

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



TRANSDUCTEUR LARGE BANDE A NIVEAU D'EMISSION CONSTANT ET VARIATION DE PHASE LINEAIRE

Ph. CLUZEL et B. TOCQUET

Attachés aux Services Techniques de l'Armement
Ingénieurs au Laboratoire de Détection Sous-Marine - Le BRUSC (Var)

RESUME

Le calcul du déphasage entre la tension appliquée aux bornes d'un transducteur piézoélectrique et la pression sonore sur son axe acoustique peut s'effectuer à l'aide des circuits équivalents. On démontre qu'il existe deux solutions permettant de construire un transducteur d'émission à variation de phase linéaire ; elles diffèrent entre elles par la puissance mise en jeu et la largeur de bande de fréquences. Nous avons choisi celle permettant d'obtenir la bande passante la plus large. On présente ensuite une description du transducteur réalisé et de son système de correction lui conférant un niveau d'émission constant. On donne enfin les résultats de mesures effectuées sur le transducteur seul, le transducteur corrigé, et l'ensemble monté dans un dôme.

SUMMARY

The calculation of the phase-shift between the voltage applied to a piezoelectric transducer and the resulting sound pressure on its acoustic axis can be made through the equivalent circuit method. It is shown that there exist two solutions for the construction of a transmitting transducer with a linear varying phase ; these solutions are different in their power and frequency bandwidth. The solution with the largest bandwidth has been chosen. A description of the constructed transducer with its sound level correcting system is then given. Some results of measurements made with the transducer alone, with the corrected transducer and with the corrected transducer mounted in a sonar dome are presented.

TRANSDUCTEUR LARGE BANDE A NIVEAU D'EMISSION CONSTANT ET VARIATION DE PHASE LINEAIRE

1. - INTRODUCTION -

Certaines applications de l'acoustique sous-marine requièrent des sources sonores présentant une réponse à l'émission constante et une loi de phase reliant le signal électrique au signal acoustique régulière. L'objet de l'étude entreprise que nous décrivons dans cet exposé est de réaliser un tel transducteur dont la réponse à l'émission soit constante (± 1 dB) dans une bande passante d'une octave et la variation de phase linéaire, dans cette même gamme de fréquences.

Le calcul du déphasage entre la tension appliquée aux bornes d'un transducteur piézo-électrique et la pression sonore sur son axe acoustique peut s'effectuer à l'aide de circuits équivalents. On démontre qu'il existe essentiellement deux solutions permettant de construire un transducteur d'émission à variation de phase linéaire ; elles diffèrent entre elles par la puissance mise en jeu et la largeur de bande. On présente ensuite une description du transducteur réalisé et de son système de correction lui conférant un niveau d'émission constant. On donne enfin les résultats des mesures effectuées sur le transducteur seul et le transducteur corrigé.

2. - CALCUL DE LA PHASE -

2.1.- Généralités.

Soit U la tension électrique appliquée aux bornes d'un transducteur, soit V_0 la vitesse vibratoire de son pavillon, et soit p le point où l'on observe la pression acoustique p .

On peut écrire : $\varphi(U/p) = \varphi(U/V_0) + \varphi(V_0/p)$

$\varphi(U/p)$ étant la phase de U par rapport à p

$\varphi(U/V_0)$ étant la phase de U par rapport à V_0

$\varphi(V_0/p)$ étant la phase de V_0 par rapport à p

on voit donc qu'il suffit de connaître $\varphi(U/V_0)$ et $\varphi(V_0/p)$ pour en déduire $\varphi(U/p)$.

Dans les transducteurs piézoélectriques la transformation d'énergie utilise un intermédiaire mécanique ; il faudra donc tenir compte des déphasages successifs apportés par les parties électriques, mécaniques et acoustiques pour calculer le déphasage électroacoustique du transducteur.

En utilisant les analogies électromécaniques et électroacoustiques on pourra représenter par un circuit électrique le transducteur ; par contre le champ acoustique produit par le pavillon ne peut être calculé que grâce aux équations de l'acoustique. Le calcul de la phase électroacoustique d'un transducteur va donc se scinder en deux parties :

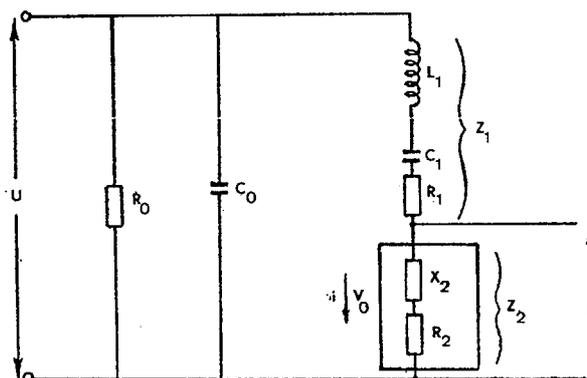
- d'une part le calcul de la phase de la tension appliquée aux bornes du transducteur par rapport à la vitesse vibratoire du pavillon à l'aide du circuit équivalent du transducteur.

- d'autre part le calcul du déphasage entre la vitesse vibratoire du pavillon et la pression sonore en un point de l'axe acoustique du transducteur.

2.2.- Analogies électromécaniques.

L'analogie que nous employons est dite du type "Impédance" ce qui entraîne que les éléments mécaniques connectés en parallèle seront représentés par des éléments en série et vice-versa.

On représentera donc le transducteur unitaire autour de sa fréquence de résonance par le circuit électrique suivant :



Où : U est la tension appliquée aux bornes du transducteur.

C_0 la capacité bloquée.

R_0 la résistance de perte diélectrique des céramiques.

Z_1 l'impédance du circuit motionnel qui comprend : L_1 , C_1 , R_1 représentant la masse, l'élasticité et la résistance de perte du circuit motionnel.

i l'intensité traversant l'impédance de rayonnement représente la vitesse vibratoire V_0 du pavillon.

La tension qui apparaît aux bornes de l'impédance de rayonnement Z_2 représente la force au niveau du pavillon.

Z_2 est l'impédance de rayonnement. Elle se compose d'une partie imaginaire X_2 et d'une partie réelle R_2 . Les valeurs de X_2 et R_2 doivent être calculées pour chaque fréquence car l'impédance de rayonnement ne suit pas en fonction de la fréquence les mêmes lois que les impédances électriques.



TRANSDUCTEUR LARGE BANDE A NIVEAU D'EMISSION CONSTANT ET VARIATION DE PHASE LINEAIRE

2.3.- Mesures des éléments constitutants le circuit équivalent.

La détermination, à la fréquence de résonance, des composants constitutants le circuit équivalent du transducteur se fait à partir des boucles de Kennelly dans l'air et dans l'eau.

Les valeurs de L_1 , C_1 , R_1 mesurées à la fréquence de résonance sont valables dans une certaine bande de fréquences, limitée vers le haut par le fait que la résonance correspondant à l'harmonique deux commence à se faire sentir. Par contre les valeurs de L_2 et R_2 mesurées ne sont représentatives qu'à la fréquence de résonance. Nous allons donc voir comment on peut calculer les valeurs de la partie réelle et de la partie imaginaire de l'impédance de rayonnement dans une certaine bande de fréquences.

Pour faciliter les calculs nous allons raisonner sur des pavillons circulaires placés dans un baffle infini ; ces résultats peuvent être extrapolés à des pavillons de forme quelconque.

2.3.1.- Impédance de rayonnement d'un pavillon circulaire.

L'impédance de rayonnement d'un piston est défini comme étant le rapport de la force qu'exerce le piston sur le milieu, à la vitesse du piston.

Dans le cas d'un piston circulaire vibrant dans un baffle infini on démontre que la partie réelle R_2 et la partie imaginaire X_2 de l'impédance de rayonnement sont données par :

$$R_2 = \rho C \pi a^2 \left[1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} \right]$$

$$X_2 = \rho C \pi a^2 \frac{K_1(2ka)}{2k^2 a^2}$$

où : a est le rayon du piston

k nombre d'onde $\frac{2\pi}{\lambda}$

ρ masse volumique du milieu

C vitesse de propagation du son dans le milieu considéré

J_1 fonction de Bessel d'ordre 1 de première espèce

K_1 fonction de Bessel modifiée d'ordre 1 de second espèce.

2.3.2.- Détermination de la partie réelle et de la partie imaginaire de l'impédance de rayonnement dans une bande de fréquences.

On a vu que l'on pouvait mesurer la valeur de la partie réelle et de la partie imaginaire de l'impédance de rayonnement du transducteur à la fréquence de résonance de celui-ci. Connaissant la forme et la dimension du pavillon du transducteur étudié, nous pouvons calculer, à la fréquence de résonance la valeur de ka .

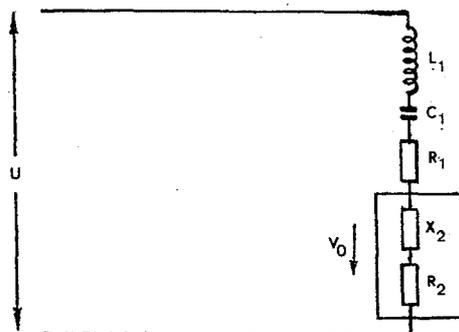
Les courbes de la figure 1 qui représentent la partie réelle et la partie imaginaire de l'impédance de rayonnement d'un piston circulaire ont leurs ordonnées étalonnées en unités $\frac{1}{\rho C S}$, S étant la surface du piston. On pourra donc, pour la valeur de ka calculée à la fréquence de résonance, faire correspondre aux valeurs de la partie réelle et de la partie imaginaire de l'impédance de rayonnement en unités $\frac{1}{\rho C S}$, les valeurs de cette même partie imaginaire calculées à partir du cercle de Kennelly. Ceci nous permettra donc d'étalonner l'axe des ordonnées des courbes donnant l'impédance de rayonnement.

2.4.- Calcul de la phase de la tension appliquée au transducteur par rapport à la vitesse vibratoire du piston.

Nous avons vu qu'un transducteur type "Tonpiz" pouvait être représenté par le circuit équivalent décrit ci-dessous.

Nous pouvons sans inconvénient négliger la résistance de perte de la capacité bloquée. De plus cette dernière peut être supprimée dans le circuit permettant le calcul de la phase entre la tension appliquée au transducteur et la vitesse vibratoire, car on travaille à tension constante aux bornes du transducteur.

Nous obtenons donc le circuit électrique simplifié suivant :



V_0 équivalent à i

on aura donc pour le déphasage :

$$\varphi (U/V_0) = \text{Arc tg} \frac{(L_1 \omega - C_1 \omega^{-1}) + X_2}{R_1 + R_2}$$



TRANSDUCTEUR LARGE BANDE A NIVEAU D'EMISSION CONSTANT ET VARIATION DE PHASE LINEAIRE

2.5.- Champ acoustique produit par un pavillon circulaire et calcul du déphasage entre la vitesse vibratoire du pavillon et la pression sonore en un point quelconque de l'axe acoustique.

Nous nous attachons maintenant au déphasage de la vitesse vibratoire du pavillon par rapport à la pression sonore en un point situé sur l'axe acoustique du transducteur. Le calcul de ce déphasage peut être effectué dans des cas simples, par exemple le cas du piston circulaire.

La pression en un point de l'axe acoustique situé à une distance Z du centre du pavillon est donné par l'expression :

$$p = 2 \rho C V_0 \sin \left[\frac{k}{2} (\sqrt{a^2 + z^2} - z) \right] e^{j \left[\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{k}{2} (\sqrt{a^2 + z^2} + z) \right]}$$

dont on peut déduire le déphasage :

$$\varphi(p/V_0) = \frac{\pi}{2} - \frac{k}{2} (\sqrt{a^2 + z^2} + z)$$

2.6.- Déphasage de la tension appliquée au transducteur par rapport à la pression sonore en un point éloigné quelconque du transducteur.

Toujours dans le cas d'un pavillon circulaire, la relation qui donne la phase de la tension appliquée sur le transducteur par rapport à la pression sonore en un point de l'axe acoustique situé à une distance Z du centre du pavillon s'écrit :

$$\varphi(U/p) = \varphi(U/V_0) + \varphi(V_0/p)$$

$$\varphi(U/p) = \text{Arc tg} \frac{(L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega}) + X_2}{R_1 + R_2} - \frac{\pi}{2} + \frac{k}{2} (\sqrt{R^2 + z^2} + z)$$

Si l'on fait croître indéfiniment Z on a :

$$\varphi(U/p) = \text{Arc tg} \frac{(L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega}) + X_2}{R_1 + R_2} - \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi Z}{\lambda}$$

et si l'on ne tient pas compte du déphasage dû à la propagation de l'onde sonore dans le milieu on a :

$$\varphi(U/p) = \text{Arc tg} \frac{(L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega}) + X_2}{R_1 + R_2} - \frac{\pi}{2}$$

2.7.- Résultats - Solutions possibles.

La figure 2 représente la différence de phase entre la tension appliquée aux bornes d'un transducteur type Tonpitz et la pression sonore en un point de l'axe acoustique situé très loin du pavillon, sans tenir compte toutefois du déphasage apporté par la propagation de l'onde sonore dans le milieu.

Au vu de ces résultats trois solutions semblent possibles :

- La première consiste à utiliser un transducteur travaillant bien en-dessous de sa fréquence de résonance ; la bande de fréquences est large mais par contre la puissance émise sera réduite.
- La deuxième possibilité est d'utiliser le transducteur autour de sa fréquence de résonance, sa largeur de bande sera faible mais la puissance émise pourra être élevée.
- Enfin la troisième solution qui consisterait à se servir du transducteur au-dessus de sa fréquence fondamentale de résonance est généralement à rejeter, car dans cette plage là, les effets des harmoniques se font sentir.

C'est la première solution que nous avons choisi pour la construction de notre transducteur.

3.- REALISATION

L'antenne est composée de neuf transducteurs élémentaires type Tonpitz dont la fréquence de résonance est égale approximativement à trois fois la limite supérieure de la bande passante. Les neuf transducteurs élémentaires sont montés sur une même semelle de caoutchouc.

Un circuit de correction passif est accolé à l'antenne et permet de corriger la réponse à l'émission Sv tout en conservant une variation de phase linéaire dans la gamme de fréquences qui nous intéresse.

4.- RESULTATS EXPERIMENTAUX

La réponse à l'émission du transducteur seul est donnée figure 3.

La réponse à l'émission du transducteur corrigé est donnée figure 4.

Enfin les figures 5 et 6 donnent la valeur de la phase ramenée au niveau du pavillon avec et sans correction.



TRANSDUCTEUR LARGE BANDE A NIVEAU D'EMISSION CONSTANT ET VARIATION DE PHASE LINEAIRE

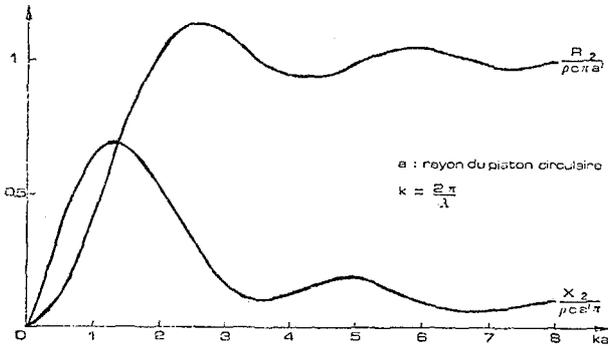


Figure 1

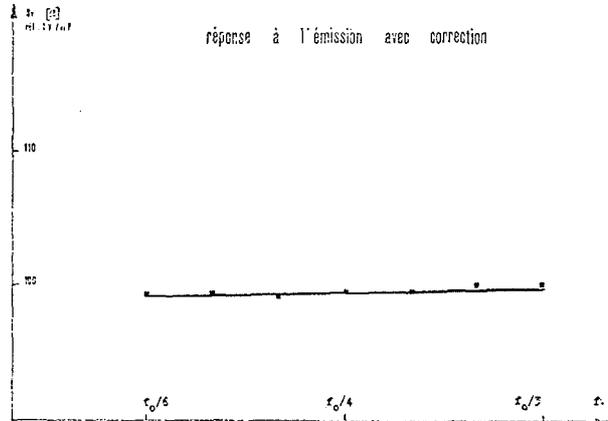


Figure 4

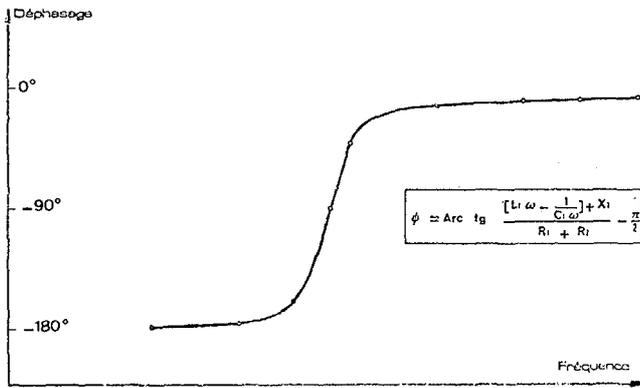


Figure 2

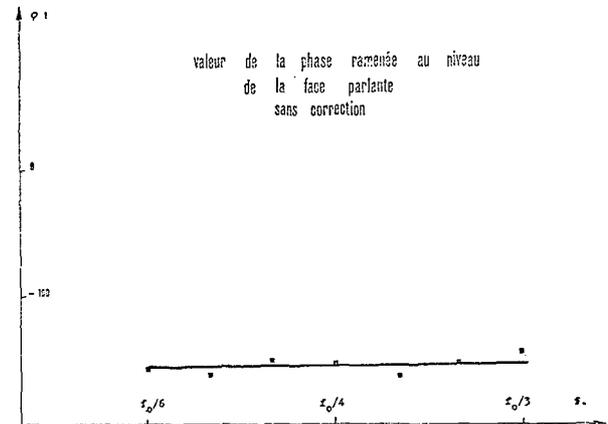


Figure 5

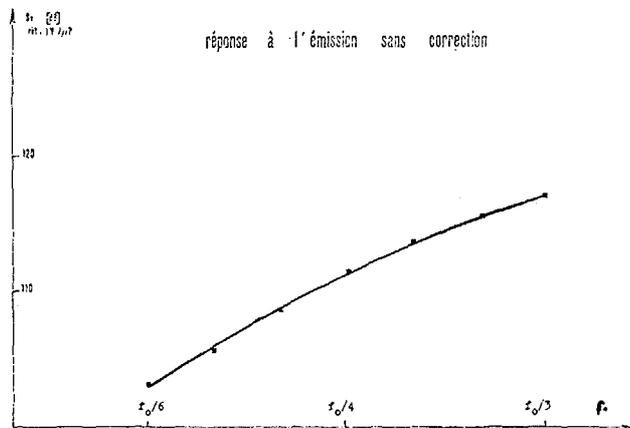


Figure 3

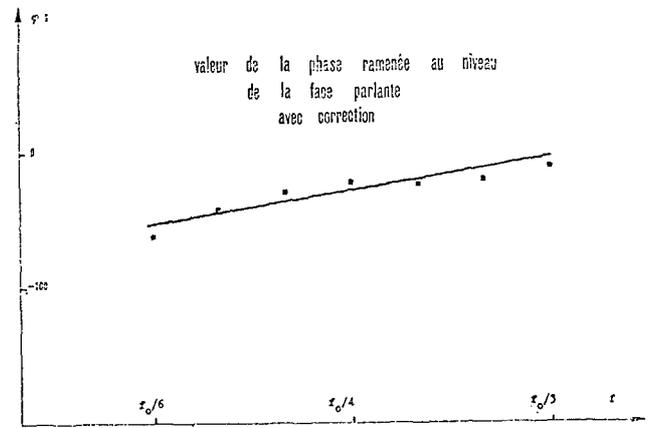


Figure 6