

I.S. de P3 du mardi 9 Novembre 2021

Durée : 2h00

INSCRIRE SON NOM, PRENOM, GROUPE EN HAUT DE CHAQUE FEUILLE
 Une calculatrice non programmable, non graphique est autorisée.
 Pour les élèves internationaux, les dictionnaires en papier non-annotés sont autorisés.
 Les téléphones portables et montres connectées doivent être éteints et rangés dans les sacs.

TOUTE APPLICATION NUMERIQUE EST PRECEDEE D'UN CALCUL LITTERAL
 ET COMPORTE UNE UNITE.

Exercice 1

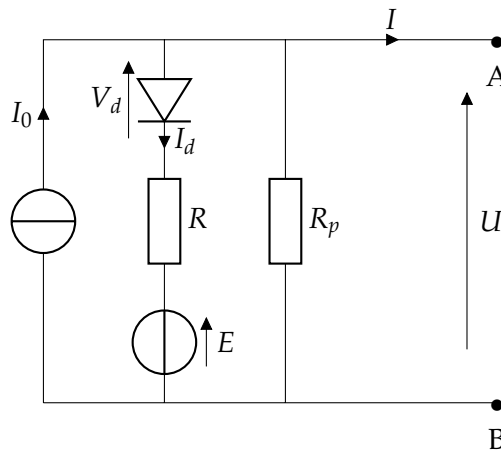
On se propose dans cet exercice d'étudier le fonctionnement d'un panneau photovoltaïque puis de l'utiliser pour alimenter un électrolyseur. L'électrolyse de l'eau permet de produire du dihydrogène utilisé dans les piles à combustible. Ces piles sont utilisées dans les voitures roulant à l'hydrogène.

Les parties A et B sont indépendantes.

Partie A : Etude du panneau photovoltaïque

En première approximation, on peut modéliser le panneau photovoltaïque par le circuit ci-dessous avec les valeurs suivantes pour un éclairement de 200 W/m^2 :

$R = 1,4 \Omega$; $R_p = 50 \Omega$; $I_0 = 1,2 \text{ A}$; $E = 17 \text{ V}$

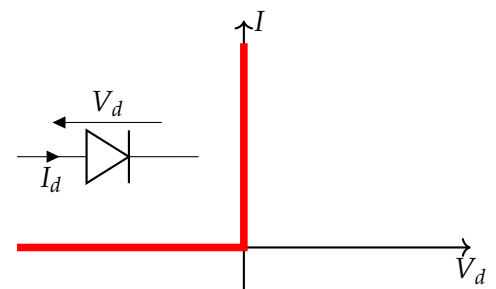


Le panneau photovoltaïque présente deux régimes de fonctionnement suivant l'état de la diode. Si la diode est bloquante, il fonctionne comme une source de courant et si la diode est passante, il fonctionne comme une source de tension.

On considère que la diode est idéale. Quand elle est passante, $V_d = 0$ et $I_d > 0$. Quand elle est bloquante, $I_d = 0$ et $V_d < 0$.

On s'intéresse dans cette partie au fonctionnement du panneau photovoltaïque en générateur de tension.

On considère donc que la diode est passante. On peut la remplacer par un fil ($V_d = 0$). La diode reste passante tant que $I_d > 0$. Cette condition est vérifiée pour $U > 17 \text{ V}$.



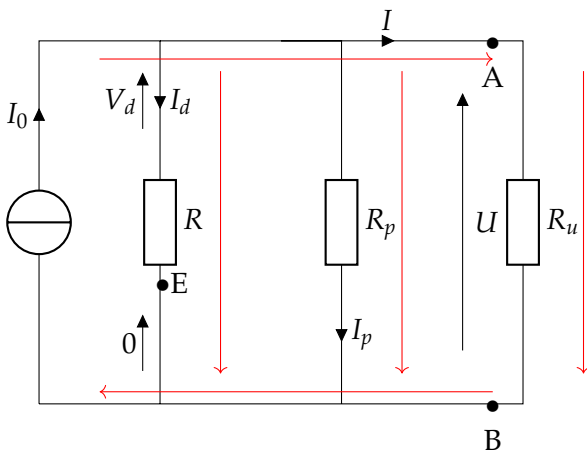
NOM : Prénom : Groupe :

A1) On connecte entre A et B une résistance de charge $R_u = 1\text{ k}\Omega$. Refaire le schéma si la diode est passante. Combien y-a-t-il de valeurs d'intensités et de potentiels dans le circuit? Les indiquer sur le schéma.

On remplace la diode par un fil ($V_d = 0$).
 On a 4 valeurs d'intensité : I_0, I_d, I_p et I .
 On a trois valeurs de potentiels : V_A, V_B et V_E .

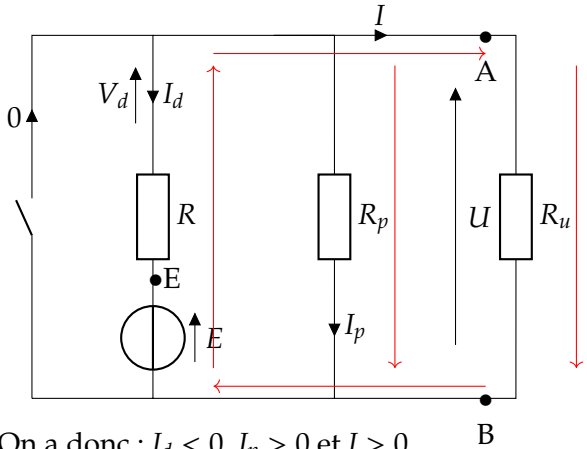
A2) Par une analyse qualitative, donner le sens conventionnel des courants dans les différentes branches et classer les valeurs de potentiels autant que possible.

On éteint la source de tension. Elle est alors équivalente à un fil.



Le sens conventionnel du courant est indiqué en rouge. On a donc : $I_d > 0, I_p > 0$ et $I > 0$.

On éteint la source de courant. Elle est alors équivalente à un interrupteur ouvert.



On a donc : $I_d < 0, I_p > 0$ et $I > 0$.

On en déduit : $I_p > 0, I > 0$.

Le courant descend les potentiels à l'extérieur des générateurs. On en déduit : $V_A > V_B$.

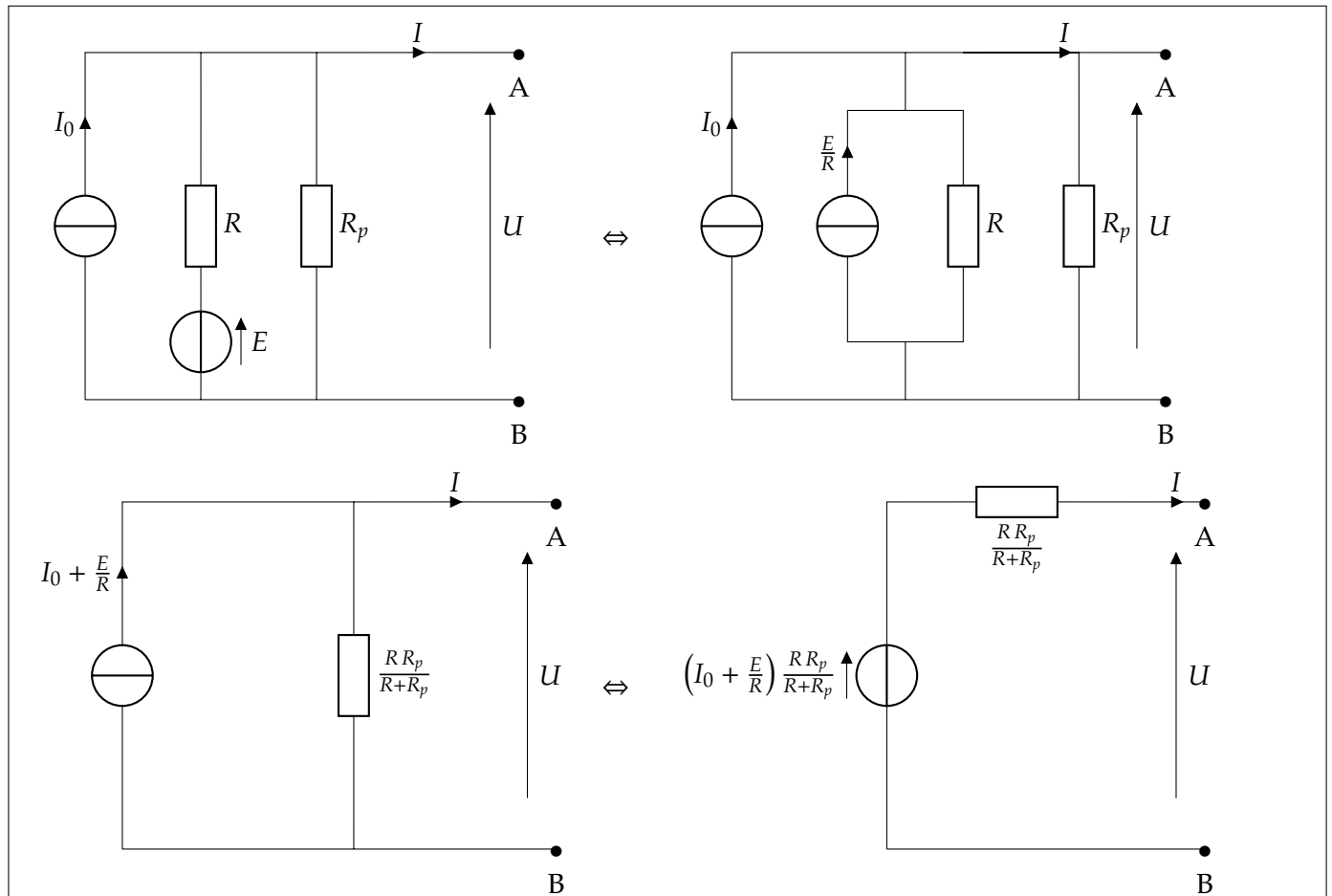
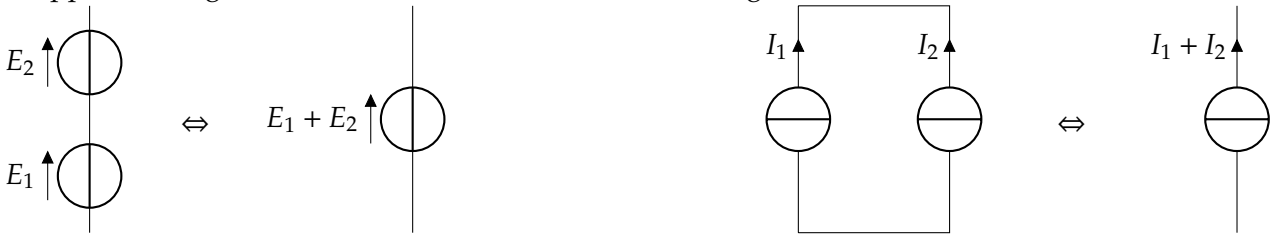
Comme $V_E - V_B = E > 0$, on en déduit $V_E > V_B$.

On ne peut pas conclure avec l'analyse qualitative sur le sens conventionnel du courant dans la branche I_d .

NOM : Prénom : Groupe :

A3) Déterminer le générateur de Thévenin équivalent au panneau photovoltaïque (e_{th} , R_{th}) à gauche des points A et B. Vérifier l'homogénéité de e_{th} et R_{th} . Faire les applications numériques.

On rappelle les règles suivantes concernant l'association de générateurs :



On en déduit le générateur de Thévenin équivalent : $e_{th} = \left(I_0 + \frac{E}{R}\right) \frac{RR_p}{R+R_p}$; $R_{th} = \frac{RR_p}{R+R_p}$

Homogénéité :

$$\left[\left(I_0 + \frac{E}{R}\right) \frac{RR_p}{R+R_p}\right] = \left([I] + \frac{[U]}{[R]}\right) \frac{[R]^2}{[R]} = [I][R] + [U] = [U]. \text{ On a bien une tension.}$$

$$\left[\frac{RR_p}{R+R_p}\right] = \frac{[R]^2}{[R]} = [R]. \text{ On a bien une résistance.}$$

Applications numériques :

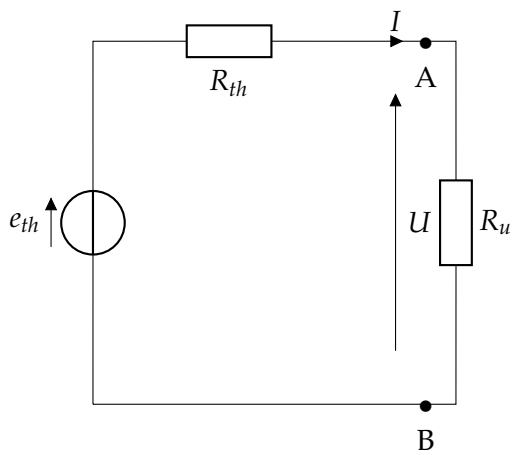
$$e_{th} = \left(1,2 + \frac{17}{1,4}\right) \frac{1,4 \times 50}{1,4 + 50} \quad e_{th} = 18,2 \text{ V}$$

$$R_{th} = \frac{1,4 \times 50}{1,4 + 50} \quad R_{th} = 1,36 \Omega$$

NOM : Prénom : Groupe :

A4) Déterminer l'expression de la tension U en fonction de e_{th} , R_{th} et R_u .

Faire l'application numérique. L'hypothèse de la diode passante est-elle vérifiée?



On peut écrire un pont diviseur de tension : $U = \frac{R_u}{R_u + R_{th}} e_{th}$.

Application numérique :

$$U = \frac{1000}{1,36 + 1000} 18,2 \quad U = 18,1 \text{ V}$$

On a bien $U > 17 \text{ V}$. La diode est bien passante.

A5) Choisir une masse. Calculer les différents potentiels dans le circuit.

On choisit $V_B = 0 \text{ V}$.

$$V_E - V_B = E \Rightarrow V_E = E \Rightarrow V_E = 17 \text{ V}.$$

$$V_A - V_B = U \Rightarrow V_A = U \Rightarrow V_A = 18,1 \text{ V}.$$

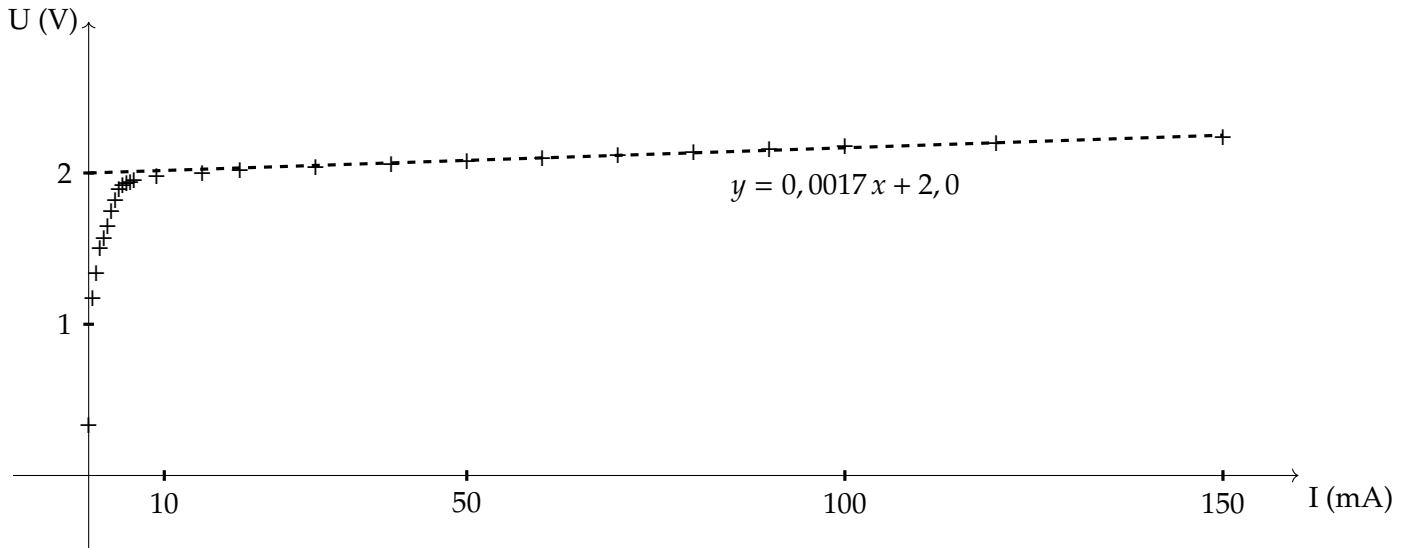
A6) Les conclusions de l'analyse qualitative sont-elles cohérentes avec les résultats des calculs précédents?

On a $V_A > V_B$, $V_E > V_B$ et $I_p = \frac{U}{R_p} > 0$ et $I = \frac{U}{R_p} > 0$.

Les conclusions de l'analyse qualitative sont bien vérifiées.

Partie B : Alimentation d'un électrolyseur par le panneau photovoltaïque

Un électrolyseur convertit de l'énergie électrique en énergie chimique (c'est le fonctionnement inverse d'une pile). On s'intéresse ici au fonctionnement électrique d'un électrolyseur. On donne ci-dessous la caractéristique d'un électrolyseur en convention récepteur.



On peut faire une régression linéaire pour $I \in [10 \text{ mA}, 150 \text{ mA}]$ et on trouve l'équation donnée sur le graphique ci-dessus. On considérera pour la suite que la modélisation est aussi correcte pour $I > 150 \text{ mA}$.

B1) Donner la grandeur physique des valeurs numériques de la loi linéaire. Donner la valeur numérique de la résistance interne de l'électrolyseur.

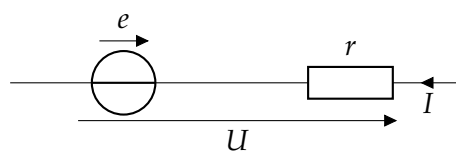
Proposer un modèle électrique équivalent pour l'électrolyseur dans la zone de fonctionnement linéaire. Justifier le fait que l'électrolyseur a un fonctionnement récepteur.

On donne les dimensions de x et y : $[x] = [U]$ et $[y] = [I]$.

On en déduit que 2,0 a la dimension d'une tension et 0,0017 la dimension d'une résistance.

Comme l'intensité est en mA, la valeur de la résistance interne de l'électrolyseur r est $r = 1,7 \Omega$.

En notant $e = 2,0 \text{ V}$, on en déduit le modèle équivalent suivant de l'électrolyseur en convention récepteur :



On a bien $U = e + rI$, la loi donnée par la caractéristique ci-dessus.

En convention récepteur, on calcule la puissance absorbée par l'électrolyseur.

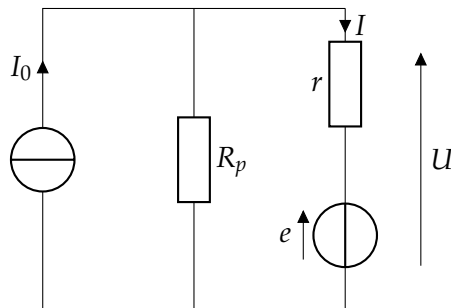
Ici, $\mathcal{P}_{abs} = U \times I > 0$, l'électrolyseur a bien un fonctionnement récepteur.

NOM : Prénom : Groupe :

On voit que la tension de l'électrolyseur augmente très lentement pour $I > 10$ mA. Le panneau photovoltaïque ne fonctionnera pas comme dans la partie A. On va donc ici modéliser le panneau photovoltaïque dans le cas où la diode est bloquante (fonctionnement en source de courant). On remplace donc la diode par un interrupteur ouvert et on peut ignorer la branche de la diode (intensité nulle).

B2) Faire le schéma du circuit en connectant l'électrolyseur au panneau photovoltaïque.

Aucun courant ne circule dans la branche de la diode. On peut l'enlever dans la représentation du circuit.



Le point de fonctionnement de ce circuit est : $U = 3,9$ V et $I = 1,12$ A.

B3) Calculer la puissance absorbée par l'électrolyseur. Quelle est la puissance dissipée par effet Joule dans l'électrolyseur? Quelle est la puissance effectivement convertie en énergie chimique par l'électrolyseur? Commenter.

$$\mathcal{P}_{abs} = U \times I = 3,9 \times 1,12 \quad \mathcal{P}_{abs} = 4,37 \text{ W} .$$

$$\mathcal{P}_{Joule} = R \times I^2 = 1,7 \times 1,12^2 \quad \mathcal{P}_{Joule} = 2,13 \text{ W} .$$

$$\mathcal{P}_{chimique} = e \times I = 2,0 \times 1,12 \quad \mathcal{P}_{chimique} = 2,24 \text{ W} .$$

$$\text{On a donc } \frac{\mathcal{P}_{Joule}}{\mathcal{P}_{abs}} = 49\% .$$

La moitié de la puissance absorbée par l'électrolyseur est dissipée en chaleur par effet Joule.

I.S. de P3 du mardi 9 Novembre 2021

Durée : 2h00

INSCRIRE SON NOM, PRENOM, GROUPE EN HAUT DE CHAQUE FEUILLE

Une calculatrice non programmable, non graphique est autorisée.

Pour les élèves internationaux, les dictionnaires en papier non-annotés sont autorisés.

Les téléphones portables et montres connectées doivent être éteints et rangés dans les sacs.

TOUTE APPLICATION NUMERIQUE EST PRECEDEE D'UN CALCUL LITTERAL
ET COMPORTE UNE UNITE.

Exercice 2 - Etude d'une bobine réelle

On souhaite mesurer la résistance interne r d'une bobine réelle, et on se propose de comparer deux méthodes. On modélisera cette bobine réelle comme l'association série d'une bobine idéale d'inductance L et d'une résistance r .

Les deux parties sont indépendantes, sauf la dernière question.

Partie 1

On mesure la résistance interne r de cette bobine grâce à un ohmmètre DMM 141 dont la notice est présentée en annexe 1. On lit (en Ω) :

2	2.	5
---	----	---

1a) Evaluer l'incertitude sur cette mesure. Nommer le type d'erreur évalué par ce calcul d'incertitude.

La mesure est de 22.5Ω , la gamme à considérer est la plus petite valeur supérieure à la mesure c'est à dire 400Ω . On doit donc prendre en compte $0,5\% + 3$ pt.

Ainsi $\Delta R = \frac{0,5}{100} \times 22,5 + 3 \times 0,1$ ce qui donne $\Delta R = 0,4125 \Omega$

Une incertitude évaluée toujours **une erreur aléatoire**.

1b) Donner alors le résultat de la mesure de la valeur de cette résistance avec un nombre correct de chiffres significatifs. Préciser l'intervalle de confiance et le niveau de confiance.

Pour une incertitude, on garde un chiffre significatif et on arrondit toujours par excès. On a donc $\Delta R = 0,5 \Omega$
On arrondit alors le résultat de la mesure au plus proche de façon cohérente avec l'incertitude trouvée. Ici, on doit conserver uniquement un chiffre après la virgule.

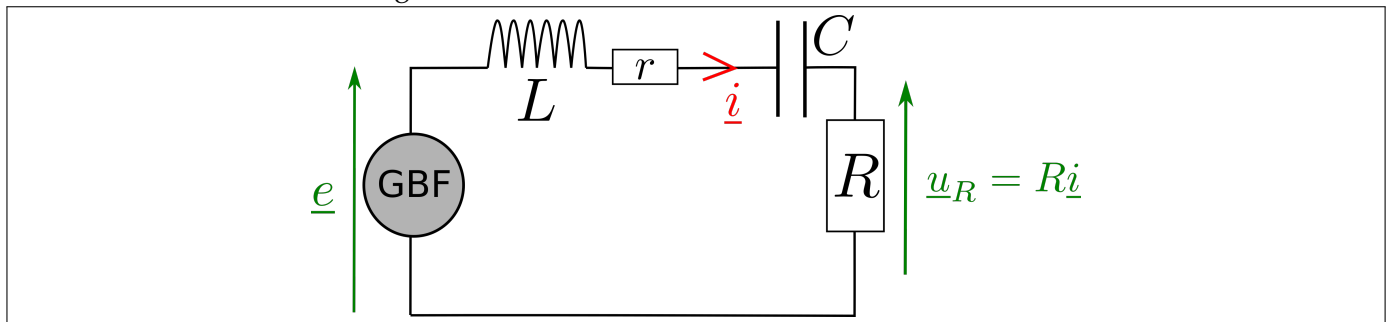
Le résultat de la mesure est donc $R = 22,5 \pm 0,5 \Omega$.

L'intervalle de confiance est $R \in [22,0; 23,0] \Omega$ avec un **niveau de confiance** de 95 %.

Partie 2

On associe cette bobine réelle en série avec un condensateur de capacité $C = 47 \text{ nF}$ et une résistance $R = 39 \text{ } \Omega$. Cette association de dipôles est alimentée par un GBF délivrant la tension $e(t) = E_{max} \cos(\omega t)$.

2a) Faire un schéma du montage.



2b) Déterminer l'impédance complexe \underline{Z} du dipôle.

Exprimer $|\underline{Z}|$ et $arg(\underline{Z})$ en fonction des caractéristiques des composants et de la pulsation ω .

On associe les dipôles en série, on ajoute les impédances complexes.

On a donc $\underline{Z} = \underline{Z}_R + \underline{Z}_C + \underline{Z}_r + \underline{Z}_L = R + \frac{1}{jC\omega} + r + jL\omega$ ce qui donne : $\underline{Z} = R + r + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)$

On a $|\underline{Z}| = \sqrt{(r + R)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$ et $arg|\underline{Z}| = \arctan\left(\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{r + R}\right)$

2c) Déterminer l'expression de la grandeur complexe de la tension \underline{e} aux bornes du dipôle en fonction de \underline{Z} et du courant \underline{i} dans ces dipôles.

D'après la loi d'Ohm complexe ou une loi des mailles, on a $\underline{e} = \underline{Z} \cdot \underline{i}$

2d) Déterminer l'expression de la grandeur complexe de la tension \underline{u}_R aux bornes de la résistance R en fonction de R et de \underline{i} .

Comme à la question précédente, on a $\underline{u}_R = \underline{R} \cdot \underline{i}$

2e) En déduire l'expression du rapport des amplitudes $\frac{E_{max}}{U_{R,max}}$ en fonction de R, r, L, C et ω

Grâce aux réponses des deux questions précédentes, on obtient :

$$\frac{E_{max}}{U_{R,max}} = \frac{|\underline{e}|}{|\underline{u}_R|} = \frac{|\underline{Z} \cdot \underline{i}|}{|\underline{R} \cdot \underline{i}|} = \frac{|\underline{Z}| \cdot |\underline{i}|}{\underline{R} \cdot |\underline{i}|} = \frac{|\underline{Z}|}{R}$$

Grâce à la réponse à la question 2b, on obtient finalement $\frac{E_{max}}{U_{R,max}} = \frac{\sqrt{(r + R)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}{R}$

NOM : Prénom : Groupe :

2f) Déterminer le déphasage de $e(t)$ par rapport à $u_R(t)$ en fonction de R, r, L, C et ω .

On cherche φ le déphasage de $e(t)$ par rapport à $u_R(t)$.

On a $\varphi = \Phi_e - \Phi_i = \arg(e) - \arg(u_R) = \arg(\underline{Z} \cdot i) - \arg(R \cdot i) = \arg(\underline{Z}) - \arg(i) - [\arg(R) + \arg(i)]$
ce qui donne $\varphi = \arg(\underline{Z}) - \arg(R) = \arg(\underline{Z})$ car R est un nombre réel positif.

Et finalement, $\varphi = \arctan\left(\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{r + R}\right)$

On règle la pulsation ω du GBF de façon à ce que les deux tensions $e(t)$ et $u_R(t)$ soient en phase, c'est à dire quand $L\omega = \frac{1}{C\omega}$.

2g) Dans ces conditions, montrer que $\frac{E_{max}}{U_{R,max}} = \frac{R+r}{R}$

Puisque l'on a $L\omega = \frac{1}{C\omega}$, l'expression obtenue à la question 2e se simplifie en

$\frac{E_{max}}{U_{R,max}} = \frac{\sqrt{(R+r)^2}}{R}$ et donc $\frac{E_{max}}{U_{R,max}} = \frac{R+r}{R}$

On mesure alors au voltmètre réglé en mode alternatif la tension efficace aux bornes des deux dipôles. On relève la tension efficace aux bornes du GBF $E_{eff} = 14,4$ V et la tension efficace aux bornes de la résistance $U_{R,eff} = 9,10$ V.

On précise que la tension efficace U_{eff} et l'amplitude U_{max} d'un signal sinusoïdal vérifient la relation :

$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$

2h) En déduire la valeur de la résistance r . Comparer au résultat obtenu en partie 1.

Partons de $\frac{E_{max}}{U_{R,max}} = \frac{R+r}{R}$, ce qui donne $R \times \frac{E_{max}}{U_{R,max}} = R+r$ ou encore : $r = R \left(\frac{E_{max}}{U_{R,max}} - 1 \right)$

Puisque pour une tension, on a $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$, l'expression précédente se simplifie en

$r = R \left(\frac{E_{eff}}{U_{R,eff}} - 1 \right)$ AN : $r = 39 \times \left(\frac{14,4}{9,1} - 1 \right)$ ce qui donne $r = 22,7 \Omega$

La valeur de r obtenue appartient bien à l'intervalle de confiance trouvée en partie 1. Le résultat est cohérent, il ne semble pas y avoir d'erreur systématique.

ANNEXE 1 : Extrait de la notice du multimètre DMM 141

CARACTÉRISTIQUES

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

Conditions de référence

Grandeur d'influence	Valeur de référence
Température	23 ± 2°C
Humidité relative	45 à 75 %HR
Mesure en DC	Sans composante AC
Mesure en AC	Signal sinusoïdal sans DC
Mesure de fréquence	Signal carré sans DC

Les incertitudes intrinsèques sont exprimées en ±(x% de la lecture + Y points) pour 10 à 100% de la gamme

Mesure de tension alternative

Gamme	Fréquence	Incertitude intrinsèque	Résistance d'entrée
400.0 mV	40 Hz - 500 Hz	1 % + 10 pt	~ 11 MΩ
4.000 V			
40.00 V			
400.0 V			
600 V			
		1 % + 5 pt	~ 10 MΩ

Mesure de tension continue

Gamme	Incertitude intrinsèque	Résistance d'entrée
400.0 mV	0,5 % + 3 pt	≥ 100 MΩ
4.000 V		~ 11 MΩ
40.00 V		~ 10 MΩ
400.0 V		
600 V		

Mesure de courant continu

Incertitude intrinsèque : 1,5 % + 3 pt

Gamme	Protection
400.0 μA	Fusible 0,63 A /600 V
4000 μA	
40.00 mA	
400.0 mA	
10.00 A*	Fusible 10 A /600 V

* 20 A pendant 30 s.

Mesure de courant alternatif

Incertitude intrinsèque : 1,5 % + 5 pt

Gamme	Fréquence	Protection
400.0 μA	40 Hz - 500 Hz	Fusible 0,63 A /600 V
4000 μA		
40.00 mA		
400.0 mA		
4.000 /10.00 A*		Fusible 10 A /600 V

* 20 A pendant 30 s.


Test de diode

Gamme	Incertitude intrinsèque	Tension à vide
4.000 V	10 %	~ 1,5 V

Mesure de résistance

Gamme	Incertitude intrinsèque	Remarque
400.0 Ω	0,5 % + 3 pt	Tension à vide : environ 0,4 V
4.000 kΩ	0,5 % + 2 pt	
40.00 kΩ		
400.0 kΩ		
4.000 MΩ	1,5 % + 3 pt	
40.00 MΩ		

Mesure de continuité

Gamme	Remarques
400.0 Ω	- Tension à vide : environ 0,4 V -  : R < 90 Ω ± 40 Ω

Mesure de capacité

Gamme	Incertitude intrinsèque	Remarque
50.00 nF	1,5 % + 15 pt	Le temps de réponse peut être élevé pour les fortes valeurs
500.0 nF	2 % + 5 pt	
5.000 μF	5 % + 5 pt	
50.00 μF		
100.0 μF		

Mesure de fréquence et rapport cyclique (touche Hz%) en tension et courant

Fonction limitée aux fréquences industrielles. Niveau minimal d'entrée : 10% de la gamme en tension et 55% de la gamme en courant. Les valeurs du rapport cyclique sont indicatives.

Mesure de fréquence (entrée)

La position «Hz» permet de s'affranchir de la bande passante limitée en mesure de tension.

Gamme	Tension minimale d'entrée	Incertitude intrinsèque	Remarque
5.000 Hz	2 Vpp	0,1 % + 3 pt	Donné pour un signal carré
50.00 Hz			
500.0 Hz			
5.000 kHz			
50.00 kHz			
500.0 kHz			
5.000 MHz			

CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT

Utilisation à l'intérieur
Altitude < 2000 m
Degré de pollution : 2

	En utilisation	En stockage
Température	-10 °C ... +50 °C	-20 °C ... +60 °C
Humidité relative	≤ 80 % HR (hors condensation)	≤ 70 % HR (hors condensation)

CARACTÉRISTIQUES CONSTRUCTIVES

Dimensions L x l x H : 181 x 92 x 57 mm
Masse : environ 400 g