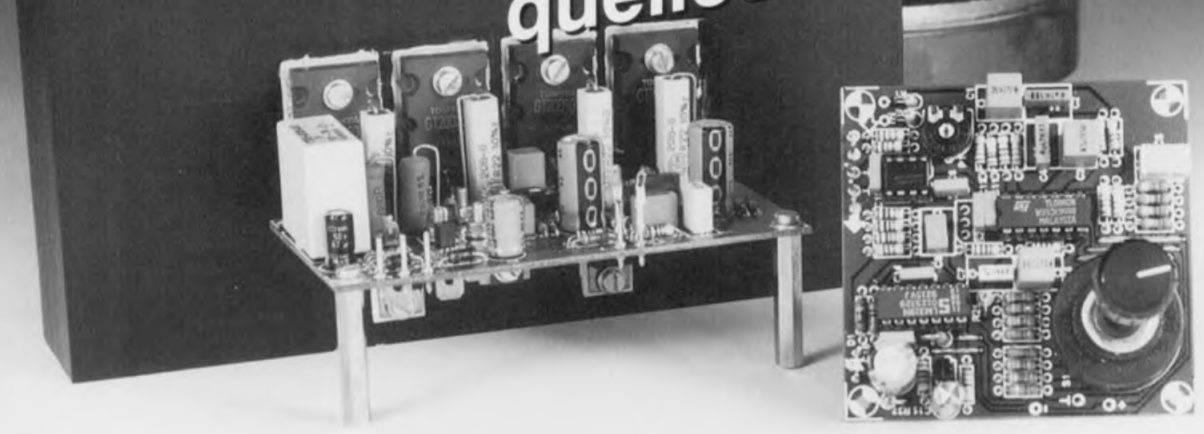
caisson de graves actif

à combiner avec n'importe quelles enceintes



Cette version « activée » du caisson de graves décrit le mois dernier constitue une adjonction d'un intérêt indiscutable pour la quasi-totalité des installations audio Hi-Fi. Si la version passive du caisson de graves devait s'avouer vaincue en présence de fréquences inférieures à 40 Hz, la version active proposée ici garantit une reproduction quasi linéaire jusqu'à 20 Hz. Ce caisson de graves actif avec son amplificateur de 240 W (!) intégré est une nécessité absolue pour tous ceux qui recherchent une base de grave surréaliste, d'autant plus que le coût de réalisation de l'ensemble reste dans des limites raisonnables.

1ère partie

Le mois dernier nous avions évoqué la quasi-certitude de la publication d'une version active de notre caisson de graves. Chose promise, chose due. Nous allons donc revenir à l'un de nos dadas, la « reproduction des graves ». Le mois dernier nous avions insisté sur l'importance que peut avoir un caisson de graves pour l'obtention d'une reproduction Hi-Fi réaliste, en particulier lorsqu'il s'agit d'un événement audio-visuel accompagné de « Surround-Sound ». Certains d'entre vous pourrons se demander ce que peut bien apporter cette version active du caisson de graves, sa « valeur ajoutée ». Le caisson de graves passif n'allait-il pas, avec sa fréquence de coupure de 40 Hz, suffisamment dans le grave pour une reproduction « acceptable » ? Réponse de Normand. Oui et non. Pour de la musique « normale » ces 40 Hz représentent une valeur très honorable. Cette fréquence est à peu près celle de la note la plus grave que puisse produire une contrebasse et le nombre d'enceintes capables de rendre cette fréquence avec une pression acoustique suffisante ne courent pas les rues. Il existe cependant des signaux audio pour lesquels cette fréquence limite de 40 Hz n'est pas suffisamment grave. C'est le cas lorsque l'on veut donner aux coups de canon de l'Ouverture 1812 de Tchaikowski de la version réputée de Telarc leur «volume nature ». Ou encore lorsque l'on veut rendre la force terrifiante du tonnerre accompagnant un orage tropical. Les pistes son de certains films à grand spectacle tels que TopGun et Jurrassic Park gagnent énormément en réalisme lorsque l'on arrive à faire descendre la reproduction des graves le plus bas possible. On pourra se demander où mettre la barre ? 30, 20, voire 10 Hz ? Bien que la règle soit à nouveau d'essayer de descendre le plus bas possible, une fréquence de 20 Hz semble être une valeur « raisonnable » puisqu'elle

Caractéristiques techniques :

Diamètre du haut-parleur :		*30 cm*
Type de coffret :		*bass-reflex*
Dimensions du coffret :	*66×40,6×42 cm*	*(pieds compris)*
Volume du coffret :		*65 l net environ*
Plage de fréquences :		*20 Hz à fréquence réglable (100 Hz au maximum)*
Fréquence de coupure :		*définissable à 40, 50, 60 ou 70 Hz*
Puissance de l'amplificateur :		*245 W/4 Ω (DHT = 0,1%)*
		130 W/8 Ω (DHT = 0,1%)
DHT+B à 100 Hz :	*à 1 W/8 Ω :*	*0,0046%*
	à 50 W/8 Ω :	*0,001%*
	à 1 W/4 Ω :	*0,007%*
	à 100 W/4 Ω :	*0,0016%*
Rapport S/B à 1 W/8 Ω :		*90 dB lin. (93 dBA)*
Facteur d'atténuation :		*> 400 (sous 4 Ω)*

représente en effet la limite de ce que peut entendre une oreille humaine. Il est vrai que nous pouvons « ressentir » des vibrations de fréquence moindre mais leur reproduction avec une intensité suffisante impliquerait l'utilisation d'une batterie d'enceintes telle qu'il ne resterait que fort peu de place pour le reste du mobilier. Il est loin d'être imaginaire en outre qu'une reproduction réaliste du domaine subsonique en-deçà de 20 Hz pourrait entraîner des dommages, à l'immobilier cette fois. Si nous nous limitons à 20 Hz il est possible d'obtenir une reproduction des graves très spectaculaire tandis que le déplacement d'air requis peut être réalisé à l'aide de moyens normaux. Encore que l'adjectif de normal... Une enceinte conventionnelle ayant une courbe de réponse rectiligne jusqu'à 20 Hz devra avoir un volume de quelques centaines de litres, « contenant » monstrueux qu'il est difficile de caser dans le salon lambda. Si nous voulons réaliser une enceinte « mobile » il va nous falloir, inévitablement, faire appel à la fée électronique. De passif qu'il était, le caisson de graves devient...

ACTIF

La différence majeure entre une enceinte passive et son homologue active est la présence d'un amplificateur. Dans le cas d'un système actif à plusieurs voies on aura 2 ou 3 amplificateurs, un caisson de graves se contentant, heureusement, d'un seul amplificateur. Le fait que le caisson de graves possède son propre amplificateur a l'avantage de permettre une « mise à niveau » avec les autres enceintes du système. La présence de ce fameux amplificateur n'est pas la caractéristique essentielle d'une enceinte active. L'intérêt majeur est que le filtrage nécessaire peut maintenant se faire en amont de l'amplificateur de puissance, à l'aide d'un filtre électronique. Un filtre de ce genre offre des possibilités quasi-illimitées de corriger ou de manipuler la courbe de réponse en fréquence du haut-parleur. Avec notre application les possibilités d'un filtre électronique tombent à pic. Nous disposons en effet ainsi du moyen permettant de pousser un haut-parleur de taille relativement petite, à produire des fréquences descendant jusqu'à 20 Hz. Comment cela fonctionne-t-il ? C'est tout simple. Nous mesurons la courbe de réponse naturelle du haut-parleur dans son coffret (trop petit) et concevons ensuite un filtre ayant une réponse qui soit très exactement symétrique (en miroir) à la dite courbe de réponse. Le filtre compense donc la courbe de réponse en fréquence irrégulière de l'enceinte, ce qui se traduit par l'obtention d'une courbe de réponse rectiligne. Nous utilisons ici, pour nos calculs, le même haut-parleur et le même coffret que ceux du caisson de graves passif décrit le mois dernier. Une lecture attentive de l'article en question vous aura appris que nous utilisons un woofer de 30 cm de Monacor implanté dans un coffret bass-reflex de 65 litres. Un caisson de graves à la compacité remarquable donc.

1

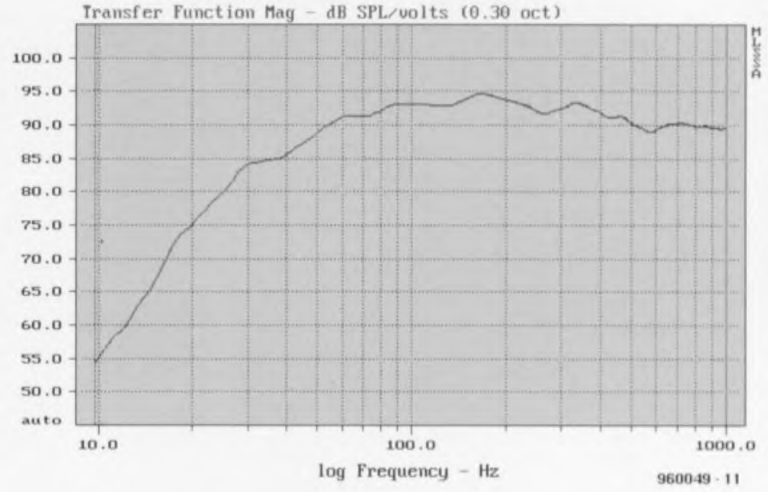
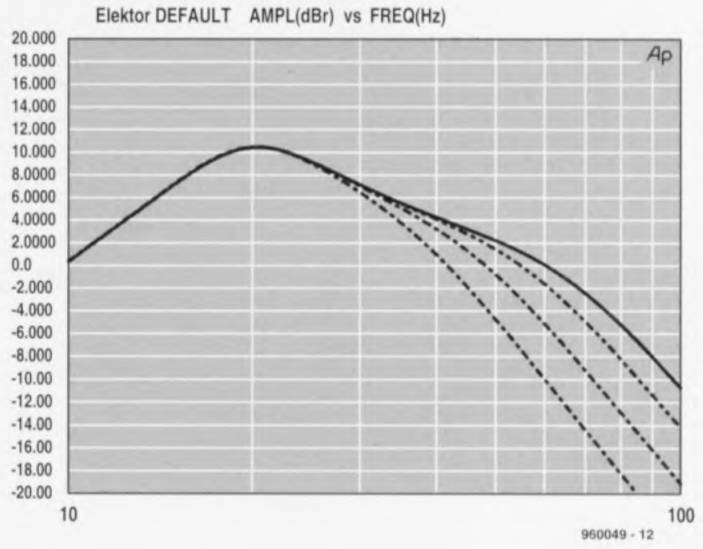


Figure 1. Courbe de réponse en fréquence du woofer de 30 cm placé dans son coffret sans filtre ni correction.

La **figure 1** donne la courbe de réponse en fréquence du coffret (en l'absence de filtre). Un examen rapide montre que le point – 3 dB se situe aux alentours de 45 Hz. Si l'on regarde de plus près on voit que la courbe commence à chuter dès 85 Hz, la pente s'accentuant à partir de 60 Hz pour devenir encore plus raide à partir de 30 Hz. Cette dernière accentuation est due au port de bass-reflex; au-delà de la fréquence de port la chute de la pente est exactement celle d'une enceinte close ayant une pente de 12 dB par octave (second ordre) puis de 18 dB par octave (troisième ordre). Nous voulions, pour la version active du caisson de graves décrite ici, disposer d'un domaine de travail allant de 20 à 70 Hz. Si l'on veut redresser la courbe de la figure 1 sur le dit domaine il faudra que le filtre électronique ait lui-même une courbe correspondant à celle représentée en **figure 2**. Nous découvrons une courbe à la pente constante entre 70 et 20 Hz, sa pente s'accentuant à partir de 30 Hz. Au-delà de 20 Hz le filtre perd sa pente vu que ces fréquences ne nous intéressent pas. Pourquoi donc la figure 2 comporte-t-elle 4 courbes ? Pour la simple et bonne raison que nous avons doté le filtre de 4 points de coupure commutables. Ceci permet d'universaliser le caisson de graves et de le combiner bien plus facilement avec toutes sortes de haut-parleurs stéréo. En fait, cette figure 2 devrait attendre son tour, vu que ce dont

Figure 2. Courbe de réponse du filtre de correction et d'aiguillage combiné décrit ici. Ces 4 courbes correspondent à des fréquences de coupure de 40, 50, 60 et 70 Hz.

2



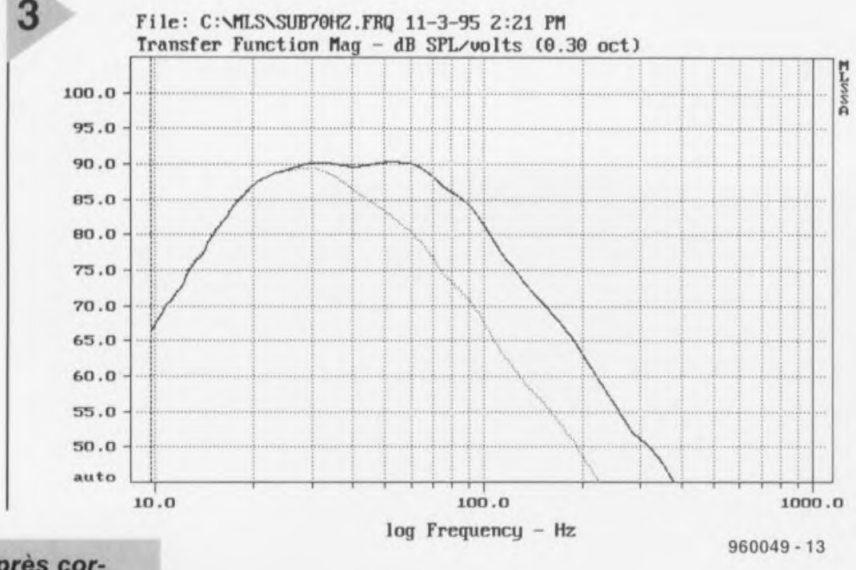


Figure 3. Après correction, la courbe de réponse en fréquence du caisson de graves actif est pratiquement rectiligne de 20 à 70 Hz. La courbe pointillée est celle mesurée à une fréquence de coupure de 40 Hz.

il s'agit pour l'instant est la courbe mesurée de la partie active de notre caisson de graves dans sa forme concrète. Ce que vous voyez ici est le résultat de la mise en oeuvre de l'électronique dont il nous faut encore parler ! Puisque nous y sommes, pourquoi ne pas vous présenter le résultat acoustique final de cette électronique ? La courbe de la **figure 3** vous propose la courbe de réponse en fréquence du caisson de graves à correction active mesurée à l'aide d'un microphone de mesure et d'un analyseur de spectre. Si l'on juxtapose cette courbe avec celle de la figure 1 on voit immédiatement ce qu'apporte l'électronique additionnelle. La courbe est quasiment linéaire entre 70 et 20 Hz. La courbe en pointillés représente ce que l'on obtient en cas de choix d'une fréquence de coupure de 40 Hz, la valeur la plus faible.

LE PRINCIPE DU SYSTÈME

Quels sont en fait les éléments composant le système décrit ici ? Nous avons, à nouveau, opté pour un woofer de 30 cm de Monacor, un SPH-300TC. Il prend place dans le même coffret bass-reflex que celui utilisé pour le caisson de graves passif décrit le mois dernier. Le filtre d'aiguillage conventionnel disparaît. Il est remplacé par 2 nouveaux éléments, un filtre électronique et un amplificateur de puissance. Le filtre est une combinaison de filtre de correction et de filtre d'aiguillage (répartiteur de fréquences); il linéarise la courbe de réponse du woofer et offre une possibilité de choix entre 4 points de coupure commutables. L'amplificateur de puissance est chargé de donner substance aux courbes du filtre. Vu que la correction du filtre atteint, à 20 Hz, un bon 10 dB, l'amplificateur doit être en mesure de fournir une puissance respectable. Avec ses 240 W l' amplificateur prévu ici est capable d'assumer cette tâche sans broncher. L'amplificateur attaque les 2bobines du haut-parleur; les bobines d'excitation se trouvent donc connectées en parallèle. Le filtre électronique étant doté **et** d'entrées lignes **et** d'entrées de haut niveau de sorte que le caisson de graves actif peut être attaqué tant depuis le préamplificateur (sortie pre-out d'un amplificateur intégré) que depuis les sorties haut-parleurs. C'est ce qu'illustre la **figure 4**. L'interconnexion entre l'installation audio existante et le caisson de graves **ne se fait pas** à l'aide de câble pour haut-parleurs mais par l'intermédiaire de câble audio blindé. L'ensemble filtre + amplificateur de puissance + alimentation nécessaire à ce dernier prend place dans un boîtier disposé à proximité du caisson de graves voire fixé sur ce dernier.

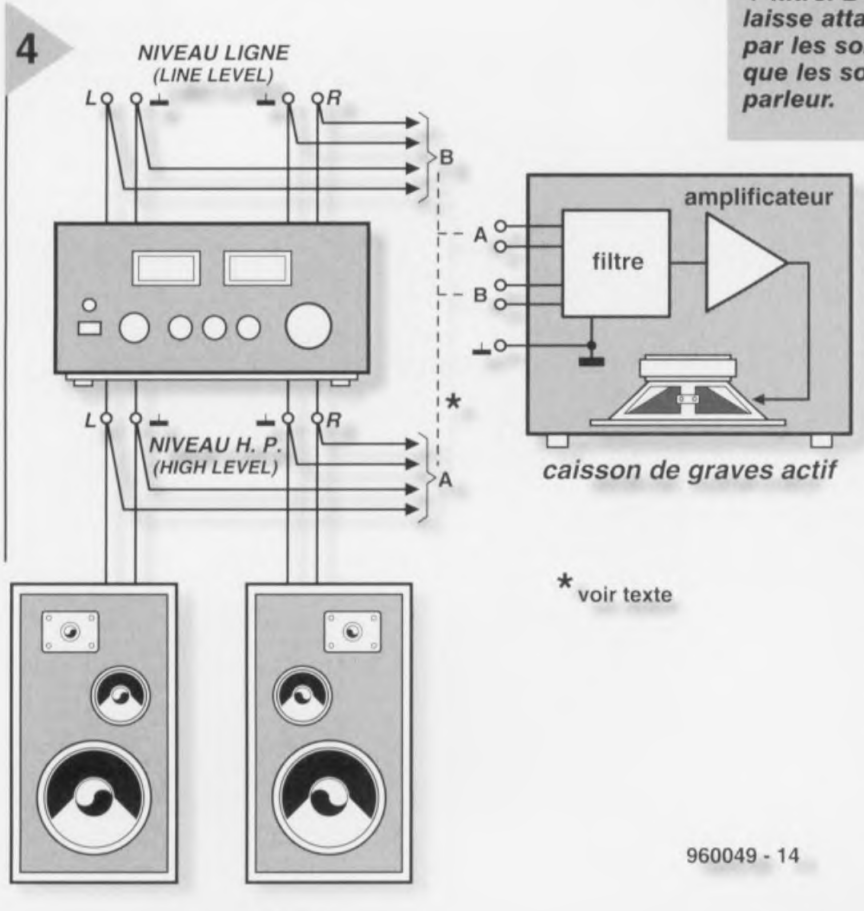


Figure 4. Le caisson de graves actif est une combinaison de coffret + amplificateur + filtre. L'ensemble se laisse attaquer tant par les sorties Ligne que les sorties haut-parleur.

LE FILTRE

La **figure 5** vous propose le schéma complet du filtre électronique. L'ensemble se subdivise en fait en 4 parties :le filtre de correction (IC2d, IC2c), le filtre de séparation (IC2b, IC2a), une indication de modulation (IC3, T1) et une petite alimentation symétrique (IC4, IC5) . L'amplificateur opérationnel IC1a fait office d'additionneur pour les canaux gauche et droit. Le gain de cet étage d'entrée se laisse régler par le biais de l'ajustable P1. Les résistances R1 et R2 de forte valeur qui l'épaulent permettent le traitement, sans le moindre problème, de signaux en provenance d'un haut-parleur. Immédiatement en aval de IC1a on procède à une correction de fréquence. IC2d constitue en effet le coeur d'un filtre passe-bas du second ordre (limité) dont le signal de sortie est, via IC2c, additionné au signal non filtré. Les condensateurs C3 et C4 limitent la bande passante de la correction; notons que le condensateur d'entrée de l'amplificateur de sortie (C1 du schéma de la **figure 6**) remplit une fonction identique. Pour l'optimi-

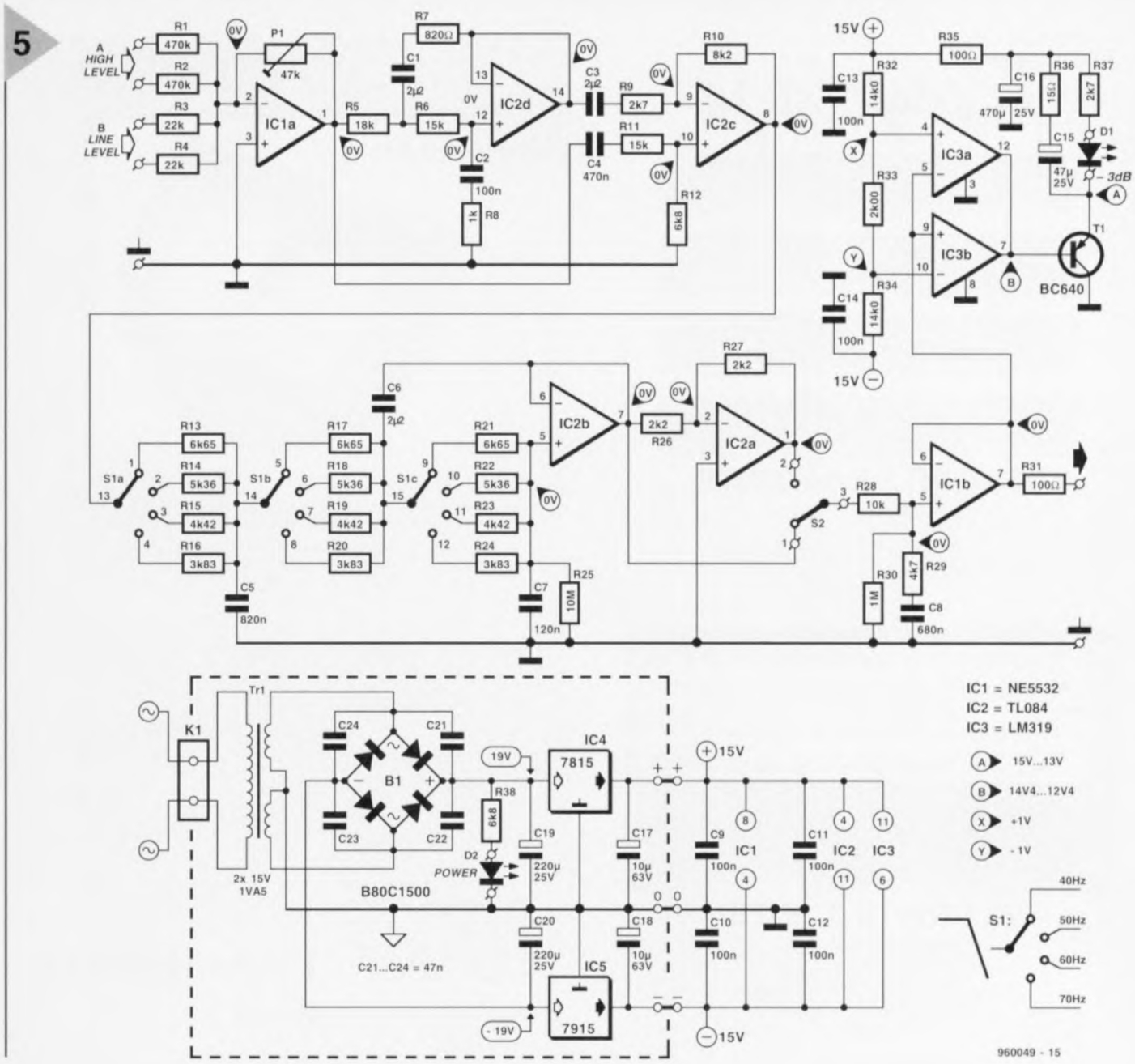


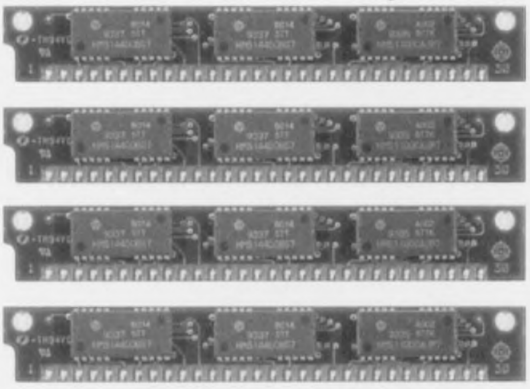
Figure 5. Le schéma du filtre actif n'a rien de bien compliqué. L'indicateur de modulation basé sur IC3 est un accessoire à l' utilité indiscutable.

sation de la courbe de correction on fait appel à un petit réseau passif du premier ordre disposé à proximité du tampon de sortie (R28/R29/C8); le but est de compenser la dérive progressive de la courbe du haut-parleur du second vers le troisième ordre évoquée plus haut. Le filtre de séparation est centré sur IC2b. Il s'agit d'un filtre passe-bas actif du 3ème ordre de type Butterworth dont on peut, par le biais du rotacteur S1, définir la fréquence de travail, et ce entre 4 valeurs possibles. Si l'on respecte le dimensionnement de la figure 5 les points de coupure se situent respectivement à 40, 50, 60 et 70 Hz. On trouve ensuite, sous la forme de IC2a, un inverseur, de sorte que l'on peut, à l'aide de l'inverseur S2, choisir entre le signal original ou un signal déphasé de 180° – ceci peut être utile avec certains types d'enceintes. Il faudra faire attention à bien respecter la numérotation des contacts de S2 lors de son câblage. Le signal filtré arrive, à travers le tampon IC1b, à la sortie du circuit. Nous avons ajouté un indication de modulation destiné à la protection du haut-parleur; il fait en sorte que la LED D1 s'allume lorsque l'amplificateur est attaqué à la moitié de sa puissance maximale. Ce signal optique indique qu'il vaudrait mieux diminuer quelque peu le volume. On a, pour obtenir cette fonction, réalisé, à l'aide des comparateurs IC3a et IC3b, un comparateur à fenêtre défini de manière à provoquer l'allumage de la LED lorsque la tension de sortie de IC1b dépasse une valeur de 1 V_{cc}. Comme l'amplificateur de sortie possède une sensibilité d'entrée de 1 V_{eff}, la modulation reste très exactement 3 dB en-deçà du maximum. De manière à augmenter la lisibilité de l'indicateur de modulation, la charge du condensateur C15 se fait, via le transistor, sous la forme d'impulsions de courant (1 A en crête) de sorte que la LED D1 reste illuminée un certain temps après le passage de la crête de modulation. La combinaison RC R35/C16 garantit un découplage correct de la tension d'alimentation de sorte que les impulsions de charge de C15 n'exercent pas d'influence néfaste sur le filtre. L'alimentation symétrique de ±15 V nécessaire au montage respecte la « recette » classique : transformateur, pont de redressement, condensateurs-tampon, suivis d'une paire de régulateurs tripodes aux sorties desquels on trouve une belle tension régulée de + et – 15 V. La LED D2 fournit l'indispensable indication marche/arrêt.

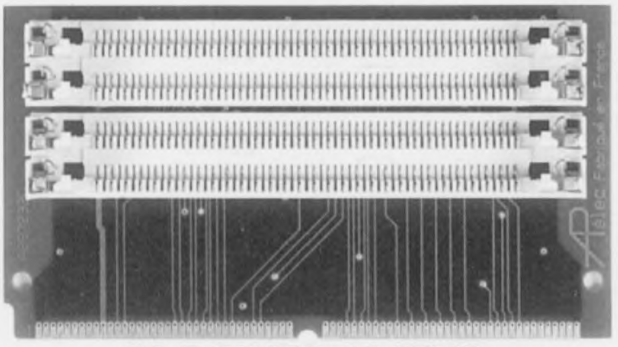
L'AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE

La sortie du filtre attaque directement l'amplificateur de puissance dont on

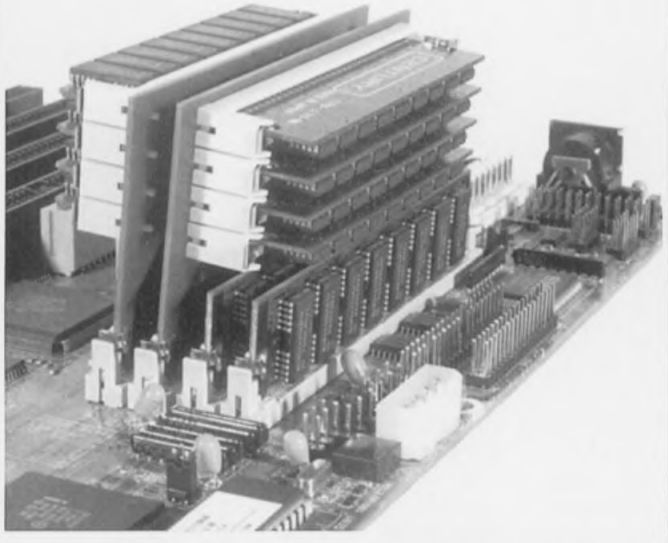
Recyclage



30 POINTS 8 ou 9 BITS



72 POINTS 32 BITS



APelec systèmes

Ets PRIGNOT
☎ 66 37 29 28
1 rue du Réservoir
30210 LEDENON

PRIX EXCEPTIONNEL



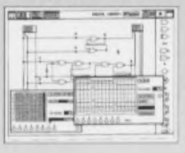
Programmateur ALL 07 PC

3 790 F^{ht}

• A la base d'un SOCKET 40 broches universel, il programme les EPROMS - EEPROMS - PROM Bipolaires - MONOCHIP - PAL - EPLD - GAL - PROM Série
ALL 07 sur Port parallèle : 4 490 Fht

ECI, 10 rue de l'Isly
75008 PARIS
Tél. : (1) 48 41 44 25
Fax : (1) 40 08 03 94

ELECTRONIC WORKBENCH



2 490 F^{ht}

LPKF ProtoMat 91S

Nouveau: avec métallisation (option)



Fabrication flexible de prototypes dans votre laboratoire - gravure précise, perçage, métallisation par Dispenser - et voilà la platine prête. Le logiciel CircuitCam Basis avec BoardMaster est l'interface à 100% vers tous les systèmes CAO. LPKF fraiseuses-perceuses sont **faciles à piloter, respectent l'environnement** et peuvent être installées sur chaque table de laboratoire.

Voulez-vous en savoir plus?

Copiez cette annonce et envoyez un fac-similé à:
20 51 56 82 (téléphone: 20 63 73 76)

LPKF SARL - ZA du Pré-Catelan - Centre Ergonor
rue Edmond-Delesalle, F-59110 La Madeleine

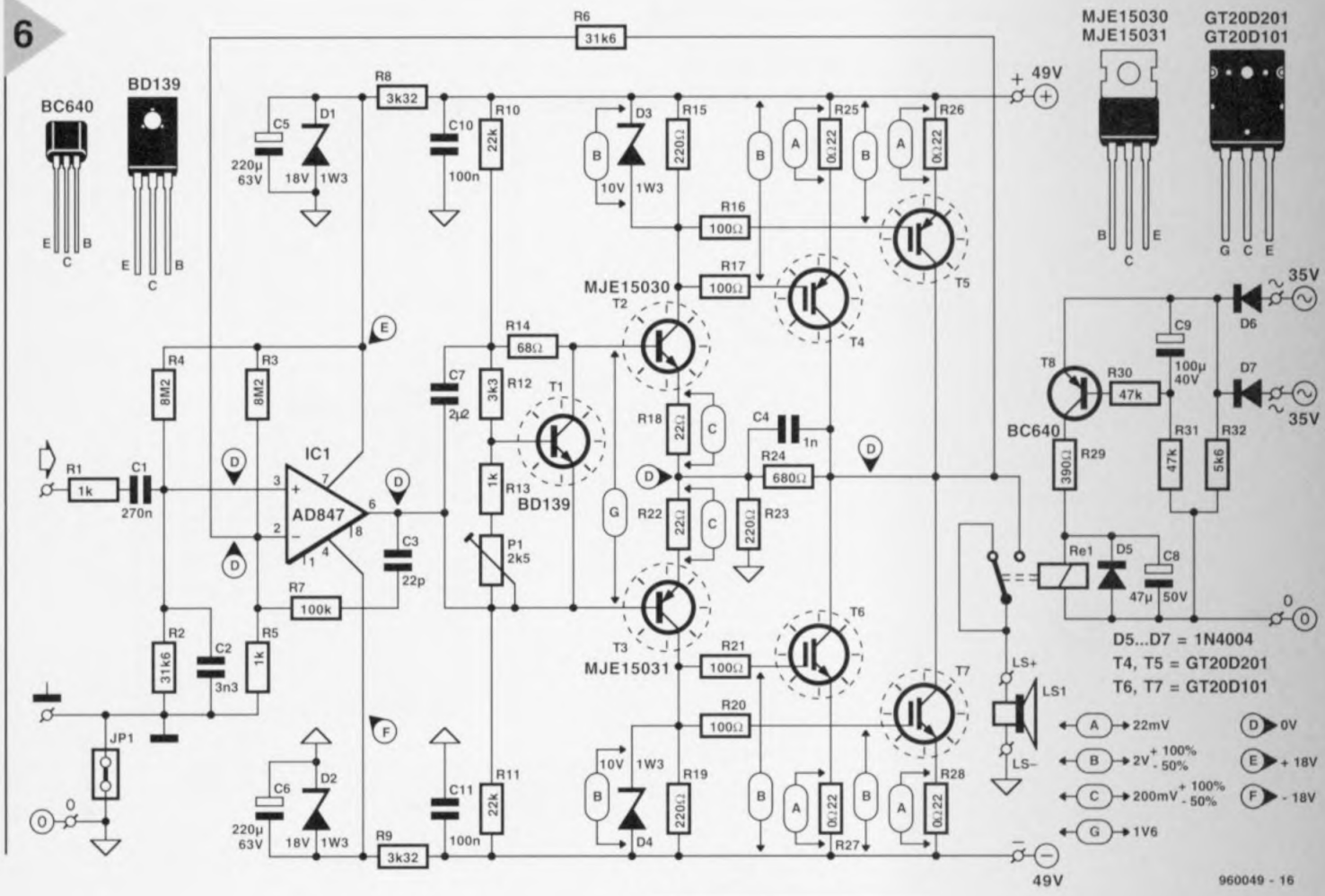


Figure 6. L'amplificateur présenté ici n'ayant pas à traiter de fréquences supérieures à 100Hz, il peut être très spartiate. Ses performances n'en sont pas moins excellentes et la puissance qu'il fournit suffit à pousser le haut-parleur aux limites de la charge admissible.

retrouve le schéma en figure 6. Cet amplificateur est remarquable et par son étonnante simplicité et par sa compacité, surtout compte tenu de la puissance qu'il délivre. Cette compacité a bien évidemment été voulu, sachant que nous tenions, dans la perspective de son intégration éventuelle dans le coffret du caisson de graves, à limiter au strict nécessaire l'embonpoint de notre amplificateur. Avantage additionnel : cet amplificateur se devait d'avoir de bonnes caractéristiques techniques jusqu'à quelque 100 Hz seulement et non pas sur l'ensemble du domaine audio, ce qui simplifie les compensations nécessaires et partant sa mise au point.

Nous avons opté ici pour une combinaison d'amplificateur de tension intégré avec un amplificateur de courant discret. L'amplificateur de tension posant certaines exigences techniques, il a été fait appel à un amplificateur opérationnel très rapide du type AD847 d'Analog Devices. Nous avons, à l'aide des diodes zener D1 et D2, fixé la tension à la valeur la plus élevée possible (±18 V), ceci de manière à réduire le plus possible le risque de surmodulation. L'amplificateur de courant prend la forme d'une paire de configurations « darlingtoniennes » comportant chacune un transistor de commande (*driver*) de moyenne puissance, T2 et T3, suivi par une paire de transistors IGBT montés en parallèle, T4/T5 et T6/T7 chargés du gros du travail. Il s'agit en l'occurrence des mêmes « *Insulated Gate Bipolar Transistor* » que ceux utilisés dans le « Nonante » décrit en septembre 1995. Le dimensionnement du réseau R23/R24 est tel que cet étage de puissance assure non seulement un gain en courant mais encore un gain en tension de 4x. Ceci est nécessaire en raison du fait que IC1 travaille à une tension d'alimentation de ±18 V seulement et que nous aimerions pousser l'étage de puissance à quelque ±45 V pour obtenir la pleine puissance. La zener à transistor basée sur le transistor T1 permet un réglage du courant de repos. Il est impératif, si l'on veut garantir une bonne stabilité du courant de repos, de placer le transistor T1 sur le même radiateur que les transistors « driver » et de puissance. De par son dimensionnement la zener à transistor possède un coefficient de température légèrement négatif; en cas d'augmentation de la température du radiateur le courant de repos défini à l'aide de l'ajustable P1 diminue quelque peu, ce qui facilite le refroidissement de l'amplificateur. Nous avons, pour éliminer les bruits de commutation qui non seulement sont gênants mais qui peuvent également encore endommager le haut-parleur, pris en série avec celui-ci un relais commandé par le circuit de temporisation. En effet, le transistor T8 n'entre en conduction que lorsque, quelques secondes après l'application de la tension d'alimentation, le condensateur C9 a, via la résistance R31, atteint un niveau de charge suffisant. Le circuit de temporisation est alimenté directement depuis l'enroulement secondaire du transformateur secteur. Cette solution a l'avantage, lors de la coupure de l'alimentation, d'entraîner un décollage immédiat du relais et non pas après décharge des condensateurs-tampon de l'amplificateur. Nous en avons terminé avec l'aspect théorique de cette réalisation. Le mois prochain nous en verrons l'aspect pratique et tout le reste... 960049-I