Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2001, filière PC

Physique 2

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Problème I : transformateur d'impulsions
- Problème II : guides d'onde diélectriques

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/pc/2001/physique2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

SESSION 2001

PC008

CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PC

PHYSIQUE 2

DURÉE: 4 heures

L'utilisation des calculatrices est autorisée - Les deux problèmes sont indépendants

PROBLEME I - ETUDE D'UN TRANSFORMATEUR D'IMPULSIONS

Le transformateur étudié sert à déclencher la conduction des thyristors dans les montages d'électronique de puissance.

Le primaire et le secondaire ont chacun le même nombre de spires N. Les caractéristiques de chaque enroulement, inductance propre et résistance, sont L=2mH et r=1,2 mΩ.

Pour deux bobines couplées, si les courants i_1 et i_2 ont le même sens par rapport aux bornes marquées (bornes homologues - figure 1), l'inductance mutuelle L_{12} est positive.

On note $|L_{12}| = |L_{21}| = M$.

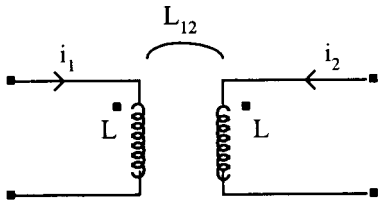


Fig. 1

Le couplage entre les enroulements est parfait, c'est-à-dire L = M (M étant l'inductance mutuelle).

Le noyau du transformateur est en ferrite dont on idéalisera la caractéristique d'aimantation par la courbe donnée sur la figure 2.

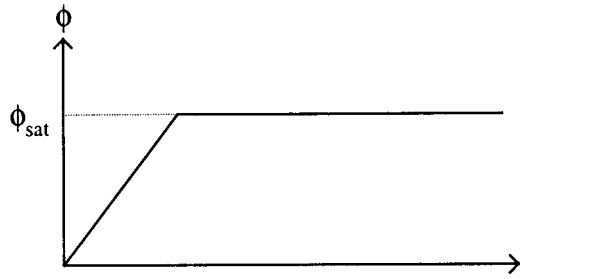


Fig. 2

$\phi(t)$ représente le flux magnétique à travers une section droite du circuit magnétique.

Les inductances propres L et mutuelle M ne sont définies qu'en dehors de la zone de saturation.

I.1 Etude à vide (is = 0)
Les notations sont définies sur la figure 3.

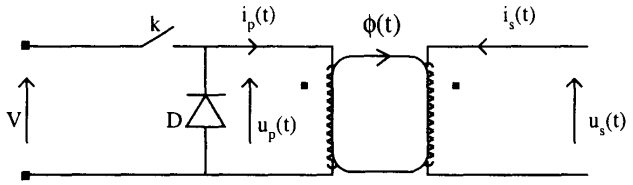


Fig. 3

V est une tension positive fixe et l'interrupteur k est réalisé par un transistor bipolaire.

I.1.1 A l'instant t = 0, on ferme l'interrupteur k. Exprimer la tension $u_P(t)$ et le courant $i_P(t)$, en déduire le flux $\phi(t)$ et la tension secondaire $u_s(t)$ en fonction de V et des caractéristiques du transformateur. On négligera pour cette étude la résistance de l'enroulement et on considérera qu'à t = 0, $i_P = i_s = 0$ (conditions initiales).

I.1.2 Le flux croît alors jusqu'à saturation du circuit magnétique.
Exprimer le produit $(V.t_{max})$ en fonction de ϕ_{sat}. Le fabricant donne $V.t_{max}$ = 400 V.µs. En déduire la valeur de t_{max} pour V = 10 V et calculer la valeur de i_{pmax} qui correspond à t_{max}.

I.1.3 On veut prévoir ce qui se passerait si l'interrupteur k restait fermé au-delà de t_{max}. Quelle serait alors la valeur de u_s ?
Montrer qu'il est nécessaire de tenir compte de r pour calculer i_P ; quelle est la valeur de i_P ?

I.1.4 A l'instant $t_1=t_{max}$, on ouvre l'interrupteur k. La diode D a une tension de seuil V_S=0,8V et une résistance interne négligeable (figure 4).

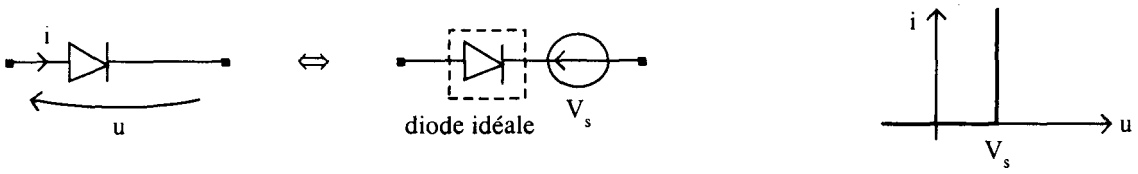


Fig. 4

Donner le schéma équivalent du circuit qui permet de calculer $i_P(t)$ pour $t \geq t_1$ (on prend en considération la résistance de l'enroulement).

I.1.5. Ecrire la loi des mailles dans ce circuit. En déduire l'expression de $i_P(t)$ pour $t \geq t_1$.

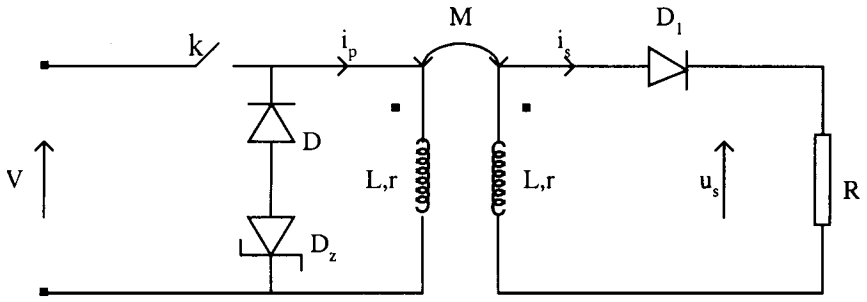
I.1.6 A l'instant t_2 le courant i_P s'annule. Donner l'expression de $t_d=t_2-t_1$. Calculer la valeur numérique de t_d.

I.1.7 On ajoute une diode zener en série avec D, ce qui a pour effet d'augmenter le seuil de conduction à la valeur (V_S+V_Z). Calculer t_d pour V_Z=6,8V. Conclure.

I.1.8 Dans ce cas, calculer $u_s(t)$ et représenter pour $t \in [0, 100\ \mu s]$ l'allure des courbes $i_p(t)$, $u_p(t)$ et $u_s(t)$.

I.2 Etude en charge pour $t \leq t_1$

Le montage à étudier est donné dans la figure 5.



L=2mH
r=1,2mΩ
R=100Ω
V=10V
M=L (couplage parfait)

Fig. 5

D_l est une diode de commutation idéale. A t=0, on ferme l'interrupteur k.

I.2.1 Ecrire la loi des mailles pour le primaire et le secondaire du transformateur avec $i_p(0-)=i_s(0-)=0$

I.2.2 Le flux magnétique ϕ étant une fonction continue de t, montrer que $i_p(0+)=i_s(0+)$. Déterminer $i_p(0+)$ en utilisant les équations de I.2.1.

I.2.3 Ecrire l'équation différentielle satisfaite par $i_p(t)$.

I.2.4 On note $\tau = \frac{1}{r}\left(\frac{Mr}{r+R} + L\right)$. En déduire $i_p(t)$ et $i_s(t)$.

I.2.5 Exprimer $u_s(t)$. Calculer $u_s(t)$ pour $t=t_1=40\ \mu s$. Conclure.

I.2.6 L'interrupteur k est ouvert à l'instant t_1 ; expliquer le rôle de la diode D_l pour $t \geq t_1$, en s'appuyant sur le résultat de la question I.1.8 concernant u_s.

PROBLEME II - ETUDE DES GUIDES D'ONDE DIELECTRIQUES

Le développement des communications avec des fibres optiques confère aux guides diélectriques une importance croissante.

Le guide d'onde diélectrique plan est beaucoup utilisé en optoélectronique pour réaliser des coupleurs, des circuits résonants, etc.

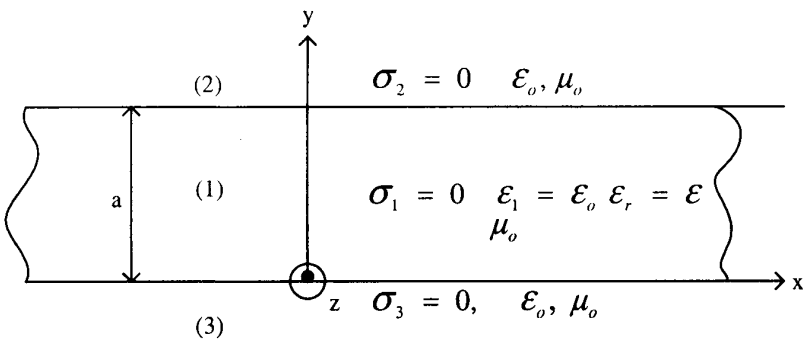
Les guides diélectriques sont des guides ouverts, pour lesquels la propagation des ondes électromagnétiques monochromatiques a lieu pour une fréquence supérieure à une fréquence de seuil.

A l'extérieur du guide plan a lieu la propagation d'une onde de surface, à distribution exponentielle dans une section transversale, onde qui se concentre à la surface de séparation des milieux au fur et à mesure que la fréquence augmente.

Les nombres d'onde critiques sont fonction de la fréquence de travail.

Toutes ces propriétés seront illustrées dans ce qui suit.

On considère une plaque diélectrique dans l'espace vide (figure 1).



σ_1, σ_2 et σ_3 : conductivités électriques
ε_r : permittivité relative
ε_o : permittivité absolue du vide
μ_0 : perméabilité absolue du vide

Fig. 1

La composante E_Z du champ électrique $\vec{E} = E_y\vec{u}_y + E_z\vec{u}_z$ d'une onde électromagnétique monochromatique de pulsation ω se propageant dans la direction $\vec{u}_z$ s'écrit généralement sous la forme

$$E_z(y,z,t) = E_z(y)e^{-\alpha z}\cos(\omega t - \beta z) = Réel\left\{E_z(y)e^{-(\alpha+j\beta)z}e^{j\omega t}\right\}$$

On note $\underline{\gamma} = \alpha + j\beta$ avec $\alpha>0$ et $\beta>0$

γ = constante de propagation

α = constante d'atténuation

β = constante de phase

et $\underline{E}_z = E_z(y)e^{-\underline{\gamma}z}$ est l'image complexe de $E_Z(y,z,t)$

Pour une onde non atténuée $\gamma = j\beta$ ($\alpha = 0$).

II.1 A partir des équations de Maxwell, déterminer l'équation aux dérivées partielles satisfaite par le champ électrique $\vec{E}$ et montrer que l'équation différentielle satisfaite par $\underline{E}_Z$ dans le domaine (1) s'écrit

$$\frac{d^2\underline{E}_{z1}}{dy^2} + k_1^2\underline{E}_{z1} = 0 \quad k_1 = \text{nombre d'onde critique}$$

Expliciter k_1^2 en fonction de γ, ω, ε, μ_0.

II.2 Déterminer $\underline{E}_{z1}$ en fonction de deux constantes A_1 et A_2 en considérant $k_1^2 > 0$.

II.3 Justifier sans calcul que $\underline{E}_{z2}(y)$ et $\underline{E}_{z3}(y)$ satisfont chacune à une équation différentielle analogue à $\underline{E}_{z1}(y)$ où k_1 est remplacé respectivement par k_2 et par k_3.

On choisit $k_2=k_3=jK$ avec $K > 0$.

Déterminer les expressions de $\underline{E}_{z2}(y)$ pour $y > a$ (domaine 2) en fonction d'une constante A_2 et de $\underline{E}_{z3}(y)$ pour $y < 0$ (domaine 3) en fonction d'une constante A_3.

Justifier le choix de k_2 et k_3.

II.4 En considérant les expressions de $\overrightarrow{rot}\vec{E}$ et $\overrightarrow{rot}\vec{B}$, avec $\vec{B} = B_x\vec{u}_x$, déterminer $\underline{E}_{y1}$, $\underline{B}_{x1}$; $\underline{E}_{y2}$, $\underline{B}_{x2}$; $\underline{E}_{y3}$, $\underline{B}_{x3}$, images complexes des composantes du champ électrique $\vec{E}$ et du champ magnétique $\vec{B}$. On considère les ondes non atténuées suivant $\vec{u}_z$, donc $\frac{\partial}{\partial z} \to -j\beta$. On conservera A_1, A_2, A_3, A_4, k_1 et K comme paramètres de l'onde de pulsation ω.

II.5 Ecrire les conditions de passage en y = a et y = 0 pour les composantes E_z et E_y du champ électrique.

II.6 De la question II.5, déduire le système linéaire vérifié par A_1 et A_3. Montrer que pour obtenir des valeurs non nulles pour A_1 et A_3, il est nécessaire que les nombres critiques satisfassent la relation :

$$tg\frac{k_1 a}{2} = -\frac{k_1}{K\varepsilon_r}$$

on posera $tg\varphi = -\frac{k_1}{K\varepsilon_r}$

II.7 On note $\begin{cases} k_1 a = q\pi \\ Ka = r\pi \end{cases}$

Montrer que q et r doivent satisfaire le système :

$$\begin{cases} q^2 + r^2 = (\frac{qa}{\lambda_0})^2(\varepsilon_r - 1) \\ \quad tg\frac{q\pi}{2} = -\frac{q}{r\varepsilon_r} \end{cases}$$

où $\lambda_0 = \frac{c_0}{f}$ avec $c_0^2 = \frac{1}{\varepsilon_0\mu_0}$

λ_0 = longueur d'onde dans le vide d'une onde plane monochromatique de fréquence f.

II.8 Pour q = n (entier impair > 0), déterminer la valeur de r et en déduire la plus petite fréquence f_s et la plus grande longueur d'onde λ_{0s} pouvant encore se propager dans le guide, en précisant pour quelle valeur de n elles sont obtenues.

II.9 Si on note $\lambda_{0d} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$, montrer que la longueur d'onde $\lambda_g = \frac{2\pi}{\beta}$ d'une onde non atténuée se propageant dans le guide, pour $f > f_s$, s'écrit :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_{0d}}{\sqrt{1 - \left(q\frac{\lambda_{0d}}{\lambda_{0s}}\right)^2(\varepsilon_r - 1)}}$$

II.10 Utilisant les questions antérieures (II.5, II.6, II.7), déterminer les composantes de $\underline{E}$ et de $\underline{B}$ dans les trois domaines, en fonction de la constante que multiplie sin k_1y dans l'expression de E_{z1}, de r, q, λ_0, c_0, ε_r.

II.11 Que deviennent ces composantes pour r = 1 et $f = f_s$? Quels types d'ondes se forment dans les domaines (2) et (3) ?

Fin de l'énoncé

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PC chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Régimes transitoires
- Circuits électriques dans l'ARQS

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/pc