

Ele3500

génie
sans frontières

Sigle du cours

| | |
|-------------------|-------------------|
| Nom : _____ | Prénom : _____ |
| Signature : _____ | Matricule : _____ |

| | | | |
|---|---------------------------------|---|-------------------------------|
| Sigle et titre du cours | | Groupe | Trimestre |
| Ele3500 Ondes électromagnétiques | | 1 et 2 | Hiver 04 |
| Professeur(s) Sect. 1 C. Akyel, sect. 2 S. Babic | | Local | A-325.2 |
| Jour samedi | Date 1 ^{er} mai | Durée 2H30 | De 9H30 à 12H00 |
| Documentation <input checked="" type="checkbox"/> Toute <input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Voir directives particulières | | Calculatrice <input type="checkbox"/> Aucune <input checked="" type="checkbox"/> Programmable <input checked="" type="checkbox"/> Non programmable | |
| | | | |

| | |
|------------------|---|
| Important | Ce questionnaire comporte <input type="text" value="4"/> question(s) sur <input type="text" value="3"/> Page(s) |
| | La pondération de cet examen est de <input type="text" value="35"/> % |
| | Vous devez répondre sur <input type="checkbox"/> le questionnaire <input checked="" type="checkbox"/> le cahier <input type="checkbox"/> les deux |
| | Vous devez remettre le questionnaire <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non |

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE

ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES
ELE3500

EXAMEN FINAL

Toute documentation
et calculatrice permise

date : 1^{er} mai 2004
heure : 9H30 à 12H00

Question #1 (4 points)

Un guide d'onde rectangulaire ayant les dimensions transversales a et b est rempli d'un diélectrique dont la constante diélectrique relative est 4. Un signal de 3 GHz se propage dans ce guide au mode TE_{10} . Le rapport de la longueur de ce signal en espace non guidé, rempli du même diélectrique à la longueur d'onde de coupure du mode TE_{10} dans ce guide $\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{c,TE_{10}}}\right)$

est $\frac{\pi}{2}$. D'autre part le rapport de la fréquence de coupure au mode TE_{11} à la fréquence de coupure au mode TE_{10} $\left(\frac{f_{c,TE_{11}}}{f_{c,TE_{10}}}\right)$ est $\sqrt{5}$.

- Calculer les dimensions transversales (a et b) de ce guide.
- Calculer le rapport $Z_{TM_{10}}/Z_{TE_{11}}$ pour ce guide à la fréquence de 3 GHz. (Z est l'impédance de l'onde dans le guide au mode désigné).

Question #2 (3 points)

Un guide d'onde circulaire, de diamètre 12 cm fonctionne à 6 GHz. Le diélectrique qui le remplit est de l'air.

Si pour un mode de transmission inconnu la longueur d'onde dans le guide est de 5,47 cm, trouvez ce mode en vous servant du tableau I.

Quelle est la vitesse de phase de 6 GHz à ce mode dans le guide?

Question #3 (3 points)

Un dipôle court est parcouru par un courant sinusoïdal $I = 10 \sin(2\pi \times 10^7 t)$ ampère et a une longueur de 50 cm.

Trouver l'expression des champs électromagnétiques (H_ϕ et E_θ) dans la zone lointaine sur le plan horizontal $\left(\theta = \frac{\pi}{2}\right)$ en fonction de la distance r .

Trouver la valeur de la densité de puissance moyenne dans une direction de $\theta = 30^\circ$ à une distance de 150 m de l'antenne.

Note : le milieu est l'air.

Question #4 (10 points)

- a) Démontrez que l'expression de l'atténuation concernant les pertes de conductivité dans les parois d'un guide d'ondes rectangulaire aux modes TM_{mn} est donnée par

$$\alpha = \frac{2R_s}{bZ_{TM}} \times \frac{m^2(b/a)^2 + n^2}{m^2(b/a)^2 + n^2} \quad (Np/m)$$

où a et b représentent les dimensions transversales du guide, R_s la résistance du conducteur et Z_{TM} l'impédance du guide aux modes TM.

- b) Calculez les pertes d'origine ohmique d'un guide rectangulaire de 10 m à 8 GHz et dont les dimensions sont $a = 8.64$ cm et $b = 4.32$ cm. On considère que le mode d'opération est le mode TM_{11} et le diélectrique qui remplit le guide est de l'air ($\epsilon_r = 1$; $\mu_r = 1$).

Le matériau utilisé pour la construction du guide est le cuivre

$$\sigma = 5.7 \times 10^7 \text{ (S/m)}.$$

Exprimez ces pertes en atténuation de puissance en dB pour la longueur proposée (10 m).

Notes :

- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$; $\epsilon_0 = 10^{-9} / (36\pi) \text{ (F/m)}$.
- On considère $\mu = \mu_0$ pour le métal.
- Pour simplifier les calculs utilisez (ou vous pouvez utiliser)

$$k_x = \frac{m\pi}{a}; \quad k_y = \frac{n\pi}{b}; \quad h^2 = k_x^2 + k_y^2$$

- Les pertes aux parois métalliques se calculent selon les expressions

$$\langle P_L \rangle \Big|_{x=0} = \frac{R_s}{2} \int_0^b |H_y|^2 \Big|_{x=0} dy = \langle P_L \rangle \Big|_{x=a}$$

$$\langle P_L \rangle \Big|_{y=0} = \frac{R_s}{2} \int_0^a |H_x|^2 \Big|_{y=0} dx = \langle P_L \rangle \Big|_{y=b}$$

LES MODES DANS LES GUIDES D'ONDE CIRCULAIRE

| LE MODE * | Valeurs propres | | Longueur d'onde de coupure |
|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------------|
| | k'_{nr} | k_{nr} | λ_c |
| TM ₀₁ | | 2.405 | 2.61r ₀ |
| TE ₀₁ (low loss) | 3.832 | | 1.64 r ₀ |
| TM ₀₂ | | 5.520 | 1.14r ₀ |
| TE ₀₂ | 7.016 | | 0.89r ₀ |
| TE ₁₁ (dominant) | 1.840 | | 3.41r ₀ |
| TM ₁₁ | | 3.832 | 1.64r ₀ |
| TE ₁₂ | 5.330 | | 1.18r ₀ |
| TM ₁₂ | | 7.016 | 0.89r ₀ |
| TE ₂₁ | 3.054 | | 2.06r ₀ |
| TM ₂₁ | | 5.135 | 1.22r ₀ |
| TE ₂₂ | 6.706 | | 0.94r ₀ |
| TE ₃₁ | 4.201 | | 1.49r ₀ |
| TM ₃₁ | | 6.379 | 0.98r ₀ |
| TE ₄₁ | 5.318 | | 1.18r ₀ |
| TM ₄₁ | | 7.588 | 0.83r ₀ |
| TE ₅₁ | 6.416 | | 0.98r ₀ |

* Les lettres nr comme dans TE_{nr} ou k_{nr} ont la signification suivante :

n = fonction Bessel d'ordre n

r = l'ordre de la racine de la fonction Bessel de nième ordre

Tableau I