

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CONSTRUCTION NAVALE

ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES

Durée : **2 heures**

IMPORTANT :

Ce sujet comporte 5 pages numérotées de 1 à 5 dont la page n°5 qui est un document réponse et qui doit être rendue avec la copie.

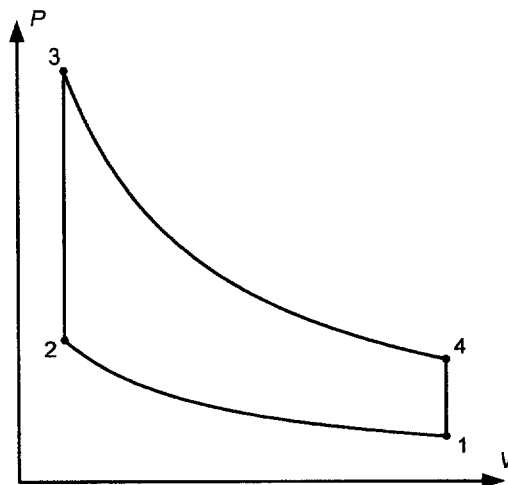
Assurez-vous qu'il est complet.

- *Conformément aux dispositions de la circulaire n° 99-018 du 01/02/1999, l'usage de la calculatrice est autorisé.*
- *Ce sujet propose une étude simplifiée d'un **cogénérateur à moteur Stirling**. Ce cogénérateur est une microcentrale d'énergie (énergie thermique et électrique) pour des applications embarquées, et plus particulièrement pour des voiliers de plaisance (production de l'énergie électrique et de l'eau chaude à bord). Le premier problème (**thermodynamique / 12 points**) s'intéresse au rendement thermodynamique du moteur de Stirling. L'alternateur et sa régulation en tension fait l'objet du second problème (**électricité / 8 points**).*
- *Pour chacun de ces problèmes, un grand nombre de questions sont indépendantes.*
- *La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part non négligeable dans l'appréciation des copies.*

Partie 1 : Etude théorique du moteur de Stirling

Le moteur de Stirling est modélisé ainsi : moteur ditherme à combustion externe dans lequel un gaz parfait est soumis à un cycle à quatre transformations réversibles.

- **1→2 : compression isotherme** où le gaz échange de la chaleur avec la source froide ;
- **2→3 : transformation isochore** ;
- **3→4 : détente isotherme** où le gaz échange de la chaleur avec la source chaude ;
- **4→1 : transformation isochore.**



On note :

- P_i , V_i et T_i , respectivement la pression, le volume et la température du gaz aux points i (l'indice i variant de 1 à 4) ;
- Q_{ij} et W_{ij} , respectivement la chaleur et le travail (des forces de pression) reçus par le gaz lors de la transformation $i \rightarrow j$;

1.1 Montrer que $W_{34} = -P_3 \cdot V_3 \cdot \ln \alpha$, avec $\alpha = \frac{V_4}{V_3}$.

Préciser et interpréter le signe de W_{34} .

1.2 Donner l'expression algébrique du travail reçu pour chacune des transformations. Montrer que l'expression algébrique du travail total, reçu par le gaz lors d'un cycle complet, peut s'écrire : $W = [P_2 - P_3] \cdot V_3 \cdot \ln \alpha$.

1.3 Expliquer pourquoi la variation d'énergie interne est nulle au cours des transformations 3→4 et 1→2. En déduire, en précisant leur signe, les quantités de chaleur Q_{34} (échangée avec la source chaude) et Q_{12} (échangée avec la source froide).

1.4 On note C_V la capacité calorifique totale du gaz à volume constant. Donner les expressions de Q_{23} et Q_{41} en fonction de T_1 , T_2 , T_3 et T_4 , puis en fonction de T_2 et T_3 . Donner les signes de Q_{23} et Q_{41} . En déduire la relation entre Q_{23} et Q_{41} .

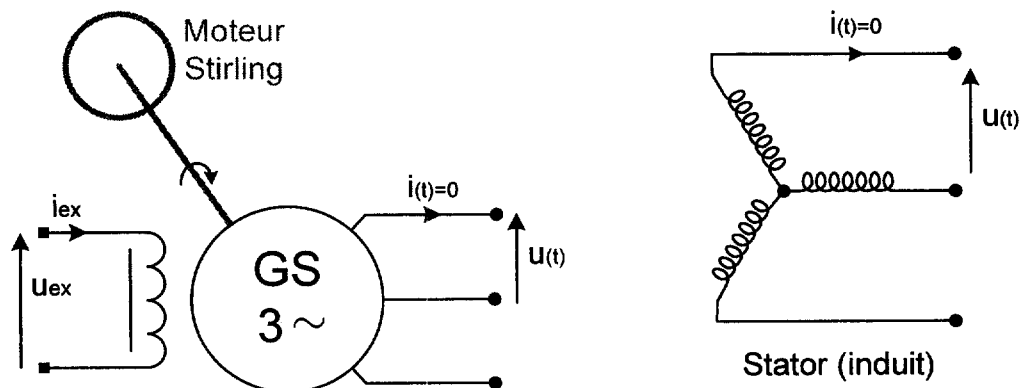
1.5 Le moteur étudié est muni d'un système original (appelé régénérateur) de récupération de la chaleur suivant la transformation 4→1. Cette chaleur récupérée lors de la transformation 4→1 est restituée au gaz lors de l'étape 2→3. Etant donné ce mode de fonctionnement, quelle est la transformation lors de laquelle le milieu extérieur doit fournir de la chaleur au gaz ? Etablir alors l'expression théorique du rendement de ce moteur en fonction de T_2 et T_3 . Commenter ce résultat.

1.6 Pour un cycle réel, on obtient : $W = -65$ J, $Q_{34} = 300$ J. Sachant que le cycle est répété 750 fois par minute, en déduire la puissance mécanique fournie sous forme de travail. Calculer également la puissance thermique fournie au gaz par la source chaude.

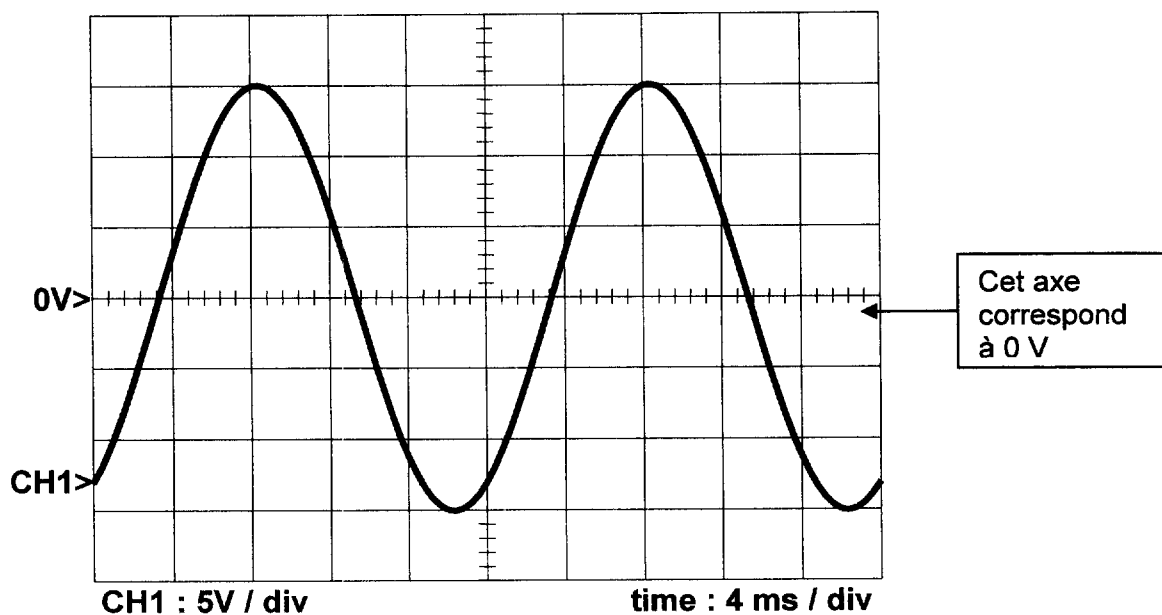
Partie 2 : Etude du circuit électrique

Étude de l'alternateur

Le moteur thermique étudié précédemment entraîne un alternateur dont l'induit comporte 3 enroulements couplés en étoile :



Le rotor de l'alternateur tournant à 750 tr/min, on relève sur un oscilloscope, la tension $u(t)$ entre 2 phases de l'induit pour un fonctionnement à vide ($i(t)=0$) :

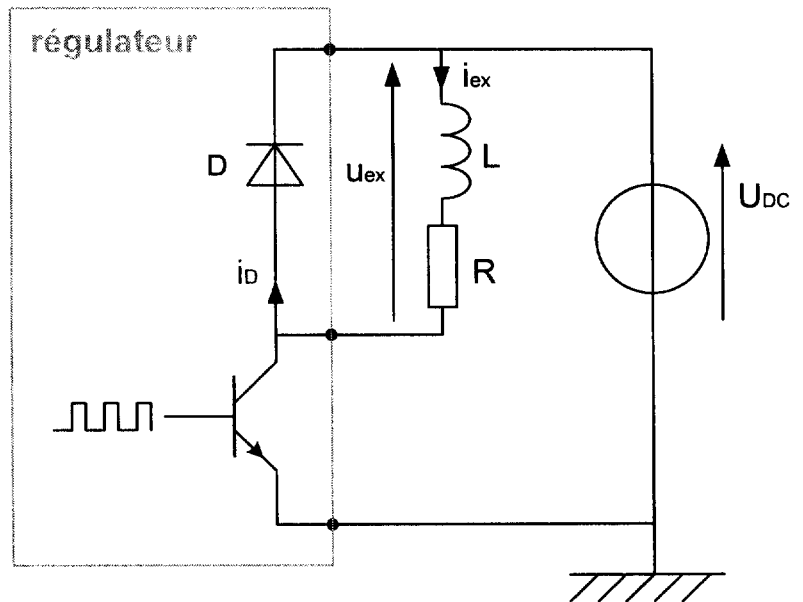


- 2.1 Déterminer la fréquence de la tension $u(t)$. En déduire le nombre de pôles de l'inducteur.
- 2.2 Déterminer l'amplitude et la valeur efficace de la tension $u(t)$. En déduire la valeur efficace de la fém aux bornes d'un enroulement de l'induit.
- 2.3 On maintient la vitesse de rotation du groupe moteur thermique – alternateur constante. On constate alors, pour un fonctionnement en charge de l'alternateur, une diminution de l'amplitude de la tension $u(t)$. Sur quelle grandeur électrique externe faut-il agir pour annuler cette chute de tension ?

Étude du régulateur

L'inducteur de l'alternateur est alimenté par un hacheur série piloté par un régulateur de tension. La diode D et le transistor sont des composants parfaits. On note T la période et α le rapport cyclique de ce hacheur :

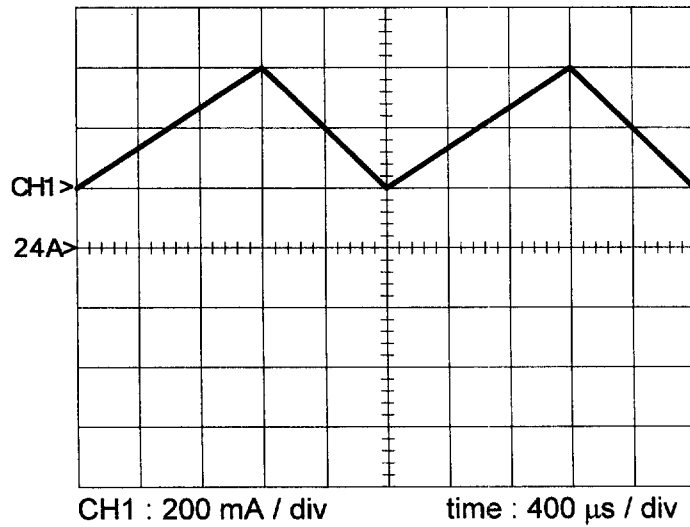
- pour $0 \leq t < \alpha \cdot T$, le transistor est passant ;
- pour $\alpha \cdot T \leq t < T$, le transistor est bloqué .



La tension U_{DC} est issue du redressement de la tension de sortie de l'alternateur ; U_{DC} est considérée comme constante de valeur $u_{DC}(t) = U_{DC} = 14V$. L'inducteur est modélisé par le circuit inductif d'inductance L et de résistance R , de la figure. Un relevé de l'intensité $i_{ex}(t)$ du courant traversant l'inducteur est donné sur le document réponse. La mesure de sa valeur moyenne donne : $\langle i_{ex}(t) \rangle = 24,40 A$.

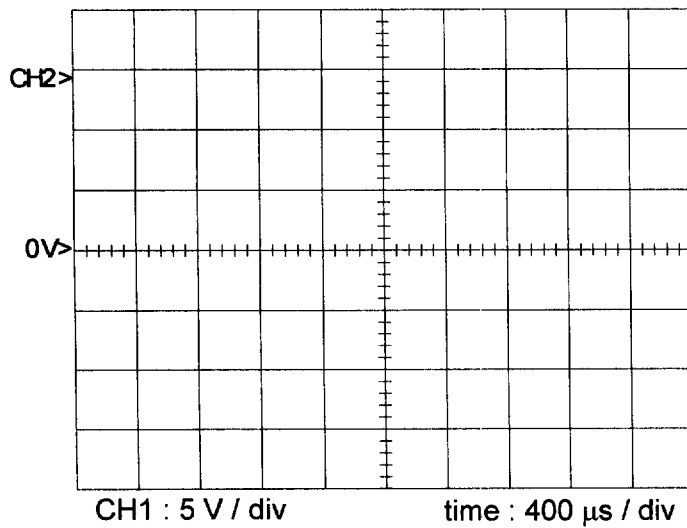
- 2.4 Sur le document-réponse n°2, tracer la forme d'onde de la tension $u_{ex}(t)$ aux bornes de l'inducteur. On justifiera le tracé en précisant l'état de la diode. Préciser la valeur du rapport cyclique α et la fréquence f du hacheur.
- 2.5 Calculer la valeur moyenne de la tension $u_{ex}(t)$. En déduire la valeur de la résistance R .
- 2.6 Calculer la valeur moyenne $\langle i_D \rangle$ de l'intensité du courant qui traverse la diode D.

Question 2.4 : forme d'onde de la tension $u_{ex}(t)$



Oscillogramme n°1 :
courant $i_{ex}(t)$

Cet axe de la figure
correspond à 24 A



Oscillogramme n°2 :
tension $u_{ex}(t)$
à compléter

Cet axe de la figure
correspond à 0 V