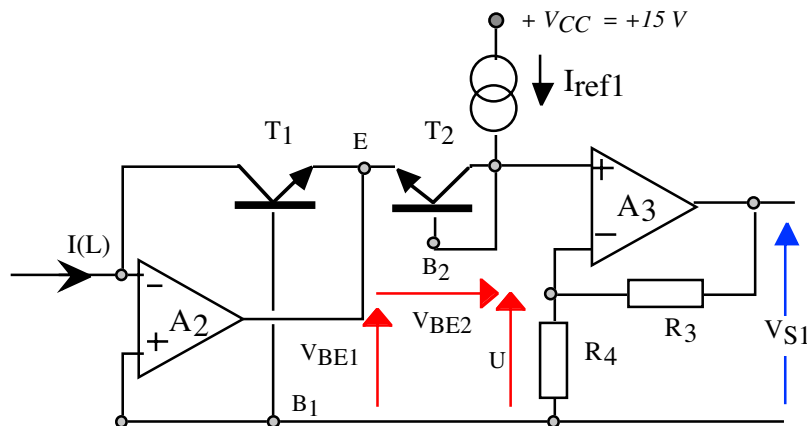
$$\boxed{V_{ref} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3,02V}$$

Sans le montage suiveur, on aurait : $V_{ref} = V_{CC} \frac{R_2 + R(L)}{R_1 + R_2 + R(L)}$ tension non constante !

4. Puissance dissipée par la photo résistance : $P = \frac{V_{ref}^2}{R(L)}$

Dans le cas le plus défavorable : $R(L) = 2 \text{ K}\Omega$ $P = 4,5 \text{ mW} < 100 \text{ mW}$.

5. Exprimons la tension U : $U = V_{S1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} = V_{BE2} - V_{BE1}$



$I(L)$ est le courant de collecteur de T_1 , I_{ref1} est celui de T_2 . On écrit donc la relation (6) :

$$I_{ref1} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE1}}{U_T}\right) \quad I(L) = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE2}}{U_T}\right)$$

soit en divisant : $\frac{I_{ref1}}{I(L)} = \exp\left(\frac{V_{BE2} - V_{BE1}}{U_T}\right)$ soit : $V_{BE2} - V_{BE1} = U_T \ln\left(\frac{I_{ref1}}{I(L)}\right)$

Bilan :

$$V_{S1} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} U_T \ln\left(\frac{I_{ref1}}{I(L)}\right)$$

- $k_1 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} U_T$
- $k_2 = I_{ref1}$

6. Courant de collecteur de T_4 : $I_{C4} = \frac{V_S}{R_5}$. Courant de collecteur de T_3 : I_{ref2} .

D'autre part : $V_{S1} = V_{BE3} - V_{BE4}$

On utilise encore la relation (6) :

$$I_{ref2} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE3}}{U_T}\right) \quad I_{C4} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE4}}{U_T}\right) \quad \frac{I_{ref2}}{I_{C4}} = \exp\left(\frac{V_{BE3} - V_{BE4}}{U_T}\right)$$

Bilan :

$$V_S = R_5 I_{ref2} \exp\left(-\frac{V_{S1}}{U_T}\right)$$

- $k_3 = R_5 I_{ref2}$
- $k_4 = \frac{1}{U_T}$

7. Tension de sortie V_S du luxmètre en fonction de l'éclairement L .

Sachant que : $V_S = k_3 \left[\frac{k_2 R_1}{V_{ref}} \right]^{-k_1 k_4} L^{k_1 k_4}$

En introduisant les expressions des coefficients k , on en déduit :

$$V_S = R_5 I_{ref} \left[\frac{I_{ref} R_1}{V_{ref}} \right]^{-U_T \frac{R_3 + R_4}{R_4} \frac{1}{U_T}} L^{\alpha \frac{R_3 + R_4}{R_4}}$$

On notera l'élimination du terme U_T qui produisait une dérive en température.

8. Pour assurer la linéarité on doit avoir : $\alpha \frac{R_3 + R_4}{R_4} = 1$ avec $\alpha = \frac{2}{3}$ soit : $R_4 = 2.R_3$.

On peut donc prendre par exemple : $R_4 = 20 \text{ K}\Omega$ et $R_3 = 10 \text{ K}\Omega$.

$V_S = 10 \text{ V}$ pour 1000 Lux conduit à un courant $I_{ref} = 1,56 \text{ mA}$.

9. On remarquera que la tension sur l'entrée + de l'A.O.P. A_3 et l'entrée - de A_4 restent très faibles devant la tension d'alimentation V_{CC} de 15 V.

Une résistance R de $9,6 \text{ K}\Omega$ reliée à l'alimentation V_{CC} , permet de fournir le courant I_{ref} .