Programme de Colle PSI

Semaine 16 : du 22 au 26 janvier

Tout exercice sur cordes vibrantes, ondes dans les coaxiaux, ondes acoustiques. A partir de mercredi, des exos simples sur la propagation des OEM dans le vide sont possibles.

6.1.2. Ondes sonores dans les fluides	
Approximation acoustique.	Classer les ondes sonores par domaines fréquentiels. Justifier les hypothèses de l'approximation acoustique par des ordres de grandeur. Écrire les équations locales linéarisées : conservation de la masse, équation thermodynamique, équation de la dynamique.
Équation de d'Alembert pour la surpression.	Établir l'équation de propagation de la surpression formulée avec l'opérateur laplacien.
Célérité.	Exprimer la célérité en fonction de la température pour un gaz parfait. Citer les ordres de grandeur de la célérité pour l'air et pour l'eau.
Densité volumique d'énergie sonore, vecteur densité de courant énergétique.	Utiliser les expressions admises du vecteur densité de courant énergétique et de la densité volumique d'énergie associés à la propagation de l'onde.
Intensité sonore, niveau d'intensité sonore.	Définir l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore. Citer quelques ordres de grandeur de niveaux d'intensité sonore.
Ondes planes progressives harmoniques. Onde longitudinale.	Décrire le caractère longitudinal de l'onde sonore. Discuter de la validité du modèle de l'onde plane en relation avec le phénomène de diffraction. Utiliser le principe de superposition des ondes planes progressives harmoniques.
Impédance acoustique.	Établir et utiliser l'impédance acoustique définie comme le rapport de la surpression sur le débit volumique ou comme le rapport de la surpression sur la vitesse.
Onde sonore sphérique harmonique divergente.	Commenter l'expression fournie de la surpression générée par une sphère pulsante : atténuation géométrique, structure locale.
Effet Doppler.	**Mettre en œuvre une détection synchrone pour mesurer une vitesse par décalage Doppler.**
6.1.3. Bilan de Poynting de l'énergie électromagnétique dans un milieu quelconque	
Densité volumique d'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting. Équation locale de Poynting.	Identifier les différents termes de l'équation locale de Poynting. Exprimer la puissance rayonnée à travers une surface à l'aide du vecteur de Poynting.
6.1.4. Ondes électromagnétiques dans le vide	
Propagation des vecteurs champs électrique et magnétique dans une région sans charge ni courant.	Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Établir les équations de propagation.

Structure d'une onde plane progressive harmonique.	Utiliser la notation complexe. Établir la relation entre le vecteur champ électrique, le vecteur champ magnétique et le vecteur d'onde. Associer la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Associer le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire). Utiliser le principe de superposition d'ondes planes progressives harmoniques.

I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

Ondes sonores

1. (question longue) Préciser les hypothèses de l'approximation acoustique. Dans ces hypothèses, obtenir les trois équations locales et les linéariser. En déduire les deux équations couplées sur les variables $\overrightarrow{v_1}$ et p_1. Obtenir finalement l'équation de d'Alembert sur la surpression. Identifier la célérité de l'onde.
2. Pour une onde sonore, la célérité de l'onde s'écrit $c = 1/\sqrt{\mu_0 \chi_s}$. En déduire l'expression de c dans le cas d'un gaz parfait. Comment la célérité évolue-t-elle avec la température ?
3. Définir le vecteur de Poynting acoustique ainsi que la densité volumique d'énergie acoustique. Donner l'équation de conservation de l'énergie acoustique.

   Introduire l'intensité acoustique et le niveau sonore (échelle décibel). Que vaut l'intensité I_0. Comment est-elle définie ?
4. Préciser l'expression d'une OPPH généralisée à l'espace 3D pour un vecteur d'onde quelconque $\overrightarrow{k}$. Montrer qu'une telle OPPH est solution de l'équation de d'Alembert si elle satisfait à une relation de dispersion que l'on précisera.
5. Montrer qu'ue OPPH acoustique est longitudinale pour la vitesse particulaire $\overrightarrow{v_1}$.
6. Définir l'impédance acoustique et déterminer son expression.
7. Proposer une forme d'onde sphérique harmonique. Montrer qu'une telle onde est bien solution de l'équation de d'Alembert. Le colleur rappellera l'expression du laplacien en sphérique.

   A partir de l'équation de conservation de l'énergie acoustique, montrer qu'il y a conservation du flux du vecteur de Poynting en régime stationnaire entre deux sphères de rayon R_1 et R_2. Expliquer que la forme de l'onde sphérique est effectivement compatible avec cette conservation du flux.
8. Déterminer les coefficients de réflexion et de transmission en vitesse particulaire et en pression à l'interface entre deux fluides d'impédances Z_1 et Z_2. A quelle(s) condition(s) a-t-on adaptation d'impédance ?
9. Définir le coefficient de réflexion et de transmission en puissance. Les exprimer en fonction des coefficients de réflexion et de transmission en vitesse ainsi que des impédances Z_1 et Z_2.

Ondes électromagnétiques dans le vide

1. Définir le vecteur de Poynting et donner son expression en fonction des champs électrique et magnétique.

   Donner l'expression de la puissance volumique cédée par le champs électromagnétique aux charges.

   Donner l'expression de l'énergie volumique du champ électromagnétique en fonction des champs électrique et magnétique.

   Démontrer par un bilan l'équation locale de conservation de l'énergie électromagnétique.
2. A partir des équations de Maxwell, déterminer l'équation de propagation du champ électrique (ou magnétique au choix du colleur).
3. Pourquoi restreindre l'étude à des OPPH n'est pas restrictif. Comment s'y prendre pour étudier la propagation d'une perturbation quelconque (seule l'idée de la démarche est attendue).

   Montrer que les OPPH sont telles que :

   — elles sont solutions de l'équation de d'Alembert si elles respectent la relation de dispersion ;
   — elles sont transverses et $(\overrightarrow{k}, \overrightarrow{E}, \overrightarrow{B})$ forme un trièdre direct.
4. Réflexion d'une OEM polarisée rectilignement sur un conducteur parfait en incidence normale. En particulier, on précisera en le justifiant :

   — les conséquences d'un conducteur parfait ;
   — l'expression des champs électrique et magnétique incident ;
   — l'expression des champs électrique et magnétique réfléchi ;

   Rappel au colleur : les relations de passage sur E et B doivent être rappelées aux étudiants. Elles ne constituent pas une connaissance exigible.

Programme spécifique 5/2

Toute la partie machine synchrone en questions de cours et en exercices.

Questions de cours possibles :

1. Montrer (en prenant le soin de préciser les hypothèses) que le champ créé par une unique phase statorique positionnée dans une encoche unique permet de créer dans l'entrefer de la machine un champ purement radial. On précisera son amplitude et on justifiera qu'il dépend binairement ($+B_{max}$ ou $-B_{max}$) de l'angle θ.

   Donner, à l'aide d'une représentation graphique, l'allure du champ magnétique créé pour une phase statorique positionnée dans trois encoches $\theta = \pi/2$, $\theta = \pi/2 - \theta_0$ et $\theta = \pi/2 + \theta_0$. En déduire qualitativement qu'en multipliant les encoches, il est possible d'obtenir un champ dans l'entrefer qui soit spatialement sinusoïdal.
2. Montrer qu'il est possible d'obtenir un champ statorique tournant en utilisant deux phases judicieusement placée spatialement et judicieusement alimentée électriquement.
3. On suppose que, dans l'entrefer de la machine, les champs statorique et rotorique peuvent respectivement s'écrire

$$\overrightarrow{B}_S(\theta,t) = B_{S0}\cos(\theta-\omega t)\overrightarrow{u_R} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{B}_R(\theta,t) = B_{R0}\cos(\theta-\alpha_R(t))\overrightarrow{u_R}$$

   Avec $\alpha_R(t)$ l'angle de l'axe polaire rotorique par rapport à l'axe des abscisses.

   Déterminer alors l'expression de l'énergie magnétique stockée par la machine. En déduire le couple magnétique.
4. On admet que le couple magnétique s'écrit $\Gamma = \Gamma_0 \sin(\omega t - \alpha_R(t))$ avec $\alpha_R(t)$ l'angle de l'axe polaire rotorique par rapport à l'axe des abscisses. Montrer que :
   - Une machine synchrone ne peut fonctionner qu'au synchronisme (en explicitant ce que cela signifie en pratique) ;
   - Une machine synchrone a un comportement alternateur ou moteur selon que l'axe polaire rotorique est en avance ou en retard sur l'axe polaire statorique ;
   - En fonctionnement moteur, il existe des points de fonctionnement stable et instable que l'on identifiera de manière justifiée.
5. Proposer une modélisation électrique du bobinage rotorique. On prendra soin de justifier l'absence d'effets inductifs.

   Faire de même pour le bobinage statorique. On proposera une expression que l'on justifiera qualitativement pour la force électromotrice associée au flux du champ rotorique dans le bobinage statorique.
6. Considérons la phase statorique C_1 alimentée par une source idéale de courant de valeur efficace I_{eff} et de pulsation ω. En déduire, grâce à une représentation de Fresnel dûment explicitée, qu'il est possible de déterminer explicitement la tension (en amplitude et en déphasage) que doit délivrer la source. On supposera que le couple que doit fournir le moteur est déterminé afin de compenser un couple extérieur imposé. On ne cherchera pas à réaliser les calculs permettant d'obtenir la tension.
7. Faire un bilan de puissance moyenne pour un moteur synchrone. On fera apparaître, entre autre, Φ le déphasage entre courant et tension aux bornes d'une phase statorique et Ψ le déphasage entre courant et force contre électromotrice.
8. Faire un bilan de puissance moyenne pour un alternateur synchrone à deux phases. On fera apparaître, entre autre, Φ le déphasage entre courant et tension aux bornes d'une phase statorique et Ψ le déphasage entre courant et force électromotrice.