

LP27 : PROPAGATION GUIDÉE DES ONDES (L2)

Prérequis

- optique géométrique
- ondes acoustiques
- ondes électromagnétiques dans le vide
- propagation/reflexion à l'interface entre deux diélectriques
- réflexion sur un conducteur

Idées directrices à faire passer

- les caractéristiques de la propagation guidée : confinement de l'énergie, modes, dispersion

Commentaires du jury

- on peut envisager d'autres ondes que les OEM
- les notions de fréquence de coupure et de mode sont importantes

Bibliographie

- [1] Physique MP-PT, Augier, Tec & Doc
- [2] Ondes acoustiques, Chaigne, Editions de l'école Polytechnique
- [3] Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques, Garing, Ellipses
- [4] J'intègre physique MP, Sanz, Dunod
- [5] Panorama de la physique, Pietryk, Belin

Introduction [1] : Reprendre l'introduction du Tec & Doc chapitre "guides d'ondes".

- on veut propager de l'information par ondes
- solution simple : propagation libre : forte perte et pollution de l'environnement
- nécessité de confiner
- définir guide d'onde

I Guider sans pertes

1 Les limites de la ligne bifilaire simple [1]

- Suivre la question 4 du Tec & Doc "ligne bifilaire" p495
- associer la direction du vecteur de Poynting aux pertes (le vecteur doit être colinéaire à la ligne pour être en condition de pertes nulles)

2 Confinement du champ

2.1 métal parfaitement conducteur [1]

- évaluer l'épaisseur de peau aux fréquences de travail pour le cuivre
- conséquences sur les conditions aux limites (nullité du champ électrique transverse)

2.2 solide parfaitement rigide [2]

- donner rapidement les conséquences
- écrire l'équation sur la nullité de la dérivée de la pression sur les parois

II Guide d'onde rectangulaire : un modèle simple mais riche

1 Modèle et équation de d'Alembert [2]

- prendre le modèle du guide d'onde rectangulaire (p46)
- Propagation guidée mais dans le vide : équation de d'Alembert pour l'OEM et l'onde acoustique
- on suppose une équation aux variables séparables
- écrire alors les 3 équations satisfaites
- jusque là la démarche est parfaitement générale aux deux cas étudiés

2 Résolution dans le cas d'une onde sonore [2]

- s'aider des conditions aux limites pour obtenir l'équations d'un mode
- dire que l'onde est à la fois une onde stationnaire dans la direction orthogonale et une onde progressive dans la direction libre
- écrire la relation de dispersion
- en déduire l'existence d'une fréquence de coupure en fonction du mode excité
- discuter de l'existence du mode $(0,0)$ (onde plane) qui assure que toute fréquence se propage (éventuellement dans le fondamental)
- faire l'AN et montrer que le domaine sonore ne peut se propager que dans le mode $(0,0)$
- il n'y a alors pas dispersion sur le fondamental
- mais il y a évidemment dispersion entre les modes

3 Résolution dans le cas d'une onde électromagnétique [4]

- on fait l'hypothèse d'un mode TE (ça ne prouve pas qu'il n'en existe pas d'autres) et polarisée selon \vec{e}_y -> mode $TE_{n,0}$
- le mode $(0,0)$ ne peut exister (mode de champ identiquement nul) -> il existe donc une pulsation de coupure pour le guide
- comme dans le cas acoustique, on s'arrange souvent pour avoir un guide monomode (qui coupe donc tout sauf ce que l'on veut faire passer)
- donner la relation de dispersion, évaluer vitesse de phase et de groupe et faire le graphe de dispersion -> ici c'est de la **dispersion intramodale**.
- exprimer le vecteur \vec{B} en fonction de \vec{E} -> il n'est pas transverse! ce qui est normal puisque ce n'est pas une onde plane
- on peut faire la même recherche avec une polarisation selon \vec{e}_x -> mode $TE_{0,m}$
- une recherche plus générale conduit à trouver des modes $TE_{n,m}$
- dire qu'il existe également des modes TM avec les mêmes caractéristiques (mais il n'existe pas de modes TEM)

Des considérations énergétiques manquent je pense d'intérêt puisqu'on a considéré un modèle sans perte et on montre... qu'il l'est effectivement... On peut se contenter de constater que les champs ne pouvant pénétrer les conducteurs parfait, l'énergie est confinée. Il n'y a donc pas de pertes par confinement. Quant aux pertes par effet du milieu... ça dépend du modèle!

4 Interprétation en terme de superposition d'ondes planes [4]

- à faire sur transparent
- montrer la décomposition en deux champs
- interprétation en terme de réflexion d'une onde sur le plan conducteur
- permet de faire la transition avec la suite où on mènera un traitement type géométrique (en oubliant le caractère vectoriel de la lumière)

III Fibre optique : guidage dans un milieu diélectrique

1 Fibre à saut d'indice [3]

Suivre la première partie de l'exo 3.6 du Garing. A faire proprement au tableau. Préciser qu'alors on illustre la **dispersion intermodale**. On peut par ailleurs dire qu'une résolution plus précise (en terme de champ magnétique) conduirait à une relation de dispersion (il y a donc également dispersion intramodale). Par ailleurs, pour un coeur d'une taille bien choisie, il est possible de rendre la fibre monomode (les modes possibles étant également quantifiés par les conditions aux limites).

2 Fibre à gradient d'indice [3]

Suivre la seconde partie de l'exo 3.6 du Garing. A faire sur transparent pour gagner du temps. Insister sur l'avantage d'une dispersion limitée sur le débit possible dans la fibre.

3 Pertes dans les fibres optiques [5]

Cette partie est importante pour traiter de l'aspect technologique de l'utilisation des fibres -> plutôt regarder demain le Detwiller d'optique

- jusque là nous avons considéré une propagation sans perte
- on évalue les différentes sources de pertes
- donner alors la longueur d'onde usuelle de travail
- en pratique, on place des répéteurs à intervalle régulier pour réamplifier le signal

Conclusion : rappeler l'objectif : guider sans perte. Insister sur les points essentiels qui limitent une propagation guidée : dispersion intermodale et intramodale, atténuation par le milieu absorbant, perte de confinement à cause de défauts locaux

Q/R

1. Expliquer l'existence de modes dans une fibre. Quel est le rayon du coeur d'une fibre monomode ?
2. Que signifie adaptation d'impédance ?
3. Quels sont les matériaux utilisés pour les fibres optiques ?
4. Classer les différentes propagations en fonction de la longueur d'onde de l'onde transmise.
5. Quel est le lien entre les parties ?