Ondes et propagation - L3/TC

Introduction

Introduction :

Une liaison de communication à distance entre un émetteur et un récepteur utilise des ondes électromagnétiques.L'antenne émettrice convertie le signal électrique HF qui porte l'information à transmettre en une onde EM sinusoïdale à la même fréquence radio.L'antenne de réception accordée à cette fréquence capte cette onde pour la transformer en un signal électrique afin d'extraire l'information.
Cependant le milieu de propagation entre l'émetteur et le récepteur a tendance à atténuer l'onde EM et déformer l'information.
Ce type de communication radio répond à des normes internationales : CCIR,CMR,UIT
Le spectre de fréquences radio s'étend de 3khz à 300Ghz

Chap1 :

1. **Caractéristiques d'une onde EM**

   Une onde EM plane est constituée en un point M du milieu de :
   - **Champ électrique :**$\vec{E}(M,t)=\vec{E_o}e^{j(\omega t-kr)}$ **en V/m**
   - **Champ magnétique :**$\vec{H}(M,t)=\vec{H_o}e^{j(\omega t-kr)}$ **en A/m**

constante de propagation dans le milieu :$k=\omega/v$ **avec v la vitesse de propagation**
critères d'une onde plane :
- $\vec{E}$ **et** $\vec{H}$ **sont en phase**
- $E_o/H_o = Z$ **impédance caractéristique du milieu de propagation**
- $\vec{E} \wedge \vec{H} \wedge \vec{u_r}$ **(direction de propagation)**

2. **Propagation d'une onde EM**

   Un milieu de propagation est un diélectrique caractérisé par :
   - **unepermitivité relative** $\varepsilon r^* = \varepsilon r - j\varepsilon r'$ **où** $tg\delta e = \varepsilon r'/\varepsilon r$ **(pertes électriques)**
   - **une perméabilité relative** $\mu r^* = \mu r - j\mu r'$ **où** $tg\delta m = \mu r'/\mu r$ **(pertes magnétiques**
   - **une conductivité** σ **(pertes ohmiques)**

     l'indice de réfraction du milieu $n=\sqrt{\varepsilon r}$
     impédance caractéristique du milieu $Z=Z_o\sqrt{\mu r \varepsilon r}$ **avec** $Z_o=\sqrt{\mu o \varepsilon o}=377\Omega$
     (impédance du vide) $\varepsilon o=8.854.10^{-12}$; $\mu o=4\pi.10^{-7}$ **et** $\sigma=0$

Puissance transportée par une onde EM plane :

La densité de puissance est donnée par le vecteur de Poynting :

$\overrightarrow{P}(t) = \overrightarrow{E}(t) \wedge \overrightarrow{H}(t)$ et sa valeur moyenne P=(Eo.Ho)/2 =Eo^2/ 240π en W/m^2 carZo=120π dans le vide

Equation de propagation

Les équations de Maxwell permettent de déterminer le champ qui se propage dans un milieu diélectrique

$\overrightarrow{\text{Rot}E} = -\delta\overrightarrow{B}/\delta t$

$\overrightarrow{\text{Rot}H} = \overrightarrow{J} + \delta\overrightarrow{D}/\delta t$

Induction magnétique $\overrightarrow{B}=\mu\overrightarrow{H}$ où $\mu=\mu o\mu r$

Induction électrique $\overrightarrow{D}=\varepsilon\overrightarrow{E}$ où $\varepsilon=\varepsilon o\varepsilon r$

Densité de courant $\overrightarrow{J}=\sigma\overrightarrow{E}$

Sachant que les 5 vecteurs champs sont sinusoïdaux le rotationnel des équations de Maxwell permettent d'obtenir les équations d'ondes suivantes :

$$\Delta E + \omega^2\mu\varepsilon\left(1 + j\,\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)E=0$$

Equation d'onde $\Delta E + \gamma^2 E = 0$ dont la solution est $\overrightarrow{E}(M,t)=\overrightarrow{Eo}e^{j(\omega t-\gamma r)}$

avecune constante de propagation $\gamma^2 = \omega^2\mu\varepsilon(1 + j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon})$de la forme $\gamma=\alpha+j\beta$

constante de phase $\alpha= \omega\sqrt{\mu\varepsilon/2}\sqrt{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}}$

constante d'atténuation $\beta= \omega\sqrt{\mu\varepsilon/2}\sqrt{-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}}$

de même $\Delta H + \omega^2\mu\varepsilon\left(1 + j\,\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)H=0$

d'où $\overrightarrow{E}(M,t) = \overrightarrow{Eo}e^{\beta r}.\, e^{j(\omega t-\alpha r)}$et l'intensité du champ atténué sera $Eoe^{\beta r}$

Atténuation en champ due au milieu de propagation sera AdB=20Log($e^{\beta r}$)

Atténuation en champ due au parcours r sera AdB=20Log($\lambda/4\pi r^2$)

Réflexion et Réfraction d'ondes

A l'interface de 2 milieux de natures différentes, une onde subit une réflexion et une réfraction (transmission).

1. **Onde à polarisation verticale** : $\vec{E}$ est dans le plan vertical (fig1)

A l'interface des 2milieux on a une continuité des champs tangentiels sur $\vec{E}$ et $\vec{H}$

$E_{oi}\cos\theta_i + E_{or}\cos\theta_r = E_{ot}\cos\theta_t$

$H_{oi} + H_{or} = H_{ot}$

En utilisant les lois de Snell et Descartes : $\theta_r=\theta_i$ et $n_1 . \sin\theta_i = n_2 . \sin\theta_t$ et sachant que $E_o/H_o = Z$ du milieu

- Coefficient de réflexion : $\mathcal{R}_v = E_{oi} / E_{or} = \dfrac{Z_1\cos\theta_i - Z_2\cos\theta_t}{Z_1\cos\theta_i+Z_2\cos\theta_t}$

- Coefficient de transmission $\mathcal{T}_v = E_{ot} / E_{oi} = \dfrac{2Z_2\cos\theta_i}{Z_1\cos\theta_i+Z_2\cos\theta_t}$

2. **Onde à polarisation horizontale** : $\vec{E}$ est dans le plan horizontal (fig2)

- Coefficient de réflexion : $\mathcal{R}_v = \dfrac{Z_2\cos\theta_i - Z_1\cos\theta_t}{Z_2\cos\theta_i+Z_1\cos\theta_t}$

- Coefficient de transmission : $\mathcal{T}_v = \dfrac{2\ Z_2\cos\theta_i}{Z_2\cos\theta_i+Z_1\cos\theta_t}$

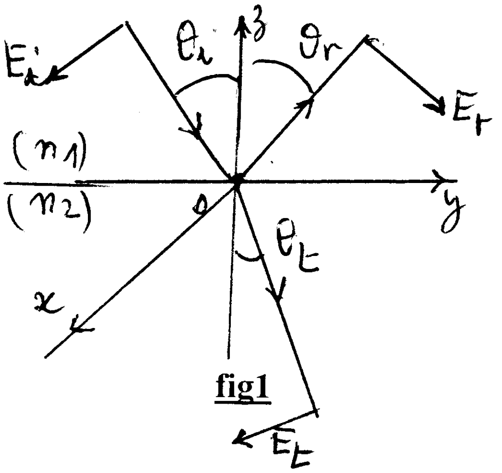

fig1

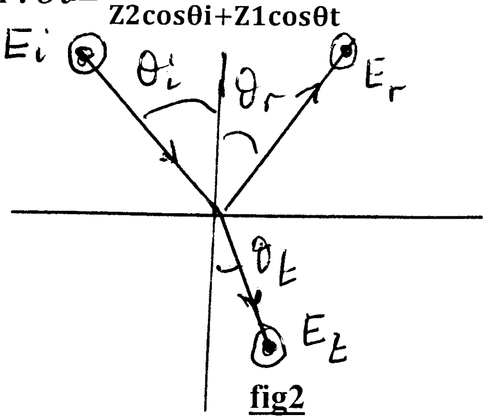

fig2