

ER2 du 16 novembre 2017, 1 heure. Sans document ni calculatrice.

Notation sur 50 points : deux points pour une réponse juste, moins un demi-point pour une réponse fausse, zéro point en l'absence de réponse. Une réponse au plus autorisée par question (sinon moins un demi-point à la question).

S.I. : unités de base du Système International.

N° étudiant : .....

Prénom : .....

Nom : .....

### Énergie (20 points)

Q1. Dans le domaine de l'énergie, TEP signifie Tonne Equivalent...

- ☐ Plutonium ☐ Pétrole ☐ Personne ☐ Pollution

Q2. La puissance instantanée consommée ou fournie par un dipôle dont la tension à ses bornes est  $u(t) = U\sqrt{2}\sin(\omega t)$  et le courant le parcourant  $i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$  est

- ☐  $u(t)i(t)$  ☐  $UI\cos\varphi$  ☐  $UI\sin\varphi$  ☐  $2UI$

Q3. La valeur efficace d'un signal  $s(t)$  de période  $T$  se calcule ainsi (analyse dimensionnelle possible...) :

- ☐  $\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T s^2(t)dt}$  ☐  $\sqrt{\int_0^T s^2(t)dt}$  ☐  $\frac{1}{T}\int_0^T s^2(t)dt$  ☐  $\frac{1}{T}\sqrt{\int_0^T s^2(t)dt}$

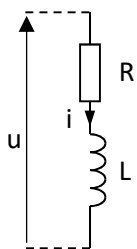
Q4. Soit une puissance à acheminer donnée (par exemple d'une centrale électrique à un transformateur). Pour minimiser les pertes en ligne il faut

- ☐ la tension la plus élevée possible et le facteur de puissance le plus proche de 1 possible  
☐ la tension la plus basse possible et le facteur de puissance le plus proche de 0 possible  
☐ la tension la plus élevée possible et la puissance réactive la plus élevée possible  
☐ la tension la plus basse possible et la puissance réactive la plus proche de 1 possible

Q5. Dans le cadre du cours n°5 de 2E102 (par Marc Hélier), « Smart grids » peut se traduire en français par

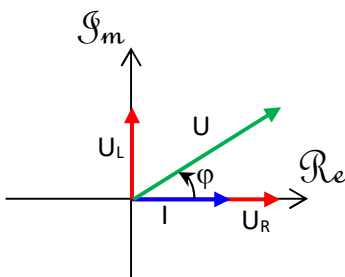
- ☐ gestion intelligente de l'énergie ☐ grille élégante  
☐ maîtrise de l'énergie nucléaire ☐ utilisation de petites voitures électriques

Q6 à Q10. Les alternateurs présents dans les génératrices éoliennes peuvent être composés d'enroulements réalisés avec du fil de cuivre. Ils sont alors représentés par une résistance montée en série avec une inductance.

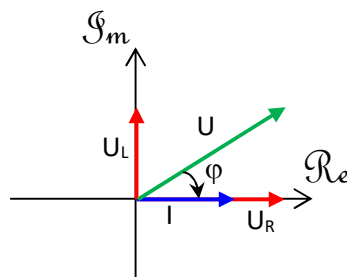


$$\begin{aligned} i(t) &= I\sqrt{2}\sin(2\pi ft) \\ f &= 50 \text{ Hz} \\ U &= 250 \text{ V} \\ R &= 40 \Omega \\ L &= 3/(10\pi) \text{ H} \end{aligned}$$

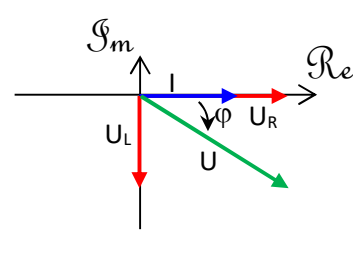
Q6. L'allure du diagramme de Fresnel relatif à ce circuit est (le courant est pris comme référence ici) :



☐



☐



☐

Q7. Le module de l'impédance complexe de ce circuit vaut

- ☐ 50  $\Omega$       ☐ 40  $\Omega$       ☐ 100  $\Omega$       ☐ 300  $\Omega$

Q8. L'intensité efficace vaut

- ☐ 2,5 A      ☐ 5 A      ☐ 2300 A      ☐ 10 kA

Q9. La tension efficace aux bornes de la résistance vaut

- ☐ 200 V      ☐ 230 V      ☐ 150 V      ☐ 5,5 V

Q10. Le facteur de puissance vaut

- ☐ 1,98      ☐ 0,8      ☐ 0,53      ☐ 1

### Capteur : généralités (8 points)

Q11. Qu'est-ce que l'erreur dite de finesse dans le domaine des capteurs ?

- ☐ Le manque d'épaisseur du capteur      ☐ L'influence du capteur sur le mesurande  
☐ Le manque de sensibilité du capteur      ☐ L'influence du mesurande sur le capteur

Q12. Soit deux capteurs du même type (capteurs A et B) permettant de déterminer le mesurande  $m$  à partir d'une tension mesurée  $U$ . Un expérimentateur teste ces capteurs en faisant passer de manière quasi-instantanée le mesurande de 0 S.I. à 3 S.I. et mesure la tension  $U$  des deux capteurs (figure 1). Il en déduit que le capteur A

- ☐ est plus rapide que le B et a une bande-passante plus grande que le B  
☐ est plus rapide que le B et a une bande-passante plus petite que le B  
☐ est plus lent que le B et a une bande-passante plus grande que le B  
☐ est plus lent que le B et a une bande-passante plus petite que le B

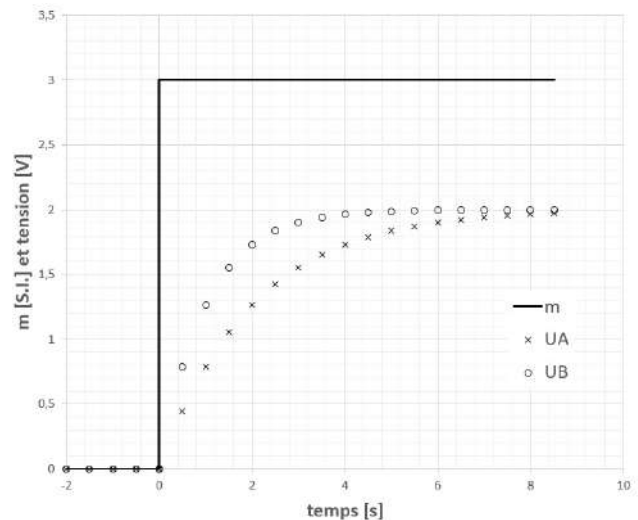


Fig.1. Mesurande  $m$  (en S.I.), tension de sortie du capteur A ( $U_A$ ) et du capteur B ( $U_B$ ) (en volt) en fonction du temps (Q12).

Q13. Soit un capteur résistif dont la résistance  $R$  varie avec le mesurande  $m$  ainsi :  $R = A \times m$  où  $A$  s'exprime en  $\Omega$  divisé par l'unité du mesurande en S.I. (unité omise par la suite). Pour le capteur à l'état neuf  $A$  vaut 10 et pour ce même capteur usagé (par exemple après 1 an d'utilisation)  $A$  vaut 5. Avec le capteur usagé ( $A = 5$ ), un utilisateur mesure à l'ohmmètre une résistance de 10  $\Omega$  mais en déduit la valeur du mesurande  $m$  en utilisant la courbe d'étalonnage d'origine (état neuf,  $A = 10$ ). Il fait donc une erreur absolue sur le mesurande, erreur dite d'étalonnage, de (exprimée en unité du mesurande en S.I.)

- ☐ 0,5      ☐ 1      ☐ 2      ☐ 4

Q14. Le capteur de la question 13 est dans l'état usagé. On considère que la courbe d'étalonnage n'évolue plus dans le temps ( $A$  reste constant et vaut 5). Cette erreur d'étalonnage (décrite en Q13) entraîne une

- ☐ moins bonne fidélité    ☐ diminution des erreurs systématiques    ☐ diminution des erreurs aléatoires    ☐ moins bonne justesse

### Capteurs de température (8 points)

Q15. Soit la sonde Pt100 dont la courbe d'étalonnage est  $R(T) = 100(1 + \alpha T)$  [ $\Omega$ ] avec  $\alpha = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Si la grandeur électrique mesurée est sa résistance  $R$ , que vaut la sensibilité de ce capteur ?

- ☐ 0,35  $\Omega/^\circ\text{C}$       ☐  $\approx 3^\circ\text{C}/\Omega$       ☐ 0,35  $^\circ\text{C}^{-1}$       ☐  $\approx 3^\circ\text{C}$

Q16. Une sonde Pt100 est utilisée pour déterminer une température connaissant sa courbe d'étalonnage (rappelée à la question 15). Pour mesurer la résistance de la sonde Pt100 et éviter le phénomène d'emballement thermique, quel circuit préconisez-vous ? (Vous supposerez que les appareils de mesure sont parfaits.)

- ☐ Générateur de tension, ampèremètre et sonde Pt100 : les 3 en série
- ☐ Générateur de tension, ampèremètre et sonde Pt100 : les 3 en parallèle
- ☐ Générateur de courant, voltmètre et sonde Pt100 : les 3 en série
- ☐ Générateur de courant, voltmètre et sonde Pt100 : les 3 en parallèle

Q17. Soit une CTN dont la résistance a comme expression  $R(T) = R_0 \exp[\beta(1/T - 1/T_0)]$  avec  $R_0 = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $T_0 = 300 \text{ K}$  et  $\beta = 1000 \text{ K}$ . Quelle est l'incertitude sur la température mesurée pour une température vraie de  $27^\circ\text{C}$  si la température est directement déduite de la mesure de  $R(T)$  avec un ohmmètre dont l'incertitude sur la résistance vaut  $\pm 0,5\%$  ? (Vous pourrez par exemple calculer dans un 1<sup>er</sup> temps le TCR.)

- ☐  $\approx \pm 0,45^\circ\text{C}$
- ☐  $\approx \pm 1 \text{ K}$
- ☐  $\approx \pm 0,15^\circ\text{C}$
- ☐  $\approx \pm 2 \text{ K}$

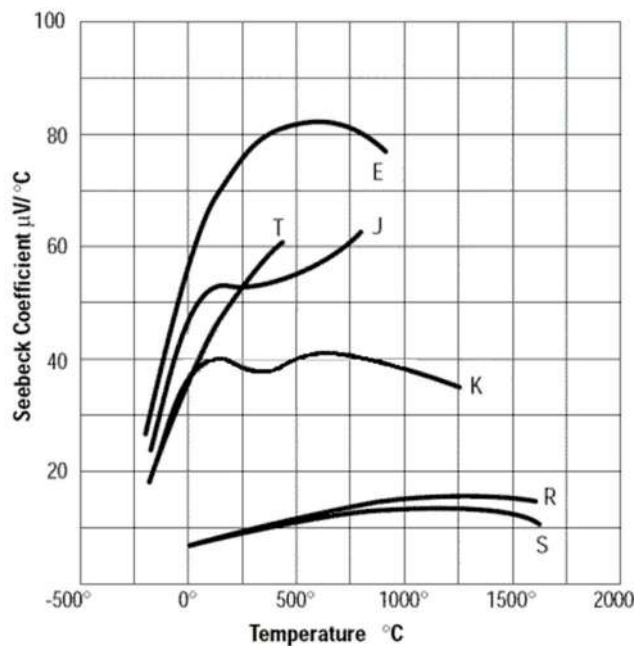


Fig.2. Coefficient Seebeck pour différents thermocouples (Q18).

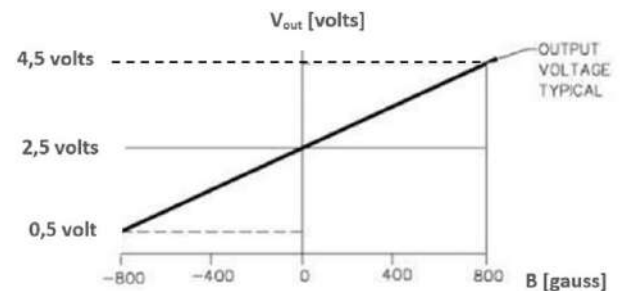


Fig.3. Courbe d'étalonnage d'un capteur de champ magnétique (Q19).

Q18. Soit un thermocouple composé d'un matériau A et d'un matériau B. Vous savez que son type est E, J, K, R, S ou T et cherchez à le déterminer. Pour cela vous placez la jonction A-B à une température de  $0^\circ\text{C}$  et les deux extrémités du thermocouple à une température de  $20^\circ\text{C}$ . Vous mesurez au voltmètre une tension de  $0,75 \text{ mV}$ . Vous répétez l'opération avec cette fois la jonction A-B à  $250^\circ\text{C}$  et les deux extrémités du thermocouple à  $270^\circ\text{C}$ . Vous mesurez alors au voltmètre une tension de  $1,05 \text{ mV}$ . Quel est le type de ce thermocouple ? (Vous pourrez vous servir de la figure 2.)

- ☐ E
- ☐ T
- ☐ J
- ☐ K

### Capteurs de champ magnétique (8 points)

Q19. Soit un capteur de champ magnétique dont la courbe d'étalonnage est donnée sur la figure 3. Que vaut B si la tension mesurée est de  $3 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$  (c'est-à-dire avec une incertitude de mesure) ?

- ☐  $175 \pm 20 \text{ gauss}$
- ☐  $200 \pm 40 \text{ gauss}$
- ☐  $225 \pm 10 \text{ gauss}$
- ☐  $250 \pm 30 \text{ gauss}$

Q20. Soit un capteur à effet Hall donnant la valeur du champ magnétique B à partir de la mesure de la tension  $V_{\text{mes}}$ . Rappelons que  $V_{\text{mes}} = R_H I B / z$  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. L'utilisateur souhaite améliorer la sensibilité d'un facteur 4 en modifiant I ( $R_H$  et z inchangés : on suppose que les variations de température due à la variation de la puissance

dissipée par effet Joule ne sont pas influentes). Quelle est la conséquence sur la puissance dissipée par effet Joule dans le matériau ? Elle va être augmentée d'un facteur

- ☐ 2                      ☐ 4                      ☐ 8                      ☐ 16

Q21. Quelle doit-être l'unité de  $R_H$  pour que l'équation du capteur à effet Hall  $V_{mes} = R_H IB/z$  soit homogène en dimension ?

- ☐  $m^3/C$                       ☐  $Vm/A$                       ☐  $Vm/T$                       ☐  $AT/Vm$

Q22. La GMR (MagnétoRésistance Géante) est utilisée dans les disques durs pour

- ☐ effacer                      ☐ lire                      ☐ écrire                      ☐ lire, écrire et effacer

### Capteurs d'éclairement (6 points)

Q23. Le schéma équivalent *approché* d'une photodiode (exemple de caractéristique : figure 4) dans le 3<sup>ème</sup> quadrant ( $I_D$  et  $V_D$  négatifs) quand la fréquence de l'éclairement tend vers zéro (BF) et quand elle tend vers l'infini (HF) est respectivement

- ☐ BF : générateur de courant, HF : circuit-ouvert                      ☐ BF : générateur de courant, HF : court-circuit  
☐ BF : résistance, HF : circuit-ouvert                      ☐ BF : résistance, HF : court-circuit

Q24. Soit la photodiode dont la caractéristique est donnée sur la figure 4. Pour un éclairement  $\phi$  continu constant compris entre 0 et 2  $mW/cm^2$ , quelle est la *meilleure* relation entre  $I_D$  et  $\phi$  dans le 3<sup>ème</sup> quadrant ( $I_D$  et  $V_D$  négatifs) ?

- ☐  $I_D$  indépendant de  $\phi$                       ☐  $I_D(mA) \approx -\phi(mW/cm^2)/200$   
☐  $\phi(mW/cm^2)$  indépendant de  $I_D$                       ☐  $I_D(mA) \approx -\phi(mW/cm^2)/20$

Q25. Soit le circuit de la figure 5 avec  $E = 1,2 V$ ,  $R_{LOAD} = 8 k\Omega$  et une photodiode dont la caractéristique est donnée sur la figure 4. Que vaut l'éclairement si  $V_{mes} = 0,2 V$  ? (Vous pouvez tracer la droite de charge sur la figure 4 ou vous servir de Q24 ou utiliser une autre méthode.)

- ☐  $\approx 0,2 mW/cm^2$                       ☐  $\approx 0,5 mW/cm^2$                       ☐  $\approx 1,4 mW/cm^2$                       ☐  $\approx 1,7 mW/cm^2$

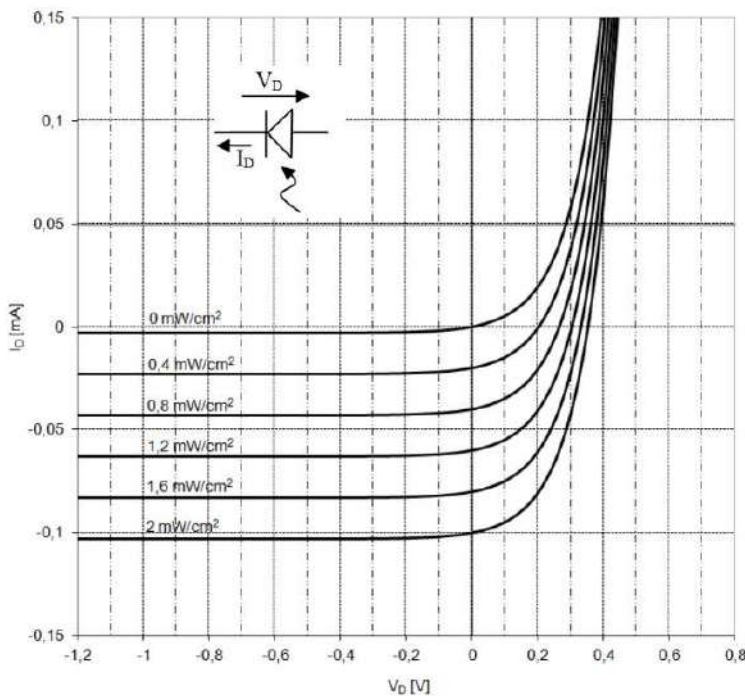


Fig.4.  $I_D(V_D)$  d'une photodiode pour différents éclairements (Q23 à Q25).

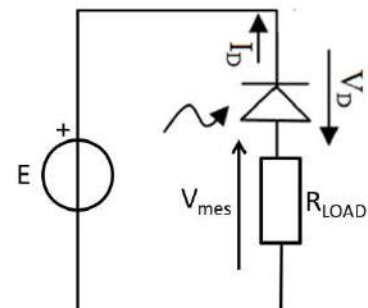


Fig.5. Circuit avec photodiode (Q25).