



TP de PHYS 602

Propagation

Présentation générale

Ce T.P. se compose de deux parties distinctes. Dans la première partie, on étudie la propagation de signaux électriques dans un câble coaxial. Les signaux électriques envoyés dans le câble (de longueur $\ell = 60$ m) seront de trois types : signaux HF, signaux BF, impulsions. Dans la seconde partie, on étudie quelques propriétés simples des ondes acoustiques libres : nature et qualités d'un son, propagation sonore, mesures de vitesses de propagation.

1 Caractéristiques de l'antenne cornet

1.1 Étude à l'aide d'un générateur HF

On effectue le montage suivant :

Le câble est alimenté par un générateur HF délivrant un signal sinusodal à une fréquence de l'ordre de 2 MHz. Le câble est ouvert à son extrémité $A'B'$. Il se comporte comme un circuit anti-résonnant pour les fréquences telles que $\ell = k\lambda/2$. Le montage est donc le même que pour un circuit LC à constantes localisées. On branche un oscilloscope aux bornes de AB .

1. Faire varier la fréquence des signaux de telle façon à ce que l'oscilloscope accuse une déviation maximale. On a alors $\nu = \nu_0$. En déduire la vitesse de propagation des signaux électriques dans le câble coaxial. En déduire la permittivité relative du diélectrique constituant le câble.

2. On ferme l'extrémité $A'B'$ du câble sur une impédance terminale Z (par exemple des boîtes AOIP). Faire varier Z et pour chaque valeur de Z , faire varier la fréquence ν autour de ν_0 (correspondant à une antirésonance) de façon à obtenir la plus faible déviation de la tension. L'impédance Z_0 ainsi trouvée est l'impédance caractéristique du câble coaxial.

1.2 Étude à l'aide d'un générateur BF

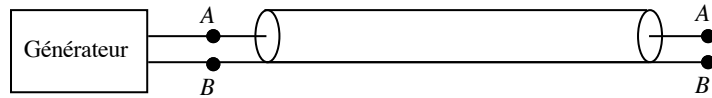
On reprend le montage précédent en remplaçant le générateur HF par un générateur BF délivrant des signaux en crêteaux dont la fréquence est de l'ordre de 50 kHz. Les points B et B' (à la masse) sont reliés à la masse d'un oscilloscope. On visualise le signal au point A' sur la voie Y. Qu'observe-t-on à l'oscilloscope dans les cas suivants :

- la ligne est ouverte en $A'B'$;
- la ligne est en court-circuit en $A'B'$;
- la ligne est fermée sur une impédance Z .

En faisant varier la valeur de Z , peut-on supprimer le signal réfléchi ? Que vaut alors l'impédance Z (notée Z_0) ? Suivant que $Z < Z_0$ ou $Z > Z_0$, comment varie le signal observé ? Expliquer les différentes observations.

1.3 Étude à l'aide d'un générateur d'impulsions

On alimente le câble coaxial par un générateur d'impulsions. La largeur de ces impulsions varie de 10 à 100 ns par pas de 10 ns. On réalise le schéma suivant :



3. L'extrémité $A'B'$ du câble est soit « en l'air » (extrémité ouverte), soit en court-circuit, soit fermée sur une impédance Z variable. 1) L'extrémité $A'B'$ du câble coaxial est ouverte. Qu'observe-t-on à l'oscilloscope ? Comment varient les pics successifs (hauteur, largeur à la base, ...). Expliquer. Mesurer le temps entre deux pics successifs (prendre une base de temps telle que deux pics au plus apparaissent sur l'écran). Connaissant la longueur du câble, en déduire la vitesse de propagation des signaux électriques dans le câble. En déduire la permittivité relative du diélectrique constituant le câble. Comparer les résultats avec ceux du 1.1.

4. L'extrémité $A'B'$ du câble est en court-circuit. Comment les observations précédentes sont-elles modifiées ? Expliquer. 3) L'extrémité $A'B'$ du câble est fermée sur une impédance Z variable. Chercher la valeur Z_0 de Z pour que les pics secondaires disparaissent. Comment s'appelle l'impédance Z_0 ? Quelle est sa valeur ? Comparer avec les résultats du paragraphe 1.1.

2 Ondes acoustiques

2.1 Production et nature du son

Nature vibratoire du son

5. Les ondes acoustiques sont des ondes de pression longitudinales. Elles se propagent dans tout milieu (gaz, liquide, solide). Brancher un microphone aux bornes d'un oscilloscope. Observer le signal électrique envoyé à l'oscillo lorsque le micro reçoit le son d'un diapason percuté, puis le bruit provoqué par un choc sur la table. Conclusion ? Mesurer la fréquence émise par le diapason.

Sources sonores

À l'origine de toute sensation sonore se trouve un système en vibration qui provoque, soit mécaniquement, soit par un transducteur électromécanique, une onde de pression. Ce système est appelé génériquement source sonore. Exemples de sources sonores de nature mécanique : - diapason percuté : les branches d'acier du diapason effectuent des vibrations libres. Une caisse de résonance permet d'amplifier le son, mais celui-ci s'atténue plus rapidement. - tuyaux sonores : ce sont des tuyaux ouverts en bois à embouchure de flûte, installés sur un sommier acoustique où entre l'air d'une soufflerie. On fait varier la fréquence du son en déplaçant verticalement le trou du tuyau sonore. Exemples de sources sonores de nature électrique :

- haut-parleur électrodynamique ;
- quartz à effet piézo-électrique : une lame cristalline taillée parallèlement à l'axe optique a ses faces métallisées. A la résonance, la lame de quartz est une source d'ultrasons. Les fréquences obtenues peuvent atteindre plusieurs MHz.

Qualités d'un son

Le son provoqué par le diapason conduit à une vibration de pression purement sinusodale, ce qui n'est pas le cas du son d'un instrument de musique qui est une superposition subtile d'harmoniques. La qualité d'un son se décrit par sa hauteur, son intensité et son timbre. La hauteur d'un son est liée à sa fréquence (un son est d'autant plus aigu que sa fréquence est élevée). Deux sons sont dits à l'octave si l'un a une fréquence double de l'autre. Visualiser sur l'oscilloscope le son émis par un haut-parleur alimenté par un générateur BF. Faire varier la fréquence du BF et observer la variation de la courbe sur l'oscillo. Ecouter des sons de fréquence 128 Hz (Do2), 256 Hz (Do3), 512 Hz (Do4) et 1024 Hz (Do5). L'intensité d'un son est liée à l'amplitude de la source et à l'éloignement de la source par rapport au détecteur. Faire varier indépendamment l'amplitude du signal délivré par le BF et la distance entre le haut-parleur (source) et

le micro (détecteur). Qu'observe-t-on ? L'amplitude de l'onde sonore délivrée par le haut-parleur étant constante, tracer la courbe donnant l'amplitude du signal délivré par le micro en fonction de la distance HP-micro. Conclusion ? L'onde acoustique est-elle plane ou sphérique ? On définit l'intensité d'une onde acoustique comme étant l'énergie se propageant par unité de surface et par unité de temps. On utilise souvent l'intensité standard $I_0 = 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. L'oreille humaine présente une gamme de sensibilité extraordinaire : de $100I_0$ (correspondant au son douloureux) jusqu'à $10^{-10}I_0$ (correspondant au seuil auditif). Quel instrument fantastique !¹

En fait, l'oreille est sensible au logarithme de l'intensité. L'intensité I d'une onde acoustique a une valeur de x décibels (dB) si $x = 10 \log_{10}(I/I_0)$. Une oreille moyenne détecte tout juste une augmentation d'intensité de 1 dB (c'est-à-dire $I \approx 1,26I_0$). Le timbre d'un son est lié à la composition spectrale de la vibration sonore. Ainsi les sons musicaux sont caractérisés par la fréquence du fondamental auquel s'ajoutent un certain nombre d'harmoniques. De plus, l'attaque et l'extinction des sons transitoires sont une signature de l'empreinte tonale de l'instrument. Avec un instrument de musique, jouer d'abord une note plus ou moins fort. Observer le signal : nombre d'harmoniques, leur importance relative, déformation du son, etc... Puis jouer la même note à l'octave (supérieur ou inférieur). Mêmes observations. Refaire l'expérience en prononçant des voyelles. Commenter

2.2 Propagation des ondes acoustiques

Nécessité d'un milieu matériel

6. Dans une enceinte, on fait progressivement le vide. Que devient le son produit à l'intérieur ? On fait rentrer de l'air. Même question. Conclusion ?

7. On relie un diapason à la caisse de résonance soit par un milieu liquide (récipient rempli d'eau), soit par un milieu solide (règle en bois). La caisse de résonance se met-elle à vibrer lorsqu'on percute le diapason ?

8. Même expérience que ci-dessus avec un bloc de mousse. Expliquer. Comment produire un isolant acoustique ?

Mesure de la fréquence d'un son

Un micro (détecteur) reçoit les ondes acoustiques provoquées (i) par un générateur BF, de fréquence ν connue et (ii) par un diapason de fréquence ν' voisine mais inconnue (pour modifier la fréquence du diapason, on dispose de masselottes que l'on peut fixer sur l'une des branches du diapason). On observe le signal du micro à l'oscilloscope.

9. Qu'observe-t-on ? Pourquoi ? En déduire la fréquence ν' inconnue du diapason.

10. Comment se déforme le signal lorsque la fréquence du BF varie ? Que devient le signal si ν et ν' sont très différents, puis très voisins ? Expliquer. En déduire une autre méthode de mesure de la fréquence du diapason.

Mesure de la vitesse du son dans l'air : tube de Kundt

Les mesures de vitesse du son sont des mesures indirectes. La vitesse du son dans un milieu donné est uniforme, indépendante de l'amplitude, de la fréquence et de la forme des vibrations sonores. On établit dans un tube de Kundt un régime d'ondes stationnaires entre le haut-parleur (source) et le micro (détecteur). À chaque fois que la distance HP-Micro est multiple de $\lambda/2$, il y a résonance. Le micro est alors à un ventre de pression.

11. Visualiser le signal du micro à l'oscilloscope, déterminer la longueur d'onde du signal dans le tube (pour cela, mesurer la distance entre plusieurs résonances). Connaissant la fréquence du signal, en déduire

1. On peut montrer qu'à 440 Hz, l'amplitude du déplacement de l'air correspondant à l'intensité $I = 10^{-10}I_0$ du seuil auditif est de l'ordre du diamètre d'un atome. L'oreille est donc sensible au point d'être capable de détecter les mouvements du tympan d'une amplitude comparable au diamètre d'un atome.

la vitesse du son dans l'air. Comparer avec la valeur théorique. Déterminer les incertitudes relatives et absolues sur la mesure.