



UNIVERSITÉ  
LAVAL

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET DE GÉNIE INFORMATIQUE

*GEL-3002 Transmission des Ondes Électromagnétiques*  
*Jérôme Genest*

## Examen partiel

DATE: Jeudi le 23 octobre 2020

DURÉE: de 10h30 à 13h00

SALLE: VCH-3820

Cet examen vaut 35% de la note finale.

### Remarques:

- i) L'utilisation d'une calculatrice est permise.*
- ii) Une feuille de note recto-verso permise*
- iii) Votre carte d'identité doit être placée sur votre bureau en conformité avec le règlement de la Faculté.*

**Problème 1** (10 points)

La fibre optique est un diélectrique non magnétique à faibles pertes. La diminution de *puissance* d'une onde se propageant dans une fibre est de 0.2 dB /km. Au premier ordre, on peut considérer la propagation dans la fibre comme une onde plane se déplaçant dans le milieu (verre).

Dans une fibre de longueur  $l = 100$  km et d'indice de réfraction  $n = 1.5$ , on désire transmettre la lumière d'un laser ayant une longueur d'onde *dans le vide* de  $\lambda_o = 1550$  nm. ( $n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$ )

La puissance du laser au début de la fibre est 3 mW. La surface de la fibre perpendiculaire à la direction de propagation est  $3 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>.

- a) Obtenez la densité de puissance moyenne (la grandeur du vecteur de Poynting moyen) au début de la fibre.
- b) Calculez la puissance et la densité de puissance moyennes au bout de la fibre, c'est à dire après 100 km.
- c) Calculez la constante d'atténuation  $\alpha$  en [Np/m].
- d) Donnez la constante de propagation  $\beta$  dans la fibre.
- e) Quelle est la longueur d'onde de la lumière *dans* la fibre?
- f) Calculez le module du champ électrique à l'entrée et à la sortie de la fibre. Commentez leur valeur respective.

**Problème 2** (10 points)

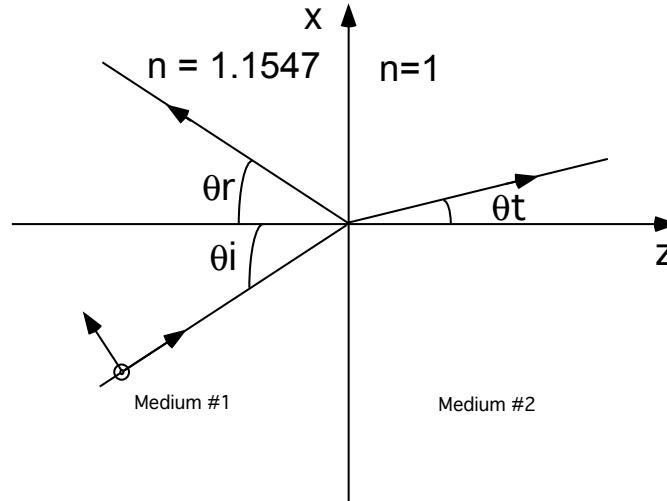
Une onde plane de fréquence 300 THz se propage selon l'axe des "z" positifs dans un milieu biréfringent. Un tel milieu ne présente pas le même indice de réfraction pour le champ électrique oscillant selon l'axe "x" que pour le champ selon l'axe "y". En conséquence, le phaseur du champ se propageant dans le milieu biréfringent peut s'écrire:

$$\tilde{\mathbf{E}}(z) = \hat{\mathbf{x}}a_x e^{-jk_1 z} + \hat{\mathbf{y}}a_y e^{j\delta} e^{-jk_2 z}$$

où  $k_1 \neq k_2$ . Dans le cas qui nous intéresse, le milieu est sans perte et non magnétique avec  $n_1 = 1.5$  pour la composante "x" du champ électrique et  $n_2 = 1.45$  pour la composante "y" du champ électrique. Au début du matériau biréfringent ( $z=0$ ), l'onde est telle que  $a_x = a_y = 1$  V/m et  $\delta = 0$  rad. (La vitesse de la lumière dans le vide est  $3 \times 10^8$  m/s).

- a) Quel est l'état de polarisation à  $z=0$ ?
- b) Donnez l'expression phaseur et temporelle du champ à  $z = 5 \mu\text{m}$  ( $\tilde{\mathbf{E}}(z = 5\mu\text{m})$  et  $\mathbf{E}(z = 5\mu\text{m}, t)$ ).
- c) Quel est l'état de polarisation à  $z = 5 \mu\text{m}$ ?
- d) Que devient l'état de polarisation si le matériau est tourné de manière à ce que  $n_1 = 1.45$  et  $n_2 = 1.5$ ?

Rappelez-vous que vous pouvez décomposer le champ selon les axes "x" et "y" afin de "voir" ce qui survient dans le milieu biréfringent. Vous pouvez ensuite utiliser le principe de superposition afin d'obtenir le champ total à n'importe quel point.

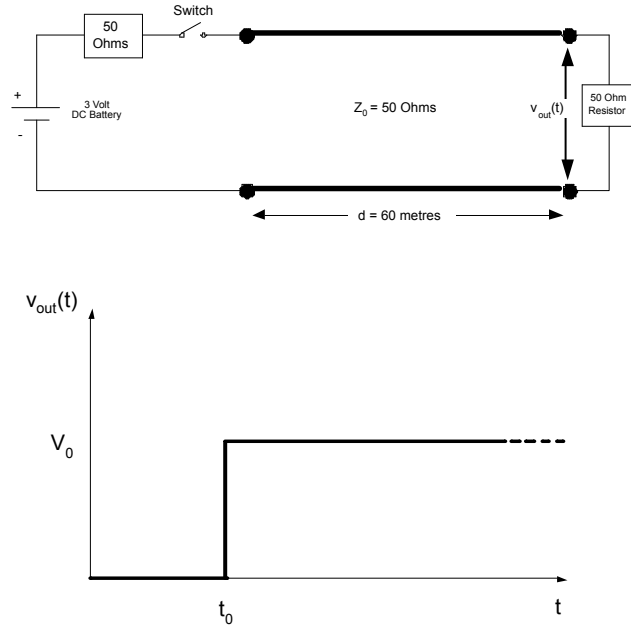
**Problème 3** (10 points)

Une onde plane, définie par le champ électrique:

$$\tilde{\mathbf{E}} = (2\hat{x} + 3\hat{y} - 2\sqrt{3}\hat{z})e^{-j2\pi\left(\frac{\sqrt{3}}{2}x + \frac{z}{2}\right)},$$

est incidente sur une interface située dans le plan  $z = 0$  (voir figure). À gauche de l'interface, l'onde se propage dans un milieu non magnétique d'indice  $n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r} = 2/\sqrt{3}$ . Le milieu à droite est de l'air. (Vitesse de la lumière dans l'air  $c = 3 \times 10^8$  m/s)

- Donnez la longueur  $\lambda_1$  de l'onde dans le milieu à gauche et l'angle d'incidence  $\theta_i$  à l'interface.
- Calculez l'angle de transmission  $\theta_t$  de l'onde de même que la longueur d'une onde  $\lambda_2$  dans le second milieu.
- Trouvez la fréquence de l'onde.
- Calculez les coefficients de réflexion et de transmission. Quelle particularité observez-vous? Est-ce que les valeurs obtenues pour les coefficients de réflexion semblent normales? Pourquoi?
- Calculez les réflectivités et transmissivités afin de vous assurer que  $R + T = 1$  dans les deux cas.

**Problème 4** (5 points)

- a) Soit le circuit ci-dessus. L'impédance caractéristique de la ligne de transmission sans perte est  $Z_o = 50\Omega$  et sa capacité par unité de longueur est  $\mathcal{C} = 120 \text{ pF/m}$ . La source est une pile DC (fréquence nulle). L'interrupteur (switch) est fermé au temps  $t = 0$ . Un schéma du voltage de sortie  $v_{out}(t)$  est également montré. Nous avons donc:

$$v_{out} = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq t < t_o \\ V_o & t > t_o \end{cases}$$

Déterminez les valeurs de  $t_o$  (en microsecondes) et de  $V_o$  (en volts). (La vitesse de l'onde sur la ligne est  $1/\sqrt{\mathcal{L}\mathcal{C}}$ ).