

TDA 7294 PONTÉS - 150 Weff

Rapport puissance/prix imbattable

De petite taille (85 x 52 x 25 mm), ce module amplificateur ultra-compact délivre allègrement la puissance de 150 Weff dans une charge de 8 ou 16 Ω. Construit autour de deux TDA7294 montés en pont, il bénéficie de tous les avantages inhérents à l'emploi de ce circuit intégré monolithique.

Ce module, idéal pour la réalisation d'enceintes, de caissons actifs et pour tout autre application en sonorisation ou hi-fi, se fixe sur une surface métallique de refroidissement par seulement deux vis.

Caractéristiques

Rappelons tout d'abord quelques caractéristiques du circuit intégré TDA7294 :

- étage de sortie DMOS
- tensions d'alimentation : jusqu'à ± 50 V
- puissance de sortie RMS supérieure à 75 Weff
- fonctions « mute » et « stand-by »
- très faible distorsion harmonique : 0,01 % à 5 W et à 1 kHz
- très faible bruit : 5 µV maximum en entrée
- protection contre les courts-circuits en sortie
- protection thermique sur la puce
- boîtier Multiwatt 15
- résistance thermique 1,5°C/W maxi.

Le schéma

Comment s'y prendre pour obtenir 150 Weff ? C'est tout simple, il suffit



de monter deux TDA7294 en pont, comme l'indique le schéma électrique proposé en **figure 1**.

Le signal audio entre sur la broche (3) du premier TDA7294 (entrée non inverseuse de IC1), après avoir traversé la cellule RC d'entrée composée de C1 et R1. Cette cellule passe-haut bloque toute composante continue éventuelle et établit une fréquence de coupure « basse » égale à $1/2 \pi \cdot R1 \cdot C1$, soit 7,23 Hz.

La boucle de contre-réaction de ce premier ampli se compose des résistances R3, R5 et du condensateur C11. En continu, le gain est tout simplement égal à 1, puisque le condensateur C11 déconnecte le retour de masse de la boucle.

Dans la gamme des fréquences qui nous intéresse, c'est-à-dire de 20 Hz à 20 kHz principalement, le gain en tension est égal à :

$$G_v = (R3 + R5)/R5 = 23$$

ou en dB :

$$G_v(\text{dB}) = 20 \log(G_v) = 27,2 \text{ dB}$$

Ouvrons ici une petite parenthèse : la

documentation du constructeur indique que le gain doit être supérieur ou égal à 24 dB pour des raisons de stabilité.

Le deuxième TDA7294 est monté en ampli inverseur, de manière à obtenir exactement sur la broche (14) de IC2 la même tension de sortie que celle de IC1, **mais de signe contraire**.

Par conséquent, les tensions «Sortie 1» et «Sortie 2» se trouvent en opposition de phase.

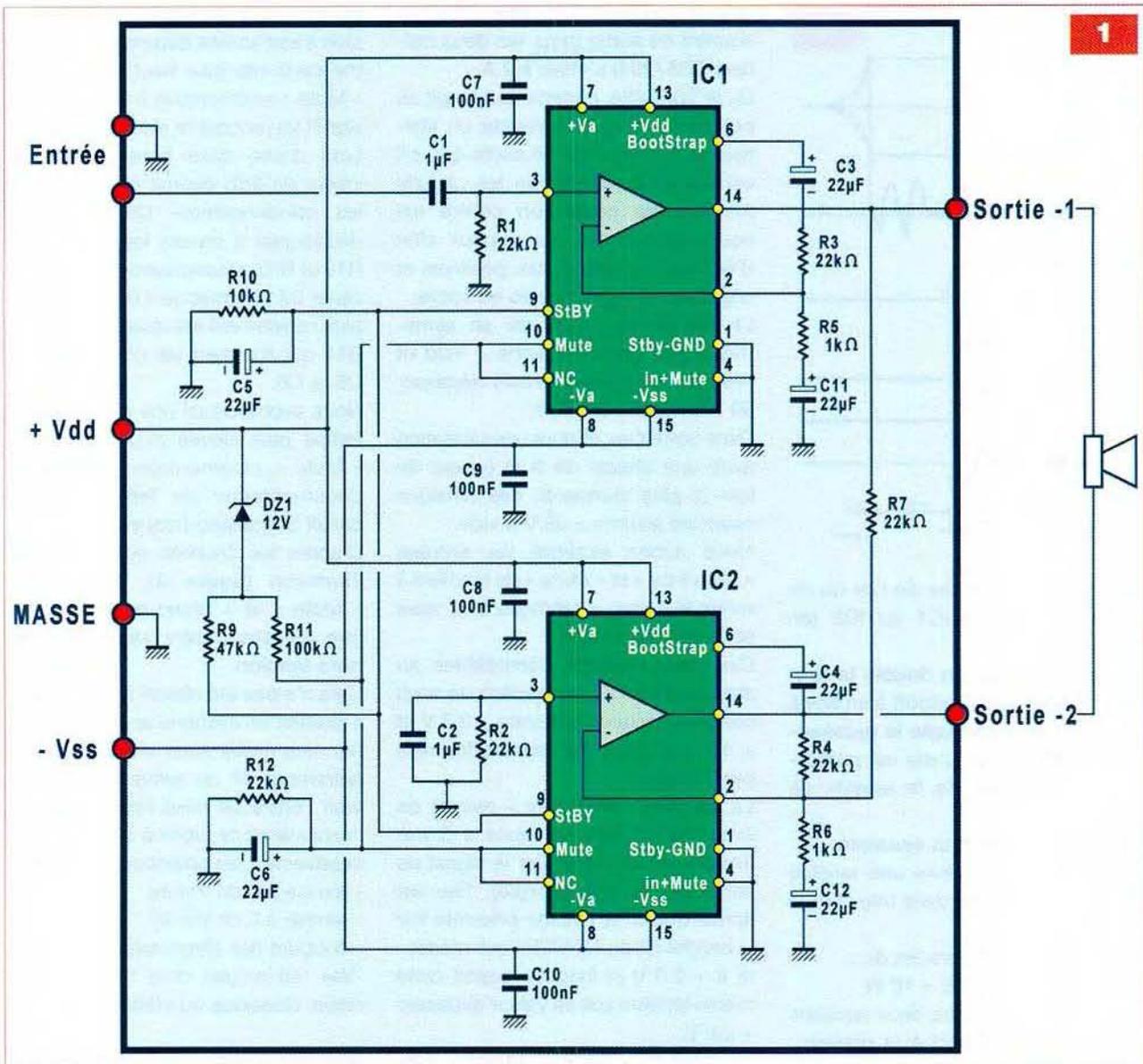
Pour mieux comprendre le fonctionnement de cet ampli en pont, reportons-nous à la **figure 2**.

Supposons que l'on applique à l'entrée un signal instantané (V_e) de + 1 V. On retrouve ce signal sur l'entrée (+) de A1 : $V_{e1} = V_e$.

En sortie de A1, le signal est de : $V_{s1} = V_{e1} \times G_v = 23 \text{ V}$.

Ce signal V_{s1} est réinjecté sur l'entrée inverseuse du deuxième ampli A2, via la résistance R7.

L'entrée (-) de cet ampli A2 constitue une masse virtuelle si bien que l'on obtient sur sa sortie :

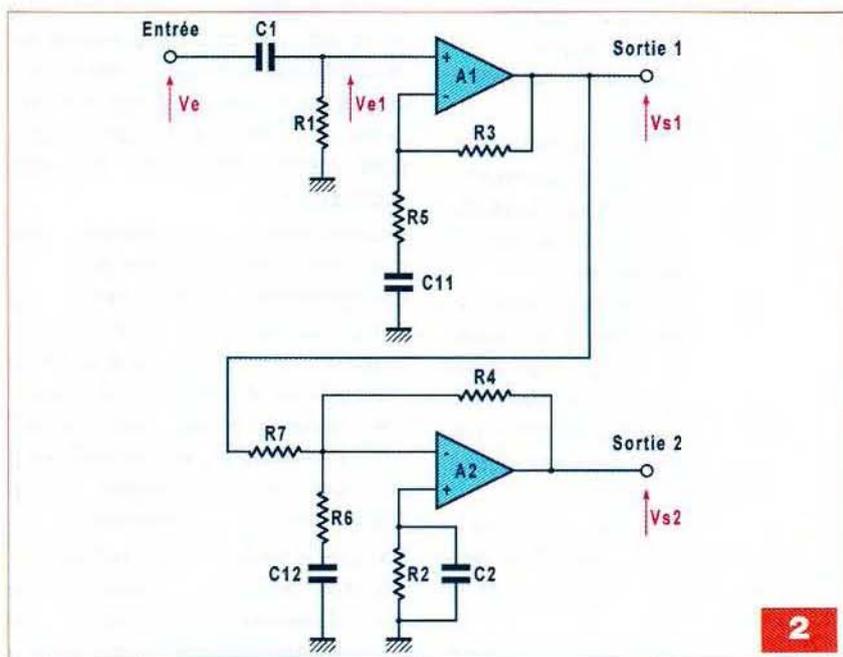


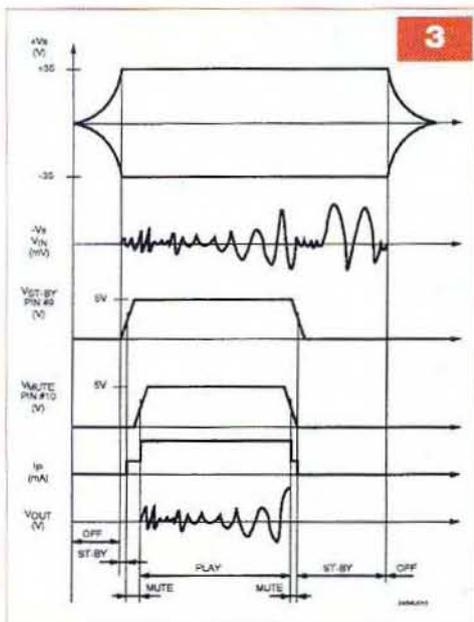
$Vs2 = Vs1 \times (-R4/R7) = -Vs1 = -23 \text{ V}$,
 puisque les résistances R4 et R7 possèdent la même valeur.

La première cellule RC, composée de la résistance R6 et du condensateur C12, n'influe pas sur le gain de A2. Elle ne sert qu'à garantir la stabilité de cet ampli.

La deuxième cellule RC, composée de la résistance R2 et du condensateur C2 et insérée entre l'entrée (+) de A2 et la masse, sert à l'équilibrage de l'amplificateur en continu. On a une symétrie par rapport à l'étage A1 puisque $R1 = R2$ et $C1 = C2$, ce qui permet de réduire au minimum la tension d'offset générée par les TDA7294 (encore appelée « composante continue »).

La tension finale appliquée à la charge sera donc égale à 46 V : le double





de la tension de sortie de l'un ou de l'autre des amplis IC1 ou IC2 (en valeur absolue).

De cette manière, **on double la tension de sortie** (par rapport à un ampli simple) et **on quadruple la puissance de sortie** (puisque'elle est proportionnelle au carré de la tension de sortie).

Illustrons ceci par un exemple.

Un ampli simple délivre une tension V_s de 10 V en sortie dans une charge R_1 de 10 ohms.

La puissance de sortie est de :

$$P_s = V_s^2 / R_1 = 100 / 10 = 10 \text{ W}$$

Un ampli ponté délivre deux tensions en sortie (par rapport à la masse) : V_{s1} de 10 V et V_{s2} de -10 V, toujours dans une charge R_1 de 10 Ω .

La puissance de sortie est de :

$$P_s = (V_{s1} + V_{s2})^2 / R_1 = 20^2 / 10 = 400 / 10 = 40 \text{ W}$$

N'oublions pas que si la tension de sortie se voit doublée, le courant de sortie (au niveau de l'un ou l'autre des amplificateurs TDA7294) se trouve, lui aussi, multiplié par deux.

Un amplificateur simple utilisant un TDA7294 pourra donc fonctionner avec une charge de 4 Ω , alors qu'un amplificateur utilisant deux TDA7294, comme c'est le cas ici, ne devra pas travailler avec une charge inférieure à 8 Ω .

La raison est simple. Reprenons l'exemple ci-dessus. Quand le premier ampli délivre 10 V dans 10 Ω , le courant de sortie vaut 1 A.

Quand le deuxième ampli, ponté

celui-là, délivre 20 V dans 10 Ω , le courant de sortie (pour les deux boîtiers TDA7294) s'élève à 2 A.

Or, le TDA7294, comme tout ampli de puissance intégré, possède un limiteur de son courant de sortie qui, s'il est dépassé, déclenche les circuits internes de protection contre les courts-circuits. Ce qui a pour effet d'écarter les alternances positives et négatives du signal audio en sortie. Le module est alimenté en symétrique par deux tensions +Vdd et -Vss qui ne doivent jamais dépasser 50 V en valeur absolue.

Dans notre cas, et pour une utilisation avec une charge de 8 Ω (valeur de loin la plus standard), ces tensions vaudront environ ± 33 V à vide.

Nous avons exploité les entrées « Stand-by » et « Mute » de manière à éviter le « clac » fatidique à la mise sous et hors tension.

Ces deux entrées, compatibles au standard CMOS, possèdent un seuil compris typiquement entre +2,3 V et +3,3 V d'après les courbes fournies par Thomson.

La fonction « Stand-by » permet de limiter le courant de repos à 3 mA (maximum) et d'atténuer le signal de sortie de 90 dB (typique). Elle est active quand la tension présente sur la broche (9) du TDA7294 est inférieure à +2,5 V et inactive quand cette même tension voit sa valeur dépasser +2,9 V.

La fonction « Mute », quant à elle, permet d'atténuer le signal de sortie de 80 dB (typique). Cette entrée est active quand la tension présente sur la broche (10) du TDA7294 est inférieure à +2,8 V et inactive quand cette même tension voit sa valeur dépasser +3,3 V.

Examinons ce qui se passe lors d'une mise sous tension du module.

Immédiatement après celle-ci, les condensateurs C5 (pour l'entrée Stand-by) et C6 (pour l'entrée Mute) n'ont pas eu le temps de se charger. Par conséquent, ces deux entrées sont actives et les amplis sont donc au repos. Le condensateur C5 se charge à travers la résistance R9.

Lorsque le seuil évoqué ci-dessus est dépassé, la fonction « Stand-by » se voit désactivée. Peu après, le condensateur C6, qui s'est chargé à

travers la résistance R11, voit la tension à ses bornes dépasser le deuxième seuil cité plus haut : la fonction « Mute » se désactive à son tour et le signal (ou encore la musique) passe. Lors d'une mise hors tension, la valeur de Vdd décroît rapidement et les condensateurs C5 et C6 se déchargent à travers les résistances R10 et R12, respectivement. La diode zéner DZ1 permet de « déconnecter » plus rapidement les résistances R9 et R11 qui chargent les condensateurs C5 et C6.

Nous avons choisi une constante de temps plus élevée pour la fonction « Mute », comme préconisé dans la documentation du fabricant (Turn on/off Suggested Sequence).

D'après les courbes suggérées par Thomson (figure 3), les entrées « Mute » et « Stand-by » devraient être remises à zéro **avant la mise hors tension**.

Cela n'a pas été réalisé ici. Pour cela, il faudrait un système annexe de gestion des mises sous et hors tension, autrement dit un système qui recevrait l'ordre de mise hors tension et l'exploiterait de façon à effectuer successivement les opérations suivantes :

- remise à 0 de Vmute
- remise à 0 de Vst-by
- coupure des alimentations +Vdd et -Vee (au moyen d'un triac ou d'un relais, classique ou statique).

Réalisation du module

Etant donnée, d'une part, la taille du circuit et, d'autre part, la densité des pattes au pouce carré imposée par les TDA7294, le circuit imprimé est du type double face, sans trou métallisé, de manière à être réalisable par des amateurs (comme nous sommes supposés l'être).

Les liaisons entre faces sont tout bonnement réalisées en soudant les queues des composants, des deux côtés si nécessaire.

La figure 4 indique le tracé du circuit imprimé côté soudures, tandis que la figure 5 reproduit le tracé des pistes situées sur le côté composants.

Vu l'importance des courants à véhiculer, les pistes ont été dimensionnées en conséquence de manière à tirer le maximum de ce montage.

Les perçages doivent être effectués du côté des soudures avec un forêt de :

- 0,8 mm pour les résistances, condensateurs et diode
- 1,0 mm pour IC1, IC2, J3
- 1,3 mm pour les picots à souder

L'implantation des composants fait l'objet de la **figure 6**.

L'implantation des composants de notre module se fera de préférence dans l'ordre suivant :

- IC1, puis IC2, à positionner à la verticale;
- d'une manière générale, on effectuera les soudures côté composants aussitôt après avoir mis en place le composant concerné;
- C9, C10, R1, R2, les trois liaisons interfaces repérées par des cercles pleins (réalisées avec des queues de résistances);
- R12, R10, R11, R9, DZ1, R5, R6, R3, R4, R7
- C7, C8, J3 (couper 1 picot à ras sur les 4);
- C1, C2, puis les condensateurs chimiques, dont on veillera à la bonne orientation, C3, C4, C5, C6, C11 et C12;
- pour terminer, J1 (bornier HP à deux plots), puis J2 (bornier d'alimentation à trois plots).

Un module bien réalisé fonctionnera du premier coup et durera de longues années.

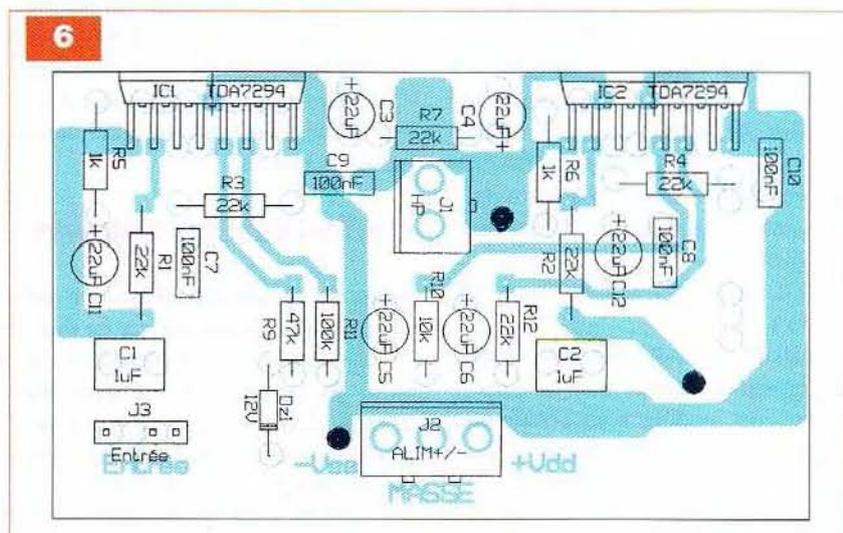
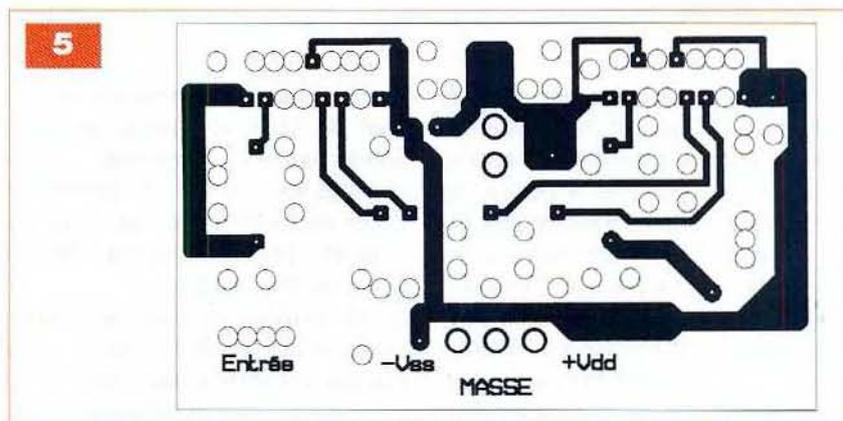
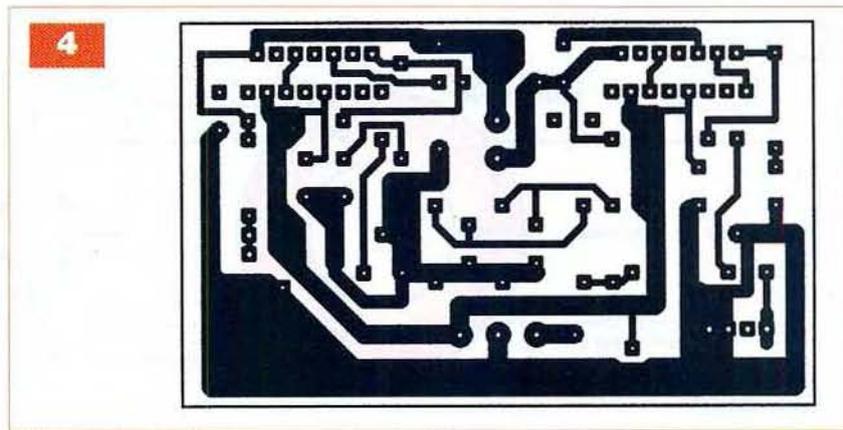
Etant donné que la semelle métallique des TDA7294 se trouve reliée électriquement au -Vss (et non à la masse), on prévoira un mica d'isolement enduit de graisse silicone des deux côtés, ainsi qu'un canon isolant pour la fixation du module sur son radiateur.

Le radiateur devra posséder une résistance thermique inférieure à 0,5°C/W. Pour une utilisation intensive, en sonorisation, le radiateur devra être ventilé, surtout s'il se trouve enfermé dans un coffret.

N'oublions pas que le rendement d'un amplificateur de ce type n'excède jamais la valeur de 67 %, dans les meilleures conditions d'alimentation possibles.

Avec un rendement de 67 %, lorsque la puissance de sortie utile atteint 153 Weff, l'alimentation fournit une puissance de :

$$P_{\text{alim}} = P_{\text{utile}} / 0,67 = 153 / 0,67 = 228,4 \text{ W}$$



Nomenclature

Résistances 1/4 W

- R5, R6 : 1 kΩ
- R10 : 10 kΩ
- R1, R2, R3, R4, R7, R12 : 22 kΩ
- R9 : 47 kΩ
- R11 : 100 kΩ

Condensateurs

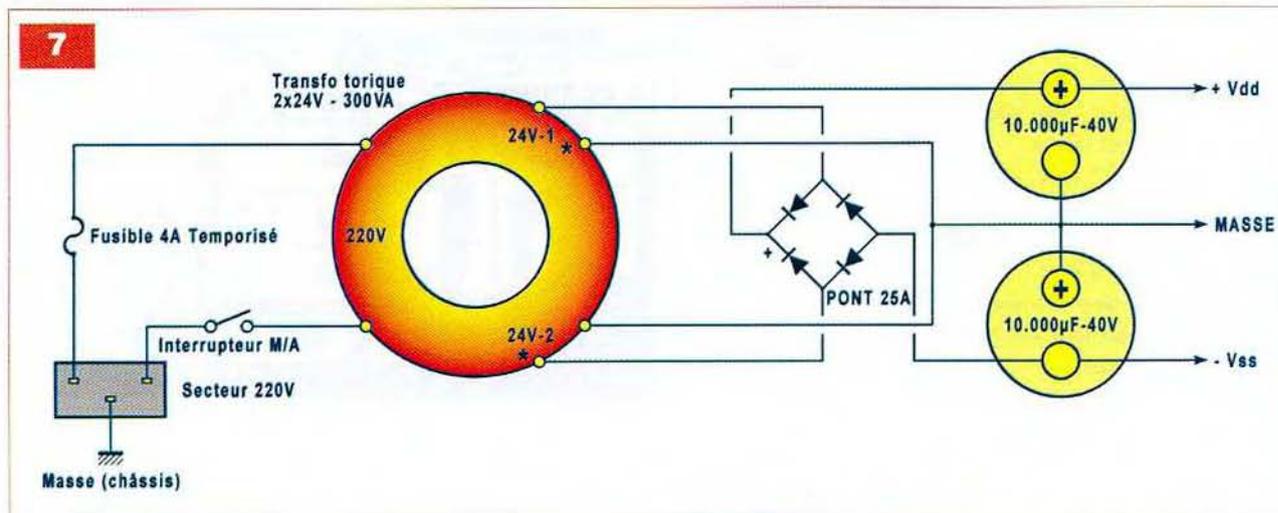
- C7, C8, C9, C10 : 100 nF céramique Z5U ou Milfeuil LCC
- C1, C2 : 1 μF polyester pas 5 mm

- C3, C4, C5, C6, C11, C12 : 22 μF/50 V chim. Radial

Divers

- IC1, IC2 : TDA7294V
- DZ1 : BZX55C12V
- J1 : Connecteur mâle 2 plots
- J2 : Connecteur mâle 3 plots
- J3 : Connecteur mâle 4 plots
- Barrette sécable à picots au pas de 2,54 mm

7



Si l'on calcule la différence entre la puissance fournie et la puissance utile, on obtient la puissance dissipée en chaleur (pas en fumée, espérons-le) par le radiateur : pas moins de 75,4 W. La résistance thermique d'un TDA7294 est égale à 1,5°C/W. Comme nous en utilisons deux, cela nous amène globalement à 0,75°C/W. Ajoutons la résistance thermique due à l'utilisation des micas d'isolement : disons 0,25°C/W. Nous parvenons à 1,5°C/W en ajoutant la résistance thermique du radiateur (0,5°C/W).

Supposons que la température ambiante (autour du radiateur) soit égale à 30°C. Les puces en silicium des deux circuits intégrés TDA7294 seront portées à la température de :
 $T^{\circ}\text{puces} = T^{\circ}\text{ambiante} + (P_{\text{dissipée}} \times R_{\text{th}} \text{ globale})$
 $= 30^{\circ}\text{C} + (75,4 \times 1,5) = 30^{\circ}\text{C} + 113^{\circ}\text{C}$
 $= 143^{\circ}\text{C}$.

La valeur maximale tolérable, 150°C, est presque atteinte. Mais rassurons-nous : ce module sera utilisé pour transmettre un signal audio, pas un signal sinusoïdal permanent.

Alimentation conseillée

Une alimentation classique, capable d'alimenter deux de nos modules pour une utilisation en stéréophonie, est proposée en **figure 7**.

Un transformateur de 300 VA (tonique de préférence, mais pas impérativement), se trouve alimenté par le réseau 220 V via un fusible de protection et un interrupteur marche/arrêt. Les deux secondaires de ce transformateur fournissent, après redresse-

ment en double alternance par un pont de 25 A et filtrage par deux condensateurs chimiques d'une capacité de 10 000 µF (CO38 ou C039 de préférence), les tensions +Vdd et -Vss nécessaires à l'alimentation de deux modules.

Si l'on envisage de relier cet amplificateur à des enceintes de 8 Ω, on choisira un transformateur de 2 x 24 V. La valeur de 35 V constitue un maximum parce que, à vide, elle se verra facilement multipliée par 1,414.

Ce qui nous conduit à 49,5 V, valeur en extrême limite.

On prévoira en conséquence la tension d'isolement des deux condensateurs de filtrage.

Performances relevées

Nous avons effectué toute une série de tests et de mesures sur ce module, alimenté suivant le schéma ci-dessus, en utilisant un transformateur torique 500 VA - 2 x 30 V, un pont FB2504 et deux condensateurs C038 de 10 000 µF.

Le module étant solidement fixé sur un radiateur de récupération et chargé par une résistance de 8 Ω - 240 W, nous avons relevé les caractéristiques suivantes :

- Valeur des tensions d'alimentation à vide : Vdd = + 42,8 V et Vss = - 42,8 V
- Tension de bruit en sortie (en court-circuitant l'entrée) Vbruit < 0,1 mVeff
- Composante continue à vide : Voffset en sortie = - 0,74 mV
- Tension de sortie maximale avant écrêtage (sur 8 Ω) : Vs max = 40,2 Veff. Les tensions d'alimentation

valent alors + 37,8 V pour Vdd et - 37,9 V pour Vss

- Tension de sortie maximale avant écrêtage (sur 16 Ω) : Vs max = 49,8 Veff. Les tensions d'alimentation valent alors + 39,4 V pour Vdd et - 39,4 V pour Vss

- Sensibilité d'entrée : 763 mVeff pour obtenir 35 Veff sur 8 Ω en sortie (à 1 kHz)

- Bande passante à - 3 dB relevée avec une référence de 5 Veff en sortie (3,125 Veff sur 8 Ω), en utilisant un oscilloscope à mémoire digitale :

- Fréquence de coupure basse : 8,15 Hz
 - Fréquence de coupure haute : 113 kHz
- A l'écoute, le bruit de fond généré par ce module est pratiquement inexistant : il faut pencher l'oreille à 20 cm du tweeter pour entendre un léger souffle.

La puissance sonore que l'on peut obtenir est littéralement phénoménale. Sur 8 Ω, et dans les conditions d'alimentation précisées ci-dessus, on atteint la valeur de :

$$P_{\text{max}} (8 \Omega) = V_{\text{smax}}^2 / R1 = 40,2^2 / 8 = 202 \text{ Weff} !!!$$

Le gain en tension (avec une charge de 8 Ω) est de :

$$G_v = V_{\text{sortie}} / V_{\text{entrée}} = 35 / 0,763 = 45,9.$$

On retrouve, à peu de chose près, la valeur 23 calculée dans le paragraphe 1 (schéma électrique), multipliée par deux, puisque, comme nous l'avons vu, la tension de sortie d'un ampli ponté est doublée.

Pour terminer, on remarque que la bande passante étendue n'altère en rien les harmoniques les plus élevées du signal audio à restituer, pas plus que les fondamentales les plus profondes.