

Banque d'épreuves Archimède

CONCOURS 1998

Option : BCPST

PHYSIQUE

Durée: 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées sous réserve des conditions définies dans la circulaire n° 86-228 du 28 juillet 1986.

Ce problème étudie le comportement d'un appareil industriel M alimenté par une source de tension continue (partie I), ou par une source de tension sinusoïdale (parties II et III) ainsi qu'une possibilité de refroidissement de l'appareil par des ailettes (partie IV).

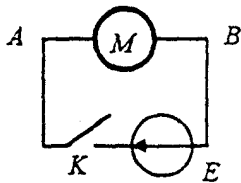
L'appareil M sera représenté par le symbole ci-contre.



Son comportement électrique vis à vis des circuits extérieurs sera toujours supposé pouvoir être modélisé comme équivalent à celui d'une résistance $R = 9,6 \, \Omega$ en série avec une inductance pure $L = 45 \text{ mH}$.

PARTIE I : ETINCELLE DE RUPTURE

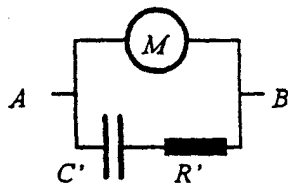
I-1) On considère le circuit représenté ci-contre où E est la force électromotrice d'un générateur de tension continue.



a) L'interrupteur K étant ouvert depuis longtemps, on le ferme à l'instant $t = 0$. Etablir l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant dans le circuit en fonction du temps et tracer l'allure de son graphe. Quelle est l'expression de l'intensité I en régime permanent ?

b) Le régime permanent précédent étant établi, on ouvre K . On observe à l'ouverture du circuit une étincelle aux bornes de K . Expliquez ce phénomène.

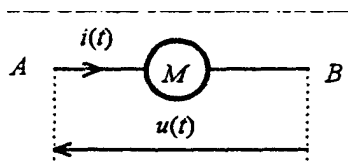
I-2) Pour éviter cette étincelle, on monte en parallèle avec l'appareil M , entre ses bornes A et B , un condensateur de capacité C' en série avec une résistance R' . Cette mise en parallèle constitue un dipôle AB .



a) Déterminer les expressions littérales et les valeurs numériques de R' et de C' pour que l'impédance complexe Z_{AB} du dipôle AB en régime alternatif sinusoïdal de pulsation ω ne dépende pas de $j\omega$ (où $j = \sqrt{-1}$) et soit ainsi réelle. Que vaut alors cette impédance complexe ?

b) Le dipôle AB étant alimenté depuis longtemps par la f.e.m. continue E , expliquer pourquoi, à l'ouverture du circuit, on n'observe plus d'étincelle aux bornes de l'interrupteur K . Que deviennent les intensités, i fournie par le générateur, i_M dans l'appareil M et i' dans la branche $C'R'$ à cet instant ?

PARTIE II : PUISSANCE CONSOMMEE EN REGIME ALTERNATIF



L'appareil M est maintenant alimenté par la tension alternative sinusoïdale délivrée par E.D.F. (tension efficace $U_E = 220 \text{ V}$, fréquence $f = 50 \text{ Hz}$) de la forme $u(t) = U_E \sqrt{2} \cos \omega t$ où ω est la pulsation. L'intensité traversant l'appareil est alors sinusoïdale, de la forme $i(t) = I_E \cos(\omega t - \varphi)$ où φ est le déphasage.

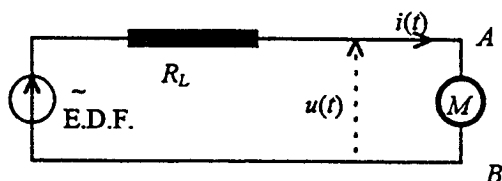
II-1) Quelle est l'expression de la puissance instantanée $P(t)$ reçue par l'appareil ? En déduire l'expression de la puissance moyenne P_{moy} qu'il consomme au cours du temps.

II-2) On appelle *facteur de puissance* de l'appareil la valeur de $\cos \varphi$. Exprimer ce facteur de puissance :

- a) si l'appareil M était équivalent à la résistance pure R ;
- b) si l'appareil M était équivalent à l'inductance pure L ;
- c) pour l'appareil M considéré dans ce problème.

II-3) Calculer numériquement dans chacun des trois cas a), b), c) précédents l'intensité efficace du courant qui alimente l'appareil M et la puissance moyenne P_{moy} qu'il consomme.

PARTIE III: AMELIORATION DU FACTEUR DE PUISSANCE



L'appareil M est ici alimenté en régime sinusoïdal comme dans la partie II et consomme ainsi la puissance P_{moy} calculée à la question II-3) c).

Pour amener le courant à l'installation, E.D.F. utilise une ligne électrique extérieure de résistance totale R_L .

III-1) Exprimer la puissance moyenne P_L perdue par effet Joule par E.D.F. dans cette ligne lorsque l'appareil M fonctionne, en fonction de R_L, U_E, P_{moy} et $\cos \varphi$.

III-2) E.D.F. impose la minimisation de ses pertes de puissance dans la ligne qui lui sert à amener le courant.

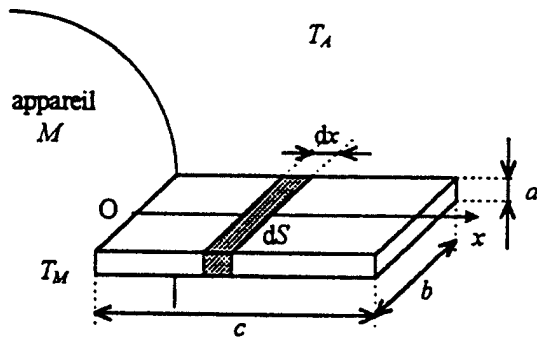
Quel devrait être le facteur de puissance de l'installation pour qu'il en soit ainsi ?

III-3) Pour améliorer ce facteur de puissance de l'installation, on associe en parallèle à l'appareil M un condensateur de capacité C .

a) Quelle valeur de C doit-on choisir pour que le facteur de puissance de l'installation devienne optimum pour E.D.F. ?

b) Quelles sont alors les valeurs numériques de l'intensité efficace et de la puissance moyenne consommée par l'installation ? Conclure.

PARTIE IV: AILETTES DE REFROIDISSEMENT



Pour éviter un échauffement de l'appareil trop important, dû à l'effet Joule, on munit son boîtier d'ailettes de refroidissement métalliques. Chaque ailette est parallélépipédique, de dimensions :

épaisseur : $a = 2,0 \text{ mm}$

largeur : $b = 10 \text{ cm}$

et longueur : $c = 20 \text{ cm}$.

On pourra admettre que a est négligeable devant b .

En fonctionnement, le boîtier de l'appareil M sera maintenu à la température $T_M = 60^\circ \text{C}$. L'air extérieur, qui circule, est de température constante et uniforme $T_A = 20^\circ \text{C}$, sauf au voisinage immédiat de l'ailette, entourée d'une couche limite d'air thermiquement peu conductrice dont la température reste localement voisine de celle de la surface de l'ailette.

Dans, l'ailette, on admettra que le transfert thermique, de type conductif, peut être considéré comme

monodimensionnel dans la direction de l'axe Ox, et qu'il obéit à la loi de Fourier :

$$\vec{j}(x) = -u_x \lambda \frac{dT}{dx}$$

où $\vec{j}(x)$ est le vecteur densité de flux thermique à l'abscisse x , mesurée à partir de l'origine O au contact du boîtier de l'appareil, où u_x est le vecteur unitaire dans la direction Ox, et où $\lambda = 16 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. $T(x)$ est la température à l'abscisse x dans l'ailette.

Il existe aussi un transfert thermique de l'ailette vers l'air ambiant, à travers la couche limite. Le flux thermique entre la surface latérale dS (en gris sur la figure) de l'élément d'ailette de longueur dx et l'air ambiant est de la forme : $dP = h(T(x) - T_A)dS$ où $h = 150 \text{ SI}$ est un coefficient uniforme et constant.

IV-1) Expliquer la loi de Fourier et donner l'unité du coefficient h dans le système international.

IV-2) Ecrire le bilan des échanges d'énergie pour la tranche d'ailette comprise entre les abscisses x et $x + dx$, en régime permanent stationnaire d'échange thermique.

On posera $L = \sqrt{\frac{\lambda a}{2h}}$ et on donnera la valeur numérique de L ainsi que son unité.

En déduire que la température $T(x)$ est solution de l'équation différentielle :

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{1}{L^2}(T(x) - T_A) = 0$$

IV-3) Résoudre cette équation différentielle pour déterminer l'expression de $T(x)$. On vérifiera que $c \gg L$ et on pourra donc considérer c comme infini pour simplifier les conditions aux limites et obtenir une expression simple de $T(x)$.

IV-4) a) Donner l'expression de la puissance thermique dP sortant de la surface latérale dS de la tranche d'ailette comprise entre les abscisses x et $x + dx$ (en gris sur la figure).

b) En déduire l'expression de la puissance thermique totale P évacuée par l'ailette, ainsi que sa valeur numérique.

c) Exprimer et calculer la puissance thermique transmise du boîtier de l'appareil M à l'ailette en $x = 0$. Conclure.

d) Combien faudrait-il fixer d'ailettes sur le boîtier pour évacuer un flux thermique total de $0,9 \text{ kW}$?

e) La taille de chaque ailette peut-elle être réduite sans changer notablement l'ensemble des résultats précédents ? Si oui, expliquez comment et pourquoi.