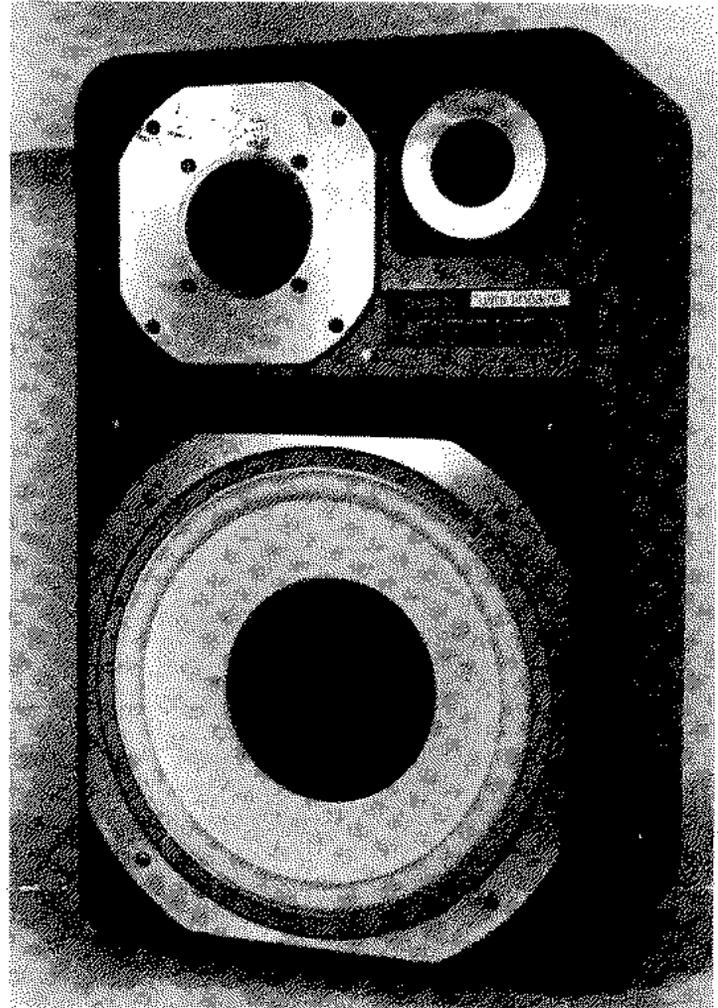


^{Alcanto} l'enceinte asservie

ANDANTE

3A



LES enceintes asservies ont une vogue justifiée à la fois par le volume relativement faible qu'elles occupent et par les résultats qu'elles sont susceptibles de donner sur le plan de la qualité de l'écoute. Nous avons déjà donné, dans de précédents numéros du « Haut-Parleur » la description de telles réalisations qui font à la fois appel à l'électronique et à l'acoustique, nous pensons qu'il serait utile, à l'occasion de l'analyse d'un système d'asservissement dû à une firme française, de faire un retour sur les principes régissant une telle approche technique des problèmes posés par la reproduction sonore et d'éclaircir ainsi ces aspects pour nos lecteurs non initiés.

Bien que l'idée d'asservir un haut-parleur ne soit pas nouvelle - Les premiers travaux de Voigt sur la question datent de 1924 - ce n'est que depuis une décennie que l'asservissement a reçu des solutions pouvant être considérées comme commerciales. L'« Andante » de 3A en est un exemple et utilise le système A.P.F. (« Acoustic Pressure Feedback System ») ce qui, en clair, signifie que nous avons affaire à un asservissement en pression du rayonnement émis par le cône du haut-parleur. L'idée en est la suivante : l'énergie acoustique rayonnée par l'une des faces du haut-parleur est liée à la pression résultante exercée par l'air sur le haut-parleur ; l'air s'oppose en effet au déplacement libre

du haut-parleur au même titre que l'enceinte charge l'onde arrière.

Cette pression résultante est intégrée puisqu'elle résulte de pressions locales en chaque point de la membrane. L'intégrale est simple si le haut-parleur fonctionne en piston, elle devient très complexe dans les cas usuels et pratiques car le cône est soumis à des déformations diverses dues à ses suspensions et à ses résonances.

Par ailleurs, cette pression qui s'oppose au déplacement du haut-parleur et plus précisément de sa membrane est reliée, selon la théorie des haut-parleurs électrodynamiques, à la vitesse de déplacement v du cône vibrant par la fonction de transfert Z_r (qui

est en même temps l'impédance de rayonnement relative à une face du haut-parleur).

$$F = Z_r \cdot v$$

avec :

$$Z_r = jM\omega + R + \frac{k}{j\omega}$$

en notation complexe avec :
M : masse de la membrane et de l'air entraîné.

R : résistance de la suspension et des frottements.

k : coefficient d'élasticité de la suspension et de l'air de l'enceinte.

Par ailleurs F est relié à la pression acoustique résultante par une intégration sur le cône du haut-parleur : F est la force le long de l'axe résultant de

tors mais l'encombrement est beaucoup plus faible et les circuits sont constitués d'éléments appariés, donc d'une parfaite symétrie.

A l'entrée de cet amplificateur nous avons un triple étage différentiel utilisant les paires successives Q_1/Q_2 , Q_4/Q_5 et Q_6/Q_7 .

La première paire a ses émetteurs alimentés par un générateur à courant constant (Q_3) la polarisation est assurée par deux diodes qui servent également au transistor Q_8 qui alimente le driver Q_7 . En annexe, nous avons le schéma interne du circuit hybride de puissance.

Les transistors de sortie sont complémentaires, ils sont doublés pour supporter l'intensité élevée due au niveau important de sortie. Les résistances d'émetteur sont intégrées au circuit, il n'y a qu'un nombre réduit de prises de sortie. Le circuit de stabilisation thermique et ceux de protection électronique sont intégrés au module. Les condensateurs chimiques, par contre, sont montés extérieurement, ce sont les composants les moins fiables de tous, il est préférable de les monter extérieurement.

L'alimentation est double. Ce n'est pas exactement une double alimentation car le transformateur d'alimentation est unique. Avec une véritable double alimentation, il y a deux transformateurs et par conséquent l'action d'une variation de charge ne se répercute pas du tout sur l'autre voie, sauf si le secteur a une résistance interne trop faible (fils trop fins).

Le double découplage d'alimentation par condensateurs chimiques assure une meilleure indépendance des voies qu'avec un système d'alimentation classique.

RÉALISATION

La qualité de fabrication est identique sur les deux appareils. Le plus petit est évidem-

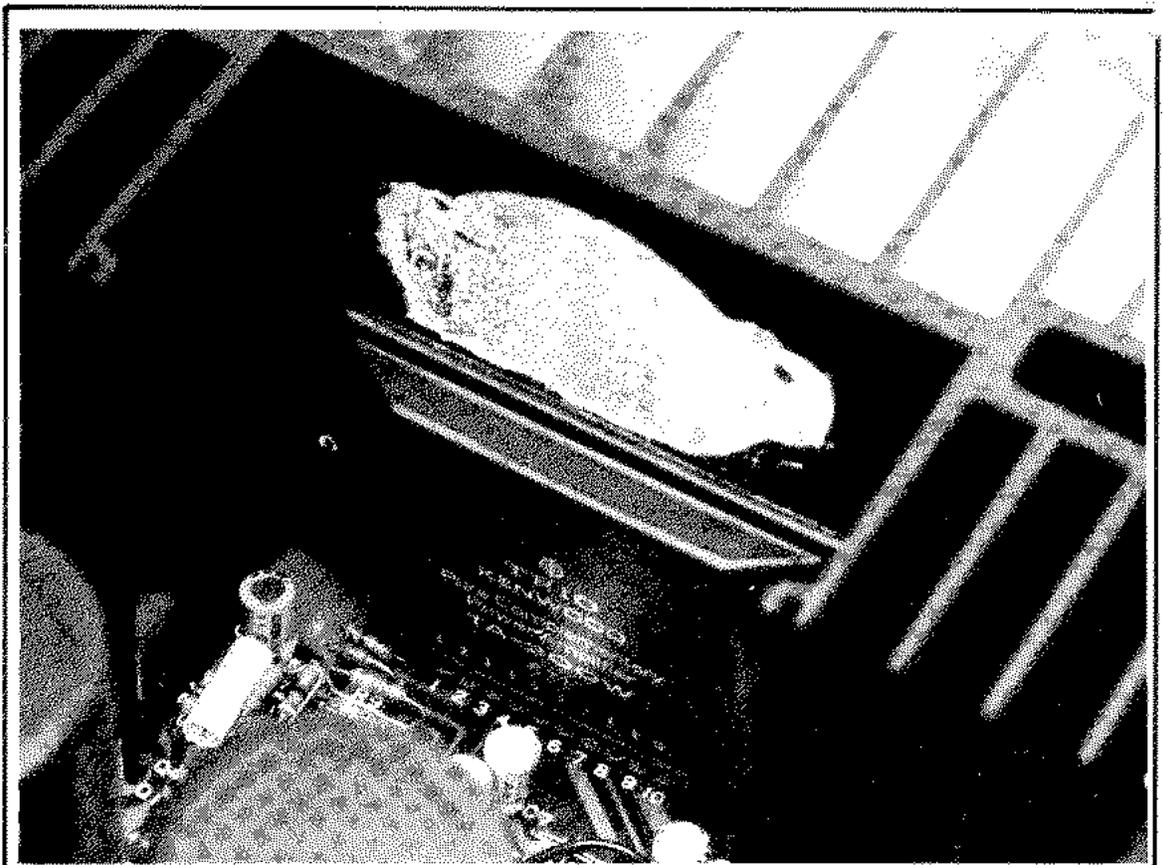


Photo 6. - Un module de puissance hybride et très puissant.

ment moins impressionnant. Il est équipé de transistors de puissance en boîtier plastique montés sur une ailette de refroidissement qui se dresse verticalement en plein milieu du châssis. L'électronique est répartie sur deux circuits imprimés de XXXP. Les prises de sortie et d'entrée sont réunies sur des blocs de matière plastique moulée, une nouvelle forme d'intégration des prises.

Le 9600 possède d'immenses radiateurs, beaucoup plus importants que ceux que l'on a l'habitude de voir sur des appareils HiFi. Ils font davantage penser à ceux d'amplis professionnels de sonorisation. Ils sont disposés de part et d'autre à l'arrière de l'amplificateur-tuner. Le transformateur d'alimentation est carrossé de noir, il est moins gros qu'on aurait pu le penser.

Nous avons trouvé un circuit imprimé en verre époxy, c'est rare sur un matériel japonais, c'est le circuit imprimé de la tête HF.

Les liaisons entre circuits (il y a beaucoup de circuits) se

font par wrapping (connexion enroulée). Les circuits imprimés portent sur leur face composants le dessin du circuit imprimé, pratique pour le repérage.

Un composant peu commun a été utilisé ici, c'est une aiguille de cadran en céramique, une aiguille qui est métallisée (or) et qui se termine par une petite barrette de diodes électroluminescentes. Ce n'est pas un guide de lumière en plastique qui diffuse la lumière d'une diode mais la diode qui rayonne directement protégée par un matériau transparent.

L'accessibilité aux composants est facile pour le KR 2600, pour le KR 9600, qui

possède beaucoup plus de pièces, il y aura davantage de démontage à effectuer pour atteindre les composants. Des circuits sont installés au dessous d'un châssis intermédiaire, il faudra d'abord enlever le capot inférieur. Pour le supérieur, il faut dévisser beaucoup de vis... et aussi enlever les poignées.

Les manuels de service donnent toutes les informations nécessaires pour les interventions, les tensions de fonctionnement figurent pour tous les transistors sous forme de tension de base, d'émetteur et de collecteur, voilà une information qui facilitera le dépannage.

E.L.

CONCLUSION

Les techniques de fabrication utilisées pour les deux appareils sont pratiquement identiques, à la complexité des appareils près. L'ensemble est d'un haut niveau, il est difficile de faire le moindre reproche. Peut-être aurait-il été bon d'augmenter la surface de refroidissement et celle du passage de l'air du KR 2600, ce n'est même pas sûr.

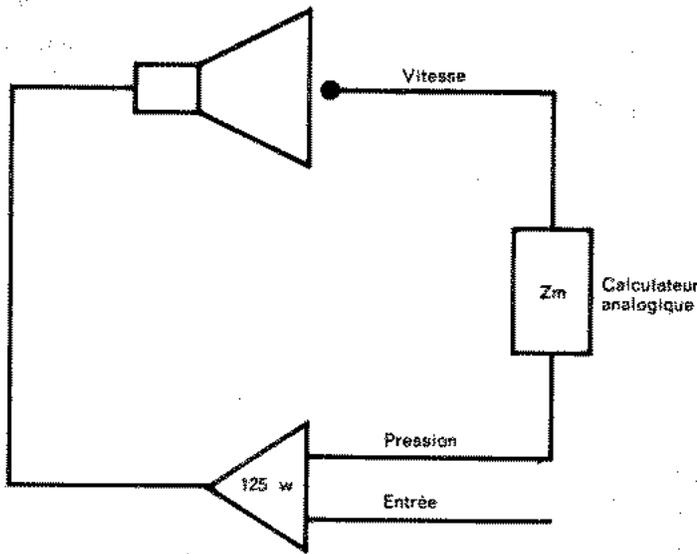


Fig. 1. - Le système « APF 3A » d'asservissement de pression.

intégration des pressions en tout point du haut-parleur.

$$F = \iint p \cdot ds$$

Si la surface S du cône était plane et uniforme, on aurait $F = p \times S$.

Il suffit donc de détecter la vitesse de déplacement v de la membrane excitée, de transformer cette grandeur par un réseau électronique ayant pour fonction de transfert Z_r , impédance de rayonnement du haut-parleur, pour obtenir une tension proportionnelle à F donc à p .

LE SYSTÈME A.P.F.

La vitesse est détectée par un système en pont de Maxwell, méthode connue pour mesurer les caractéristiques des haut-parleurs.

Un amplificateur à fonction de transfert complexe Z_r , a été obtenu expérimentalement en comparant la pression acoustique réelle devant le haut-parleur à la vitesse de déplacement de la bobine (fig. 1).

La composition vectorielle de ces deux grandeurs permet

de déterminer la fonction en module et en phase. Un circuit électronique en rétroaction sur un amplificateur à très grand gain permet d'obtenir une image de Z_r , très fidèle. La tension simulant la vitesse est appliquée à ce circuit et la tension de sortie est une simulation elle-même (presque) parfaite de la pression acoustique (fig. 2).

Il convient ici de dire que Z_r est déterminée expérimentalement en laboratoire, sur toute une série de haut-parleurs d'un type identique. Une statistique portant sur l'ensemble

des résultats permet de déterminer un Z_r moyen qui conviendra à la plupart des haut-parleurs du type concerné. Une telle façon de faire nécessite obligatoirement un cahier des charges sévère pour les haut-parleurs utilisés. Plus exactement, nous devrions parler de haut-parleurs utilisables puisque l'on compte 30 % de rejets quand les haut-parleurs viennent de l'extérieur : c'est sans doute ce qui a incité 3A à fabriquer lui-même les boomers utilisés dans ses ensembles asservis pour réduire ce pourcentage à

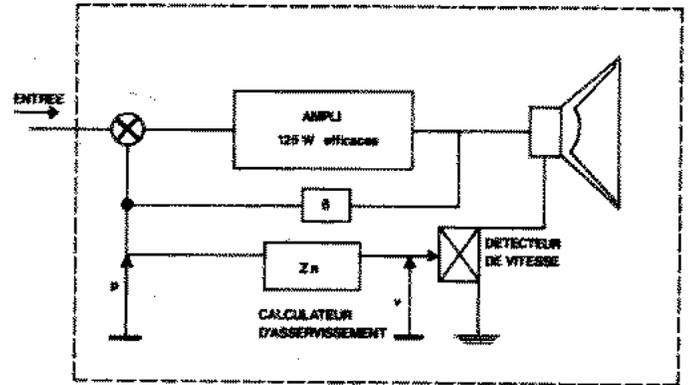


Fig. 2. - Principe de l'asservissement de pression.

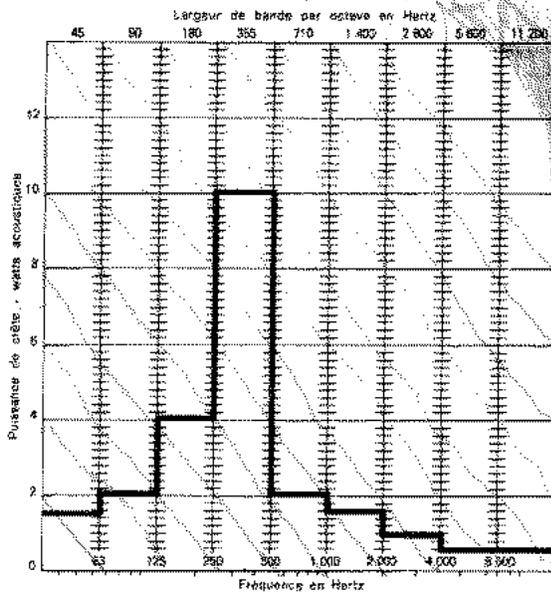


Fig. 3. - Distribution de la puissance par octave d'une composition orchestrale classique.

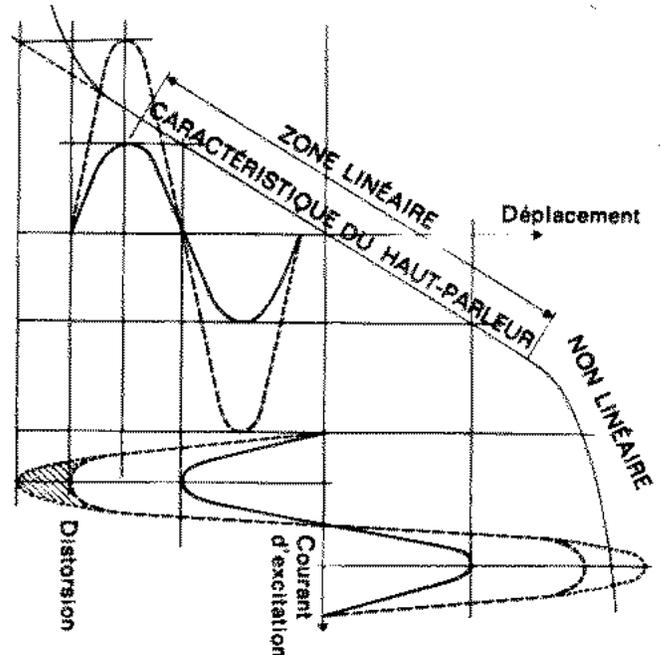


Fig. 4. - Caractéristique déplacement/courant du haut-parleur. La grande sinusoïde est écartée par la non-linéarité. L'asservissement remédiera à cela.

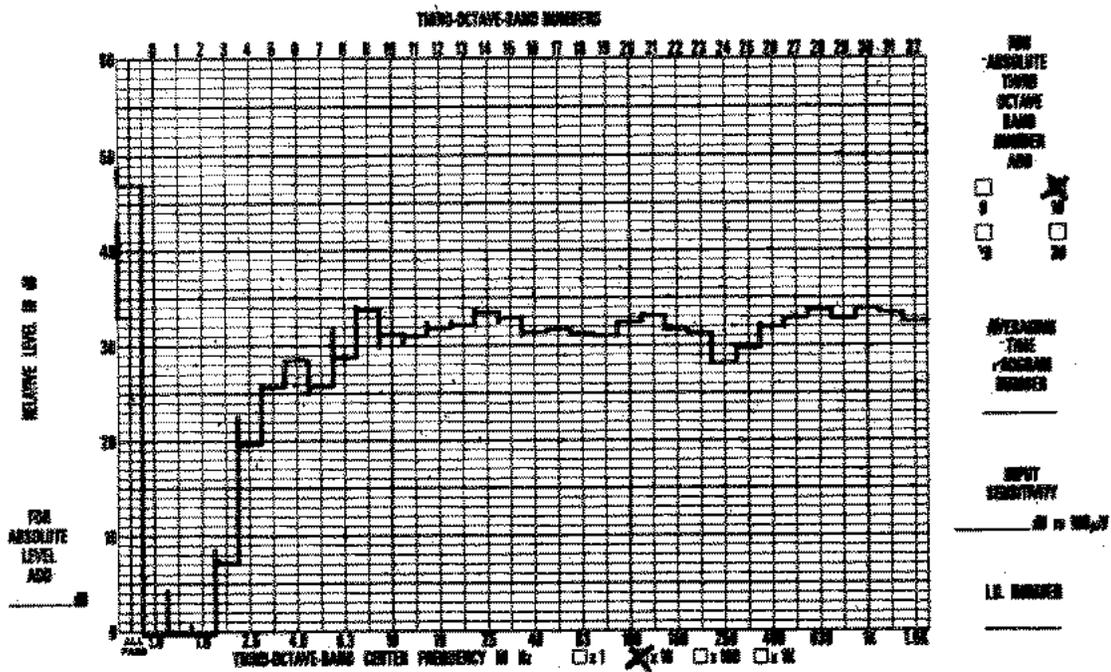


Fig. 5. - Courbe de réponse (C) de l'Andante 3A en milieu semi-réverbérant.

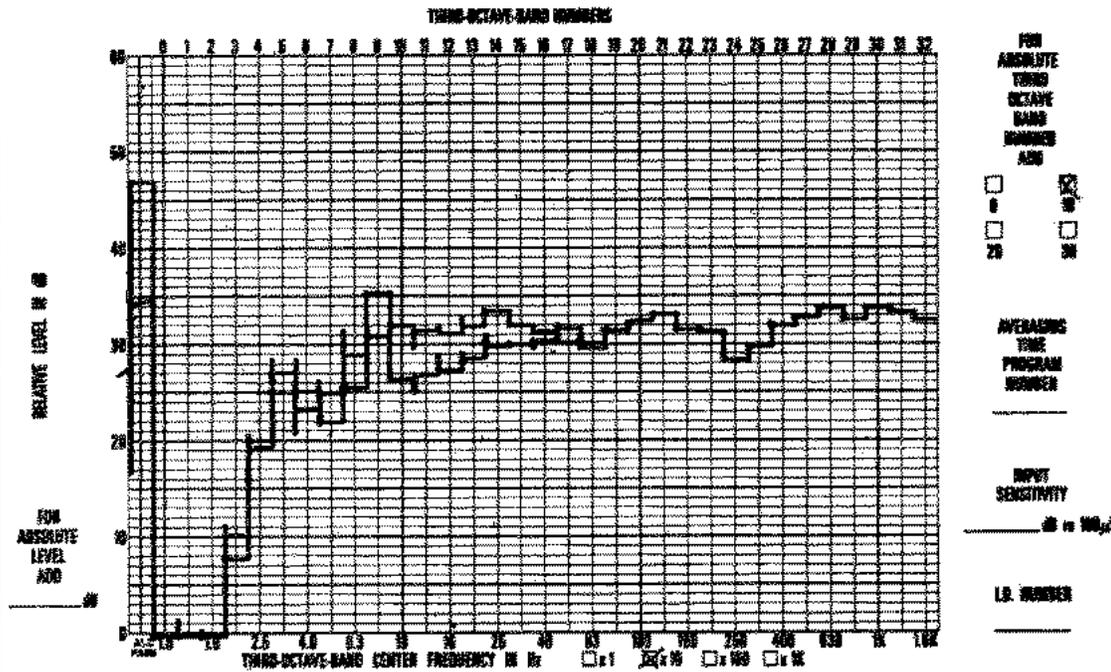


Fig. 6. - Courbe de réponse (A: en haut et D: en bas) de l'Andante 3A suivant la position du « Room Control ».

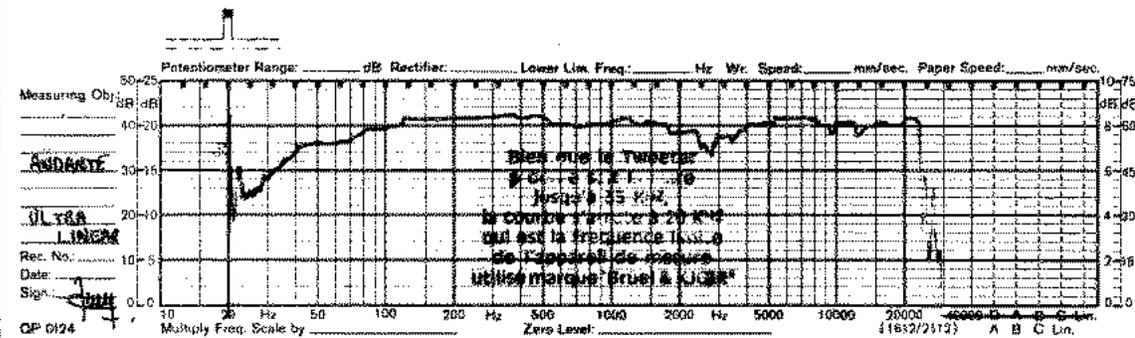


Fig. 7. - Courbe de réponse fournie par « 3A » pour la position C, relevée en chambre sourde.

une valeur plus intéressante.

Bien entendu, et nous pourrions ajouter hélas, comme nous sommes en présence d'une contre-réaction quand nous envisageons un asservissement, la contre-réaction se paie. L'Andante utilise un amplificateur interne de 125 W.

Comme le taux de contre-réaction aux fréquences les plus basses est de l'ordre de 10 dB, sa puissance est divisée par 10 à ces fréquences qui ont besoin d'être transmises acoustiquement sans atténuation. Par puissance, il faut entendre puissance de l'ensemble « amplificateur-enceinte », pour que la courbe de réponse de l'enceinte soit droite à partir de 50 Hz.

Mais, par ailleurs, comme l'asservissement se comporte comme une contre-réaction sélective, ce taux sera bien moins élevé dans l'octave 250/500 Hz où nous disposerons d'une puissance de crête voisine de 125 W. Or, comme le montre la figure 3, c'est dans cette octave, que nous avons le plus besoin de puissance, pour une composition orchestrale classique. Un autre point à ne pas perdre de vue est qu'à 30 Hz, une puissance électrique d'attaque de l'ordre de 5 W conduit la membrane à se déplacer de 2 cm et correspond d'après cette même figure à un programme musical de 100 W si l'on se reporte à l'octave 250/500 Hz.

CARACTÉRISTIQUES DU CONSTRUCTEUR

- Puissance maximum efficace : 50 W.
- Puissance moyenne d'utilisation : 40 W.
- Bande passante DIN : 25-35 000 Hz.
- Bande passante professionnelle ± 3 dB : 35-30 000 Hz.
- Système à 3 voies : graves diamètre 28 cm asservi :

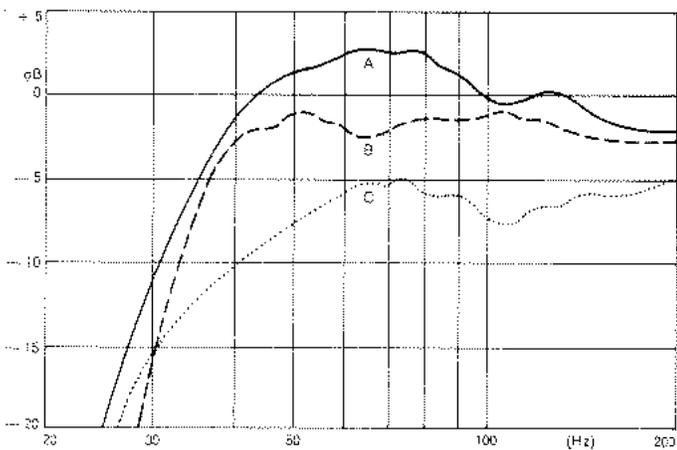


Fig. 8. - Influence de la position du haut-parleur sur la courbe de réponse, microphone à 1 mètre de l'axe : A : position d'encoignure, B : contre un mur, C : au centre de la pièce.

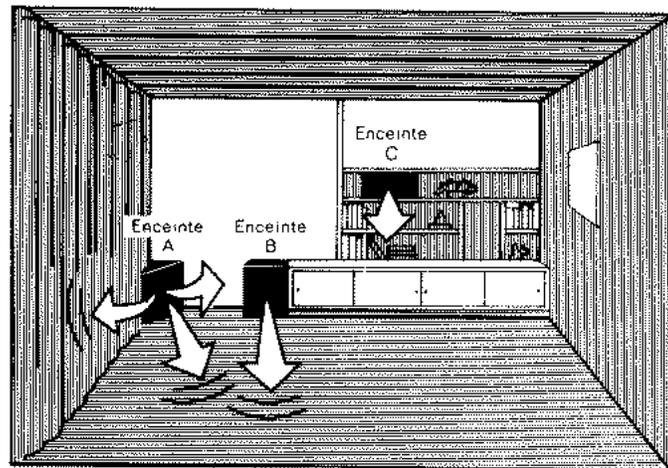


Fig. 9. - Dans une pièce, les positions A, B, et C dont il est question figure 8.

médium : à dôme hémisphérique 3A ; aigu : à dôme hémisphérique professionnel.
 sensibilité : 93 dB/1 W/1 m.
 Allumage et extinction automatique.
 Room control : commutateur de basses modifiant la courbe de réponse de l'asservissement en fonction de la position choisie dans la pièce pour installer l'enceinte (coin, au sol, surélevée, le long d'un mur).
 Dimensions : 47 x 30 x 21 cm.

Chaque enceinte est testée unitairement et sa courbe est relevée en chambre sourde.
 Fonctionnement : l'Andante peut être placée derrière un amplificateur de faible puissance (15/20 W ou plus). Cet amplificateur fournit la tension à l'amplificateur asservi de 125 W à travers un filtre électronique à 400 Hz.

L'amplificateur de 15/20 W extérieur n'est donc utilisé que pour le registre médium-aigu.

LE SCHÉMA

Comme il a été dit ci-dessus, l'asservissement ne joue que sur le registre grave. Dès l'entrée de l'enceinte, il y a séparation des canaux et il apparaît comme évident que l'Andante doit être attaquée par un amplificateur de puissance : le tweeter l'est alors au travers un filtre en pi à 18 dB/octave et le médium après interposition d'un filtre

en potence avec résistance égalisatrice en parallèle sur le haut-parleur.

Le canal grave, celui qui est asservi, est attaqué après filtrage par les circuits RC d'entrée (C_{201} , R_{201} , C_{202} , R_{202} , R_{100}) au niveau du différentiel constitué par T_{101} et T_{102} . L'amplificateur de puissance qui suit est tout à fait classique. On remarquera toutefois l'alimentation symétrique des sorties, ce qui permet de faire abstraction du condensateur de liaison, vers le haut-parleur grave, générateur de rotation de phase intempestive ; dans le cas d'un asservissement, c'est une sage précaution. On notera par ailleurs la cellule R_{101} - C_{102} qui n'a pas d'autre but que de parfaire la stabilité dans le haut du spectre en le limitant par contre-réaction.

Le système en pont de Maxwell est constitué de la bobine mobile du haut-parleur de graves, de la self L_{304} /résistance R_{302} et de la chaîne R_{120} , P_{103} , R_{121} . Le potentiomètre P_{103} permet l'équilibrage en continu et donc la mise au point.

Un circuit intégré alimenté de façon symétrique après stabilisation par diodes zener et associé à divers composants RC fait office de convertisseur vitesse-pression comme il a été exposé ci-dessus et un contacteur à quatre positions permet de faire varier le taux d'asservissement et le gain de l'ensemble aux fréquences les

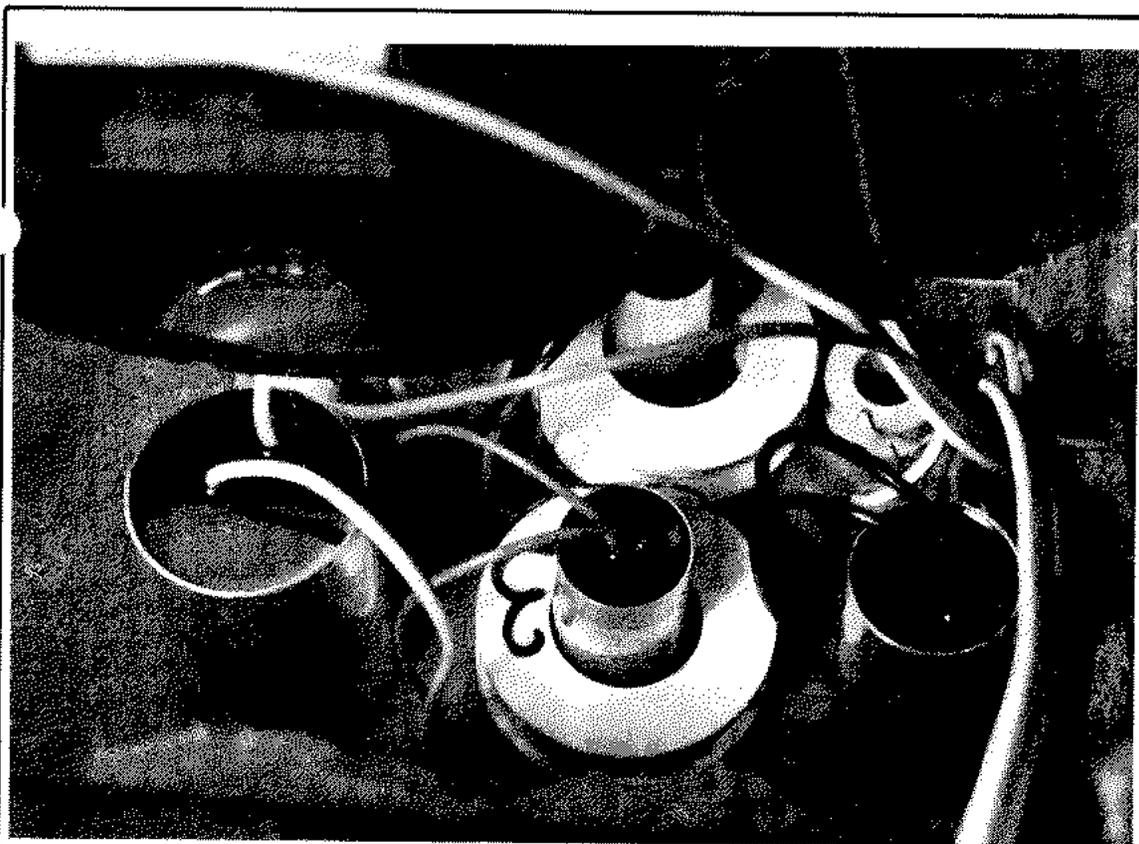
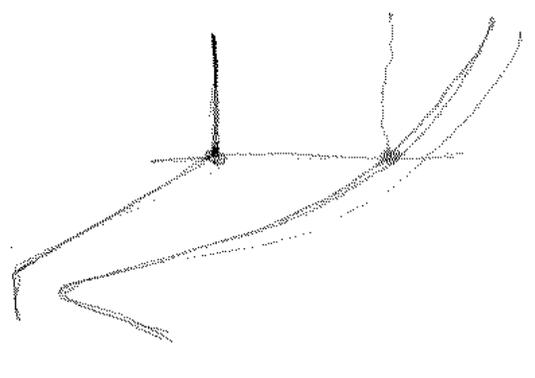
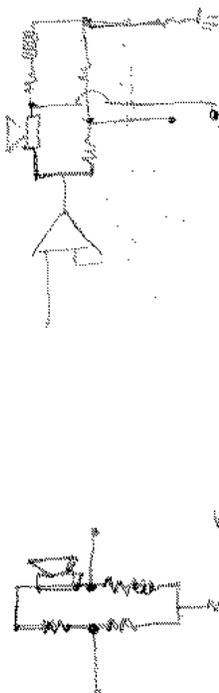
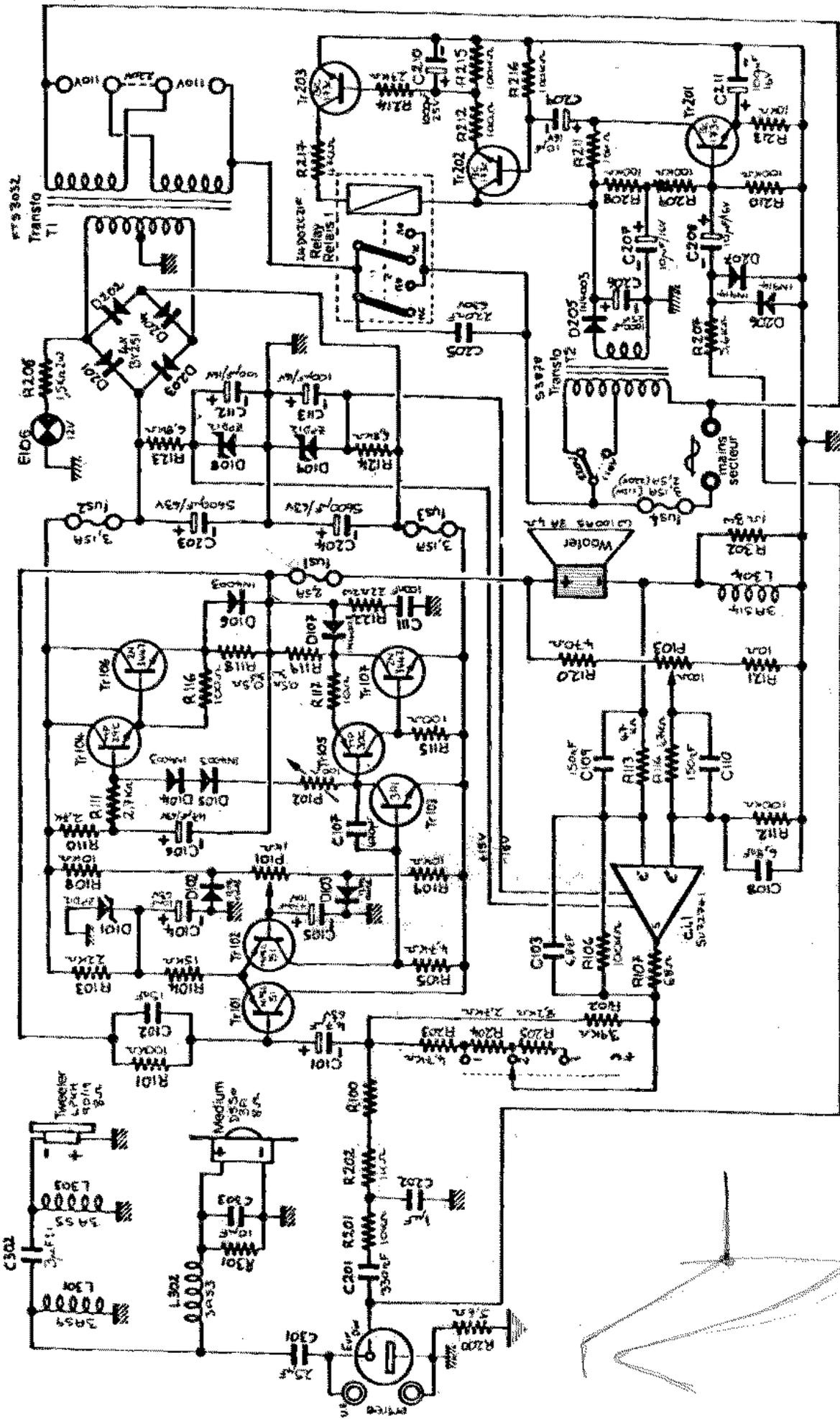


Photo 1. - Les filtres de H.P. pour médium et aigu avec en haut à droite la Self $Z\theta/k$.



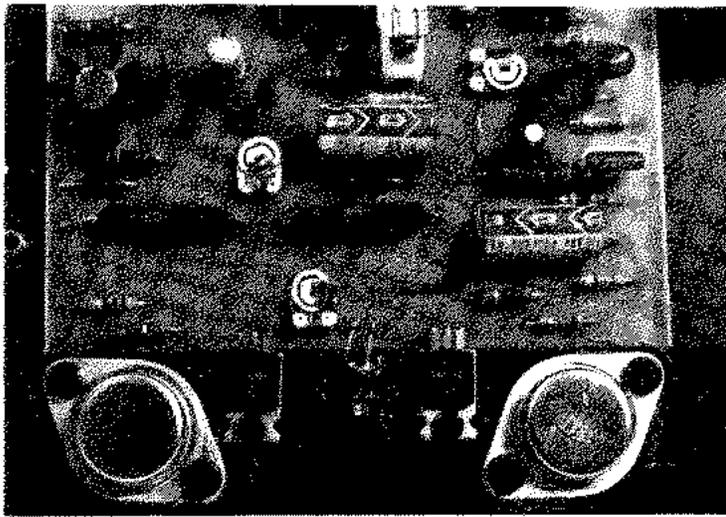


Photo 2. - Vue sur l'étage final de l'amplificateur d'asservissement.

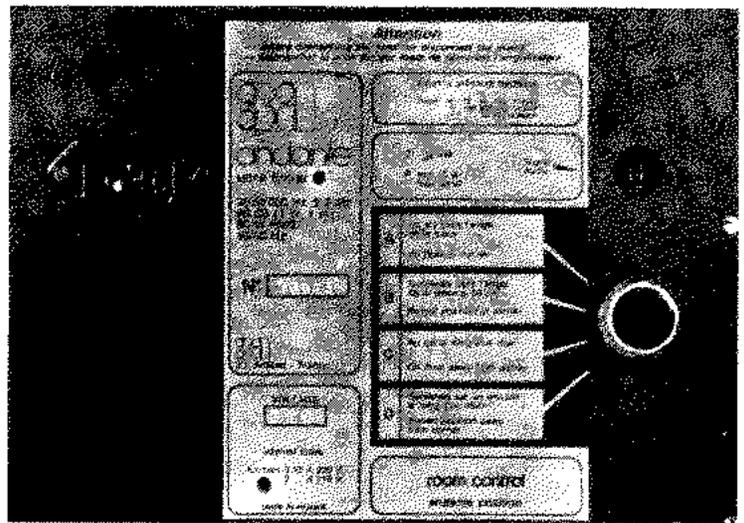


Photo 3. - Au dos, le « Room Control » : A : enceinte au sol dans un coin, B : surélevée dans l'angle de la pièce (> 50 cm), C : au sol le long du mur, D : surélevée, sur un meuble, le long du mur.

plus basses, suivant la position de l'enceinte dans la pièce (control-room).

Le circuit de mise en marche et d'arrêt automatique fait appel à trois positions (T_{201} , T_{202} , T_{203}). Le signal musical après écrêtage commande la base de T_{201} ce qui entraîne le déblocage de T_{203} par l'intermédiaire de T_{202} . Le courant de collecteur de T_{203} excite le relais, ce qui permet alors l'alimentation du transformateur principal, par le relais à partir du secteur.

COURBES DE RÉPONSE

Nous avons relevé la courbe de réponse de l'Andante :

1) Surelevée (fig. 5), le « control room » étant mis en position adéquate.

2) Surelevée (fig. 6) pour les positions extrêmes du « control room » (positions notées A et D), ce qui permet de juger du renforcement ou de l'affaiblissement du bas du spectre sonore.

On notera la très bonne concordance entre ces courbes, en particulier la première, et celle fournie par « 3 A » pour l'enceinte testée (fig. 7).

L'incidence de la position de l'enceinte dans la pièce n'est pas à négliger, comme on peut en juger sur ces exemples

« 3 A » ne manque pas d'ailleurs d'attirer l'attention des utilisateurs sur ces conséquences (fig. 8 et 9).

EN CONCLUSION

Comme l'auditeur s'y attend toujours un peu quand il s'agit d'enceintes asservies, le registre grave surprend par son ampleur : le son est dispensé par une enceinte dont le volume étonne. Mais, en plus, c'est la propreté du message transmis et la sécheresse des transitoires qui impressionnent. La courbe régulière obtenue en mesure n'explique pas tout ce qu'il y a d'agréable à l'écoute. Pour une bonne tenue dans le haut du spectre, à fort niveau, il y aura cependant intérêt (pour les régimes transitoires) à utiliser un amplificateur d'attaque de 20 W (ou plus) plutôt que de puissance moitié.

Ch. P.

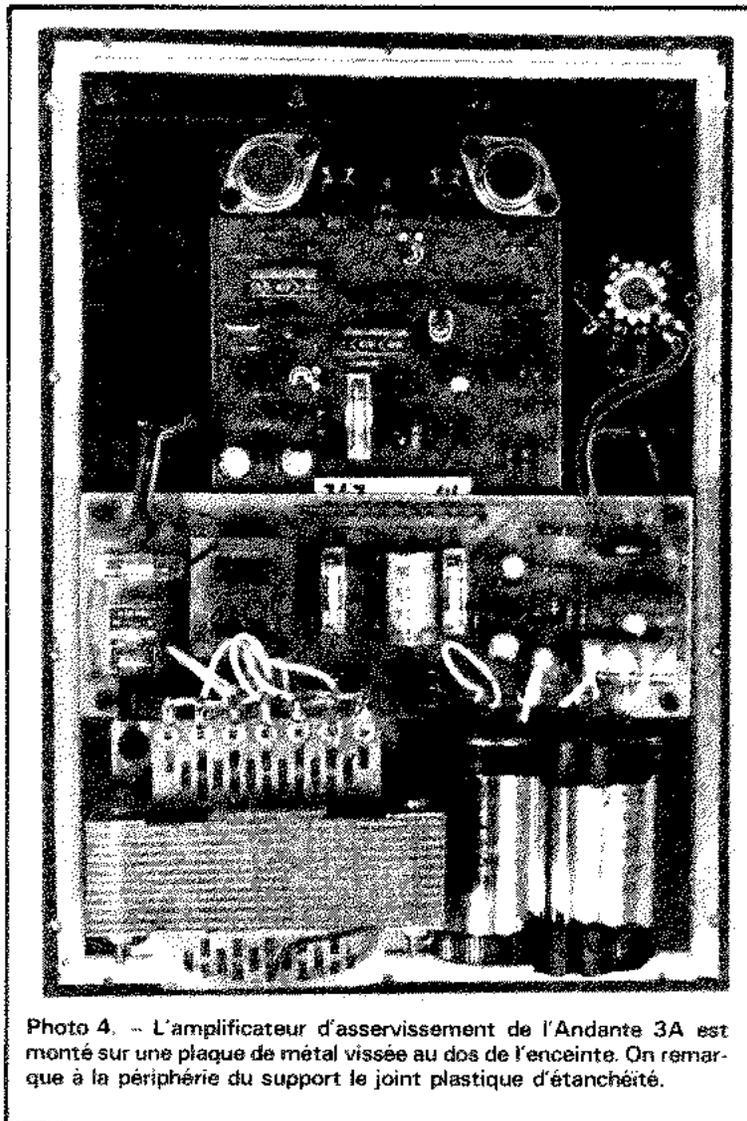


Photo 4. - L'amplificateur d'asservissement de l'Andante 3A est monté sur une plaque de métal vissée au dos de l'enceinte. On remarque à la périphérie du support le joint plastique d'étanchéité.

POUR CEUX QUI VEULENT EN SAVOIR D'AVANTAGE SUR L'ASSERVISSEMENT EN VITESSE ET EN PRESSION

Second

Selon l'analogie électromécanique développée par Olson, en première approximation, un haut-parleur peut être assimilé au circuit de la figure A :

M_d représente la masse de l'équipage mobile et M_a la masse de l'air entraîné ; C_d la résultante de la souplesse de la suspension de l'équipage mobile et de l'air enfermé dans l'enceinte close et R_d et R_a les pertes dues à la fois à l'effet joule aux frottements et à la puissance rayonnée qui est la seule utile.

La force qui crée le mouvement est :

$$f = B l I = B l i l$$

B : induction dans l'entrefer.
 l : longueur de l'enroulement de la bobine mobile.
 I : intensité de courant traversant la bobine mobile.

La force peut aussi s'exprimer à partir de la relation :

$$f = Z_r v$$

avec :

$$Z_r = j\omega M + R + \frac{1}{jC\omega}$$

v : vitesse de déplacement de l'équipage mobile à la pulsation ω .

(En notation symbolique nous aurions) :

$$Z_r = pM + R + \frac{1}{pC}$$

du point de vue
 Du point de vue électrique, le schéma A se réduit au schéma de la figure B qui correspond à la mise en série d'une impédance selfique $L_e R_e$ représentant la bobine mobile, en série avec un circuit parallèle RLC qui figure l'analogie électrique Z_r de l'impédance mécanique de rayonnement Z_r .

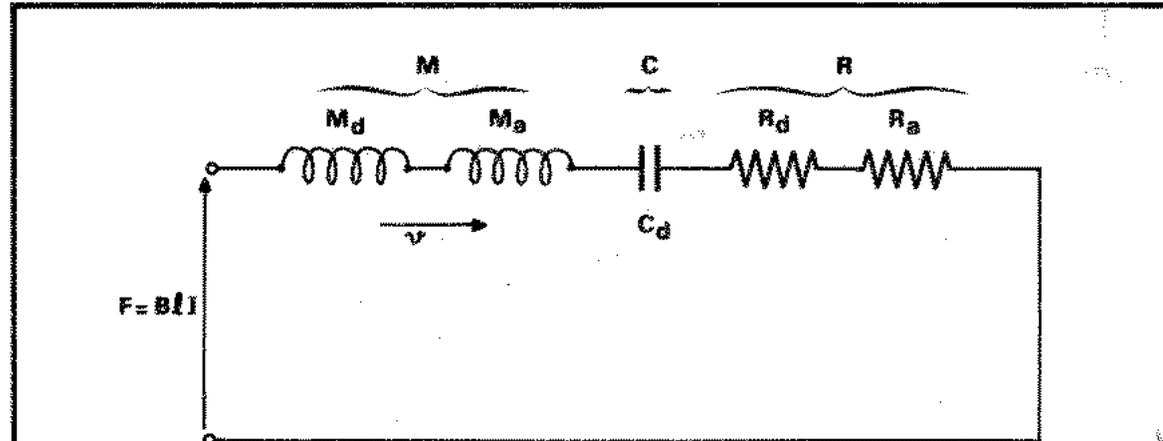


Fig. A.

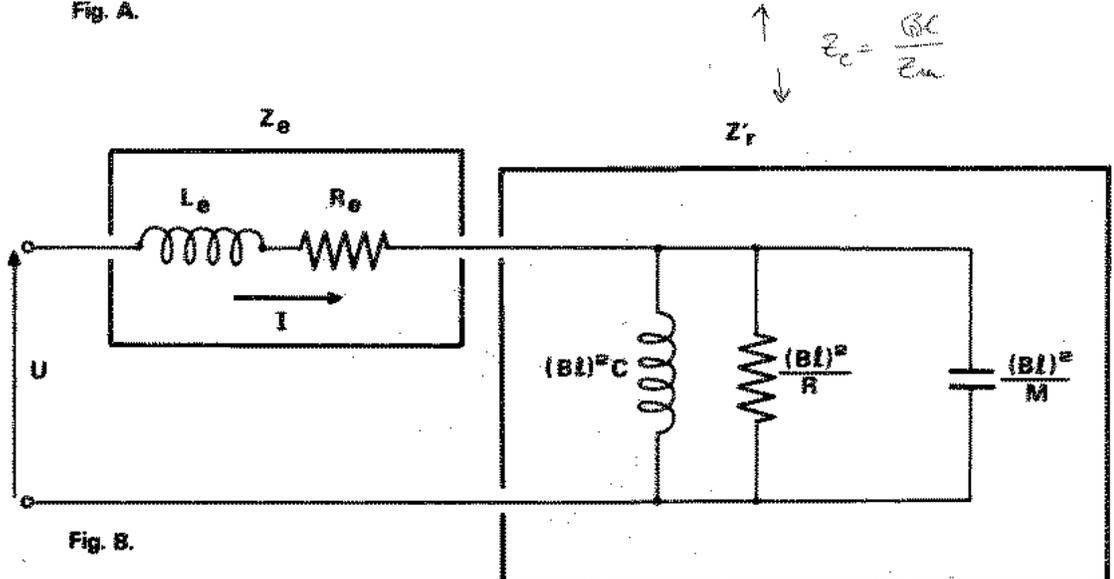


Fig. B.

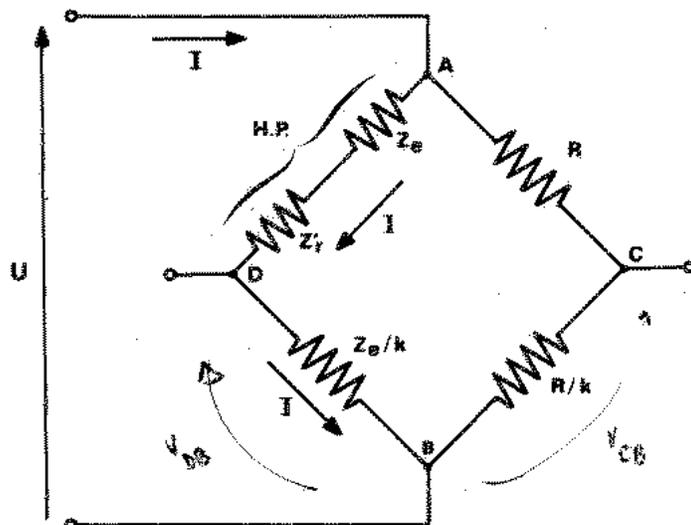


Fig. C.

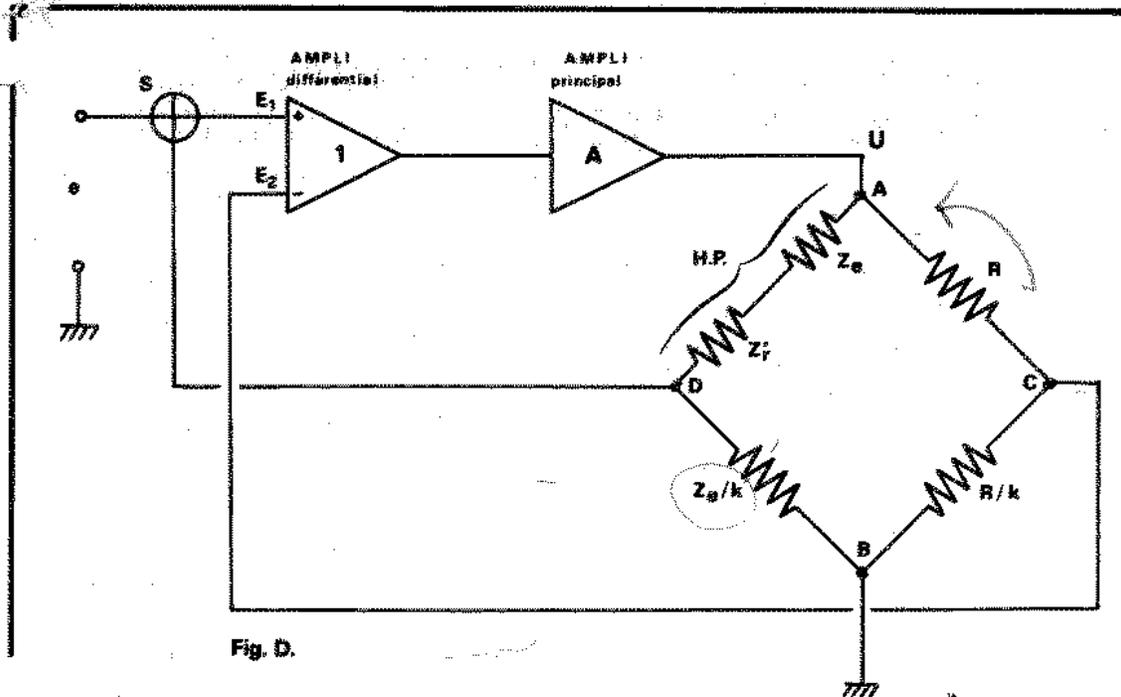


Fig. D.

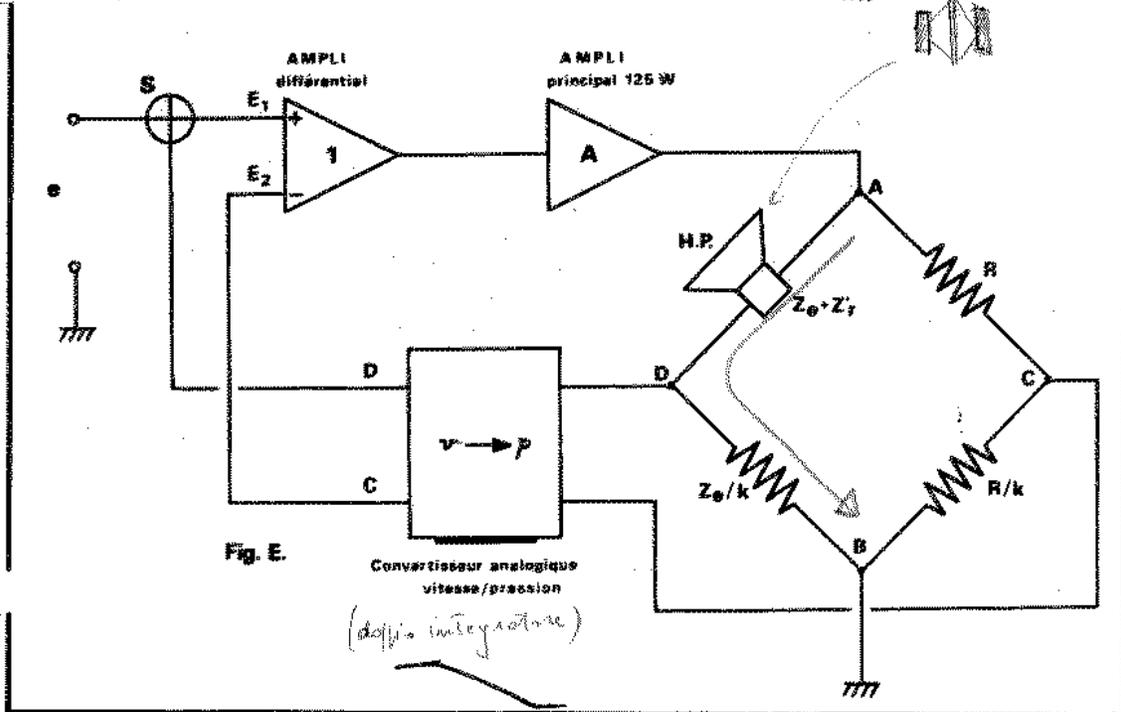


Fig. E.

Convertisseur analogique
vitesse/pression
(déjà intégré)

La puissance rayonnée étant la même :

$$Z_r v^2 = Z_r' I^2$$

ce qui nous conduit d'une part à :

$$Z_r \cdot \frac{B^2 I^2}{Z_r'^2} = Z_r' I^2$$

soit donc à :

$$Z_r' = \frac{B^2 I^2}{Z_r}$$

et d'autre part à :

$$\frac{1}{Z_r'} = \frac{Z_r}{B^2 I^2} = \frac{pM + R + \frac{1}{pC}}{B^2 I^2}$$

ce qui permet de porter sur le schéma B les valeurs de la self : $B^2 I^2 C$, de la capacité : $B^2 I^2 / M$ et de la résistance : $B^2 I^2 / R$.

Par ailleurs, lorsque un courant I parcourt la bobine mobile, la tension U_r aux bornes de Z_r' :

$$U_r = Z_r' I = B I v$$

peut encore s'écrire : $U_r = B I v$, ce qui montre que la tension aux bornes de Z_r' est directement proportionnelle à la vitesse de la bobine mobile

La tension en sortie de l'amp est directement proportionnelle à la vitesse.

si B est constant (il l'étant nécessairement).

Malheureusement Z_r' n'est pas directement accessible puisqu'elle n'apparaît que si le haut-parleur rayonne et est traversé par un courant. Toutefois, on peut tenter de l'évaluer par la méthode du pont de Maxwell.

Dans tout ce qui suit, on suppose L_e et R_e constants ce qui n'est pas tout à fait exact puisque R_e varie avec la fréquence à cause de l'effet de peau et L_e à cause de la proximité des pièces polaires.

Re faire par effet pelle.

En tout état de cause Z_r' est mesurable si la membrane est bloquée. Z_e étant connue il est alors possible de réaliser une impédance Z_e/k (k de l'ordre de 10 pour l'Andante) et de constituer le montage figure C. R et R/k sont choisies de telle façon que l'on puisse considérer que la quasi totalité du courant passe par les branches AD et DB.

Nous avons alors :

$$V_D - V_C = V_{DB} - V_{CB}$$

soit, tous calculs faits, à :

$$V_D - V_C = \frac{Z_r' \cdot U}{(1+k)(Z_r' + Z_e(1+\frac{1}{k}))} = \frac{Z_r' I}{1+k} = \frac{B I}{1+k} \cdot v$$

La tension entre D et C est donc proportionnelle à v .

Dans ces conditions, il est possible d'obtenir un asservissement de vitesse en opérant comme indiqué figure D, à partir du montage en pont, d'un amplificateur différentiel et d'un amplificateur à grand gain A.

Pour A grand et une tension d'entrée e , on obtient sensiblement :

$$v = \frac{1+k}{B I} \cdot e$$

La vitesse est ainsi proportionnelle à la tension d'entrée si B est constant ce qui nécessite une technologie spéciale pour la fabrication du haut-parleur : la bobine mobile devra être longue pour qu'elle soit avec un nombre de spires constant dans le champ et l'entrefer étudié lui aussi en conséquence.

Il ne reste plus alors qu'à étudier expérimentalement la relation existant entre la pression mesurée en champ libre très près de la membrane et la vitesse de cette dernière et à sortir de cette étude un convertisseur électronique réalisant cette correspondance. Nous aboutissons alors à la forme de la figure E qui est le résultat final : un asservissement en pression suivant le procédé A.P.F.