Univ. De Béjaia
Dept de Génie Electrique

Examen Capteurs et Métrologie

8 EXO 1 : I) Pour mesurer la température on utilise 3 capteurs : une résistance métallique supposée linéaire, une thermistance et un thermocouple.

I) Résistance métallique : A 100°C sa résistance est de 100Ω et à 10 °C elle diminue de 18 %.

1 1) Expliquer son principe de fonctionnement et donner ses avantages et inconvénients.
1 2) Trouver la loi de variation de sa résistance en fonction de la température.
1 3) Trouver les éléments du montage qui permet d'obtenir une tension de sortie qui varie **linéairement** de 0 à 100 mV lorsque la température varie de 0 à 100 °C.
0,5 4) Calculer l'erreur maximale commise en approximant la tension par une relation linéaire.

II) On utilise maintenant une thermistance qui a une résistance de 14 kΩ à 10 °C et 450 Ω à 100 °C.

1 1) Expliquer son principe de fonctionnement et donner ses avantages et inconvénients.
1,0 2) Trouver la loi de variation de sa résistance en fonction de la température.

III) On utilise un thermocouple dont une soudure est à la température ambiante : On étalonne le thermocouple avec 2 températures : U (10°C)= - 1,3 mV U (100°C) = 4,55 mV

1,5 1) Expliquer son principe de fonctionnement et donner ses avantages et inconvénients.
1 2) Trouver la loi de variation de sa tension en fonction de la température.

9,5 EXO 2 : I) Expliquer le principe defonctionnement d'une jauge métallique de déformation et établir la relation entre la variation de résistance et la déformation. 1,5

II) On applique une force en **traction** de 10 Newtons à une tige d'acier (400 x 40 x4 mm^3). Le module d'élasticité de l'acier est20,7 10^{10} N/m^2. Les jauges ont une résistance R= 120 Ω et un facteur de jauge k= 2,5

1 1) Où doit-on coller une jauge pour mesurer la déformation maximale ? Calculer cette déformation.
1 2) Comment placer 2 jauges sur le corps d'épreuve et dans un pont de weatstone pour mesurer la force avec un maximum de sensibilité.
1 3) Trouver les éléments du pont pour avoir une sensibilité de 1 mV/N.
1 4) Comment placer 2 jauges sur le corps d'épreuve et dans un pont de weatstone pour mesurer la force avec compensation de la température.

4 III) Répondre aux questions précédentes de 1 à 4 lorsque la force est appliquée en **flexion**.

4 EXO 3 : On désire mesurer la lumière émise par une lampe ponctuelle de puissance électrique 60 W ayant 1 rendement en éclairage de 15% et placée à 40 cm du capteur.

I) On utilise 1 photodiode de surface sensible $16mm^2$:

0,5 1) Expliquer son principe physique de fonctionnement.
0,5 2) Calculer le flux que détecte la photodiode.
1 3) Quel est le résultat de mesure si la sensibilité de la photodiode est de 10 nA/lx . (1 lx = $1lumen/m^2 = 1/680\ W/m^2$)

II) On utilise une photorésistance de surface 1,2 cm^2

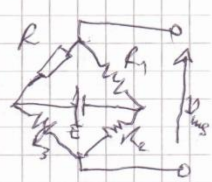
0,5 1) Expliquer son principe physique de fonctionnement.
0,5 2) Calculer ~~les~~ le flux que détecte la photorésistance à 40 cm.
1 3) Trouver la relation de variation si pour un éclairement de 400 lx on mesure une résistance de 0,2 kΩ.

Solution Capteurs

Ex01 : I) Résistance métallique 100 Ω à 100°C et ≥18% à 10°C

1) Principe + Av et Inc → cours

2) $R = R_0(1+\alpha\theta) = 80(1+2{,}5\,10^{-3}\,\theta)$



3) On utilise le pont de Weatstone

$$U_{mes} = \frac{RR_2 - R_1R_3}{(R_2+R_3)(R+R_1)}E$$

* $\theta = 0°C \Rightarrow R = R_0 = 80\,\Omega$ et $U_{mes} = 0 \Rightarrow R_0R_2 - R_1R_3 = 0$

On choisit $R_1 = R_2 = R_3 = R_0 = 80\,\Omega$

* $\theta = 100°C \Rightarrow R = R_0(1+\alpha\theta) \Rightarrow U_{mes} = \dfrac{R_0^2(1+\alpha\theta) - R_0^2}{(2R_0)(2R_0+R_0\alpha\theta)}E = \dfrac{\alpha\theta}{4(1+\frac{\alpha\theta}{2})}E$

Variation linéaire $\Rightarrow U_{ap} = \dfrac{\alpha\theta}{4}E$

$U_{ap} = 100\text{ mV} \Rightarrow E = \dfrac{4\,U_{ap}}{\alpha\times100} = \dfrac{4\times100}{2{,}5\,10^{-3}\times100} = 1{,}6\text{ V}$

4) Erreur max d'approximation :

$$\frac{\Delta U_{mes}}{U_{mes}} = \frac{U_{ap}-U_{mes}}{U_{mes}} = \frac{\frac{\alpha\theta}{4}E - \frac{\alpha\theta}{4(1+\frac{\alpha\theta}{2})}E}{\frac{\alpha\theta}{4(1+\frac{\alpha\theta}{2})}E} = \frac{\alpha\theta}{2}, \quad \left.\frac{\Delta U_{mes}}{U_{mes}}\right)_{max} = \frac{\alpha\theta_{max}}{2} = 12{,}5\%$$

II) Thermistance : $R = 14\text{ k}\Omega$ à 10°C et $450\,\Omega$ à 100°C

1) Principe + Av et Inc → cours

2) Loi de variation $R = R_0\,e^{B/T}$ $\quad 14\,10^{3} = R_0\,e^{\frac{B}{283}}$ et $450 = R_0\,e^{\frac{B}{373}}$

$\Rightarrow R = 9\,10^{-3}\,e^{4031/T}$

III) Thermocouple à 10°C $U = -1{,}3\text{ mV}$ et à 100°C $U = 4{,}55\text{ mV}$

1) Principe + Av et inc → cours

2) Loi de variation : $U = k(\theta - \theta_0)$

$-1{,}3\,10^{-3} = k(10-\theta_0)$ $\qquad 4{,}55 = k(100-\theta_0) \Rightarrow U = 6{,}5\,10^{-5}(\theta-30)$

Exo 2 : I) Principe de la jauge et loi $\frac{\Delta R}{R} = \left[C(1+2\nu) + (1-2\nu) \right] \frac{\Delta l}{l}$

$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} = K \mathcal{E}$ $\longrightarrow$ cours

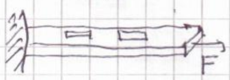
II) Force en traction $F = 10N$ sur acier ($400 \times 40 \times 4 \, mm^3$) $Y = 20{,}7 \, 10^{10} \, N/m^2$

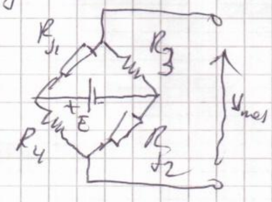
Jauge avec $R = 120 \, \Omega$ et $K = 2{,}5$

1) Déformation maximale sur toutes les faces longitudinales

$$\mathcal{E} = \frac{F}{Yae} = \frac{10}{20{,}7 \times 10^{10} \times 40 \times 4 \, 10^{-6}} = 3 \, 10^{-7}$$

2) 2 jauges avec 1 max de sensibilité





③ $R_{J_1} = R_{J_2} = R_0(1 + K\mathcal{E})$

$F = 0 \Rightarrow R_1 = R_2 = R_0 = 120 \, \Omega$

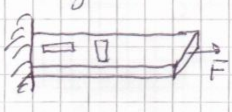
$$F \neq 0 \Rightarrow U_{mes} = \frac{R_{J_1} R_{J_2} - R_3 R_4}{(R_{J_1} + R_3)(R_{J_2} + R_4)} E = \frac{R_0^2 (1 + K\mathcal{E})^2 - R_0^2}{(2R_0 + R_0 K \mathcal{E})^2} E \simeq \frac{K\mathcal{E}}{2} E = \frac{KE}{2Yae} F$$

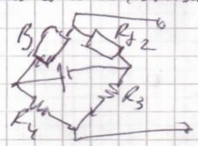
$$\text{sensibilité} = \frac{KE}{2Yae} = 1 \, mV/N \Rightarrow E = \frac{2 \times 20{,}7 \times 10^{10} \times 160 \times 10^{-9}}{2{,}5} = 26{,}5 \, kV$$

④ Compensation de la température : les jauges doivent être dans les branches voisines du pont et collées une longitudinale et l'autre transversale

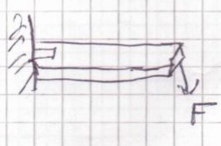
$R_{J_1} = R_0(1 + K\mathcal{E} + \alpha\theta)$ $\quad R_{J_2} = R_0(1 - \nu K\mathcal{E} + \alpha\theta)$

$$U_{mes} = \frac{R_{J_1} R_3 - R_{J_2} R_4}{(R_{J_1} + R_{J_2})(R_3 + R_4)} E \simeq \frac{(1+\nu) K\mathcal{E}}{4} E$$



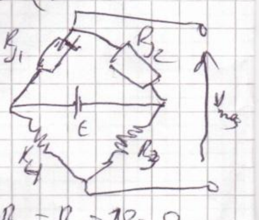


III) Force en flexion : ① déformation max à l'encastrement $x = 0$



$$\mathcal{E} = \frac{6L}{Yae^2} F = \frac{6 \times 400 \times 10^{-3} \times 10}{20{,}7 \, 10^{10} \times 40 \times 16 \times 10^{-9}} = 1{,}81 \, 10^{-4}$$

② Sensibilité max : 2 jauges à l'encastrement en sens opposé (une au dessus et l'autre en dessous) mises dans les branches voisines du pont



③ $R_{J_1} = R_0(1 + K\mathcal{E})$ $\qquad R_{J_2} = R_0(1 - K\mathcal{E})$

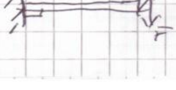
$F = 0 \Rightarrow R_{J_1} = R_{J_2} = R_0$ pour avoir $U_{mes} = 0$ on choisit $R_3 = R_4 = R_0 = 120 \, \Omega$

$$F \neq 0 \Rightarrow U_{mes} = \frac{R_0 R_{J_1} - R_0 R_{J_2}}{(2R_0)(R_{J_1} + R_{J_2})} E = \frac{K\mathcal{E}}{2} E = \frac{6KLE}{2Yae^2} F$$

$$\text{sensibilité} = \frac{3KLE}{Yae^2} = 1 \, mV/N \Rightarrow E = \frac{20{,}7 \times 10^{10} \times 40 \times 16 \times 10^{-3} \times 10^{-9}}{3 \times 2{,}5 \times 400 \times 10^{-3}} = 44{,}2 \, V$$

④ Compensation de la température

$$U_{mes} = \frac{2K\mathcal{E}}{4(1 + \alpha\theta)} E \simeq \frac{K\mathcal{E}}{2} E$$



Exo 3 : $P = 60\,W$ $\eta = 15\%$ à 40 cm

I) Photodiode $S = 16\,mm^2$

1) Principe → cours

2) Flux total émis $\phi_{émis} = 60 \times \frac{15}{100} = 9\,W$

Flux reçu $\phi_{reçu} = \frac{9 \times 16 \times 10^{-6}}{4\pi \times 1600 \times 10^{-4}} = 7{,}16\,10^{-5}\,W$

3) Sensibilité $= 10\,nA/lx$.

Eclairement sur la photodiode $E = \frac{\phi}{S} = \frac{7{,}16 \times 10^{-5}}{16 \times 10^{-6}} = 4{,}48\,W/m^2$

$E = \frac{4{,}48}{1/680} = 4{,}48 \times 680 = 3043\,lx$

$I =$ sensibilité $\times$ Eclairement $= 10 \times 10^{-9} \times 3043 = 30{,}43\,\mu A$

II) Photorésistance $S = 1{,}2\,cm^2$

1) Principe → cours

2) Flux reçu $= \phi_{reçu} = \frac{9 \times 1{,}2 \times 10^{-4}}{4\pi \times 1600 \times 10^{-4}} = 5{,}37 \times 10^{-4}\,W$

3) $R = \frac{K}{\sqrt{\phi}}$ → $K = R\sqrt{\phi} = 0{,}2 \times 10^{3}\sqrt{70{,}6\,10^{-6}} = 1{,}68\ \Omega\,W^{1/2}$

$R = \frac{1{,}68}{\sqrt{\phi}}$ $\left(\phi = \frac{400}{680} \times 1{,}2 \times 10^{-4}\,W = 70{,}6 \times 10^{-6}\,W\right)$