Nom :
Groupe :

Aidons un hypocondriaque à mieux vivre sa maladie.

Cet examen se compose de 22 questions, pour un total de 20 points.

Kurt a une peur bleue de tomber malade. Il désire mettre au point un thermomètre pour être capable de vérifier la temperature des lieux où il se trouve. Aidons le à diminuer son stress en trouvant la réponse à quelques questions. Le système devant être portatif, il décide d'utiliser une thermistance. Voici ce que son encyclopédie de prédilection lui indique.

Une thermistance est un capteur constitué en général d'oxyde de Fer ou de Manganèse. La relation entre la résistance R (en Ω) électrique et la température T (en K) du milieu dans lequel elle est placée en équilibre thermique est :

$$R(T) = R_0 e^{A/T} \tag{1}$$

où R_0 et et A est sont deux paramètres du capteur. Les températures sont données en Kelvin, on rappelle que : $T_{(\mathrm{K})} = T_{(^\circ\mathrm{C})} + 273$.

1 Étalonnage

Kurt souhaite connaître de façon précise les caractéristiques de son capteur.

(1) 1. Quelle est la dimension de A ?

Solution: la dimension de A est l'inverse d'une température.

(1) 2. Donner l'expression de A.

Solution: $A = T \ln \frac{R}{R_0}$

(½) 3. On donne $R_0 = 3,8 m\Omega$, et $R = 280\Omega$ pour $T = 100^\circ$C. Application numérique : calculer la valeur de A et vérifier que $A \simeq 4200$USI.

Solution: $A = 4180,173$ K

(1) 4. Donner l'expression de la sensibilité S_{cap} du capteur.

Solution: $S_{cap} = \frac{d}{dT} R(T) = -\frac{AR_0 e^{A/T}}{T^2}$

Kurt désire connaître la précision du capteur. Il utilise à cet effet une source de température étalonnée à 300°K. Voici 10 mesures réalisées à l'aide du capteur :

R mesurées (Ω)	4279.8	4278.9	4279.6	4279.3	4279.0
	4279.2	4279.8	4279.7	4278.4	4279.1

(1) 5. Proposer en la justifiant une expression de l'erreur de justesse du capteur.

Solution: $\epsilon_{\text{justesse}} = R_{\text{étalon}} - R_{\text{moyen}}$ (la médiane est acceptée)

(½) 6. Donner une estimation de la valeur de l'erreur de justesse du capteur.

Solution: $\epsilon_{\text{justesse}} = 1.05\Omega$

(½) 7. Kurt pourrait-il compenser cette erreur ? Si oui, comment ?

Solution: Oui. En retranchant l'estimation de l'erreur aux mesures réalisées.

(1) 8. Proposer en la justifiant une expression de l'erreur de fidélité du capteur.

Solution: $\epsilon_{\text{fidélité}} = \sigma_{R_{\text{mesurées}}}$ (la variance, ou un multiple de l'écart-type sont des réponses acceptées)

(½) 9. Donner une estimation de la valeur l'erreur de fidélité du capteur.

Solution: $\epsilon_{\text{fidélité}} = 0.43\Omega$

(½) 10. Kurt pourrait-il compenser cette erreur ? Si oui, comment ?

Solution: Oui. En utilisant d'autres capteurs (identiques) et en moyennant les valeurs fournies par l'ensemble des capteurs.

2 Linéarisation

La réponse du capteur doit être linéarisée. Pour cela Kurt pense souder une résistance fixe R_p en parallèle avec le capteur R. On rappelle que la condition de linéarisation est

$$\frac{dR_{eq}^2}{dT^2} = 0 \Longleftrightarrow (R_p + R)R'' - 2R'^2 = 0$$

(½) 11. Donner l'expression de R_p en fonction de R, R' et R'' ($R' = dR/dT$ et $R'' = d^2R/dT^2$)

Solution: $R_p = \frac{2R'^2}{R''} - R$

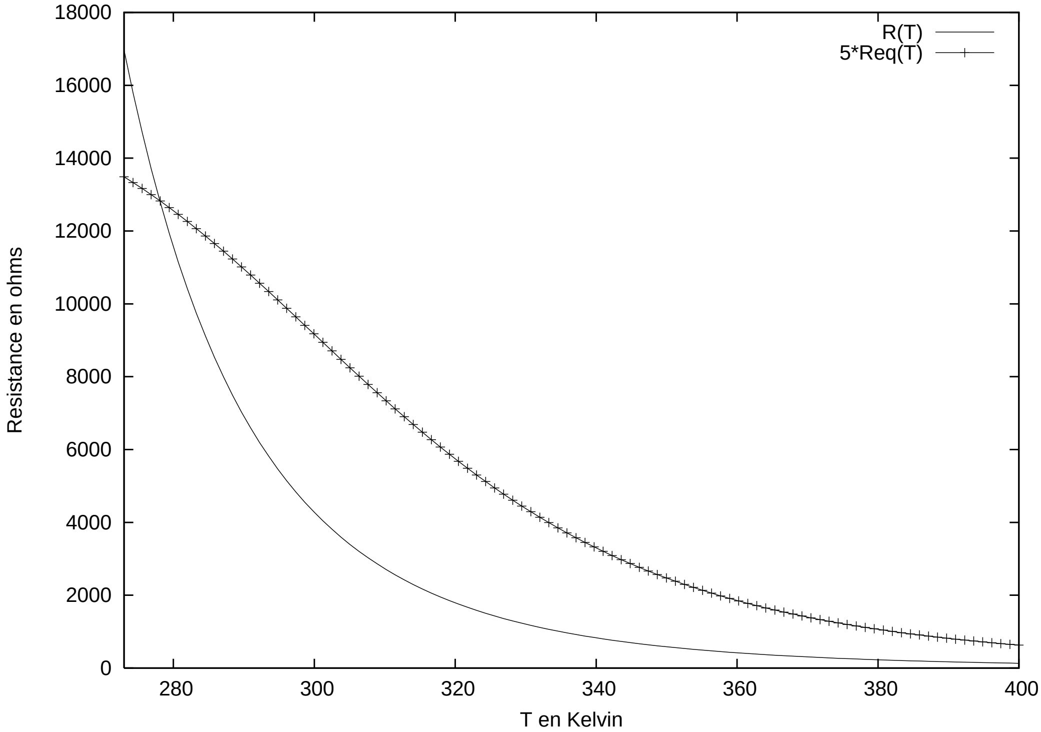
(2) 12. Donner l'expression simplifiée de $R_p(T)$ en fonction de R_0 et A.

Solution: $Rp(T) = -\frac{R_0(2T-A)e^{A/T}}{2T+A}$

(½) 13. Le capteur sera linéarisé autour de la température $T_{ref} = 27^{\circ}C$ et pour une étendue de mesure entre $280K$et $320K$, Quelle est la valeur de R_p qui le permet ?

Solution: $Rp = 3203,59\Omega$

(2) 14. Voici les courbes de réponse du capteur $R(T)$ et du capteur linéarisé $R_{eq}(T)$ (page suivante) :



A partir de ces courbes et dans les conditions de fonctionnement décrite, donner une estimation de :
– la sensibilité du capteur R
– la sensibilité du capteur R_{eq}
La méthode employée sera décrite précisément.

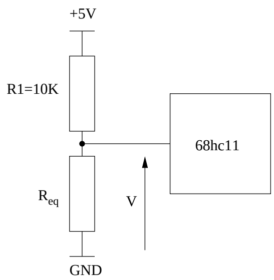
(2) 15. Toujours à partir des courbes données et en décrivant la méthode employée, donner une estimation de :
– l'erreur de linéarité du capteur R (en Kelvin)
– l'erreur de linéarité du capteur linéarisé R_{eq}(en Kelvin)

(½) 16. Kurt n'arrive pas à interpréter les résultats obtenus des deux dernières questions. Que pensez-vous de ces résultats ?

(1) 17. Quelle autre méthode Kurt aurait-il pu utiliser pour linéariser la réponse du capteur (avec quels risques/difficultées/contraintes) ?

3 Conditionnement

Kurt dispose d'un microcontrôleur 68hc11 qu'il va utiliser pour analyser les mesures fournies par le capteur. Il place le capteur équivalent R_{eq} dans le montage suivant :



(½) 18. Donner l'expression de V en fonction de R_{eq} et R_1.

Solution: $V = 5\frac{R_{eq}}{R_{eq}+R_1}$

(½) 19. Donner l'expression de la sensibilité S_{cond} du conditionneur ainsi formé, en fonction de R_{eq} et de $R1$.

Solution: $S_{cond} = \frac{5R_1}{(R_1+R_{eq})^2}$

(1) 20. Donner l'expression de l'incertitude relative sur V en fonction des incertitudes sur R_{eq} et R_1.

Solution: $ln(V) = ln(R_{eq}) - ln(R_1 + R_{eq}) + ln(5)$
$d(ln(V)) = \frac{dV}{V} = \frac{dR_{eq}}{R_{eq}} - \frac{d(R_1+R_{eq})}{R_1+R_{eq}}$
$= \frac{dR_{eq}}{R_{eq}} - \frac{dR_1}{R_1+R_{eq}} - \frac{dR_{eq}}{R_1+R_{eq}}$
$= dR_{eq}\left[\frac{1}{R_{eq}} - \frac{1}{R_1+R_{eq}}\right] + dR_1\left[\frac{-1}{R_1+R_{eq}}\right]$
$\frac{\delta V}{V} = \delta R_{eq}\left|\frac{1}{R_{eq}} - \frac{1}{R_1+R_{eq}}\right| + \delta R_1\left|\frac{1}{R_1+R_{eq}}\right|$ (en prenant la norme valeur absolue)

(1) 21. Donner l'expression de l'incertitude relative sur R_{eq} en fonction des incertitudes sur R et R_p.

Solution: $\frac{\delta Req}{Req} = \delta R\left|\frac{1}{R} - \frac{1}{R+R_p}\right| + \delta R_p\left|\frac{1}{R_p} - \frac{1}{R+R_p}\right|$

(1) 22. On mesure un étalon à la température $T = 300K$. Les documentations des constructeurs donnent $\frac{\delta R}{R} = \frac{\delta R_p}{R_p} = \frac{\delta R_1}{R_1} = 0,05$, quelle est la valeur de l'incertitude relative sur V ?

Solution: $\frac{\delta V}{V} = 0,1$