UNIVERSITE DE BATNA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
MASTER I « SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS»

Batna, le 01/12/2020

Travaux Dirigés N° 1 de la matière (Radiocommunication)
Enseignant : D. BENATIA

EXERCICE-1 : (Traité pendant le cours)- Cas a

Une onde électromagnétique plane se propage dans un milieu diélectrique parfait. En utilisant les équations de Maxwell, montrer que :

1/- Le champ électrique et magnétique sont perpendiculaires.

2/- Le champ électrique et magnétique appartiennent au plan d'onde.

3/- Le vecteur $P=E\wedge H$, possède une seule composante dans la direction de propagation.

Pour les cas suivants : a)- Propagation suivant X ; b)- Propagation suivant Y ; c)- Propagation suivant Z

EXERCICE-2 :

A)- Deux ondes électromagnétiques planes sinusoïdales de même pulsation ω et de même amplitude Hm se propagent dans les directions x et y respectivement. Les champs magnétiques H des deux ondes sont parallèles à OZ. Ecrire en fonction de x, y et t les expressions des grandeurs suivantes :

1/- Les composantes du champ magnétique H résultant.

2/- Les composantes du champ électrique E résultant.

3/- Composantes du vecteur P.

B)- Cette fois les ondes électromagnétiques planes sinusoïdales de même pulsation ω et de même amplitude Em se propagent dans les directions y et z respectivement. Les champs électriques E des deux ondes sont parallèles à OX. Ecrire en fonction de y, z et t les expressions des grandeurs suivantes :

1/- Les composantes du champ électrique E résultant.

2/- Les composantes du champ magnétique H résultant.

3/- Composantes du vecteur P.

EXERCICE-3 :

On considère un milieu réel caractérisé par :

ε : Constante diélectrique ou permittivité diélectrique

μ : Perméabilité magnétique

σ : Constante électrique ou conductivité

En utilisant les équations de Maxwell, trouver l'équation de Helmholtz.

EXERCICE-4 :

Soit un milieu dont $\sigma=0$, $\mu r=18$ et $\varepsilon r=2$. Dans ce milieu se propage suivant +OZ une onde électromagnétique de fréquence f=4MHz. Le vecteur H pour t=0 et au plan z=0 atteint la valeur de 2.ex A/m. Calculer le vecteur H(z, t), le vecteur E(z,t) ainsi que le vecteur Poynting.

EXERCICE-5 :

Pour une onde polarisée dans le plan d'incidence (cas où le champ magnétique est contenu dans le plan d'incidence). Trouver les expressions des coefficients de réflexion et de transmission en fonction des impédances des milieux et des angles de réflexion et de transmission.

EXERCICE-6 :

1/- Pour une onde polarisée dans le plan d'incidence (cas où le champ électrique est contenu dans le plan d'incidence). Trouver les expressions de Hr, Er (onde réfléchie) et Ht, Et (onde transmise) en fonction de Hi et Ei (onde incidente).

2/- Dans le cas où l'onde est polarisée normalement au plan d'incidence (cas où le champ magnétique est contenu dans le plan d'incidence). Trouver les expressions de Hr, Er (onde réfléchie) et Ht, Et (onde transmise) en fonction de Hi et Ei (onde incidente).

<u>Solution de l'EX 1 : le cas c)-</u> Propagation suivant Z

1/- <u>Le champ électrique et magnétique sont perpendiculaires</u> :
- D'abord, il faut que : E.H=|E|.|H|.Cos(E^H)=0 ? Angle E-H=90° c-à-d : E perpendiculaire à H ?
Il faut montrer donc, que le produit scalaire entre le champ électrique E et le champ magnétique H est nul.

$$\vec{E}.\vec{H} ==|\vec{E}|.|\vec{H}|.\mathrm{Cos}(E\wedge H) = Ex.Hx + Ey.Hy + Ez.Hz = 0 \Rightarrow \vec{E} \perp \vec{H}$$

- Pour cela, nous allons utiliser les équations de Maxwell.
On commence par l'équation (1) de Maxwell-Faraday :

$$Rot\vec{E} = -\mu\frac{d\vec{H}}{dt} \Leftrightarrow \nabla\Lambda\vec{E} = -\mu\frac{d\vec{H}}{dt} \text{ c-à-d}: \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ Ex & Ey & Ez \end{vmatrix} = -\mu\frac{d\left(Hx.\vec{i} + Hy.\vec{j} + Hz.\vec{k}\right)}{dt}$$

Puis l'équation (2) de Maxwell-Gauss dans le cas d'un milieu sans charges (ρ=0, σ=0):

$$\mathrm{Div}\vec{E} = 0 \Leftrightarrow \nabla.\vec{E} = 0 \text{ c-à-d}: \frac{\partial Ex}{\partial x} + \frac{\partial Ey}{\partial y} + \frac{\partial Ez}{\partial z} = 0$$

$\frac{\partial Ex}{\partial x} = 0$ (le champ électrique ne dépend que de z, donc la dérivé de Ex par rapport à x sera nulle)

$\frac{\partial Ey}{\partial y} = 0$(le champ électrique ne dépend que de z, , donc la dérivé de Ey par rapport à x sera nulle)

Il reste le terme: $\frac{\partial Ez}{\partial z} = 0 \Rightarrow Ez = 0$ (La composante longitudinale est nulle)

Même chose pour Div $\vec{H} = 0$ (l'équation (4) de Maxwell)

et par conséquent: $\frac{\partial Hz}{\partial z} = 0 \Rightarrow Hz = 0$ (La composante longitudinale est nulle)

Comme la propagation est dans la direction des z alors : le champ E ne dépend que de z
Alors :

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & \partial/\partial z \\ Ex & Ey & 0 \end{vmatrix} = -\mu\frac{d\left(Hx.\vec{i} + Hy.\vec{j}\right)}{dt} \Leftrightarrow \begin{cases} -\frac{\partial Ey}{\partial z} = -\mu\frac{dHx}{dt} \Rightarrow \partial Ey = +\mu\frac{dHx}{dt}\partial z \\ +\frac{\partial Ex}{\partial z} = -\mu\frac{dHy}{dt} \Rightarrow \partial Ex = -\mu\frac{dHy}{dt}\partial z \end{cases}$$

$$\begin{cases} \partial Ey = +\mu\frac{dHx}{dt}\partial z * \frac{dt}{dt} = +\mu\frac{dHx}{dt}.dt * \frac{\partial z}{dt} \Rightarrow \partial Ey = +\mu\frac{dHx}{dt}.dt * Vp = +\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}.dHx \\ \text{Avec}: \frac{\partial z}{dt} = Vp = \frac{1}{\sqrt{\mu.\varepsilon}} : \text{Vitesse de propagation} \\ \partial Ex = -\mu\frac{dHy}{dt}\partial z * \frac{dt}{dt} = -\mu\frac{dHy}{dt}.dt * \frac{\partial z}{dt} \Rightarrow \partial Ex = -\mu\frac{dHy}{dt}.dt * Vp = -\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}.dHy \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Ey = +\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}Hx \\ Ex = -\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}Hy \end{cases}$$

$$\text{D'où } \vec{E}.\vec{H} = Ex.Hx + Ey.Hy + Ez.Hz = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\left(-Hy.Hx + Hx.Hy\right) = 0 \Rightarrow \vec{E} \perp \vec{H}$$

2/- <u>Le champ électrique et magnétique appartiennent au plan d'onde.</u>

Le plan d'onde est le plan qui est perpendiculaire à la direction de propagation +oz donc c'est le plan (XOY).
Et comme E et H possèdent deux composantes respectivement (Ex, Ey) et (Hx, Hy), alors : E et H appartiennent au plan d'onde (XOY).

3/- <u>Le vecteur P=E∧H, possède une seule composante dans la direction de propagation (oz)</u> :

$$\vec{P} = \vec{E}\Lambda\vec{H}^* = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ Ex & Ey & 0 \\ Hx^* & Hy^* & 0 \end{vmatrix} = \underbrace{(Ex.Hy^* - Ey.Hx^*)}_{Pz}\vec{k} \text{ (dans la direction de propagation)}$$

Alors $\vec{P} = \vec{E}\Lambda\vec{H}^* = \underbrace{(Ex.Hy^* - Ey.Hx^*)}_{Pz}\vec{k}$ (est dans la direction de propagation)