

Prototype
du poste de luxe

RECEPTEUR HAUTE FIDELITE

Sortons de la perpétuité

Dans l'éditorial du n° 110 de « Toute la Radio », E. Aisberg posait la question : « Sommes-nous condamnés au 4+1 à perpétuité ? »

Comme lui, nous pensons qu'il y a d'autres types de récepteurs à réaliser ; si des appareils de bas prix sont très demandés en cette époque de restrictions, il existe également un marché important pour le récepteur de luxe.

Comme le dit notre ami Aisberg, l'établissement d'un récepteur dont le prix de revient n'est guère limité, offre au technicien l'occasion de faire des études passionnantes.

Nous connaissons des constructeurs spécialisés dans ce genre de fabrication ; ils constituent une élite parmi les fabricants français, une force dans le commerce radio-électrique où ils occupent une place que ne peuvent tenir les grosses entreprises, car l'organisation de celles-ci n'est pas assez souple pour permettre la construction de modèles spéciaux, de récepteurs renfermant tel ou tel perfectionnement demandé par un acheteur éclairé, de récepteurs pouvant se loger dans un meuble existant, réalisés sur plusieurs châssis, avec un haut-parleur placé dans un angle de la pièce ou devant une cheminée sur un baffle rappelant un écran de cheminée, etc...

Là est le travail de l'artisan qui, bien outillé, peut créer des appareils capables de satisfaire les amateurs les plus difficiles et de lutter avantageusement avec les gros récepteurs importés ; nous voyons la moyenne et la grosse entreprise construire le petit récepteur et le récepteur moyen à des prix peu élevés, grâce à la fabrication à la chaîne et à des méthodes d'usinage rationnelles, modernes, et, à côté, l'artisan, l'« orfèvre-constructeur », réaliser des pièces quelquefois uniques possédant tous les perfectionnements de la technique moderne.

La réflexion du Directeur de « Toute la Radio » nous a poussés à entreprendre la construction d'un récepteur qui peut être classé dans la catégorie dite de luxe par les caractéristiques qu'il présente : sélectivité variable, commande de tonalité basse et aiguë, expanseur réglable, commutateur « parole-musique », amplificateur de grande puissance et possibilité par commutateur, d'éliminer les éléments additionnels pour transformer le récepteur de luxe en un récepteur classique.

Nous estimons que ces commutations sont indispensables, car les conditions d'écoute ne sont pas toujours les mêmes ; le goût d'un auditeur n'est pas toujours semblable à celui d'un autre et (ceci entre nous techniciens) il est tellement

agréable de pouvoir mettre en relief les petites particularités d'une réalisation, de pouvoir faire fonctionner le récepteur, par exemple, avec ou sans expansion, que nous n'avons pu résister au plaisir de réaliser et de décrire un tel appareil.

Ce récepteur possède neuf boutons ! Evidemment, cela peut paraître beaucoup et il n'est pas à placer dans des mains inexpérimentées ; mais, avec un peu d'habitude et un sens quelque peu développé de l'esthétique musicale, l'utilisateur averti peut tirer un gros profit de cette importante quantité de boutons.

Le schéma général de notre récepteur est donné figure 1, nous allons passer en revue ses différentes particularités.

Bloc d'accord

Nous avons choisi un bloc d'accord à 2 gammes O.C., 1 gamme P.O. et 1 gamme G.O., utilisant un condensateur variable standard 2×460 pF.

Il n'a pas été prévu d'étage amplificateur H.F. Nous avouons que la partie haute fréquence n'est que classique ; un perfectionnement peut être apporté de ce côté, nous verrions très bien un bloc d'accord à plusieurs gammes O.C. et un étage amplificateur à gain poussé en ondes courtes et à gain réduit en P.O. et G.O., avec amortissement du circuit grille du tube changeur de fréquence.

C'est une adjonction qui peut être faite facilement. L'étalement de la plage ondes courtes sur deux gammes rend la recherche des stations plus facile.

Nous eussions préféré un bloc à plusieurs gammes O.C. avec condensateur variable de capacité réduite, mais les possibilités actuelles d'approvisionnement sont malheureusement assez restreintes.

Le contacteur du bloc utilisé possède une galette spéciale qui permet de réduire la sensibilité M.F. du récepteur en P.O. et G.O. par prises sur le primaire du premier transformateur M.F.

Amplificateur M.F. à sélectivité variable

La nécessité de pouvoir séparer deux émetteurs dont les longueurs d'onde sont très proches, oblige à construire des récepteurs de sélectivité trop poussée pour que tout le spectre des fréquences musicales soit reproduit avec la même intensité. Les amplitudes des tensions de fréquences élevées sont déjà bien réduites à partir de 2.500 Hz, la musique paraît « plate », sans couleurs. Nous savons quelle plage importante doit être perçue, rien

que pour les fondamentales, afin que la musicalité soit acceptable.

Le dispositif de sélectivité variable permet de réduire la qualité « sélective » du récepteur, lors de l'écoute de stations proches ou puissantes, non gênées par une station voisine de longueur d'onde peu différente. Cette réduction de la sélectivité permet de jouir pour de bonnes émissions musicales, de l'entière fidélité de l'amplificateur basse fréquence.

On sait que les fréquences des ondes porteuses allouées aux émetteurs sont distantes de 9.000 Hz ; les bandes latérales de chaque côté de la fréquence de la porteuse ont donc une étendue de 4.500 Hz, les fréquences musicales supérieures à ce plafond n'étant pas transmises. Telle est du moins la théorie officielle. Fort heureusement, comme l'indique l'étude que l'on vient de lire, les émetteurs français respectent une bande étendue de fréquences musicales.

Déplorons encore une fois que les accords internationaux n'aient pas permis de réduire le nombre des émetteurs et de porter à 20.000 Hz l'écart séparant les fréquences des porteuses de chaque émetteur.

Certains auditeurs éloignés de l'émetteur ne pourraient pas jouir de toute la qualité de telles émissions, à cause du bruit de fond accru du fait de l'élargissement de la bande passante des récepteurs, quand la sensibilité de ceux-ci devrait être utilisée au maximum ; mais, avec des stations régionales bien situées et assez puissantes, un nombre important d'auditeurs auraient la possibilité de goûter de bonnes auditions.

Rappelons que la forme de la courbe de sélectivité idéale pour un récepteur doit se rapprocher du rectangle représenté figure 2. Les courbes de réponse du récepteur décrits relevées sur l'écran d'un oscilloscope accouplé à un modulateur de fréquence, pour différentes positions du commutateur de sélectivité variable, sont montrées dans la figure 3 brute de calcul. Les différentes largeurs de la bande passante sont :

pour un affaiblissement de 6 db, minimum 5, maximum 13 kHz ;
pour un affaiblissement de 60 db, minimum 18, maximum 19 kHz ;
pour 20 db on relève pour les quatre positions : 7,2, 9,5, 10,5, 13,5 kHz.

L'examen du schéma général nous montre que ces diverses courbes sont obtenues par l'adjonction à la base du secondaire des deux premiers transformateurs de quelques spires qui sont enroulées sur le noyau de la bobine primaire, la commutation permet de mettre en circuit un nombre plus ou moins grand de spires dosant ainsi le couplage.

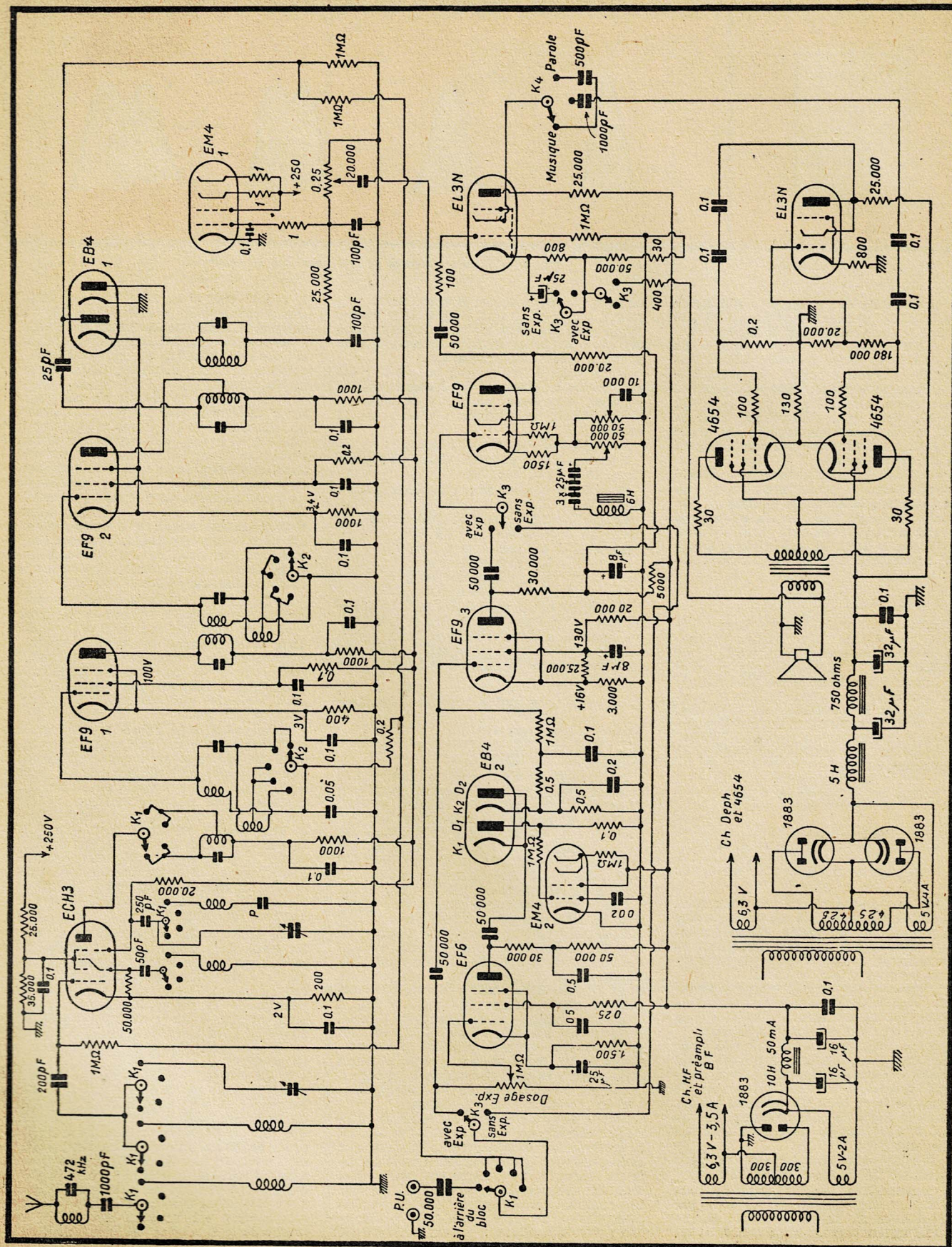


Fig. 1. — Schéma général du récepteur.

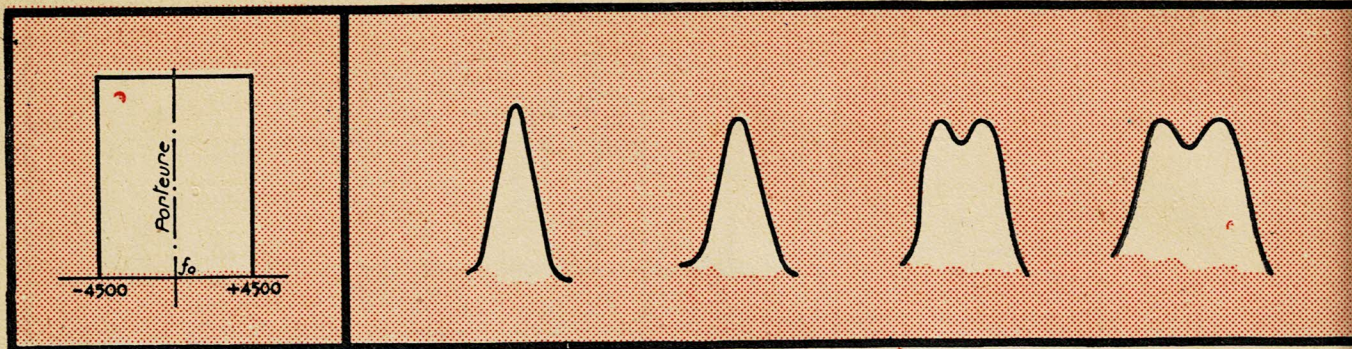


Fig. 2. — Courbe idéale

Fig. 3. — Quelques aspects de courbes réelles de sélectivité

Le nombre de spires est très réduit, de sorte que le changement de sélectivité n'amène pratiquement pas de désaccord.

La C.A.V. n'agit que sur un seul étage M.F., le second étage travaille à polarisation fixe (environ 3 volts). On remarque que la plaque du tube EF9 équipant ce second étage, est reliée à une prise du primaire, alors que, recherchant pour la C.A.V. le maximum de tension, la diode réverbérée à cette fonction est connectée en haut de ce primaire.

Le dernier transformateur est étudié pour fonctionner avec une charge de diode réduite, 150.000 ohms seulement; la distorsion lors de l'écoute de stations à fort taux de modulation est ainsi réduite; on sait que le taux de modulation maximum admissible est donné par la relation :

$$m_{\text{MAX}} = \frac{R_{\text{BF}}}{R_{\text{D}}}$$

où R_{BF} représente la charge basse fréquence, c'est-à-dire la résistance équivalente de l'ensemble charge de diode et de la résistance de fuite de grille, du premier étage amplificateur basse fréquence, qui se trouve mise en parallèle sur la première. R_{D} est la résistance de détection.

Dans le cas qui nous intéresse, la résistance en parallèle sur la résistance de détection est, si l'on utilise l'expanseur, de 0,5 mégohm, donc :

$$R_{\text{BF}} = \frac{0,15 \times 0,5}{0,15 + 0,5} = 0,115$$

et

$$\frac{R_{\text{BF}}}{R_{\text{D}}} = \frac{0,115}{0,15} = 0,76.$$

Le taux maximum admissible est donc :
 $m = 76 \text{ O/O}$.

Le câblage doit être exécuté avec soin, les découplages propres à un même étage étant ramenés en un même point de masse. Les supports de lampes, les transformateurs seront orientés pour que les connexions plaques soient courtes.

Le commutateur sera du type « à galettes », une galette étant affectée à chaque étage et de préférence placée sous le transformateur qu'elle doit commuter.

La disposition qui a été adoptée pour l'emplacement des différents éléments est schématisée dans la figure 4. Nous conseillons vivement au réalisateur de ce montage, de faire, tous éléments en mains, le plan à l'échelle du châssis; on ne construit pas un tel récepteur sur un châssis tout fait.

Le réglage des transformateurs peut être effectué de la façon suivante :

En commençant par l'élément de coupure à la diode, amortir le primaire par une résistance de 50.000 ohms placée entre sortie allant vers la diode C.A.V. et +,

accorder le secondaire. Désamortir le primaire, régler ce circuit. Opérer de la même façon pour les deux autres éléments, toutes ces opérations étant effectuées sur la position sélectivité maximum.

Un réglage à l'aide d'un vobulateur est préférable, il permet, par retouches successives, d'obtenir pour les positions à large bande, une bonne symétrie de la courbe.

Les gains d'étages mesurés sont :

Premier étage, position O.C. : 20; positions P.O. et G.O. : 7,5.

Deuxième étage : 25; troisième étage : 20.

Sensibilité M.F. position O.C. = 32 μV , positions P.O. et G.O., 80 μV .

Sensibilité à 1.000 kHz = 24 μV .

à 210 kHz = 47 μV .

à 6 MHz = 13 μV .

à 18 MHz = 20 μV .

La partie haute fréquence du récepteur fournissant un spectre étendu de fréquences musicales après détection, nous allons essayer d'en tirer parti au mieux, avec un amplificateur basse fréquence soigné.

L'amplificateur basse fréquence

Utilité d'une correction basse fréquence efficace.

La figure 5 représente le réseau des courbes d'égale sensation sonore établi par Fletcher et Munson; ces courbes servent de base à toutes constructions électro-acoustiques. L'échelle des fréquences est logarithmique, celle des ordonnées est exprimée en décibels au-dessus de 10^{-16} watts/cm² (intensité conventionnelle), le niveau de référence est pris à 1.000 hertz.

Cette intensité correspond à une pression de référence de 2×10^{-4} barye.

Pour montrer le degré de finesse de l'oreille, exprimons plus clairement ces grandeurs en puissance, il s'agit du dix-milliardième de microwatt et en pression du dix-millième de milligramme par centimètre carré. Comparons ces chiffres à ceux qui expriment une grandeur usuelle, la pression atmosphérique, qui est 10^3 grammes soit 10^6 milligrammes par centimètre carré. Nous voyons que la pression prise comme niveau de référence en acoustique est 10 milliards de fois plus petite que la pression atmosphérique.

Sur le réseau de courbes, le tracé inférieur correspond au seuil d'audibilité pour l'oreille humaine. On remarque que l'intensité qui lui correspond croît fortement lorsque la fréquence varie au-delà et en-deça de 1.000 Hz, tandis que les courbes tracées pour des intensités plus élevées se rapprochent de l'horizontale; l'irrégularité qui se manifeste dans

la région comprise entre 2.000 et 6.000 Hz serait causée par la diffraction des ondes sonores autour de la tête. En effet, si l'on mesure la pression acoustique dans le conduit auditif, on constate que les courbes ont une allure régulière (Fletcher et Munson).

L'examen de ce réseau de courbes est assez décevant pour l'électro-acousticien; pourquoi faut-il que l'oreille humaine soit ainsi faite? Que sa sensibilité diminue justement dans les régions où les traducteurs et les reproducteurs sont défaillants? Si encore ces courbes étaient parallèles entre elles pour les différents niveaux d'intensité sonore, des corrections permettraient de rattrapper le décalage dû à la déficience des appareils, pick-up, haut-parleurs, éléments de liaison, mais selon la puissance sonore émise, les corrections doivent être différentes.

La figure 7 représente la courbe de reproduction sonore d'un haut-parleur courant; on voit l'effort qu'il y a à faire dans cette branche de la construction et quel soin est à apporter aux corrections pour essayer de rectifier les défauts aux fréquences basses et aux fréquences élevées, défauts qui viennent s'ajouter à ceux de l'oreille!

Nous avons noté, figure 5, sur certaines courbes, les niveaux qui nous intéressent particulièrement: ceux qui correspondent aux auditions radiophoniques en appartement. Les corrections ne seront pas aussi poussées pour un amplificateur de cinéma que pour un récepteur d'appartement et elles seront variables pour que l'utilisateur appropriée, au gré de son oreille et selon la puissance qu'il peut donner à l'audition à l'aide du bouton de volume sonore, la dénivellation entre les intensités correspondant au médium et aux fréquences extrêmes.

Les systèmes de compensation sont utiles pour deux raisons: la première pour pallier aux déficiences des organes utilisés à la réception (amplificateurs et, surtout, haut-parleurs) et, la deuxième, pour compenser la différence de niveau qui peut exister entre l'intensité réelle, mesurée à l'audition directe, et l'intensité correspondante dans la modulation de l'émetteur.

Il est évident que si la chaîne de transmission et de reproduction qui relie l'ambiance de la salle de concert à l'ambiance de l'appartement de l'auditeur possédait une courbe de réponse linéaire, il ne faudrait apporter aucune correction, l'oreille de l'auditeur se trouverait impressionnée avec la même intensité que si celui-ci était situé dans la salle. Nous négligeons dans ce raisonnement l'emplacement du microphone par rapport aux divers instruments qui diffèrent de celui de l'audi-

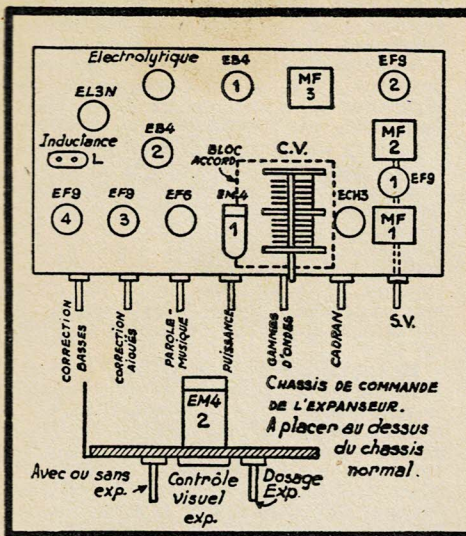


Fig. 4. — Disposition du matériel

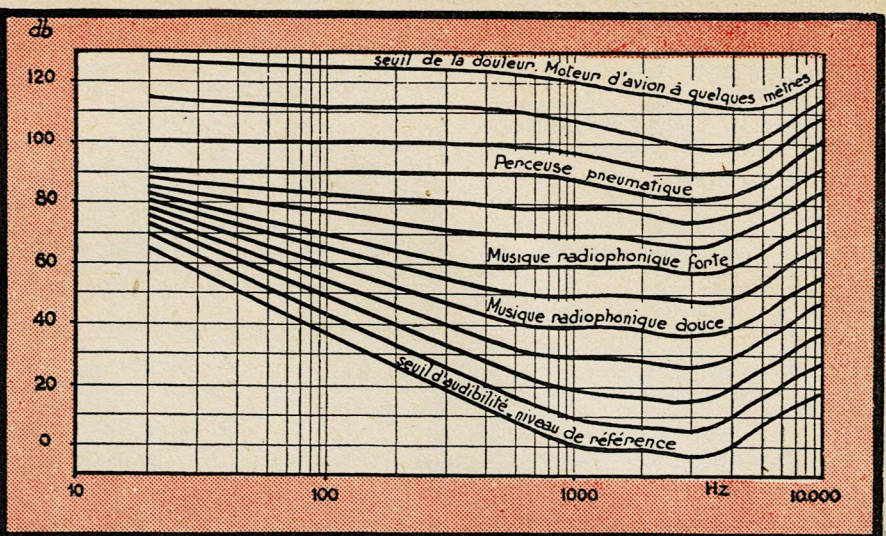


Fig. 5. — Courbes de Fletcher et leur correspondance

teur dans la salle et, aussi, les dimensions réduites de la source sonore que constitue le haut-parleur. Si des corrections étaient apportées, les intentions musicales du compositeur et du chef d'orchestre ne seraient pas respectées.

Un élément vient encore compliquer le travail de l'électro-acousticien, c'est le rendement du reproducteur, rendement qui intervient lors de la transformation de l'énergie électrique en énergie acoustique.

Le rendement acoustique d'un haut-parleur bien étudié, chargé par un baffle, est de l'ordre de 7 0/0, cette valeur tombe à 1 0/0 pour le haut-parleur classique. Le rendement de la lampe finale atteint rarement 100 0/0, le plus souvent il est de 70 à 80 0/0; le transformateur, lui, peut compter pour 60 à 80 0/0, ce qui fait qu'entre la puissance en watts indiquée par le fabricant de lampes et la puissance acoustique disponible, une marge importante existe parce que l'énergie fournie par la lampe est mal utilisée, le rendement global pouvant se chiffrer par 2 à 5 0/0.

Heureusement, une audition en appartement n'exige pas, pour être confortable, une puissance bien grande: 1 watt est un maximum, 3 watts est une puissance intenable dans une pièce normale; les lampes de puissance actuelles sont donc largement suffisantes (EL3N 4,4 W et 6V6 4,5 watts), pour l'audition en appartement avec les appareils classiques. La puissance rayonnée par la voix au cours de la conversation est de quelques microwatts. Un chanteur puissant atteint 20.000 microwatts. Un grand orchestre 10 watts acoustiques.

Mais, les courbes de Fletcher et Munson sont tracées pour des intensités sonores et l'on sait que le rendement électrique du transformateur et le rendement acoustique du haut-parleur, sont les plus mauvais aux deux extrémités du spectre des fréquences musicales; un réseau de courbes d'isosensation de l'oreille tracé en fonction de la puissance électrique à fournir par la lampe accuserait des dénivellations encore plus marquées.

Pour poursuivre réellement à fond une étude de corrections, il faudrait faire ce travail dans une chambre insonore; n'en possédant pas, les indications et courbes fournies seront données en fonction du courant dans la bobine mobile ou de la

tension mesurée aux bornes d'une résistance remplaçant celle-ci au secondaire du transformateur du haut-parleur. Nous indiquerons ce qu'est la réponse sans correction et ce qu'elle devient avec le système correcteur décrit; le lecteur jugera ainsi du gain obtenu dans un cas par rapport à l'autre.

Il faut être très prudent dans l'emploi des systèmes de correction. En effet, la reproduction correcte des fréquences basses exige un très bon haut-parleur si l'auditeur désire une puissance assez confortable, mais il faudra qu'il se contente d'une intensité sonore très faible dans le médium. Les basses seront alors obtenues avec une puissance relative se rapprochant de l'écart de niveau normal. Les puissances indiquées pour les haut-parleurs sont en général mesurées à 400 ou 800 hertz, mais il faut bien diviser par trois cette valeur, pour de bons reproducteurs lors de la reproduction à 50 hertz.

Le transformateur contribue aussi à la distorsion à ces fréquences basses et la courbe de réponse d'un amplificateur ou courbe de distorsion linéaire, peut être parfaite. La qualité de reproduction sera mauvaise si la distorsion non linéaire prend naissance, particulièrement aux fréquences basses, ce qui est en général le cas. En effet, supposons qu'on relève dans le circuit de la bobine mobile un courant de fréquence 50 présentant une distorsion de 2 0/0 à l'harmonique 7 (350 Hz), l'amplitude du courant harmonique est seulement 2 0/0 de l'amplitude de la

fondamentale donc 34 db, au dessous du niveau de celle-ci. Reportons-nous aux courbes de Fletcher et examinons ce qui se passe au niveau 20 db, nous voyons qu'entre 50 et 150 Hz existe une différence de 34 db environ, donc, dans ce cas, l'oreille peut percevoir l'harmonique 7 avec la même puissance que la fondamentale, ce qui détruira le timbre réel propre à l'instrument qui a émis ce son.

Cet exemple nous montre l'importance qu'il y a à utiliser un bon transformateur de haut-parleur, largement dimensionné. La réponse acoustique du haut-parleur lui-même vient encore « corser » le mal, car, en général, elle est bien meilleure à 350 qu'à 50 hertz.

Où doit-on introduire le dispositif de correction ?

Le système de correction doit être placé avant le dispositif de contre-réaction, si celui-ci ne sert pas, comme c'est souvent le cas, à effectuer cette correction; cela afin de pouvoir jouir pleinement de son efficacité.

On utilise la plupart du temps, dans les circuits B.F., les propriétés d'affaiblissement du niveau général par la contre-réaction pour réaliser le relèvement du gain sur les fréquences extrêmes. On place un circuit de contre-réaction pour réduire le taux de distorsion. A l'aide de circuits sélectifs on annule ou on réduit l'effet de contre-réaction sur les fréquences pour lesquelles on désire relever le

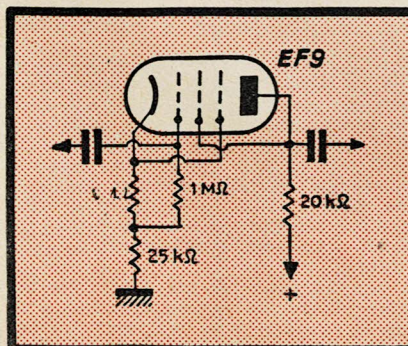


Fig. 6. — Etage à contre-réaction

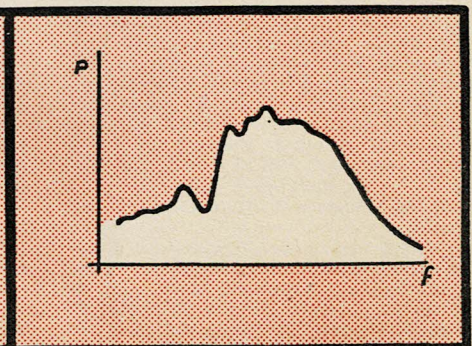


Fig. 7. — Courbe type d'un H.-P. courant

gain. La puissance de sortie est donc augmentée et c'est justement pour ces fréquences qu'il faudrait, principalement sur les fréquences basses, un important taux de contre-réaction.

Le dispositif de correction proposé laisse la contre-réaction affaiblir la distorsion sur toute la plaque des fréquences.

Dispositif de correction à contre-réaction sélective

La figure 6 nous montre le schéma d'un étage amplificateur équipé d'un tube EF9 monté en triode. La charge d'anode est faible pour que la pente dynamique soit réduite le moins possible.

La résistance interne d'un tube EF9 monté en triode est de 10.000 ohms et la pente de 1,4 mA/V. Calculons le gain sans contre-réaction. On a :

$$A = 1,4 \times 10^{-3} \cdot \frac{10^4 \times 2 \times 10^4}{10^4 + (2 \times 10^4)} = 9,3$$

La pente dynamique est :

$$S_a = S \frac{1}{1 + R_a/\rho} = 0,46 \times 10^{-3}$$

Valeur de la pente quand la contre-réaction est fournie par les résistances insérées entre cathode et masse :

$$S'_a = S_a \frac{1}{1 + RS_a} = 0,033 \times 10^{-3}$$

Le gain de l'étage est :

$$2 \times 10^4 \times 0,033 \times 10^{-3} = 0,66$$

Si l'on court-circuite la résistance de 25.000 ohms, la pente devient :

$$S''_a = 5,4$$

Donc, si nous court-circuitons la résis-

port entre les gains extrêmes est de 13,7 db.

Effectuons un calcul du même genre pour les fréquences élevées et pour une capacité de 5.000 pF placée en parallèle sur la résistance de 25.000 ohms :

$$Z_{10.000} = 3.200 \text{ ohms.}$$

Le gain de l'étage à 1.000 Hz est de 4,5. Comme pour, les fréquences basses, le calcul pour les différentes fréquences situées entre 10.000 et 500 Hz nous a permis de tracer la courbe de réponse de l'étage en fonction de la fréquence pour le haut de la plage des fréquences musicales (fig. 9). Le rapport entre les gains extrêmes est de 13 db.

Nous sommes donc en possession d'un dispositif qui va nous permettre de relever le gain d'un amplificateur de 13 db à 30 Hz et à 10.000 Hz, par rapport au niveau à 800 Hz.

Mais il faut, à moins d'utiliser deux étages indépendants, que bobine et capacité soient montées en parallèle. Que va-t-il se passer ?

Calculons d'abord la fréquence de résonance de l'ensemble :

$$\omega = 2 \pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 4.000$$

d'où $f = 636 \text{ Hz.}$

Pour un circuit RLC en parallèle, à la résonance, l'impédance est réduite à la valeur de la résistance ; ici, l'impédance à 636 Hz est réduite à environ 25.000 Ω .

En dehors de la résonance, le circuit devient inductif ou capacitif. A titre d'indication l'impédance à 1.000 hertz est de 22.700 Ω .

Le gain à cette fréquence est 1,18 ; le calcul en considérant la capacité seule,

tion basses, nous lisons 2,05 V au voltmètre. Refaisons l'expérience pour la correction aiguë, nous trouvons 2 volts.

Annulons les deux correcteurs, nous trouvons 1,5 V, ce qui correspond à une différence de niveau de 2,2 db, à peine perceptible par l'oreille.

Le gain réduit de cet étage amplificateur permet de le placer devant un amplificateur classique pourvu d'un taux élevé de contre-réaction ou équipé d'une triode devant la lampe finale. Dans le cas où celle-ci est une EL3N, on montera un EF9 en triode avec 2.000 ohms comme résistance de polarisation et 10.000 ohms comme charge d'anode, le gain sera d'environ 14 et le gain de l'ensemble, à 50 Hz de 70.

Le tube EL3N sera monté sans capacité en parallèle sur la résistance de cathode pour obtenir un effet de contre-réaction d'intensité. On peut encore renvoyer une fraction de la tension du secondaire du transformateur sur une résistance de 20 ou 30 ohms insérée dans le circuit de cathode du tube EF9 placé devant la lampe finale. En réglant l'intensité sonore, sans les corrections, à un niveau moyen, l'audition deviendra exagérément forte, si les corrections sont mises en service. Le niveau dans le médium restant pratiquement constant, c'est l'apport de gain assuré par les corrections, surtout aux fréquences basses, qui fournit cet excédent de puissance.

Regardons la courbe tracée figure 9 extraite du réseau de Fletcher, elle correspond à une audition à bonne puissance dans un appartement, les échelles sont les mêmes que celles des courbes tracées à la suite des calculs précédents, nous voyons que l'aspect général des deux figures est à peu près identique, cependant, les pentes des branches ascendantes sont moins élevées dans le cas des courbes calculées, la partie plate du niveau inférieur est moins étendue et la dénivellation aux fréquences extrêmes moins importante.

L'expérience montre que ces corrections sont suffisantes pour l'oreille et pour haut-parleur.

Le circuit d'anode du tube EF9 doit être découplé par une cellule de 50.000 ohms et 12 μF . Cette lampe étant placée à l'entrée de l'amplificateur, son courant de plaque ne doit comporter qu'une composante alternative très réduite. Un condensateur qui relie la bobine au potentiomètre peut être formé par la réaction en série de trois capacités tubulaires de 25 μF — 20 volts utilisées couramment pour les découplages de tensions de polarisation. Une tension de 40 volts existe entre cathode et masse. Cette capacité est utile pour empêcher les variations de débit de la lampe, donc de polarisation selon les positions du curseur.

Nous avons essayé, en remplacement de la bobine de 12 H le primaire d'un transformateur de haut-parleur de forme moyenne (6 H), la courbe de correction garde à peu près le même aspect, mais elle est déplacée légèrement vers la droite, la fréquence de résonance étant plus élevée. Une des extrémités du secondaire sera reliée à la masse.

La bobine de correction sera orientée éloignée du transformateur d'alimentation, on peut la placer dans une ébenisterie contre la paroi opposée à celle qui est proche du transformateur. Sa liaison au potentiomètre sera assurée par un sous-gaine.

Certains potentiomètres produisent des crachements lorsqu'ils sont parcourus par un courant continu ; dans ce cas, le réglage des corrections sera obtenu en p-

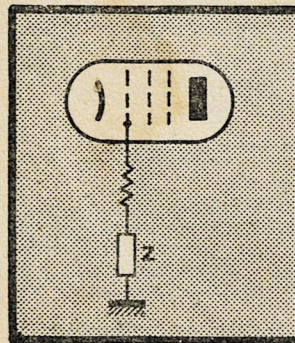


Fig. 8. — L'impédance Z

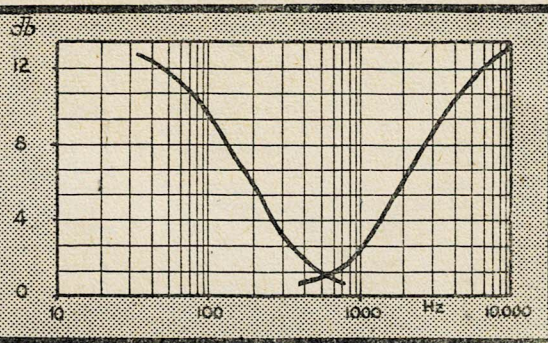


Fig. 9. — Courbes de réponse « basses » et « aiguës »

tance de 25.000 ohms, le gain augmente de 0,66 à 5,4, soit dans un rapport de 18 db.

Comme nous voulons obtenir un maximum de gain de l'étage pour les fréquences basses et pour les fréquences élevées, établissons deux dispositifs qui, dans ces zones de fréquences, court-circuiteront la résistance de 25.000 ohms, ce sera une bobine pour les fréquences basses et une capacité pour les fréquences élevées.

Le calcul effectué à 30 Hz pour une bobine que nous avons à notre disposition et dont la valeur mesurée est de 12 H, nous donne une impédance Z (fig. 8) :

$$Z_{30} = 2.200 \text{ ohms}$$

le gain de l'étage à 30 hertz est :

$$A_{30} = 4,8.$$

Un calcul identique effectué pour différentes fréquences jusqu'à 800 hertz, nous conduit pour cette dernière à un gain de 1,15, ce qui nous a permis de tracer la courbe de réponse de l'étage en fonction de la fréquence pour le bas de la plage des fréquences musicales (fig. 9). Le rap-

port entre les gains extrêmes est de 13,7 db. Cela nous permet de voir déjà que la réaction d'un circuit sur l'autre est extrêmement faible, ce que l'expérience nous confirmera.

Nous avons dit précédemment qu'il est utile de pouvoir doser l'effet de relèvement dont la valeur ne doit pas être la même pour des puissances sonores différentes.

Remplaçons la résistance de 25.000 ohms par deux potentiomètres de 50.000 ohms montés en parallèle ; connectons aux curseurs la capacité et la bobine, celle-ci à travers un condensateur d'une dizaine de microfarads, et nous obtenons un système de relèvement de gain offrant la possibilité de modifier l'un ou l'autre côté, sans qu'il y ait réaction de l'un sur l'autre, le médium demeurant sensiblement au même niveau.

A une fréquence de travail de 800 Hz et une tension de 2 volts mesurée à la sortie de l'étage, avec les deux corrections au maximum, en laissant fixe la tension d'entrée, supprimons la correc-

çant les potentiomètres comme le montre la figure 11. Pour la réception radio, sans sélectivité variable, on remplacera la capacité de 5.000 par une capacité de 10.000 pF, la courbe de correction aiguë s'élève plus près de 1.000 Hz.

L'expansion de contraste.

La reproduction fidèle de la musique sous-entend non seulement la parfaite reproduction des timbres des différents instruments mais aussi le maintien des rapports entre les différentes intensités à reproduire. Ainsi, lorsque dans un orchestre les fortissimi sont, par exemple, 100.000 fois plus forts que les pianissimi, il est souhaitable que le haut-parleur maintienne le même rapport entre les sons les plus forts et les sons les plus faibles.

Or, sur les récepteurs classiques, cela n'est pas obtenu. Pour des raisons que nous allons exposer, on est amené à comprimer, à l'émission ou à l'enregistrement le contraste des intensités.

Du côté des puissances maxima, on est limité par la puissance des lampes amplificatrices. Mais le seuil inférieur existe, lui aussi, et il est déterminé par le niveau de bruit de fond de l'amplificateur modulateur. Du côté réception, on est également limité par le bruit de fond des lampes, des bobinages, etc...

La compression de contraste s'avère indispensable, si l'on veut obtenir une transmission rationnelle de la musique. A cet effet, dans l'amplificateur de modulation de l'émetteur, au lieu d'amplifier également toutes les amplitudes, on diminue le gain pour les plus fortes qui sont alors, en quelque sorte, « comprimées ».

Les plus faibles bénéficient ainsi d'une « suramplification ».

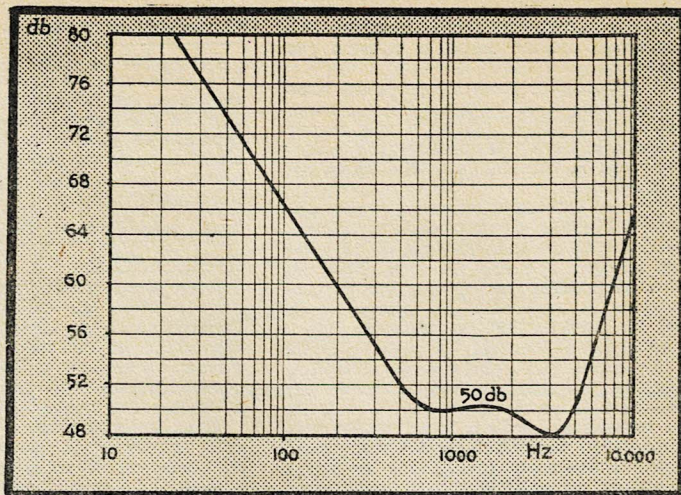
Des phénomènes analogues conduisent également à la compression des contrastes dans la musique enregistrée. Le seuil inférieur des amplitudes est déterminé par le grain de la matière plastique des disques, la limite supérieure est la distance entre deux sillons voisins.

Les contrôles originaux dans un studio.

Pour les orgues, le rapport maximum de contraste est de 35 db. Pour le piano il atteint 45 db et pour un grand orchestre symphonique, il dépasse facilement 65 db. L'enregistrement sur disque réduit ce dernier à 25 db, il y a donc 40 db de compression entre l'audition effectuée au studio et l'audition à la reproduction du disque.

Une transmission par voie hertzienne donne en général un rapport de contraste

Fig. 10. — La courbe de Fletcher correspondant à la courbe électrique de la figure 9. On voit que l'approximation est suffisante, surtout pour un H.-P.



plus élevé : 40 db. L'audition radiophonique sera donc, pour une émission non enregistrée, plus agréable à écouter, elle présentera plus de « dynamisme », elle sera moins « plate ».

Il faut enrichir le dynamisme.

Le rapport initial se trouve appauvri, il faut remédier à cette compression des contrastes en rétablissant dans l'amplificateur B.F. les contrastes originaux entre les différentes amplitudes. Nous procédons ainsi à l'expansion des contrastes, opération inverse de celle qui est pratiquée à l'émission.

Par l'expansion, il s'agit d'amplifier davantage les grandes amplitudes que les faibles. Comme il y a une perte moyenne de 30 à 40 db entre studio et reproduction, il est nécessaire que les grandes amplitudes bénéficient d'une suramplification de + 40 db.

Il faut donc que le gain de l'amplificateur varie de 40 db soit 100 fois, entre forte et pianissimo.

Pour une audition d'appartement, le rapport de 40 db est beaucoup trop élevé. Lorsqu'on écoute un passage pianissimo, on règle généralement la puissance de sortie à une valeur déjà élevée de l'ordre de 10 milliwatts.

Supposons que l'émetteur assure une dynamique de 20 db et l'expanseur du récepteur 40 db, la reproduction sera très naturelle, car l'expansion totale sera de 60 db. Mais, en réalité, une déformation énorme aurait lieu ; en effet, une aug-

mentation de 60 db correspond à multiplier par 10^6 la puissance de 10 mW dont nous venons de parler, c'est-à-dire à la porter à 10 kW !

Une telle expansion est absolument irréalisable avec des tubes de 4 watts employés généralement dans les appareils courants.

Un contraste supplémentaire de 20 db nous procurera des pointes de puissance de 100 watts, dans le cas d'une émission ayant une expansion de 20 db et des pointes de 10 watts lorsque l'émission passe des disques comprimés à 10 db.

Ces chiffres montrent que :

- 1° l'expansion doit être réglable ;
- 2° les pianissimi à l'écoute doivent être aussi faibles que possible ;
- 3° l'amplificateur doit être équipé de tubes de forte puissance.

Le système expanseur proposé.

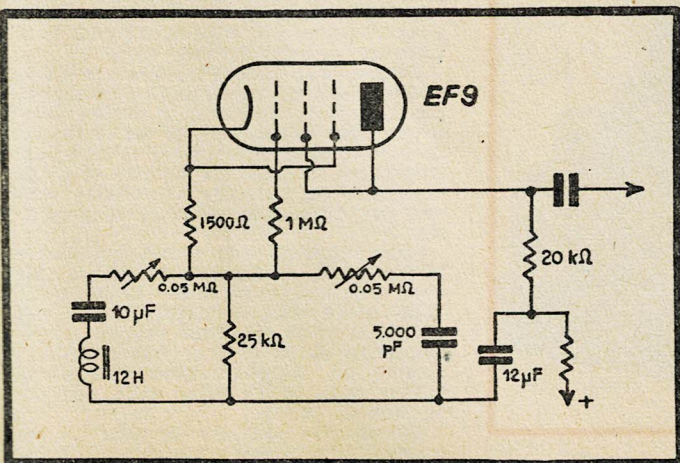
Reportons nous au schéma général du récepteur, l'expanseur comprend les trois étages disposés de gauche à droite : EF3 EB4-EF9. Un indicateur cathodique EM4 complète l'équipement.

A l'entrée, nous trouvons un potentiomètre de 1 MΩ qui permet de doser l'effet d'expansion ; il est connecté à un plot d'un commutateur destiné à l'élimination du système expanseur, on retrouve à la sortie du dispositif le second secteur de ce commutateur.

Examinons le fonctionnement ; la tension BF à amplifier provenant du système détecteur ou d'un pick-up est appliquée à la fois à la grille du tube EF6 et à la grille du tube EF9. Après passage dans l'étage amplificateur EF6, cette tension est redressée par une double diode EB4 montée en doubleuse, un courant continu circule dans les résistances de charge de la cathode K₂ et de la diode D₁ ; nous trouverons par une augmentation de la tension d'entrée un accroissement de courant dans chacune des résistances ; K₂ deviendra plus positive et D₂ plus négative qu'à l'origine.

La grille de commande du tube amplificateur EF9 est portée en permanence à un potentiel très négatif, sa cathode est à +16 volts par rapport à la masse, une résistance de 3.000 ohms relie ces deux points ; elle est traversée par le courant d'un pont relié au + 250 volts et par le faible courant de la lampe. Ce dispositif assure une polarisation élevée du tube sans qu'une résistance de grande valeur soit placée dans le circuit

Fig. 11. — Dispositif de dosage des corrections « basses » et « aiguës ». Dans ce montage, aucun courant continu ne circule dans les potentiomètres, ce qui évite les crachelements



de cathode, ce qui nuit à la sensibilité du système, comme nous le verrons par la suite.

La résistance de fuite de grille du tube EF9 est reliée à la cathode K_2 à travers un filtre ($0,1 \mu F - 0,5 M\Omega$) qui assure l'élimination de toute composante alternative dans la tension recueillie après redressement.

Pour une tension alternative nulle appliquée à l'entrée du système d'expansion, la polarisation du tube EF9 est de 16 volts moins environ 1/2 volt dû à la chute de tension engendrée par le courant permanent dans la résistance de charge de la diode. Le gain de EF9 est alors de 0,2.

Appliquons à l'entrée, la tension issue d'un générateur B.F., plaçons un voltmètre à l'entrée du système expanseur et un voltmètre à la sortie. Relevons les valeurs de la tension de sortie E_s pour différentes valeurs de la tension injectée. Nous posons les éléments nécessaires au tracé des courbes donnant l'expression du gain de l'étage EF9 en fonction de la tension injectée (fig. 12).

Les courbes en pointillés montrent ce qui se passe quand le potentiomètre de dosage de l'expansion est au minimum. La manœuvre par l'auditeur de ce potentiomètre lui permet de faire prendre à la courbe du gain des positions intermédiaires entre les deux extrêmes représentées.

Nous voyons que le gain de l'étage est d'autant plus grand que la tension d'entrée est élevée; ce dispositif, introduit dans une chaîne d'amplification, va nous permettre de nous approcher de l'écart réel entre les pianissimi et les fortissimi, déterminé par le chef d'orchestre qui suit sa partition.

Le fonctionnement est simple, plus l'amplitude de la tension à l'entrée est grande, plus la tension redressée par la diode est élevée, plus la polarisation du tube EF9 diminue et plus la pente de ce tube augmente et, avec elle, le gain d'étage.

Si pour obtenir la tension de polarisation originale de 16 volts, nous avons utilisé une résistance de plus grande valeur, à toute diminution de polarisation, à laquelle correspond un accroissement de courant d'anode, nous aurions un effet notable d'augmentation de polarisation dû à l'élévation de la valeur du courant dans cette résistance, effet opposé à celui que nous recherchons.

Lorsqu'une audition doit avoir lieu avec expansion de contraste, il est important de réduire la tension d'entrée au minimum pour les pianissimi, à l'aide de la commande de puissance. Le meilleur réglage est celui pour lequel ces pianissimi sont perçus sans trouble par le bruit de fond, le contraste sera réglé jusqu'à obtention d'une puissance exempte de distorsion.

Il sera bon de procéder à quelques expériences sur un disque, de façon, connaissant les passages du morceau, à juger du meilleur réglage à donner à l'expansion pour un volume sonore donné.

Pour contrôler les maxima de tension, un indicateur cathodique EM4 est inséré dans le circuit d'expansion. L'angle d'ouverture est d'autant plus grand que la tension redressée par la diode D_1 est élevée.

Avec les valeurs de résistances utilisées, l'épanouissement total de l'EM4 est atteint pour une valeur de tension sur les grilles des lampes finales ne devant pas être dépassée, l'auditeur devra régler le dosage d'expansion et le volume sonore à cet effet.

Commutateur « parole-musique ».

Pour l'écoute d'émission parlées, il peut être intéressant de réduire le volume sonore sur les fréquences basses, cette réduction est opérée par substitution à une capacité de liaison de 50.000 pF, de capacités de valeurs moindres. La figure 13 montre les courbes représentant l'affaiblissement obtenu.

Etage amplificateur de tension, étage de sortie.

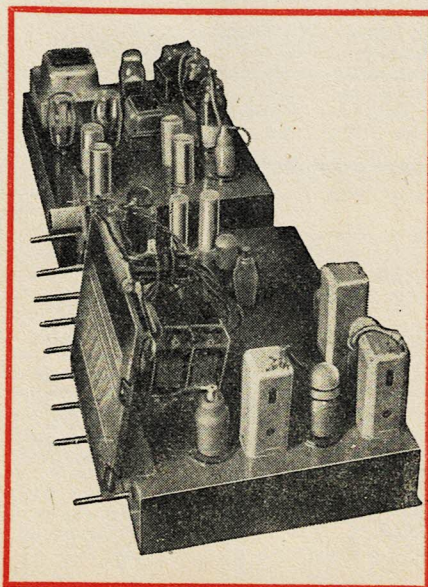
Nous avons choisi pour équiper l'étage amplificateur de tension, une penthode EL3N montée en triode. La tension d'alimentation de 250 volts utilisée, la tension élevée nécessaire à l'attaque des tubes 4654 et le recul de grille, nous ont obligés à écarter des lampes d'attaque classiques.

Dans les conditions d'emploi, il est possible d'obtenir de cet étage, une tension de sortie de 25 volts avec une distorsion de 3 0/0. Le gain d'étage est de 15,8.

Des mesures effectuées sur l'étage de sortie nous ont permis de faire le relevé suivant pour diverses puissances de sortie. Une puissance de 2,4 watts est obtenue au secondaire du transformateur du haut-parleur chargé par une résistance dont la valeur est égale au module de l'impédance de la bobine mobile à la fréquence d'essai de 800 Hz, avec une distorsion de 1,5 0/0, pour 3,5 volts sur la grille des tubes 4654 et 0,28 V sur la grille des tubes EL3N; une puissance de 8,4 watts avec 10,5 0/0 de distorsion est obtenue dans les mêmes conditions, pour 9 volts sur les grilles des tubes 4654 et 0,65 V sur celles des EL3N.

Une mesure de distorsion à 40 Hz nous a donné avec contre-réaction : 10 0/0 pour 6 watts; sans contre-réaction, la même puissance de sortie amène une distorsion de 14 0/0.

Le rendement du transformateur, mesuré à 800 Hz, est de 60 0/0; ce chiffre nous donnerait comme puissance primaire maximum, 14 watts à 10 0/0 de distorsion. Notons, à ce sujet, que les puissances indiquées par les fabricants de tubes sont relevées sur une charge ohmique, il n'est pas tenu compte du transformateur dont le rendement varie selon la façon dont il est réalisé, d'où la différen-



Aspect des châssis récepteur et alimentation

ce observée entre les chiffres relevés secondaire et les chiffres publiés dans notices.

Le système déphaseur est constitué par un étage EL3N monté comme le tube d'attaque et sans la capacité en shunt sur la résistance de polarisation; la grille de cette lampe reçoit une fraction de tension de grille du tube 4654 par l'intermédiaire d'un diviseur de tension constitué par deux résistances, l'une de 179,0 ohms et l'autre de 21.000 ohms. Le gain de cet étage est de 9,5.

Il peut paraître bizarre qu'un étage gain aussi réduit soit utilisé devant des tubes de puissance qui nécessitent une tension d'attaque de 9 ou 10 volts. Nous avons effectué des mesures de la tension développée aux bornes d'un pick-up classique électromagnétique et aux bornes la résistance de détection sur certaines émissions. L'enregistrement par l'orchestre Tzipine de la « Rhapsodie in Blue » de Gershwin nous a donné dans les fortes des tensions de crête correspondant à une tension efficace de 0,32 volt. Une station anglaise sur ondes courtes donnant un concert d'orgue de cinéma, nous a permis de relever des tensions correspondant à 2 volts efficaces.

Entre la résistance de détection, sans l'expanseur, et la grille du tube EL3N, nous trouvons l'étage de correction. Nous avons vu que si le gain est de 0,7 dans le minimum, il atteint 4 sur les fréquences basses. Sur l'enregistrement cité, un fort correspondant à une fréquence de 30 Hz donnerait sur la grille du tube EL3N $0,32 \times 4 = 1,28$ volt.

Or les mesures dont nous avons parlé ci-dessus, nous ont montré que l'amplificateur fournit 8,4 watts avec 10,5 0/0 de distorsion pour 0,65 volt sur la grille EL3N.

Le dispositif d'expansion vient encore s'intercaler entre la résistance de détection et l'étage de correction. Alors, par la manœuvre du commutateur K_2 , le gain de l'étage EL3N est réduit à 2,2 par élimination de la capacité en shunt sur la résistance de 800 ohms et insertion en série avec celle-ci d'une résistance de 5.000 ohms, afin d'introduire un taux élevé de contre-réaction d'intensité. Il faut 4 volts sur la grille du tube EL3N pour obtenir 10 volts à la sortie de cet étage; la distorsion est alors de 2,5 0/0.

Reprenons le cas, cité ci-dessus, d'une tension de fréquence 30 Hz et d'amplitude de 0,3 volt appliquée à l'entrée de l'amplificateur; le gain de l'étage EF9 de l'expanseur est de 3 environ, la tension sur la grille du tube EF9 de correction est 0,9 volt; à la sortie de cet étage nous obtenons $0,9 \times 4 = 3,6$ volts et $3,6 \times 2,2 = 7,92$ volts sur la grille du tube 4654.

Evidemment, lorsque les tensions à amplifier se situent vers le milieu du spectre des fréquences musicales, le volume sonore est assez faible, mais là est la raison de la correction efficace sur la plage des fréquences extrêmes du registre et d'une expansion du contraste appréciable sans que des distorsions gênantes se produisent.

Nous reportant à la courbe qui donne la tension E_s en fonction de E_e (fig. 12) nous trouvons, entre deux valeurs de E_e (0,05 et 0,4 volt) un rapport de 8, soit 18 db et entre les deux valeurs correspondantes de E_s (0,05 et 1,55 volt), 31, soit 30 db. Entre les deux valeurs extrêmes choisies, il existe donc une expansion de 12 db.

Ces chiffres sont donnés pour un cas concret, ils montrent combien est critique le dosage de l'expansion et le rapport à éta-

blir entre la tension injectée à amplifier et la tension injectée pour commander l'expansion. Il faut que l'opérateur ait acquis un peu de pratique pour tirer de l'expandeur tout le profit qu'il peut en espérer.

Si le volume sonore est jugé un peu faible et que l'on constate une distorsion un peu plus forte qu'il est prévu, dans les pointes, on pourra réduire la valeur de la résistance de 5.000 ohms insérée dans le circuit cathode EL3N.

Courbes.

La figure 14 montre quatre courbes de réponse du récepteur relevées dans les conditions représentées sur le croquis. La tension H.F. modulée par un générateur B.F. au taux maintenu constant de 30 0/0, est injectée à l'entrée du récepteur; un voltmètre à lampe permet de mesurer à la sortie la tension e aux bornes d'une résistance de 0,5 ohm insérée en série dans le circuit de la bobine mobile. Cette tension est fonction du courant qui provoque les déplacements de la bobine mobile. Les courbes tracées représentent les variations de e en fonction de la fréquence de modulation de la tension H.F. Les mesures ont été faites le récepteur étant réglé sur 1.000 KHz.

La courbe a montre le résultat obtenu sur la position « sélectivité minimum », correction basses et correction aiguës au maximum, alors que, pour la courbe b, la correction aiguë était supprimée.

La courbe c correspond au relevé effectué sur la position « sélectivité maximum » et sans aucune correction. La courbe d est le résultat du relevé effectué dans les mêmes conditions M.F. mais la correction aiguë au maximum.

Par le jeu du commutateur de sélectivité variable et des deux potentiomètres de réglage de tonalité, il est possible de faire occuper à ces courbes toutes les positions intermédiaires.

La figure 15 montre quatre courbes représentant des relevés effectués en B.F. La courbe a correspond au relevé de e, la bobine mobile étant remplacée par une résistance, avec contre-réaction, correction basses et correction aiguë. En b, même relevé, mais la bobine mobile a été remise en place. La courbe c donne le résultat obtenu sur résistance chargeant le secondaire et sans contre-réaction, alors que la courbe d montre le même relevé, bobine mobile en place. Ces courbes mettent en évidence les déficiences du transformateur quand il est accouplé à la bobine mobile et, aus i, l'influence de la contre-réaction sur la reproduction des fréquences basses.

La figure 16 représente les courbes de la tension relevée sur la plaque du tube EF9 équipant l'étage de correction, quand on fait varier la fréquence de la tension injectée maintenue à une amplitude constante. En a, correction basses et correction aiguë au minimum; en b, correction aiguë agissant seule et en c, la correction basses agissant seule. La courbe a' a été relevée pour une capacité de correction de 10.000 pF, alors que sa valeur s'élevait à 5.000 pF seulement pour a, b et c. On voit que la valeur de 10.000 pF est plus favorable en radio où le relèvement doit débiter sur des fréquences plus bas es de la plage « aiguë », que lorsqu'il s'agit de reproduction phonographique.

Notons qu'il serait ridicule d'utiliser derrière cet ensemble un H.P. médiocre.

Un haut-parleur de très bonne qualité capable de reproduire correctement une puissance d'une dizaine de watts doit être employé.

R. GONDRY.

Fig. 12. — Courbes du gain et de la tension de sortie Es de l'étage expandeur EF9 pour le dosage maximum et le dosage nul

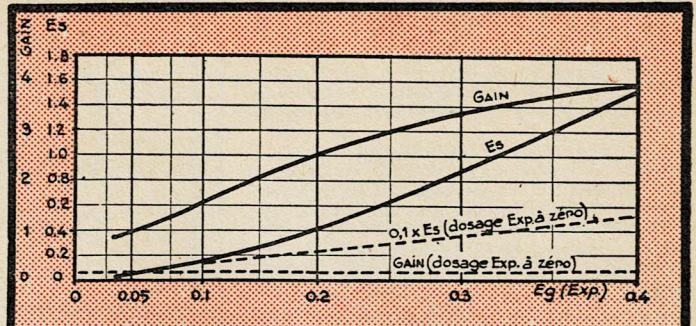


Fig. 13. — Courbes de réponses pour différentes valeurs de la capacité de liaison

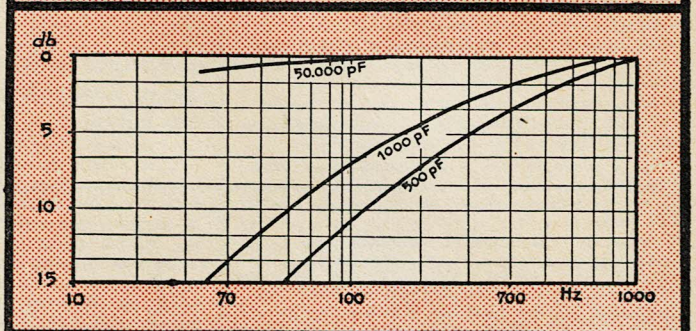


Fig. 14. — Courbes de réponse du récepteur, pour quatre positions du dispositif de correction. La mesure a été effectuée suivant le schéma représenté dans la figure

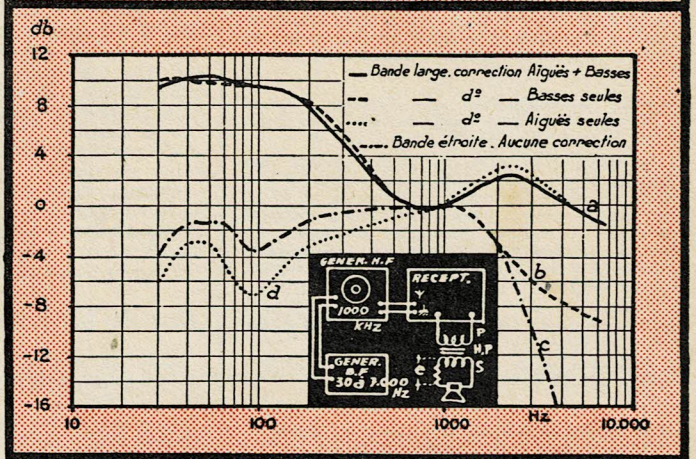


Fig. 15. — Courbes de réponses de la partie B.F. pour différentes positions de correction avec ou sans la bobine mobile

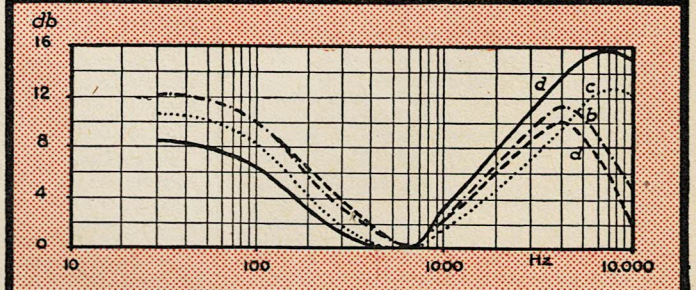


Fig. 16. — Courbes relevées à la plaque de l'étage EF9 de correction, pour différentes positions des circuits utilisés

