

ER2 - 1 HEURE - le 17 novembre 2016

Sans document ni calculatrice

N° étudiant :

Prénom : olivier

Nom : Dubrunfaut

Le principe de notation **associé à la partie QCM** consiste à attribuer 1 point à une réponse juste et à soustraire 0,5 point pour une réponse fausse. L'absence de réponse se traduit par zéro. Une seule réponse autorisée par question. Pour les questions ouvertes (QO, non QCM), une réponse fausse n'entraîne pas de points négatifs. Les QO sont sur 2 ou 3 points. Le tout est sur 30 points.

N°1 : QCM (1 point)

Comparons deux capteurs de même type. Le capteur dont la bande-passante (BP) est [0 ; 10 kHz] est

- ☐ plus lent que le capteur de BP [0 ; 100 Hz] ☒ plus rapide que le capteur de BP [0 ; 100 Hz]
☐ plus discret que le capteur de BP [0 ; 100 Hz] ☐ plus sensible, dans sa BP, que le capteur de BP [0 ; 100 Hz]

N°2 : QCM (6 points)/QO (3 points)

Soit A, B, C et D quatre types de capteurs résistifs de température dont les courbes R(T) sont présentées sur la figure 1.

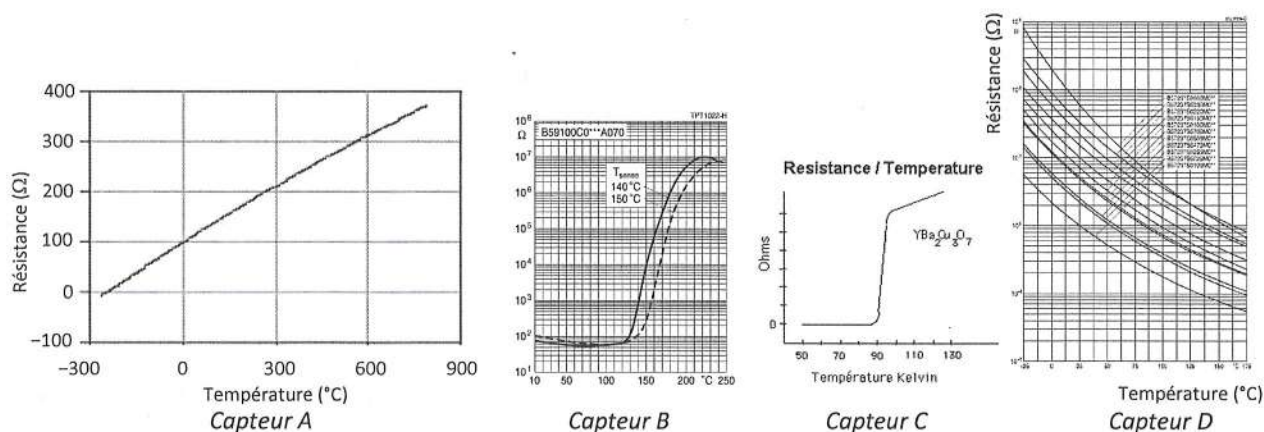


Fig.1. Courbe R(T) pour quatre types de capteurs de température résistifs. NB : pour le capteur D, plusieurs modèles pour un seul type de capteur.

2a. Quelle affirmation est correcte ? (NB : supra. = supraconducteur.)

- ☐ A est une CTP, B un supra., C une Pt100 et D une CTN ☒ A est une Pt100, B une CTP, C un supra. et D une CTN
☐ A est un supra., B une CTN, C une CTP et D une Pt100 ☐ A est une CTN, B une Pt100, C un supra. et D une CTP

Prenons dans la suite de ce QCM n°2 le capteur A (figure 1, capteur A).

2b. Que vaut son TCR (Temperature Coefficient of Resistance ou Coefficient de Température de la Résistance) à 0°C ?

- ☐ $\approx 7.10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ☐ $\approx 7000^{\circ}\text{C}^{-1}$ ☒ $\approx 3,5.10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ☐ $\approx 3500^{\circ}\text{C}^{-1}$

2c. On mesure une résistance de 100 Ω avec une incertitude de $\pm 1\%$. La température vaut donc

- ☐ $0^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ☐ $0^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$ ☒ $0^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ☐ $0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$

$\leftarrow \text{TCR}(0^{\circ}\text{C}) = \frac{1}{R(0^{\circ}\text{C})} \times \frac{dR}{dT} \bigg|_{0^{\circ}\text{C}}$

$\Delta T \approx \frac{10^3}{3,5} \times \frac{1}{100} = \frac{10}{3,5}$

$\Delta T \approx \frac{1}{\text{TCR}(0^{\circ}\text{C})} \times \frac{\Delta R}{R}$

$$V_{out} = E \left(\frac{1}{2} - \frac{R_{CAP}}{R_{CAP} + R_1} \right) = 0 \geq 0^\circ C$$

$$V_{out} = E \left(\frac{1}{2} - \frac{R_c + 2R_g}{R_1 + R_c + 2R_g} \right)$$

$$V_{out} = 4 \left(\frac{1}{2} - \frac{7}{12} \right) = -\frac{4}{12} V$$

Courant débité

$$= \frac{E}{200\Omega // 200\Omega} = 40mA$$

$$40mA \rightarrow 1h$$

$$40mA \rightarrow 10h$$

Pour convertir les variations de résistance avec la température en variation de tension avec la température, un pont de Wheatstone est utilisé (figure 2). Pour toute la suite, $E = 4 V$, $R_1 = 100 \Omega$. $R_{capteur}$ varie bien sûr avec la température suivant la courbe A de la figure 1.

2d. Tous les fils sont ici considérés comme parfaits, c'est-à-dire de résistance nulle. Que vaut la tension de sortie V_{out} de la figure 2 à $0^\circ C$?

☐ 2 V

☒ 0 V

☐ 1 V

☐ -2 V

2e. La tension E est appliquée grâce à une batterie de 4 V et de capacité 400 mAh initialement 100% chargée. En combien de temps la batterie sera totalement déchargée si la température reste autour de $0^\circ C$?

☒ environ 10 h

☐ plus de 2 jours

☐ environ 20 h

☐ environ 40 h

Le capteur de température (toujours le capteur A) est maintenant à plusieurs centaines de mètres du reste du circuit (le générateur de tension et les trois résistances R_1). En conséquence, la résistance des deux fils reliant le capteur au reste (fils allant du capteur vers les points L et M) n'est pas négligeable (les autres fils sont considérés comme parfaits, c'est-à-dire de résistance nulle). La valeur de ces résistances de liaison est de plus mal maîtrisée : elles dépendent bien sûr de la longueur de fils et, par exemple, de la température.

2f. Les deux fils de liaison ont chacun une résistance R_f . Pour $R_{capteur} = R_1 = 100 \Omega$ et $R_f = 20 \Omega$, que vaut approximativement la tension V_{out} de la figure 2 à $0^\circ C$? (Remplacez dans la fig.2 $R_{capteur}$ par $R_{capteur} + 2R_f$.)

☐ -3 V

☒ -0,33 V

☐ -1 V

☐ -2 V

Pour limiter les erreurs dues aux fils de liaison, le montage de la figure 3 est proposé (montage dit « trois fils »). Là aussi, les trois fils reliant le capteur au reste du circuit (fils allant du capteur vers les points L, L' et M) ont chacun une même résistance R_f , les autres fils étant parfaits.

2g. Exprimez V_{out} ($= V_{KL}$) de la figure 3 en fonction(ou pas) de E , de R_f , de $R_{capteur}$ et de R_1 (pas de justification). Concluez pour des températures de $0^\circ C$. (NB : cette conclusion, en plus modérée, est généralisable pour des températures comprises environ entre -200 et $+200^\circ C$ pour ce modèle de capteur A : non demandé ici.)

2pts

1pt

$$V_{out} = E \left(\frac{1}{2} - \frac{R_c + R_g}{R_c + R_g + R_g + R_1} \right) = \frac{E}{2} \frac{R_1 - R_c}{R_c + 2R_g + R_1}$$

Conclusion : A $0^\circ C$ $V_{out} = 0 \Rightarrow R_g$ sans influence
 \Rightarrow la mesure est améliorée.

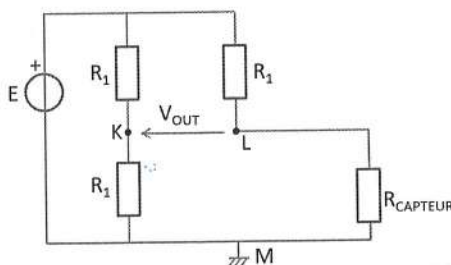


Fig.2. Pont de Wheatstone.

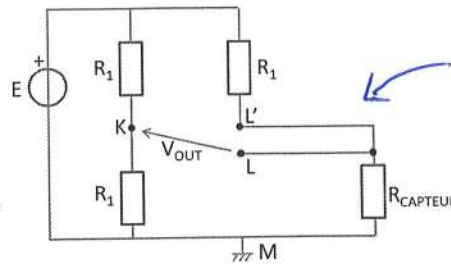


Fig.3. Pont de Wheatstone, montage dit « 3 fils ».

il n'y a pas de courant dans le fils capteur \rightarrow L
 \Rightarrow cette R_g n'a pas d'influence

N°3 : QCM (2 points)

Soit un thermocouple dont le coefficient Seebeck, supposé constant, vaut $40 \mu V/^\circ C$. La tension mesurée à ses bornes vaut $0,8 mV$.

3a. Quelle est la différence de température (en valeur absolue) entre le point de soudure (contact entre les deux matériaux composant le thermocouple) et les deux bornes du thermocouple (qui sont à la même température : température de référence) ?

☒ 20 K

☐ $3,2^\circ C$

☐ $0,05^\circ C$

☐ $32^\circ C$

$$\frac{40 \mu V}{800 \mu V} \mid \frac{1^\circ C}{800 \times 1 / 40} = 20^\circ C$$

$$\Delta \text{ en } ^\circ C = \Delta \text{ en K}$$

$$\pm 80 \mu V$$

11

3b. La tension est mesurée avec une incertitude de $\pm 0,08$ mV. Quelle est l'incertitude sur cette différence de température qui en résulte ?

☐ $\pm 3,2^\circ C$

☐ $\pm 10^\circ C$

☐ $\pm 4^\circ C$

$$\Delta \pm 2^\circ C = \frac{\pm 80 \mu V}{40 \mu V / ^\circ C}$$

N°4 : QCM (3 points)

Soit un capteur à effet Hall donnant la valeur du champ magnétique B à partir de la mesure de la tension V_{mes} . Rappelons que $V_{mes} = R_H B / z$ où R_H est la constante de Hall, I le courant injecté (par un générateur de courant) dans le matériau et z l'épaisseur du matériau. Pour une valeur de $I = 100$ mA, la courbe donnant la tension mesurée V_{mes} en fonction du champ magnétique est présentée sur la figure 4.

4a. Quelle est la dimension de R_H ? (Vous pouvez utiliser l'analyse dimensionnelle.)

☐ W^{-1}

☐ $WT^{-1}m^{-1}$

☒ $m^3 C^{-1}$

☐ $mT^{-1}A^{-1}$

$$\rightarrow R_H \text{ en } V_m / AT \text{ or } \frac{V}{m} = \frac{m}{s} T$$

4b. Dans la configuration rappelée en début d'exercice (générateur de courant I débitant dans le matériau de constante R_H et d'épaisseur z), l'utilisateur souhaite diminuer l'énergie électrique consommée d'un facteur 4 en faisant passer le courant de 100 mA à une autre valeur. Quelle est la conséquence sur la sensibilité du capteur ? Elle va être

☒ divisée par 2

☐ multipliée par 4

☐ inchangée

☐ divisée par 4

4c. $I = 100$ mA. Le capteur a maintenant vieilli : la courbe de la figure 4 a une pente plus faible. Un utilisateur utilise malgré tout la courbe initiale (figure 4). Quel type d'erreur cela entraîne ? Une erreur

☒ d'étalonnage

☐ de rapidité

☐ de finesse

☐ de lecture

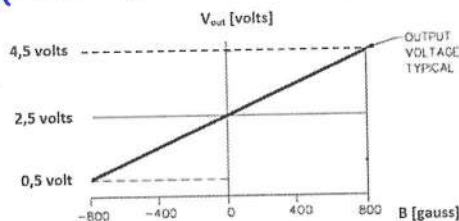


Fig.4. Capteur à effet Hall : $V_{out}(B)$ pour $I = 100$ mA.

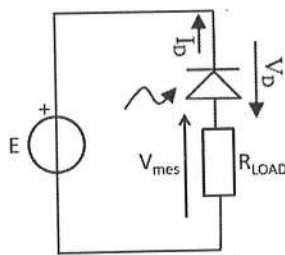


Fig.6. Circuit avec photodiode.

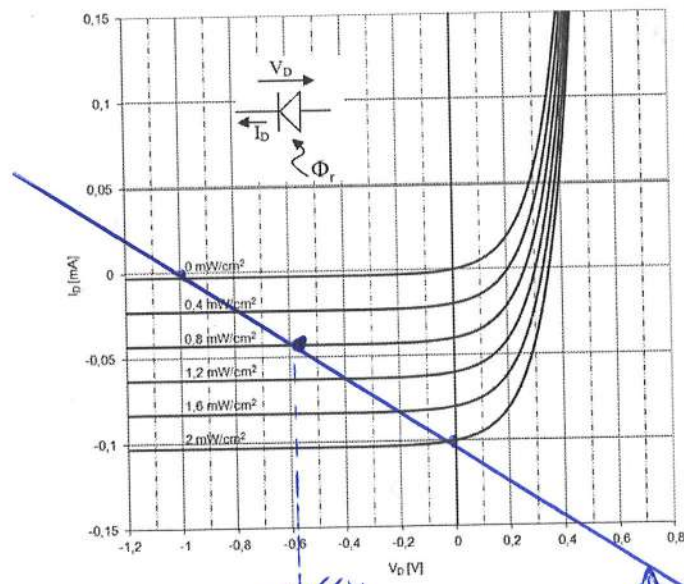


Fig.5. Caractéristique de la photodiode.

N°5 : QCM (3 points)

Soit une photodiode dont la caractéristique est donnée sur la figure 5 pour différents éclairagements ϕ_r .

5a. Dans le 3^{ème} quadrant, un schéma équivalent simplifié de la photodiode est

☐ un court-circuit

☐ un gén. de tension

☒ un gén. de courant

☐ une résistance

5b. Dans le 3^{ème} quadrant, quelle relation lie le mieux I_D en mA et ϕ_r en mW/cm^2 ?

☐ $I_D = -0,2 [cm^2/V] \phi_r$

☐ $I_D = -2 [cm^2/V] \phi_r$

☐ $I_D = -20 [cm^2/V] \phi_r$

☒ $I_D = -0,05 [cm^2/V] \phi_r$

5c. La photodiode est placée dans le circuit de la fig. 6 avec $E = 1$ V et $R_{LOAD} = 10$ k Ω . Pour $\phi_r = 0,8$ mW/cm^2 , $V_{mes} \approx$

☐ 0,56 V

☒ 0,44 V

☐ 0,32 V

☐ 0,20 V

Méthode 1
Ds le 3^{ème}
quadrant:
 $I_D \approx -0,05$ mA
pour $\phi_r = 0,8$ mW/cm^2

$$V_{mes} = -R_{LOAD} \times I_D \approx 0,44$$

Méthode 2 Circuit fig 6: $E = -R_L I_D - V_D \Rightarrow I_D = (-E - V_D) / R_L$
Intersection droite de charge / caract. de la photodiode
 $\Rightarrow V_D \approx -0,55$ V $\Rightarrow V_{mes} = E + V_D \approx 1 - 0,55$ V = 0,45 V

N°6 : QO (3 points)

Exprimez les variations relatives de la résistance R d'un fil de longueur ℓ , de surface de section S et composé par un matériau de résistivité ρ en fonction des variations relatives de ρ , ℓ et S . Rappel : $R = \rho \ell / S$. (Pas de justification.) Quel type de capteur a son principe de fonctionnement fondé sur ce lien ?

$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \Delta \ell/\ell - \Delta S/S$

Nom d'un capteur utilisant cette relation : *Jauge de contrainte*

N°7 : QCM (1 point)

Soit un accéléromètre capacitif.

Après une brève étude, le concepteur montre que pour améliorer sa sensibilité il faut augmenter la masse du capteur. Cela se fera au détriment de

- ☐ sa fidélité ☒ sa finesse ☐ sa linéarité ☐ rien

N°8 : QCM (2 points)

Soit le schéma de la figure 7.

8a. Quelle est l'expression de V_{KM} , la tension entre le point K et la masse ?

- ☒ $E(R_1 - R_{\text{capteur}})/(R_1 + R_{\text{capteur}})$ ☐ $2ER_1/(R_1 + R_{\text{capteur}})$ ☐ $2ER_{\text{capteur}}/(R_1 + R_{\text{capteur}})$ ☐ $E/R_{\text{capteur}} - E/R_1$

V_{KM} varie de $-0,5$ à $+0,5$ V et est maintenant la tension d'entrée d'un amplificateur non inverseur de gain G et de tension de saturation ± 10 V.

8b. Quel est le gain maximum pour ne pas saturer l'AOP ?

- ☐ 2 ☐ 5 ☒ 20 ☐ 0,05

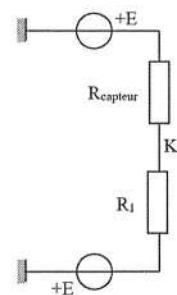


Fig.7. Circuit de 8a.

N°9 : QCM (2 points)/QO (4 points)

Soit une pompe à chaleur domestique alimentée par EDF (tension efficace = 230 V, $f = 50$ Hz). Son schéma équivalent est une résistance R en parallèle avec une inductance L . Son facteur de puissance $\cos \varphi$ égale 0,6 (et donc $\sin \varphi = 0,8$). On mesure une intensité efficace en entrée (et en sortie !) de la pompe de 5 A.

9a. Quelles sont respectivement les puissances active et réactive de cette pompe à chaleur ?

- ☐ 345 W et 460 VAR ☒ 690 W et 920 VAR ☐ 460 W et 345 VAR ☐ 1150 W et 1150 VAR

9b. Le disjoncteur différentiel relatif à cette pompe, sachant qu'on se donne une marge de sécurité d'environ 20%, doit être un disjoncteur

- ☐ 3 A (efficace) ☒ 6 A (efficace) ☐ 210 V (efficace) ☐ 290 V (efficace)

EDF fait bien sûr payer la puissance active mais aussi, à un prix moindre, la puissance réactive. Pour diminuer le plus possible la puissance réactive (et donc la facture), on ajoute en parallèle à la pompe un condensateur de capacité C .

9c. Idéalement, quelle est l'expression de C en fonction (ou pas) de R , L , f ? (Justifiez brièvement.)

cos φ ≠ 1 vient de L

$\frac{1}{R} \parallel \frac{1}{L} \parallel C \equiv \frac{1}{R}$ $\frac{1}{L} + j\omega C = 0$ $\Rightarrow LC(2\pi f)^2 = 1$

on a alors cos φ = 1 (U et I en phase) et sin φ = 0 (⇒ Q = 0)

9d. Que valent alors les puissances active et réactive de ce dispositif ? (Pas de justification.)

$P = 690 \text{ W}$ $Q = 0 \text{ VAR}$

A cause de R

p. 4/4

comme s'il n'y avait pas L et C

(Attention : P = U_eff I_eff cos φ = U_eff I_eff x 1 mais I_eff n'est plus égal à 5 A...)

$P = 230 \times 5 \times 0,6 = 230 \times 3 = 690 \text{ W}$

$Q = 230 \times 5 \times 0,8 = 230 \times 4 = 920 \text{ VAR}$