Programme de Colle PSI

Semaine 15 : du 15 au 19 janvier

Tout exercice sur les ondes de SUP (propagation, interférences). Tout exercice sur la corde vibrante. A partir de mercredi soir, des exercices guidés sur les ondes dans les cables coaxiaux sont possibles. Pas d'exercices sur les ondes acoustiques cette semaine.

La partie « **Conversion électronique statique** » aborde la conversion électronique statique de puissance principalement sur l'exemple du hacheur série. Il ne s'agit pas de traiter un cours exhaustif sur les convertisseurs en multipliant les exemples de circuits, l'état d'esprit de cet enseignement doit permettre de réinvestir les capacités pour étudier modestement d'autres montages (redresseur, onduleur). On ne décrit pas le circuit de commande d'un transistor.

Notions et contenus	**Capacités exigibles**
5.4. Conversion électronique statique	
Formes continue et alternative de la puissance électrique.	Citer des exemples illustrant la nécessité d'une conversion de puissance électrique.
Structure d'un convertisseur.	Décrire l'architecture générale d'un convertisseur électronique de puissance : générateur, récepteur, processeur de puissance utilisant des interrupteurs électroniques, commande des fonctions de commutation.
Fonction de commutation spontanée.	Décrire la caractéristique idéale courant-tension de la diode.
Fonction de commutation commandée.	Décrire la caractéristique idéale courant-tension du transistor.
Sources.	Définir les notions de sources de courant et de tension. Expliquer le rôle des condensateurs et des bobines comme éléments de stockage d'énergie assurant le lissage de la tension ou de l'intensité à haute fréquence.
Réversibilité.	Caractériser les sources par leur réversibilité en tension, en intensité, en puissance et citer des exemples.

Interconnexion.	Citer les règles d'interconnexions entre les sources.
Cellule de commutation élémentaire.	Expliquer le fonctionnement d'une cellule élémentaire à deux interrupteurs assurant le transfert d'énergie entre une source de courant et une source de tension.
Hacheur.	Tracer des chronogrammes. Exploiter le fait que la moyenne d'une dérivée est nulle en régime périodique établi. Calculer des moyennes de fonctions affines par morceaux. Utiliser un bilan de puissance moyenne pour établir des relations entre les tensions et les intensités. Justifier le choix des fonctions de commutation pour un hacheur série assurant l'alimentation d'un moteur à courant continu à partir d'un générateur idéal de tension continue. Exprimer les valeurs moyennes des signaux. Calculer l'ondulation en intensité dans l'approximation d'un hachage haute fréquence réalisant une intensité affine par morceaux.
Onduleur.	Décrire la structure en pont à quatre interrupteurs et les séquences de commutation permises. Étudier, pour un générateur de tension continue et une charge (R,L), la réalisation d'une intensité quasi-sinusoïdale par modulation de largeur d'impulsion.
Convertisseur statique.	**Mettre en œuvre un convertisseur statique.**

Le programme de physique des ondes s'inscrit dans le prolongement de la partie « **Propagation d'un signal** » du thème « **Ondes et signaux** » du programme de PCSI, où des propriétés unificatrices (interférences, battements, ondes stationnaires…) ont été abordées en s'appuyant sur une approche expérimentale et sans référence à une équation d'onde. Il s'agit désormais de mettre en place l'équation d'onde de d'Alembert, à une ou trois dimensions, sur des systèmes mécaniques ou électromagnétiques. On aborde ensuite l'étude de la dispersion et de l'absorption associées à des phénomènes de propagation régis par des équations aux dérivées partielles linéaires à coefficients constants. Enfin, la propagation d'ondes dans des milieux différents conduit naturellement à étudier la réflexion et la transmission d'ondes à une interface.

La partie « **Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert** » est consacrée à l'étude de phénomènes ondulatoires non dispersifs. L'équation de d'Alembert unidimensionnelle est d'abord établie en étudiant une partie infinitésimale de corde ou de câble coaxial. On se contente de vérifier que les superpositions de fonctions du type $f(x - ct)$ et $g(x + ct)$ sont solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension.
Dans un deuxième temps, on étudie les ondes sonores puis les ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'espace physique de dimension trois.
L'équation de propagation des ondes sonores est établie dans le cadre de l'approximation acoustique avec une approche locale.
Le choix a été fait ici de privilégier les solutions harmoniques dans la résolution de l'équation de d'Alembert, pour leur universalité comme solutions adaptées aux équations d'ondes linéaires.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6.1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert	
6.1.1. Propagation unidimensionnelle	
Ondes transversales sur une corde vibrante.	Établir l'équation d'onde dans le cas d'une corde infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.
Équation de d'Alembert. Onde progressive. Onde stationnaire.	Identifier une équation de d'Alembert. Exprimer la célérité en fonction des paramètres du milieu. Citer des exemples de solutions de l'équation de d'Alembert unidimensionnelle.
Ondes progressives harmoniques.	Établir la relation de dispersion à partir de l'équation de d'Alembert. Utiliser la notation complexe. Définir le vecteur d'onde, la vitesse de phase.
Ondes stationnaires harmoniques.	Décomposer une onde stationnaire en ondes progressives, une onde progressive en ondes stationnaires.
Conditions aux limites.	Justifier et exploiter des conditions aux limites.
Régime libre : modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités.	Définir et décrire les modes propres. Construire une solution quelconque par superposition de modes propres.
Régime forcé : corde de Melde.	Associer mode propre et résonance en régime forcé.
Ondes de tension et de courant dans un câble coaxial.	Décrire un câble coaxial par un modèle à constantes réparties sans perte. Établir les équations de propagation dans un câble coaxial sans pertes modélisé comme un milieu continu caractérisé par une inductance linéique et une capacité linéique.
Impédance caractéristique.	Établir l'expression de l'impédance caractéristique d'un câble coaxial.
Réflexion en amplitude sur une impédance terminale.	**Étudier la réflexion en amplitude de tension pour une impédance terminale nulle, infinie ou résistive.**

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.

I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

Phénomènes de propagation - équation de d'Alembert

1. Montrer que la propagation d'une perturbation transverse le long d'une corde vibrante est régie par une équation de d'Alembert. On introduira c une vitesse que l'on exprimera en fonction des grandeurs pertinentes du problème.
2. Montrer que les ondes progressives $F(x-ct)$ et $G(x+ct)$ sont solutions de l'équation de d'Alembert.
3. Montrer qu'une OPPH est solution de l'équation de d'Alembert à condition que ω et k soient solution d'une équation que l'on déterminera. Nommer cette équation. Définir la vitesse de phase et la calculer dans le cas de l'équation de d'Alembert.
4. Considérons la corde attachée en $x=0$. En supposant une OPPH provenant de $x=+\infty$ se propageant selon $-\overrightarrow{u_x}$ et en admettant que le point d'attache est à l'origine d'une OPPH réfléchie, donner la forme de l'onde résultante. Comment appelle-t-on cette forme d'onde ?
5. Montrer qu'une OPPH peut s'écrire comme la somme de deux OSH (ondes stationnaires harmoniques). Montrer qu'une OSH peut s'écrire comme la somme de deux OPPH. Déterminer la position des nœuds et des ventres.

   Dans quelle situation est-il préférable de choisir le formalisme OPPH ? Dans quelle situation est-il préférable de choisir le formalisme OSH ?

6. Qu'appelle-t-on cavité résonante ? Dans le cas d'une corde attachée à ses deux extrémités, montrer que seuls certains modes peuvent exister. On déterminera leur fréquence et on tracera, en le justifiant, l'amplitude $A(x)$ des trois premiers modes.

Câble coaxial

1. Décrire la modélisation d'un câble coaxial sans perte. Déterminer les équations électriques couplées et en déduire l'équation de d'Alembert sur la tension et l'intensité. Déterminer la relation de dispersion ainsi que l'impédance caractéristique du câble.
2. Réflexion sur une impédance terminale $Z = 0$ positionnée en $x = 0$ d'une OPPH : déterminer les coefficients de réflexion en tension et intensité. Montrer que la superposition des deux ondes conduit à une onde stationnaire harmonique.
3. Réflexion sur une impédance terminale $\underline{Z}$ positionnée en $x = 0$ d'une OPPH : déterminer les coefficients de réflexion en tension et intensité. Discuter des cas limites $\underline{Z} = 0$ et $\underline{Z} = +\infty$. Que signifie adaptation d'impédance ?

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.

Programme spécifique 5/2

Toute la partie « Ondes » de SUP.

Questions de cours possibles :

1. Application directe du cours TD 10 (nombre de questions au choix du colleur) :
   - Soit $f(t)$ la fonction modélisant le signal en $x = 0$. Donner l'expression du signal en $M(x)$ ($x > 0$) en considérant une onde qui se propage vers les x croissants de O à M à la célérité c.
   - Soit $f(t)$ la fonction modélisant le signal en $x = 0$. Donner l'expression du signal en $M(x)$ ($x < 0$) en considérant une onde qui se propage vers les x décroissants de O à M à la célérité c.
   - Soit $g(x)$ la fonction donnant à la date $t = 0$ la valeur d'une grandeur physique en fonction de l'abscisse x du point d'observation. Donner l'expression de cette grandeur en fonction de x à la date t en considérant une onde se propageant vers les x décroissants à la célérité c.
   - Une onde progressive sinusoïdale d'amplitude A_0 et de longueur d'onde λ se propage dans le sens des x décroissants à la célérité c. La phase à $t = 0$ au point A d'abscisse $x_A = \lambda/4$ est nulle. Donner l'expression de la fonction $s(x,t)$ en fonction de A_0, λ, c, x et t. Quel est le déphasage entre A et l'origine O du repère ?
   - Une onde sinusoïdale se propage dans la direction de l'axe (Ox) dans le sens négatif avec la célérité c. On donne :

     $$s_2(0,t) = A\sin(\omega t)$$

     Déterminer l'expression de $s_2(x,t)$. Représenter graphiquement $s_2(\lambda/4,t)$ et $s_2(\lambda/2,t)$ en fonction de t.
2. Rappeler, dans le cas de deux ondes de même amplitude S_0 la formule de Fresnel. L'écrire en fonction du déphasage $\Delta\Phi(M)$. Exprimer les valeurs de $\Delta\Phi(M)$ correspondant à des interférences constructives/destrcutives.
3. Dans le cas d'interférences à l'infini, montrer que la différence de marche δ peut s'exprimer sous la forme

   $$\delta = \frac{ay}{D}$$

   A quelle condition sur y a-t-on des interférences destructives/constructives.
4. Définir l'interfrange et donner sa valeur dans le cas d'interférences à l'infini sachant que la différence de marche s'écrit

   $$\delta = \frac{ay}{D}$$