US4613 - Physique 1-1 : Biophysique, acoustique et électronique

Mis à jour le 31-03-2023

Code : US4613

Unité spécifique de type cours

12 crédits

Responsabilité nationale : EPN04 - Ingénierie mécanique et matériaux / Eric BAVU

Contact national :

Laboratoire d'acoustique

2D6P21, 35, 2 rue Conté
75003 Paris
01 40 27 22 55
Isabelle Carel
alexandre.garcia@cnam.fr

Présentation

Prérequis

Uniquement pour les admis via Parcoursup à la formation des audioprothésiste du Cnam Paris (CPDA).

Objectifs pédagogiques

Maîtriser les phénomènes en acoustique, la propagation et les résonances dans le conduit auditif, les grands principes de l'électronique et des résonateurs et filtres analogiques, ainsi que les mécanismes liés au fonctionnement d'un résonateur mécanique et d'un haut-parleur électrodynamique.

Programme

Contenu

Acoustique :

- Introduction à l'acoustique – Métiers de l'acoustique
- Histoire de la captation des sons et vibrations
- Pression acoustique, ordres de grandeurs – pression efficace
- Échelle de décibels – loi de Weber-Fechner – Niveaux de pression – Seuils normaux d'audition
- L'oreille vu comme un transducteur : mécanismes de l'audition – cochlée, tonotopie
- Sensibilité de l'audition, cellules ciliées, ordres de grandeurs
- Sommation de niveaux sonores, sommations énergétiques, sommation de niveaux en dB, sommation en phase
- Grandeurs caractéristiques d'un son : longueur d'onde, fréquence, période, pulsation
- Introduction à la décomposition en série de Fourier-Analyseur harmonique (Kelvin, Koenig, résonateurs de Helmholtz) – Spectrogramme
- Types de sons : périodiques, pseudo-périodiques, aléatoires – Analyse à bande fines ou en bandes de fréquences, Tiers d'octaves, bandes d'octaves
- Lignes isosoniques, pondérations (A, B,C), indices de gène
- Principe de fonctionnement d'un sonomètre, classes de précision, constante de temps d'intégration
- Réglementation en lien avec le bruit : code du travail, directives européennes, niveaux équivalents, niveaux crête, calcul du niveau d'exposition quotidienne - Prévention des risques
- Introduction à la physique des ondes : classification, célérité, ondes longitudinales, ondes transverses, front d'onde, mécanismes de propagation
- Milieu fluide : propriétés mécaniques, échelle d'étude mésoscopique, notion de particule de fluide, intéractions entre molécules, cas particulier du gaz parfait
- Grandeurs physiques pour l'acoustique : pression, notion fluide non visqueux / visqueux, température d'un gaz et agitation thermique, masse volumique, vitesse particulaire
- Équations de l'acoustique linéaire : hypiothèses de l 'acoustique linéaire, linéarisation des équations de la mécanique des fluides, équations thermodynamiques. Hypothèse des petits mouvements
- Rappels sur les dérivées partielles, mise en équation de l'acoustique guidée à 1 dimension
- Équations fondamentales de l'acoustique : démonstration de l'équation d'Euler, de l'équation de conservation de la masse et de variation de volume, étude thermodynamique de l'équation d'état du fluide – Compressibilité adiabatique
- Équation d'Alembert à 1D et solutions : solutions générales, interprétation physique, ondes progressives. Célérité acoustique : cas particulier du gaz parfait – évolution avec la température

- Solutions en ondes planes harmoniques – grandeurs essentielles – formulation des solutions en exponentielles complexes.
- Relation pression vitesse, impédance acoustique spécifique déduite d'une onde plane se propageant exclusivement dans une direction, impédance caractéristique d'un fluide
- Impédance acoustique spécifique d'une onde : cas général – Décomposition en ondes élémentaires
- Impédances couramment utilisées en acoustique pour l'audioprothèse : impédance acoustique spécifique réduite, impédance acoustique spécifique, impédance acoustique, impédance mécanique
- Grandeurs énergétiques d'une onde plane : intensité acoustique (instantanée / moyenne) puissance acoustique (instantanée / moyenne) - Notation complexe des intensités pour une onde plane – Densité d'énergie (globale, cinétique, potentielle) et interprétation énergétique de la propagation acoustique.
- Dioptres acoustiques, contraste d'impédances et phénomènes de réflexion / transmission
- Acoustique 1D des espaces limités : ondes guidées, hypothèse basse fréquence de propagation en ondes planes et fréquences de coupures pour des guides d'ondes cylindriques
- Relation de continuité, réflexions et transmissions aux discontinuités de section dans les guides d'ondes, bilans de puissances
- Tube de Kundt, impédancemétrie
- Relations aux embranchements, relations d'impédances acoustiques et continuité des grandeurs
- Formule des impédances ramenées : démonstration, interprétation physique. Cas particuliers d'un tube ouvert à une extrémité, d'un tube fermé à une extrémité. Capillaires et pertes
- Analogies basse fréquence : masse acoustique, raideur acoustique, lien avec les conduits, tubes, cavités, et évents rencontrés en audioprothèses
- Limites de l'analogie basse fréquence, fréquence de coupures.
- Analogies acousto-mécaniques et acousto-électriques aux basses fréquences
- Analogies mécano-électriques.
- Schémas électriques équivalents et résolutions, modélisation complète de l'oreille externe
- Modes propres, fréquences propres, méthode de détermination à partir des impédances – Cas particulier d'un tube ouvert aux deux extrémités, d'un tube ouvert-fermé - résonateur ½ onde, résonateur ¼ d'onde. Résonateur de Hemlholtz

Électricité :

- Grandeurs en électricité : Tension, Courant, Loi d'Ohm, Résistance électrique
- Lecture et interprétation d'un schéma électrique
- Lois comportementales de dipôles : condensateur, self-inductance, résistance
- Loi des nœuds, loi des mailles, pont diviseur de tension
- Modèle de Thévenin
- Régime sinusoïdal (principe de décomposition de Fourier)
- Paramètres d'une signal harmonique - Représentation complexe
- Interférence entre deux signaux déphasés
- Transformateurs /couplage magnétique

- Impédance complexe et loi d'Ohm généralisée
- Ordre d'un filtre, Diagramme de Bode (amplitude et phase)
- Courbes de réponses, gains en décibels (en amplitude vs puissance)
- Fréquence de coupure a -3db, analyse aux limites
- Filtres passifs du 1er ordre (types RC et RL, PB et PH)
- Filtre du 2nd ordre (RLC)
- Facteur de qualité / résonance / amortissement
- Amplificateur Opérationnel « parfait »
- Montage suiveur (adaptation d'impédance)
- Rétroaction

- Amplificateur inverseur et non inverseur
- Additionneur et soustracteur
- Amplificateur d'instrumentation
- Signal différentiel
- Filtres actifs du 1er ordre (PB et PH)
- Filtre actif du 2nd ordre (Sallen Key)
- Trigger de schmitt et introduction au principe du numérique

Dynamique des vibrations :

- Équation du mouvement d'oscillateurs : système masse-ressort, amortissements, système à l'horizontale, à la verticale
- Systèmes couplés masse-ressort, mise en série, mise en parallèle, associations
- Inertie et rappel, moteurs de l'oscillation
- Résonateur de Helmholtz
- Systèmes couplés avancés
- Solutions d'oscillateurs mécaniques en régime libres sans / avec frottement – vecteur tournant / phaseur – Solutions complexes, solutions réelles – Coefficient d'amortissement, constante de temps, facteur de qualité, solutions pour systèmes couplés 2 masses – 3 ressorts
- Fonctions de transfert – Gains en décibel, étude de la phase, formes canoniques
- Solutions en régime forcé sans couplage– Systèmes masse-ressort / amortisseur sans couplage – régime transitoire, régime permanent – Réponses stationnaires – Résonance et conditions de résonance – Facteur de surtension - Fréquences de coupures à - 3dB – Réponse asymptotique – Tracé de diagrammes de Bode – solutions en variables réduites – Déphasage
- Solutions en régime forcé de systèmes couplés : système masse ressort double – Pulsation d'antirésonance – Représentations graphiques
- Analogies mécanique – acoustique : impédances, résonances, grandeurs élémentaires, masse, raideur . Analogie mécanique – électrique : cas du système masse-ressort-amortisseur et RLC
- Couplage él ectromécanique – transducteurs électrodynamiques, électrostatiques – Haut-parleur électrodynamique : anatomie, grandeurs utiles, modélisation – Microphone électrodynamique : anatomie, grandeurs utiles, modélisation. Courant induit, force de Lorentz, force de Laplace, force électromotrice d'auto-induction.

Modalités de validation

- Examen final