

Épreuve de **PHYSIQUE (PT2)**

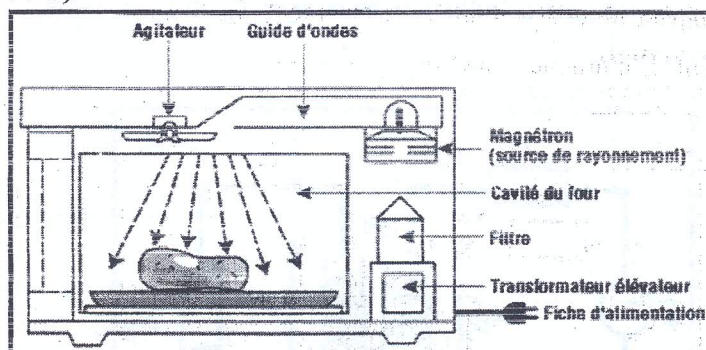
Mardi 02 février 2021 de 8h 30 à 12h 30

Toutes les parties sont **indépendantes**.

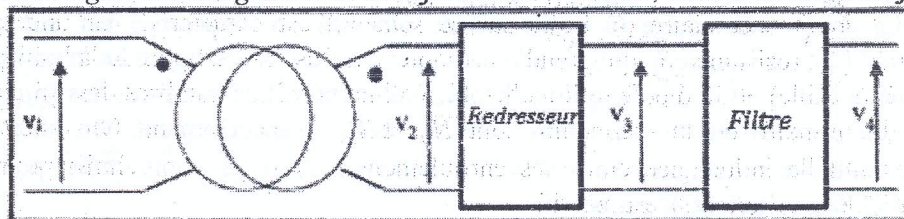
Parties A et B : Devoir de contrôle - Parties C, D et E : Devoir de synthèse

Le four à micro-ondes

Un **four à micro-ondes** est un appareil utilisé principalement pour le chauffage et la cuisson rapide d'aliments, par l'agitation des molécules d'eau qu'ils contiennent, sous l'effet d'un rayonnement électromagnétique, dans le domaine des micro-ondes, de longueurs d'ondes dans le vide ($1\text{mm} < \lambda < 1\text{m}$).



Pour obtenir des micro-ondes, il faut donc générer un champ électromagnétique. C'est le rôle du **magnétron** alimenté par un courant électrique. Un magnétron de 750W (puissance fournie) demande une tension de 2300 V à 0,6 A en alimentation électrique continue. Le signal électrique venant du secteur est sous la forme d'une tension $v_1(t) = 230 \cos(2\pi \times 50 t)$, il est ensuite transformé en signal continu grâce à un **transformateur élévateur**, un **redresseur** et un **filtre**.



Le magnétron est constitué de deux électrodes conductrices : une cathode chauffante émettrice des électrons par effet thermoélectronique et une anode cylindrique, composée de cavités, de même axe que la cathode.

Un champ électrostatique est appliqué entre l'anode et la cathode. Les électrons libérés par la cathode sont alors accélérés par le champ électrique continu. Des aimants sont présents pour contrôler la trajectoire de ces électrons, ainsi ils vont créer un champ magnétique axial. Ces charges évoluant entre l'anode et la cathode vont entrer en interaction avec les cavités du bloc anodique qui deviennent le support d'oscillations électromagnétiques.

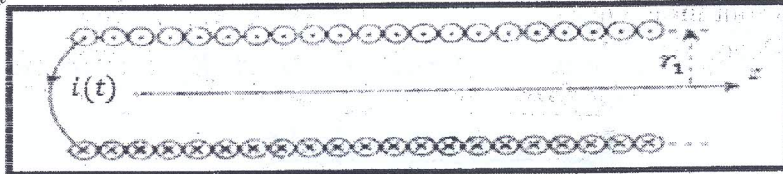
En résumé, le rayonnement électromagnétique (les micro-ondes pour le four) est dû aux mouvements des électrons dans les cavités anodiques. Les dimensions de ces cavités sont calculées pour que les ondes aient une fréquence de **2,45 GHz** environ.

Devoir de contrôle

Partie A : Étude d'un Transformateur (9,5 pts)

Propre et mutuelle inductance

A-1) On considère un long solénoïde Σ_1 , d'axe Oz, de rayon r_1 et de longueur ℓ contenant N_1 spires parcouru par un courant $i(t)$. Le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde est donné par $\vec{B}_1(t) = \frac{N_1}{\ell} \mu_0 i(t) \vec{e}_z$.



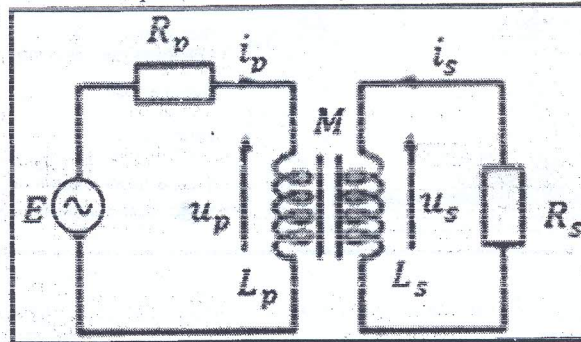
Déterminer l'inductance propre L_1 du solénoïde en fonction de N_1 et $L_0 = \frac{\mu_0 \pi r_1^2}{\ell}$.

A-2) On considère maintenant deux solénoïdes coaxiaux Σ_1 et Σ_2 , de même longueur ℓ , de rayon r_1 et $r_2 < r_1$ contenant N_1 et N_2 spires respectivement.

Montrer que le coefficient de mutuelle inductance $M = N_1 N_2 L'_0$ où $L'_0 = \frac{\mu_0 \pi r_2^2}{\ell}$.

Principe d'un transformateur

On considère le transformateur représenté sur la figure ci-dessous.



Le circuit primaire (à gauche sur ce schéma) est caractérisé par une auto-inductance notée L_p , et une résistance R_p . Il est alimenté par un générateur idéal de tension d'amplitude E à la pulsation ω . Le circuit secondaire (à droite sur ce schéma) est caractérisé par une auto-inductance notée L_s et résistance R_s qui prend en compte à la fois la résistance de la bobine (le plus souvent négligeable) et du dipôle qu'on cherche à alimenter. Les nombres des spires des enroulements du primaire et du secondaire sont N_p et N_s , respectivement. On note M le coefficient de mutuelle inductance entre ces enroulements. Avec le sens choisi pour les intensités i_p et i_s , le coefficient M est positif.

On ne fait dans un premier temps aucune hypothèse sur les relations liant L_p , L_s et M .

A-3) Énoncer la loi de Faraday et préciser la signification d'un éventuel signe (-).

A-4) Montrer que le primaire et le secondaire sont le siège d'un phénomène d'induction. De quel type de Neumann ou de Lorentz ?

A-5) Calculer alors les forces électromotrices induites dans le primaire et le secondaire.

A-6) Établir le système d'équations couplées vérifiées par les intensités i_p et i_s , en régime sinusoïdal établi.

A-7) En déduire le rapport des amplitudes complexes $\frac{L_p}{L_s}$, puis l'expression de L_p en fonction de E et des caractéristiques des circuits.

Cas d'un transformateur idéal

On considère maintenant le cas d'un transformateur idéal vérifiant :

- $L_p L_s \approx M^2$ et $\frac{L_s}{L_p} \approx \frac{N_s^2}{N_p^2}$
- les résistances sont négligeables devant les impédances inductives.

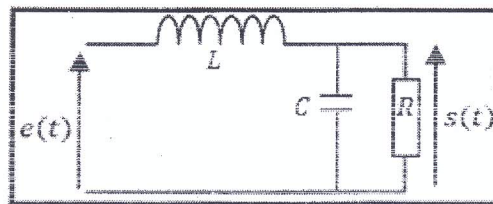
A-8) Simplifier l'expression précédente de I_p (l'exprimer en fonction de E , R_s et R_p). Interpréter à quoi est équivalent le circuit secondaire vu du circuit primaire ?

A-9) Établir les expressions des rapports $\frac{U_s}{U_p}$ et $\frac{I_s}{I_p}$ en fonction de N_p et N_s .

A-10) Estimer alors, pour un four à micro-ondes, le rapport $\frac{N_s}{N_p}$.

Partie B : Étude du filtre (10,5 pts)

On excite le circuit de la figure ci-dessous par une tension $e(t) = U_{e,m} \cos(\omega t)$ et on mesure à vide la tension de sortie $s(t) = U_{s,m} \cos(\omega t + \varphi)$.



B-1) Montrer que la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{s(t)}{e(t)} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j\frac{\omega}{Q\omega_0}}$ où ω_0 et Q sont des

constantes positives fonctions de R , L et C . On prendra dans la suite $Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

B-2) Déterminer la nature du filtre et calculer le gain $G(\omega)$.

B-3) Commenter le comportement du filtre pour $\omega \ll \omega_0$ et $\omega \gg \omega_0$.

B-4) Tracer le digramme de Bode en gain $G_{dB} = \mathcal{G}\left(\log\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\right)$.

La tension $v_3(t) = S_m |\sin(\omega t)| = S_m |\sin(100\pi t)|$, est appliquée à l'entrée du filtre. C'est un signal redressé double alternance issu d'un pont à diodes non étudié ici. Le signal de sortie est noté $v_4(t)$. La décomposition en série de Fourier de $v_3(t)$ est donnée par :

$$v_3(t) = v_{3,moy} + \sum_{p=1}^{\infty} \frac{4 S_m}{(1 - (2p)^2)\pi} \cos(2p\omega t)$$

B-5) Tracer l'allure de $v_3(t)$.

B-6) Calculer sa valeur moyenne $v_{3,moy}$.

B-7) Représenter le spectre de $v_3(t)$ en précisant la signification des différents termes et commenter sa structure.

B-8) Comment choisir ω_0 pour obtenir un fonctionnement moyenné ? Justifier.

On suppose que le spectre de $v_4(t)$ contient une composante continue et une seule harmonique.

B-9) Déterminer une expression approchée de $v_4(t)$.

B-10) Le taux d'ondulation τ_{ond} est défini par le rapport de la valeur efficace de l'ondulation du signal sur sa valeur moyenne. Calculer ω_0 pour avoir $\tau_{ond} < 1\%$.

B-11) Le four est équipé d'un plateau tournant effectuant 3 tours par minute. Le critère de Shannon est-il respecté pour un observateur regardant le mouvement du plateau ? Justifier.
