CONCOURS D'ACCES EN PREMIERE ANNEE DU CYCLE D'INGENIEURS D'ETAT

19 Juillet 2005

Epreuve de PHYSIQUE

(Durée :2 h 30mn)

Avertissement

- Les 2 problèmes doivent être traités sur des feuilles séparées.
- L'appréciation des copies tient compte de la rigueur, de la clarté des raisonnements et de la présentation.
- Encadrer vos résultats.
- Ecrire avec un stylo à bille ou à encre, bleu ou noir.

Problème 1

Pour générer des ultrasons, on utilise une plaquette de matériau piézoélectrique dont deux faces opposées sont métallisées. On applique une tension périodique électrique, de fréquence f, entre les surfaces métallisées. Pour une certaine valeur de la fréquence f_0, la plaquette rentre en résonance mécanique. Les vibrations de la plaquette (de même fréquence f_0) sont ensuite communiquées au fluide qui l'entoure et génèrent des ondes ultrasonores.

On se propose d'étudier seulement le comportement électrique de la plaquette piézoélectrique, assimilable au dipôle MN de la figure 1.

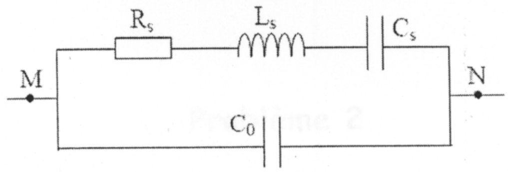

figure.1

1.1. Etude simplifiée : on néglige d'abord les phénomènes dissipatifs (dissipation de puissance) représentés par la résistance R_s. Le schéma électrique équivalent de la plaquette piézoélectrique est alors celui de la figure 2.

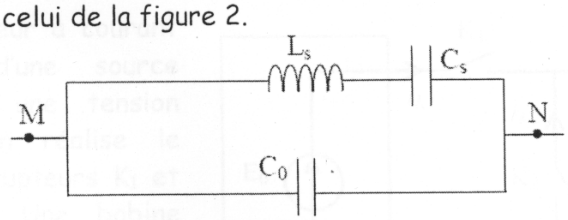

figure.2

1.1.1. L'impédance Z_p de la plaquette est de la forme $Z_p = jX$. Montrer que X peut se mettre sous la forme :

$$X = -\frac{1-\frac{\omega^2}{\omega_s^2}}{C\omega\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_p^2}\right)}$$

On précisera les valeurs des pulsations ω_s et ω_p et du coefficient C.

1.1.2 Pour la plaquette utilisée, les éléments du schéma électrique équivalent sont les suivants : $L_s = 1000$ H ; $C_s = 0{,}4$ pF ; $C_0 = 60$ pF.

Donner les valeurs des pulsations ωs et ωp et de l'écart relatif (ωs - ωp)/ ωs .

1.1.3 Tracer sur le même graphe l'amplitude et la phase de Z_p.

1.1.4 Comment se comporte ce montage dans l'intervalle de pulsation $[0,\omega_S[\cup]\omega_p,\infty[$ et dans $]\omega_s,\omega_p[$?

[redacted]

La voie 2 représente la tension obtenue par une sonde de courant : cette tension est proportionnelle à l'intensité i du courant traversant le moteur (sensibilité de la sonde : 1 volt par ampère).

On s'intéresse au **fonctionnement sur une période** entre les instants 0 et T. On note αT l'instant de commutation à partir duquel la tension V vaut 0 (V = 0 pour $\alpha T \leq t < T$). (α est un réel tel que : $0 < \alpha < 1$)

Base de temps : 10 μs par carreau

Voie 1 : - mode DC

- 20 V par carreau

Voie 2 (entre les deux curseurs figurant en pointillés) :

- mode AC
- 0,1 V par carreau

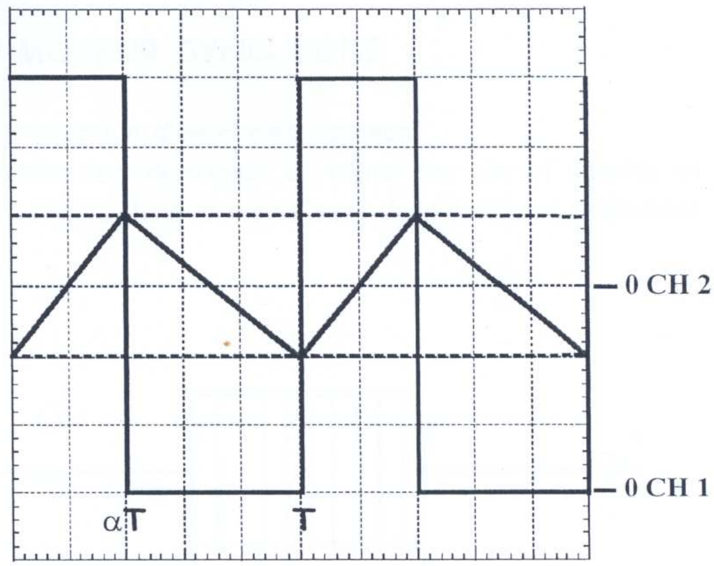

Figure 5

(NB : Les origines des canaux 1 et 2 de l'oscilloscope sont différentes)

1.1.4.1. Représenter le circuit électrique (comprenant le moteur à courant continu) qui équivaut au montage de la figure 4 dans chaque phase de fonctionnement ($0 \leq t < \alpha T$ d'une part et $\alpha T \leq t < T$ d'autre part).

1.1.4.2. Ecrire les équations d'évolution i(t) de l'intensité du courant en fonction du temps (on notera Im et IM les valeurs minimale et maximale de i) :

a) pour $0 \leq t < \alpha T$

b) pour $\alpha T \leq t < T$

1.1.4.3. Représenter rapidement, sur des figures distinctes, les graphes de i_{K1} et i_{K2} en fonction du temps.

1.1.4.4. Déduire de l'oscillogramme de la figure 5 et des conditions de réalisation de l'essai correspondant:

a) la valeur de E_0

b) la valeur de α correspondant à l'essai réalisé

c) la valeur de E correspondant à l'essai réalisé

d) la valeur de L

e) la valeur moyenne $<i_{K1}>$ du courant débité par la source E_0

f) la valeur moyenne $<i>$ du courant circulant dans l'induit.

1.1.5. Dans le cas d'un moteur à courant continu réel (si on prend en compte la résistance R), pourquoi a-t-on intérêt, pour améliorer le rendement, à limiter l'ondulation du courant dans l'induit (c'est-à-dire à limiter les variations du courant autour de sa valeur moyenne) ?

Deuxième PARTIE: PRINCIPE DU MOTEUR SYNCHRONE

2.1. Stator de la machine synchrone : production d'un champ tournant

On constitue un système (S_1) de deux solénoïdes identiques de même axe *Ox* et montés en série de sorte qu'un courant d'intensité *i1* circule dans le même sens dans les deux solénoïdes (figure 6).

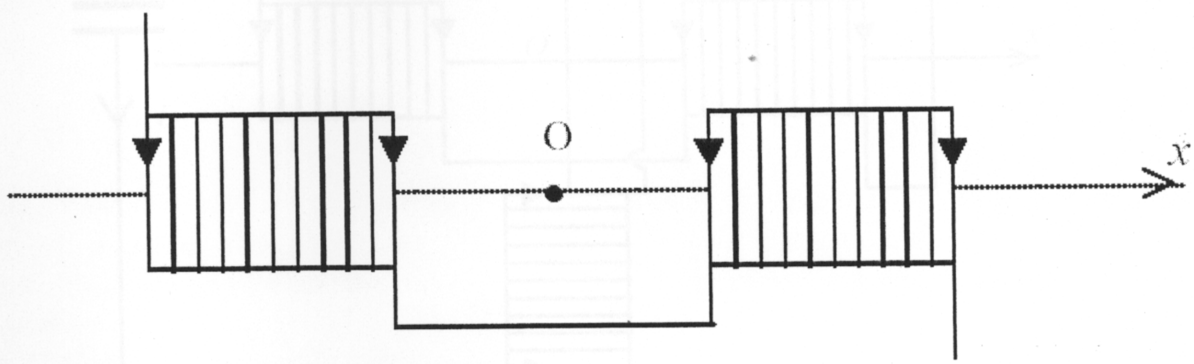

Figure 6

Dans ces conditions, champ d'induction magnétique au centre O du système (S_1) peut se mettre sous la forme:

$\vec{B}_1 = k.i_1.\vec{e}_x$ (k est une constante et $\vec{e}_x$ est le vecteur unitaire de l'axe Ox).

On place maintenant deux systèmes (S_1) et (S_2) identiques au précédent selon la configuration de la figure 5 (les axes *Ox* et *Oy* de (S_1) et (S_2) sont perpendiculaires et se coupent en O).

Chacun des systèmes (S_1) et (S_2) a une résistance totale R et une inductance totale L.

On branche en parallèle entre les bornes A et B d'une source de tension sinusoïdale idéale de f.é.m. $u = U.\sqrt{2}.\cos\omega_0 t$

- le système (S_1) en série avec une résistance R_0 d'une part,
- le système (S_2) en série avec une résistance de même valeur R_0 et avec un condensateur de capacité C d'autre part.

En régime permanent sinusoïdal, les intensités réelles $i_1(t)$ et $i_2(t)$ des courants circulant dans (S_1) et (S_2) sont de la forme :

$$i_1(t) = I_1.\sqrt{2}.\cos(\omega_0.t - \varphi_1) \quad \text{et} \quad i_2(t) = I_2.\sqrt{2}.\cos(\omega_0.t - \varphi_2)$$

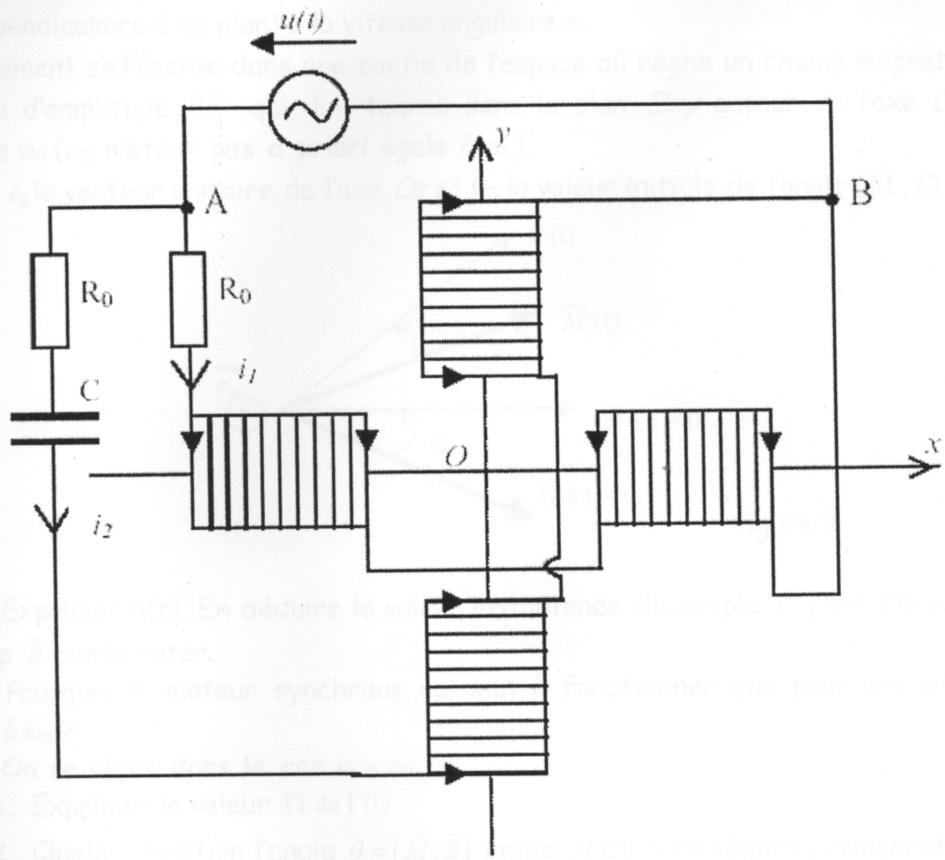

Figure 7

2.1.1. En utilisant les propriétés de symétrie du champ magnétique, justifier la direction du vecteur champ d'induction magnétique $\vec{B}$ créé par le système (S_1) au point O.

2.1.2. Donner les expressions de I_1, I_2, $\tan\varphi_1$ et $\tan\varphi_2$ en fonction de U, R, R_0, L, C et ω_0

2.1.3. **a)** Les valeurs de R, L et ω_0 étant imposées, quelles valeurs faut-il donner à R_0 et C pour que : $I_1 = I_2$ et que $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi/2$?

b) Que valent alors φ_1 et φ_2 ?

2.1.4. En considérant remplies les conditions précédentes ($I_1 = I_2$ et $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi/2$), déterminer les composantes sur Ox et sur Oy du vecteur champ d'induction magnétique total $\vec{B}$ en O (on notera B_T son module que l'on exprimera en fonction de U, K et $L\,\omega_0$).

2.1.5. **a)** Justifier l'appellation de « champ tournant » pour ce champ magnétique total $\vec{B}$.

b) Préciser à quelle vitesse ce champ tourne dans le plan Oxy.

2.2. Entraînement du rotor du moteur synchrone

La partie mobile du moteur synchrone (rotor) est constituée d'un bobinage alimenté par un courant continu et assimilable à un aimant de moment magnétique *M*, de module M_0 constant.
On suppose est animé dans le plan *Oxy* d'un mouvement de rotation uniforme autour de l'axe *Oz* (perpendiculaire à ce plan) à la vitesse angulaire ω.
Le mouvement s'effectue dans une partie de l'espace où règne un champ magnétique $\vec{B}$ supposé uniforme d'amplitude *BT* qui, lui, tourne dans le plan *Oxy* autour de l'axe *Oz* à la vitesse angulaire ω_0 (ω_0 **n'étant pas a priori égale à** ω).
On note $\vec{e}_z$ le vecteur unitaire de l'axe *Oz* et θ_0 la valeur initiale de l'angle ($\vec{M}$,*B*) (cf. figure 8).

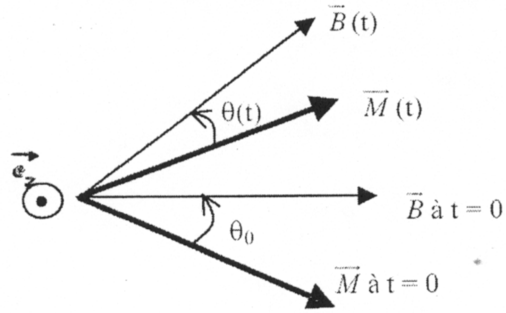

figure 8

2.2.1. Exprimer θ(t). En déduire la valeur instantanée du couple $\vec{\Gamma}$ *(t)* = $\Gamma(t).\vec{e}_z$ *(t)* exercé par le champ $\vec{B}$ sur le rotor.
2.2.2. Pourquoi le moteur synchrone ne peut-il fonctionner que pour une vitesse angulaire ω égale à ω_0 ?
2.2.3. On se place dans le cas $\omega = \omega_0$:
2.2.3.1. Exprimer la valeur Γ_0 de $\Gamma(t)$.
2.2.3.2. Quelle condition l'angle $\theta = \left(\vec{M}, \vec{B}\right)$ entre $\vec{M}$ et $\vec{B}$ en régime permanent doit-il vérifier pour que cette machine fonctionne effectivement en moteur ?
2.2.3.3. Quelle est, dans ce cas (fonctionnement en moteur), la puissance mécanique $P_{méca}$ fournie par le moteur ?
2.2.3.4. On suppose que la machine, fonctionnant en moteur, entraîne une « charge » qui impose au moteur un couple résistant de module constant Γ_r (les autres couples résistants étant négligés).
Quelle condition doit vérifier Γ_r pour que le moteur puisse effectivement entraîner la charge ?