CHAPITRE EM6

Ondes électromagnétiques dans un milieu ohmique

Dans ce chapitre, on va s'intéresser à la propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu ohmique, puis aux phénomènes ayant lieu à l'interface entre le vide et un milieu ohmique.

I - Propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu ohmique

I.A - Approximations usuelles

Rappel : Dans un conducteur ohmique, tant que la fréquence n'est pas trop élevée ($f < 10^{13}$ Hz), on a $\overrightarrow{j} = \gamma\overrightarrow{E}$

Conséquence 1 : le métal est localement neutre

Un conducteur ohmique est localement neutre.

Démonstration

Conséquence 2 : on peut se placer dans l'ARQS magnétique

Dans un conducteur ohmique, le vecteur densité de courant de déplacement $\overrightarrow{j}_d$ est négligeable devant le vecteur densité de courant $\overrightarrow{j}$.
Autrement dit, un conducteur ohmique peut être décrit dans l'ARQS magnétique.

Démonstration

I.B - Equation de propagation

Equation de propagation dans un milieu ohmique

Démonstration

Remarques

- cette équation n'est pas une équation de d'Alembert, ce qui est logique car il y a atténuation dans le conducteur ohmique (énergie perdue par effet Joule)
- on reconnait en revanche une équation de diffusion !

I.C - Forçace sinusoïdale : relation de dispersion et recherche de solutions

Si on imagine une OPPH dans le vide qui arrive sur un conducteur : que se passe-t-il ?

Relation de dispersion dans un milieu ohmique

Démonstration

Effet de peau dans un conducteur ohmique

Lorsqu'une OPPH (dans le vide !) arrive sur un conducteur ohmique, elle est amortie/absorbée au cours de son avancée dans le conducteur. La distance caractéristique de l'amortissement est

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \gamma \omega}}$$

Pour $x \gg \delta$ on pourra donc considérer le champ nul.

Démonstration

Remarques

- Plus le milieu est conducteur, plus δ est faible
- Plus la fréquence est élvée, plus δ est faible
- ODG pour le cuivre à 1 MHz (à connaître) : $\delta = 0,2$ mm. On parle souvent de blindage, car δ est assez faible et donc une épaisseur assez faible de cuivre suffit à bloquer les champs électromagnétiques
- Quand un courant alternatif parcourt un conducteur ohmique, δ est l'épaisseur du conducteur dans laquelle le courant se localise. C'est ce qu'on appelle épaisseur de peau. *(attention cependant, ce ne sont pas les mêmes calculs et leur difficulté est bien plus grande)*

Corollaire - champ dans un conducteur parfait

II - Réflexion en incidence normale sur un conducteur parfait

Dans cette partie, on considèrera une interface entre du vide et un conducteur supposé parfait.

II.A - A l'interface : relations de passage

Relations de passage

À l'interface entre deux milieux 1 et 2, de normale orientée de 1 vers 2 $\overrightarrow{n}_{1\leftarrow 2}$, les champs $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ respectent les relations de passage :

Corollaire - continuité des champs électromagnétiques

Démonstration

Application

On rappelle que pour un plan (Oxy) infini chargé en surface avec une densité surfacique σ, on a

$$\overrightarrow{E} = \begin{cases} \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_z} & \text{au dessus du plan} \\ -\dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_z} & \text{en dessous du plan} \end{cases}$$

Vérifier la relation de passage.

II.B - Onde réfléchie

Onde réfléchie pour une OPPH en incidence normale sur un conducteur parfait

Démonstration

Remarques

- On retrouve le déphasage de π pour une réflexion pour le champ électrique, mais pas pour le champ magnétique
- On peut aussi définir un coefficient de réflexion en énergie (plutôt qu'en amplitude), mais c'est hors programme
- Pour un conducteur non-parfait, il y a aussi une onde transmise, et on peut donc définir également un coefficient de transmission

Apparition d'un courant surfacique

Démonstration

II.C - Onde totale : onde stationnaire

Superposition des ondes incidente et réfléchie : onde stationnaire

Dans le vide avant le conducteur, la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie donne une onde stationnaire : les dépendances en temps et en espace sont découplées. Une onde stationnaire ne se propage pas, mais elle oscille sur place.

Démonstration

Définition (Nœuds et ventres d'une onde plane stationnaire)

On appelle **nœuds** d'une onde stationnaire les points où la grandeur physique de l'onde reste nulle pour tout instant.
On appelle **ventres** d'une onde stationnaire les points où l'amplitude de la grandeur physique de l'onde est maximale localement.

Application

On considère l'onde stationnaire $\overrightarrow{E}(M,t) = 2E_0 \sin(\omega t) \sin(kx) \overrightarrow{u_y}$.
Quelles sont les positions des nœuds et des ventres ?
Quelle distance y a-t-il entre deux nœuds ? entre deux ventres ? entre un nœud et un ventre ?

II.D - Cavité résonante

Définition (Cavité résonante)

Ondes dans une cavité résonante

Les seules ondes stationnaires harmoniques pouvant exister dans une cavité de longueur L sont celles pour lesquelles le vecteur d'onde vérifie :

Démonstration

Sommaire