

Initiation à l'asservissement en pression d'un Haut-parleur électrodynamique

IN-1- Généralités :

IN-1-1 But : L'asservissement en pression d'un HP, consiste à mettre en œuvre un dispositif actif destiné à améliorer notablement la qualité de restitution du message sonore appliqué, sous la forme d'une tension, ou, un courant électrique, à l'entrée du système de reproduction. Sous entendu que ce signal est le reflet de la prise de son, enregistrée ou non, d'un événement sonore. Le HP et son enceinte sont constitués d'éléments passifs. Ils consomment ou accumulent et échangent de l'énergie mais sont incapables d'en fournir par eux-même. L'actif lui est capable de fournir l'énergie capable d'aider au contrôle du HP. L'actif, vient en aide au passif.

Ceci est valable pour un groupement de HP complémentaires, hormis que la qualité de la restitution dépend aussi, de la topologie des filtres de séparation, et de la position relative de chacun des HP. La diffraction de l'enceinte étant valable que le HP soit libre ou asservi. Par contre, nous verrons que la réaction de l'enceinte, ainsi que les réflexions du local sur le HP asservi, sont nettement affaiblies. Afin d'isoler chacune des contraintes de l'étude d'une enceinte, l'analyse est bornée à un HP de membrane conique et d'un tweeter à dôme. L'application se borne à un HP de 5 ''.

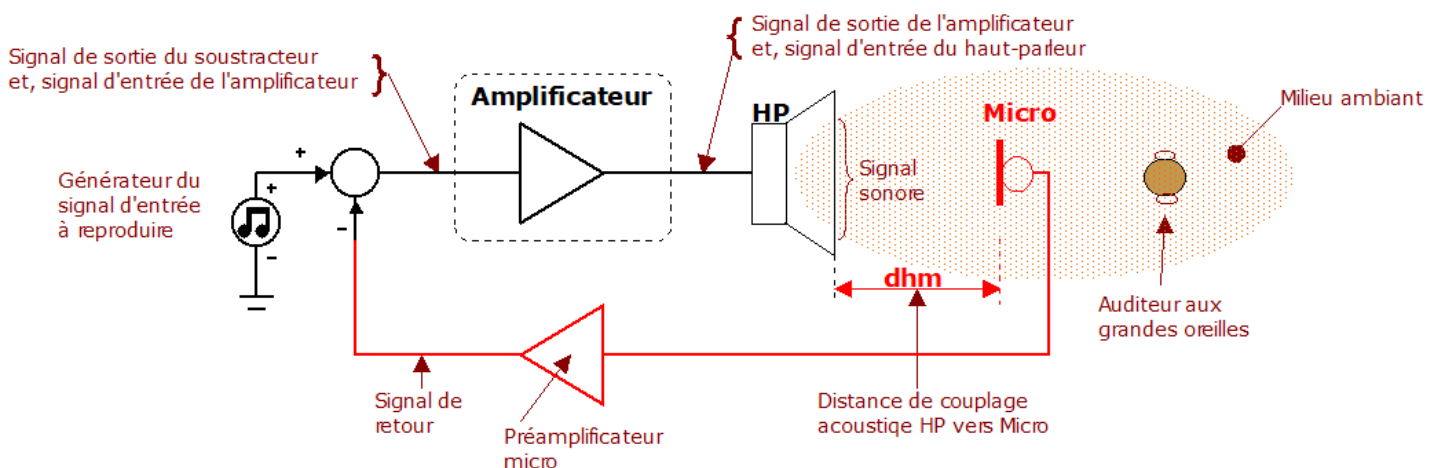
IN-1-2 Rapide état de l'art : L'idée de contrôler un HP, sans intrusion de capteur n'est pas neuve.

A priori c'est Voigt, un anglais, qui en a eu l'idée en 1928. L'idée étant de récupérer la force contre électromotrice (F_{cem}) présente dans le circuit électrique du HP en la discriminant à l'aide d'un pont qui porte son nom. Il n'a pu conduire son idée à terme à cause des faibles possibilités de l'audion, le tube triode de l'époque.

En 1954 Mr Deshaies a réalisé un système avec un ampli à tubes performant, mais d'une faible puissance, 10 W, sur la base des travaux de Voigt, avec la pleine conscience que la prise en compte de l'impédance de rayonnement du HP est la clef du système.

En 1967 le Pr Korn, de l'université de Bruxelles présente l'enceinte SL21, Servo Sound, à Bruxelles puis en 1969 au Salon de la musique à Paris. La encore le pont de Voigt permet de discriminer la f_{cem} du HP. De faibles dimensions, le petit HP elliptique à cône restituait la musique de façon claire et précise sur une large bande. Une navrante affaire de marketing a mis fin à un énorme succès commercial. Le principe du système a été repris par 3A et bien d'autres. Meyer Sound en pro a exploité un système dans les années 80 sans jamais de mon point de vue, égaler la finesse de la SL21.

IN-1-3 Première idée d'asservissement en pression d'un HP. Le principe consiste à comparer, le signal de sortie d'un microphone (micro) placé au plus près de la membrane d'un HP, au signal entrant. Ce signal résultant, peut être considéré comme un signal d'erreur, à la condition que la chaîne de retour (celle qui correspond au signal fourni par le micro, tracée en rouge) soit suffisamment fidèle pour le permettre.



Le HP est placé dans une enceinte close, dont les parois sont supposées parfaitement rigide. Cela permet de ne considérer que la pression acoustique délivrée par la face avant de sa membrane, en contact aérien avec le milieu ambiant, et dans lequel se trouve l'auditeur.

Les difficultés pour parvenir à un résultat satisfaisant sont principalement dues :

- ◀ à la distance d_{hm} qui existe entre la membrane du HP supposé statique et celle du micro,
- ◀ à la rigidité du support du micro,
- ◀ à la réponse fréquentielle du micro et à sa directivité, l'effet de cette dernière dépendant de l'orientation du micro.
- ◀ à la distorsion liée aux variations de distance entre le HP et le micro, Le micro étant considéré fixe, ces variations sont dues au mouvement

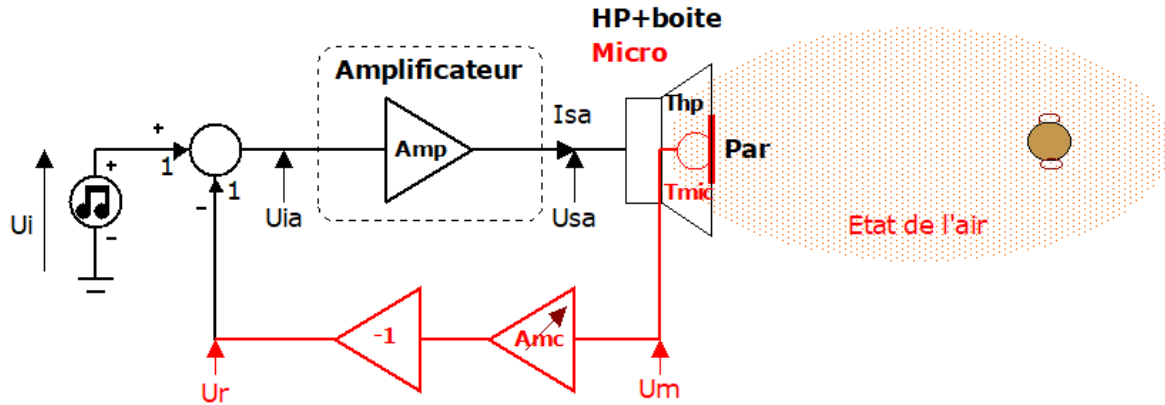
de la membrane du HP.

- ◀ A, l'étalonnage du signal du micro et son préamplificateur vis à vis de celui entrant,
- ◀ Etc....

Sans oublier l'aspect final, de l'enceinte qui peut être abracadabrante.

1-4 Amélioration du procédé :

Devant les difficultés rencontrées, l'idée fut d'associer le micro à la partie mobile du HP. Se posa alors le problème de son maintien rigide et du côté inclusif de sa pose. C'est ce qu'a fait Phillips en remplaçant le micro par un accéléromètre. Comme son nom l'indique, ce capteur mesure l'accélération de l'équipage mobile du HP. Comme nous le verrons par la suite, il existe une relation étroite entre la pression rayonnée par un HP et l'accélération qui anime son équipage mobile, donc la membrane.



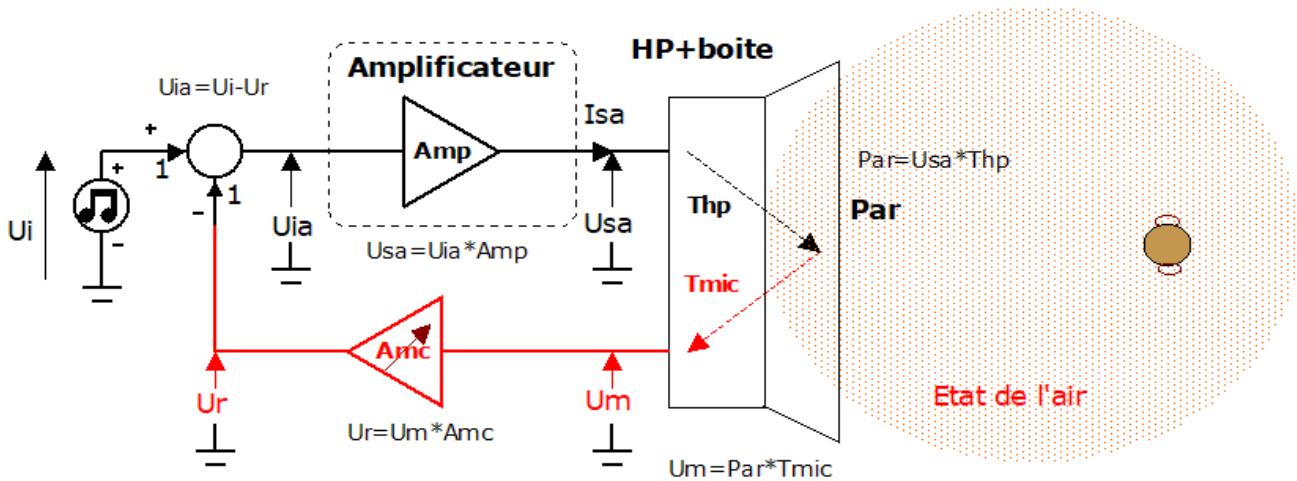
IN-1-5 Vers un HP, sans capteur externe ou, couplé mécaniquement:

Le haut parleur est réversible. Cela signifie qu'en appliquant un signal à ses bornes, il est capable de restituer un signal sonore via les vibrations de sa membrane. Mais cela signifie aussi qu'une pression sonore captée par sa membrane engendrera un signal électrique à ses bornes. C'est cette dualité que nous exploiterons.

Le microphone n'existe plus et le HP ne subit aucune modification physique. La difficulté réside à pouvoir dissocier son côté générateur acoustique de son côté récepteur acoustique. En fait il faudra séparer du signal électrique appliqué, celui qu'il génère en tant que microphone. C'est là où tout le génie de Voigt (en 1928) intervient accompagné par l'électronique moderne.

Ce qui ne change pas fondamentalement le dernier schéma. En dehors du fait que le micro est remplacé par la partie réceptrice du HP, sa bobine mobile qui baigne dans un champ magnétique. Car en effet, un micro dynamique est constitué d'une membrane solidaire d'une bobine qui baigne dans un champ d'induction magnétique. Il en va de même pour un HP dont la bobine baigne dans un champ d'induction en créant une force qui est appliquée à la membrane.

Il pourrait y correspondre ce schéma.



Malheureusement, la tension U_m n'est pas accessible à partir de bornes spécialisées du HP. Même s'il vient à l'idée d'utiliser l'une des bobines des deux que possèdent certains HP. Cette solution ne fonctionne pas correctement à cause de la mutuelle induction qui règne entre les deux bobines.

La modélisation du HP peut permettre d'évaluer le comportement de chacun des éléments du HP, et ainsi permettre une évaluation du principe en extirpant **artificiellement** la tension microphonique du HP.

Le Haut parleur seul rayonne par ses deux faces. Afin d'isoler le rayonnement d'une face, l'une des solutions réside à le monter dans une enceinte close infiniment rigide.

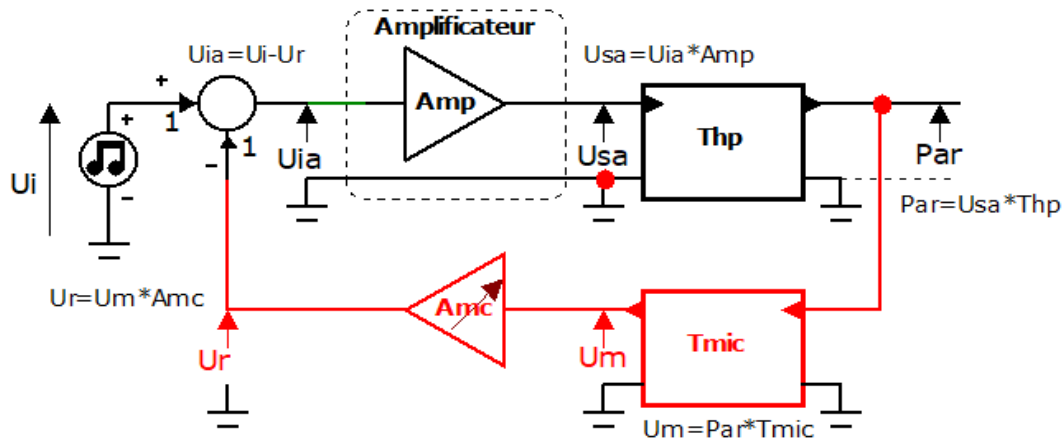
Cela **nécessite** donc la **connaissance du fonctionnement du HP inclus dans une enceinte close** et plus particulièrement le rapport qui lie P_{ar} à U_{sa} ou, P_{ar} à I_{sa} .

Ces rapports P_{ar}/U_{sa} et P_{ar}/I_{sa} ne sont rien d'autre que des fonctions de transferts du haut parleur dans une enceinte close. Momentanément nous nous bornerons à T_{hp} que l'on peut traduire par $T_{hp} = P_{ar}/U_{sa}$.

Il existe également une fonction de transfert (transmittance) entre la pression acoustique P_{ar} et U_m la tension microphonique. Elle est notée T_{mic} sur le schéma. De ce qui précède il est possible de l'interpréter comme le rapport existant entre U_m et P_{ar} en la notant $T_{mic}=U_m/P_{ar}$. Asservir le HP et son enceinte veut dire contrôler la grandeur de sortie P_{ar} afin qu'elle soit à l'image conforme de la grandeur d'entrée (appelée aussi **consigne**) U_i . L'idéal voudrait que $P_{ar}=k.U_i$ avec k un coefficient de proportionnalité. Ainsi si la tension appliquée égale 1v, $k=5$ la pression délivrée par la membrane $P_{ar}=5.1=5$ Pascals (Pa), quelle que soit la fréquence du signal d'entrée. Bien évidemment, la réalité est tout autre, car le dispositif aura ses limites aux fréquences basses et hautes. Par contre, entre ces 2 fréquences il devra se comporter en suivant la relation de base $P_{ar}=k.U_i$. Cette relation montre que P_{ar} se situe dans le domaine de l'acoustique et U_i dans le domaine électrique. **L'étude des analogies entre milieux** permet de déterminer les passerelles qui permettent de relier les différents domaines.

IN-1-5 Une première analyse :

Sans mettre en lumière les fonctions de transferts du HP et son enceinte, elle permet de montrer et chiffrer les transferts opérés. Elle montre aussi la nécessité de connaître chacune des fonctions des éléments utilisés ainsi que leur imbrication.



Cela ne nous apportera pas grand chose vis à vis du fonctionnement de l'ensemble, mais à l'avantage de montrer la démarche à suivre pour la mise en équation d'un système bouclé.

La mise en équation du fonctionnement du système consiste dans un premier temps à remonter la **branche directe** de P_{ar} à U_{ia} . Le transfert qui y correspond $P_{ar}/U_{ia} = (P_{ar}/U_{sa}) * (U_{sa}/U_{ia})$. Dans lesquelles deux transferts $T_{hp}=P_{ar}/U_{sa}$ et $A_{mp}=U_{sa}/U_{ia}$ apparaissent ce qui permet d'écrire $P_{ar}/U_{ia}=T_{hp} * A_{mp}$ qui représente le transfert direct (**T_d**) duquel il découle $P_{ar}=U_{ia} * T_{hp} * A_{mp}$ ou encore $U_{ia}=P_{ar}/(A_{mp} * T_{hp})$

En opérant de la même manière pour **la branche de retour** $U_r/P_{ar}=(U_r/U_m) * (U_m/P_{ar})$. Les deux transferts $U_r/U_m=A_{mc}$ et $U_m/P_{ar}=T_{mic}$ apparaissent. Ce qui permet d'affirmer que $U_r/P_{ar}=A_{mc} * T_{mic}$ qui représente le transfert du retour (**T_r**) ce qui implique $U_r=P_{ar} * A_{mc} * T_{mic}$. Pour enfin tenir compte du comparateur (soustracteur) d'entrée qui effectue l'opération $U_{ia}=U_i-U_r$. Par permutation du terme U_r on peut l'écrire $U_{ia}+U_r=U_i$. En substituant les termes $U_{ia}=P_{ar}/(A_{mp} * T_{hp})$ et $U_r=P_{ar} * A_{mc} * T_{mic}$ L'expression de la tension d'entrée:

$U_i = P_{ar}/(A_{mp} * T_{hp}) + P_{ar} * A_{mc} * T_{mic}$. P_{ar} étant commune aux deux termes après le signe égal sa mise en facteur s'impose.

$U_i = P_{ar} * ((1/A_{mp} * T_{hp}) + (A_{mc} * T_{mic}))$.

En ramenant au même dénominateur l'expression qui suit P_{ar} soit $(1/A_{mp} * T_{hp}) + (A_{mc} * T_{mic}) = (1 + (A_{mc} * T_{mic} * A_{mp} * T_{hp})) / (A_{mp} * T_{hp})$

puis en l'inversant pour retrouver le transfert recherché $T_t = P_{ar}/U_i = A_{mp} * T_{hp} / (1 + (A_{mc} * T_{mic} * A_{mp} * T_{hp}))$.

Elle permet de voir que la pression $P_{ar} = U_i * T_t = U_i * A_{mp} * T_{hp} / (1 + (A_{mc} * T_{mic} * A_{mp} * T_{hp}))$.

A noter que la fonction de transfert recherchée est **$T_t = T_d / (1 + T_d * T_r)$** qui montre que le numérateur n'est concerné que par la branche directe et le dénominateur par les effets successifs (donc multiplicatifs) des deux branches dont celle de retour.

◀ **Remarque:** Jusqu'à maintenant, Il n'a été question, à juste titre, que de la pression délivrée à proximité de la membrane du HP. L'espace qui sépare le HP de l'auditeur, ainsi que les réactions du local, ne sont pas pris en compte. La prise en compte du local est un sujet à mener à part. Afin de bien discerner les sujets, nous nous attacherons à ce que, la pression P_{ar} à toute proximité de l'enceinte, soit à l'image la plus parfaite du signal d'entrée U_i . Par contre l'état de l'air environnant, l'air étant l'élément de transmission du message sonore et des charges arrière et avant du HP, sachant que ses caractéristiques varient en fonction de la température, de la pression atmosphérique, de l'hygrométrie ambiante, il est primordial de connaître son état. Ne serait ce que pour connaître son influence sur le fonctionnement du système.



