

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...) :

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

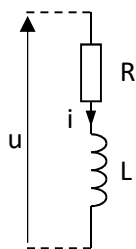
Q4. Soit une puissance à acheminer donnée (par exemple d'une centrale électrique à un transformateur). Pour minimiser les pertes en ligne il faut

- ☒ 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

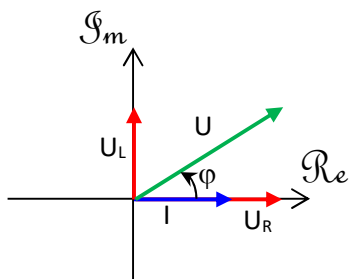
- ☒ gestion intelligente de l'énergie ☐ grille élégante
☐ maîtrise de l'énergie nucléaire ☐ utilisation de petites voitures électriques

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.

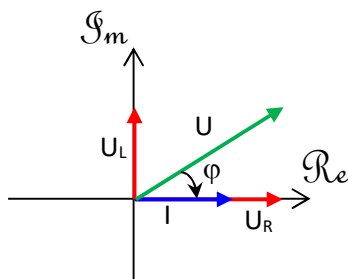


$$\begin{aligned} i(t) &= I\sqrt{2}\sin(2\pi ft) \\ f &= 50 \text{ Hz} \\ U &= 250 \text{ V} \\ R &= 40 \Omega \\ L &= 3/(10\pi) \text{ H} \end{aligned}$$

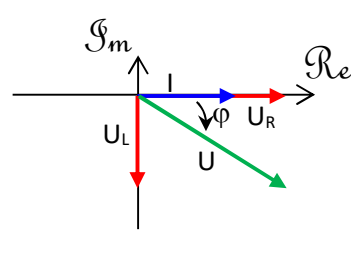
Q6. L'allure du diagramme de Fresnel relatif à ce circuit est (le courant est pris comme référence ici) :



☐



☐



☐

$$Z = R + jL\omega \rightarrow \text{module de } Z = \text{racine carrée de } (40^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 3/10\pi)^2)$$

Q7. Le module de l'impédance complexe de ce circuit vaut **=r.c. de (1600 + 900)**

- ☒ 50 Ω ☐ 40 Ω ☐ 100 Ω ☐ 300 Ω

Q8. L'intensité efficace vaut

- ☐ 2,5 A ☒ 5 A ☐ 2300 A ☐ 10 kA

$$I = U/\text{module de } Z$$

$$I = 250V/50\text{ohms}$$

$$R \cdot I = 40 \cdot 5$$

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

$$\cos(\phi) = UR/U$$

(cf le schéma de Q6) donc $\cos(\phi) = 200/250 = 4 \cdot 200/1000 = 0,8$

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

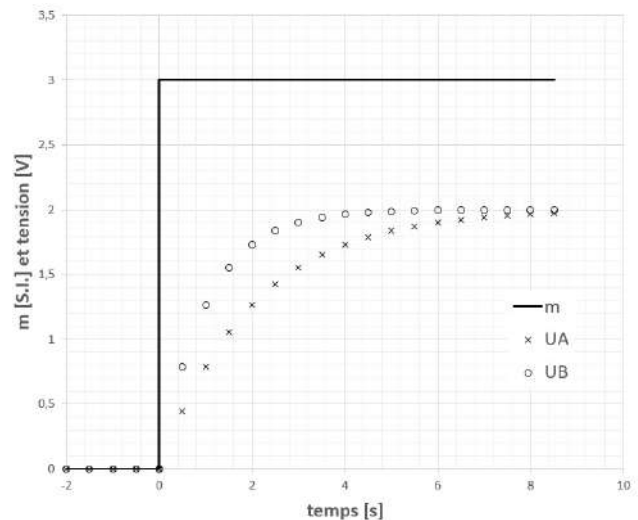


Fig.1. Mesurande m (en S.I.), tension de sortie du capteur A (UA) et du capteur B (UB) (en volt) en fonction du temps (Q12).

Q13. Soit un capteur résistif dont la résistance R varie avec le mesurande m ainsi : $R = A \cdot m$ où A s'exprime en Ω 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 Ω 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

valeur vraie de m : $m = R/\text{Ausagé} = 10/5 = 2$; valeur calculée de m : $m = R/\text{Aneuf} = 10/10 = 1$

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 $R(T) = 100(1 + aT)$ [Ω] avec $a = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. 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 $^\circ\text{C}^{-1}$ ☐ $\approx 3^\circ\text{C}$

$$S = dR/dT = 100 \text{ ohms} \cdot a \text{ en } ^\circ\text{C}^{-1}$$

RPt100 appelée R: R augmente quand T augmente.

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 $PJ = U^2/R \rightarrow T \text{ augmente} \rightarrow R \text{ augmente} \rightarrow PJ \text{ diminue: pas d'emball.}$
- ☐ Générateur de tension, ampèremètre et sonde Pt100 : les 3 en parallèle
- ☒ Générateur de courant, voltmètre et sonde Pt100 : les 3 en série $PJ = RI^2 \rightarrow T \text{ augmente} \rightarrow R \text{ augmente} \rightarrow PJ \text{ augmente: emballement}$
- ☐ 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°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^{er} temps le TCR.)

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

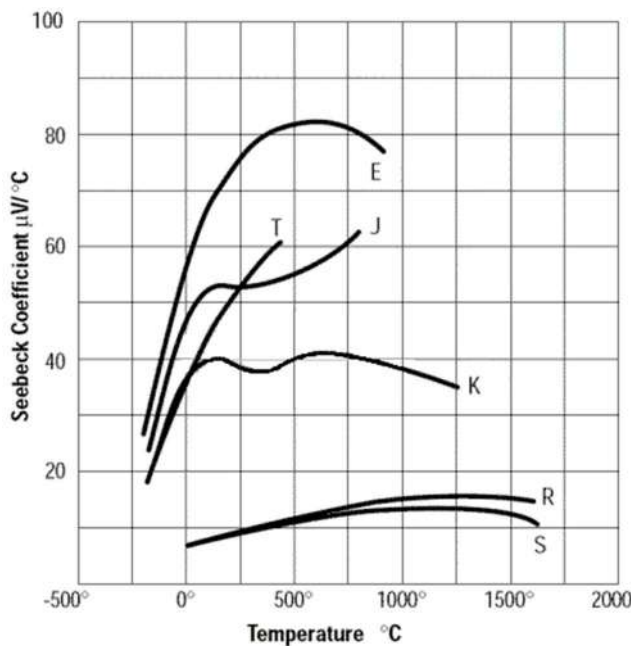


Fig.2. Coefficient Seebeck pour différents thermocouples (Q18).

$$\text{TCR}(300\text{K}) = (1/R(300\text{K})) \cdot (dR/dT) \text{ à } 300\text{K}$$

$$\rightarrow \Delta T = (\Delta R/R) / \text{TCR}$$

$$dR/dT = R \cdot (-\beta/T^2)$$

$$\text{TCR}(300\text{K}) = -\beta/(300 \cdot 300) = -1000/90000$$

$$\Delta T = \pm (0,5/100) \cdot 90000/1000 \text{ K} = \pm 0,5 \cdot 0,9 \text{ K}$$

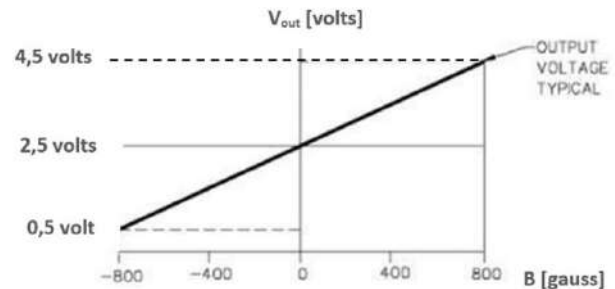


Fig.3. Courbe d'étalonnage d'un capteur de champ magnétique (Q19).

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°C et les deux extrémités du thermocouple à une température de 20°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°C et les deux extrémités du thermocouple à 270°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
- coef Seebeck SAB: $SAB(\text{autour de } 0^\circ\text{C}) = 750 \text{ microvolt}/20^\circ\text{C} = 37,5 \text{ microvolt}/^\circ\text{C} \rightarrow \text{T ou K}$
- $SAB(\text{autour de } 250^\circ\text{C}) = 1050 \text{ microvolt}/20^\circ\text{C} = 52,5 \text{ microvolt}/^\circ\text{C} \rightarrow \text{T ou J}$
- 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) ?

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

$$V = 2,5 + B/400 \text{ en volt avec B en gauss} \rightarrow V = 3\text{V alors } B = 200\text{gauss et } dV/dB = 1/400$$

Q20. 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 $V_{\text{mes}} = R_H IB/z$ 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

en V/gauss

$$\Delta B = \Delta V \cdot 400 = 0,1 \cdot 400 \text{ en gauss}$$

$$S = dV/dB = R_H \cdot I / z \rightarrow I \text{ est } \times 4 \text{ pour que } S \times 4$$

$$P_{\text{Joule}} = RI^2 \text{ donc } P_{\text{Joule}} \times 16$$

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 $V_{\text{mes}} = R_H IB/z$ soit homogène en dimension ?

- ☒ m^3/C ☐ Vm/A ☐ Vm/T ☐ AT/Vm

R_H en $Vm/(AT)$ or $(m/s) \cdot T = (V/m)$ (cf force de Lorentz) donc $T = Vs/m^2$ donc R_H en

- Q22. La GMR (MagnétoRésistance Géante) est utilisée dans les disques durs pour
☐ effacer ☒ lire ☐ écrire ☐ lire, écrire et effacer $Vm \cdot m^2/(A \cdot Vs)$
 $= m^3/(As)$
 $= m^3/C$

Capteurs d'éclairement (6 points)

Q23. Le schéma équivalent *approché* d'une photodiode (exemple de caractéristique : figure 4) dans le 3^{ème} 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 ϕ continu constant compris entre 0 et 2 mW/cm^2 , quelle est la *meilleure* relation entre I_D et ϕ dans le 3^{ème} quadrant (I_D et V_D négatifs) ?

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

Par exple pour la carac à $2mW/cm^2$: $2/(-0,1) = 20$

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

en $mW/(mAcm^2)$

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

$$I_D = -V_{\text{mes}}/R_{\text{LOAD}} = -0,2/8 \text{ en mA et } \phi = -I_D(mA) \cdot 20 \text{ (phi en } mW/cm^2)$$

$$\text{donc } \phi = -(-0,2/8) \cdot 20 = 4/8 = 0,5 mW/cm^2$$

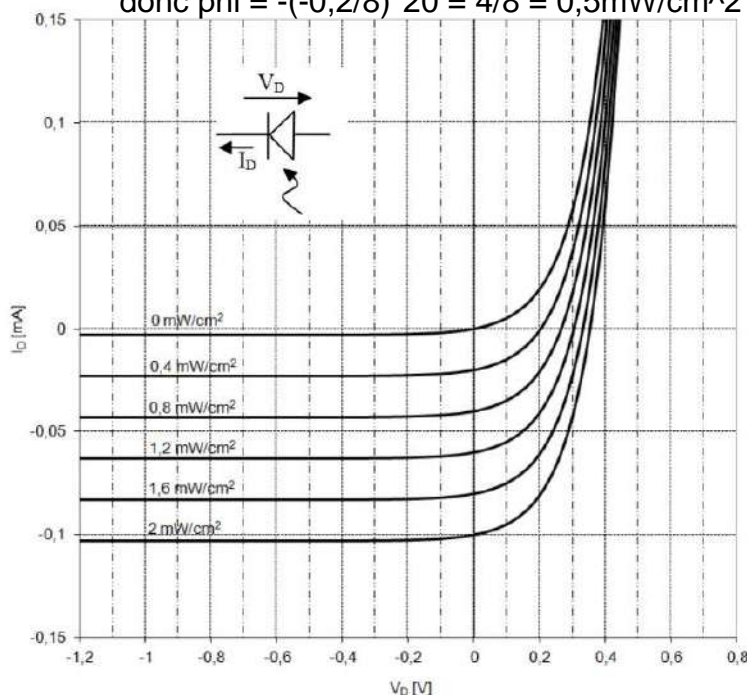


Fig.4. $I_D(V_D)$ d'une photodiode pour différents éclairagements (Q23 à Q25).

Autre méthode:

droite de charge: $E = -R_{\text{LOAD}} \cdot I_D - V_D$
 $\rightarrow I_D = -(E + V_D)/R_{\text{LOAD}}$ à tracer

$$E + V_D - V_{\text{mes}} = 0$$

$$\rightarrow V_D = 0,2 - 1,2$$

$$\rightarrow V_D = -1V$$

Placer le point E

$V_D = -1V$ sur la

droite de charge:

correspond à

$$\phi = 0,5 mW/cm^2$$

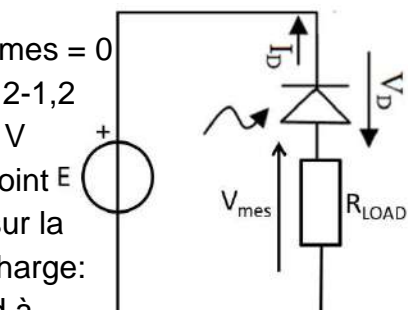


Fig.5. Circuit avec photodiode (Q25).