

Un amplificateur de puissance de 200 W

Cet amplificateur de puissance BF est idéal pour constituer des installations haute fidélité pour sonoriser des spectacles de plein air ou de grandes salles; on peut aussi envisager de réaliser avec ce module de puissance des enceintes amplifiées.



CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Puissance de sortie (sur 4 ohms):	100 W
Puissance de sortie (sur 8 ohms):	70 W
Distorsion (THD @ 10 W / 1 kHz):	0,02 %
Rapport signal / bruit:	115 dB
Réponse en fréquence:	3 Hz à 200 kHz
Sensibilité d'entrée:	600 mVeff
Tension d'alimentation:	2 x 30 VAC
Courant consommé:	2 A par voie.

Aujourd'hui quand, pour gagner de la place dans son appartement, on se tourne vers des amplificateurs de petites dimensions (midi voire mini), on ne veut pas que ce soit au détriment de la qualité du son, de la fidélité de sa reproduction (Hi-Fi) : autrement dit, là encore, on veut le beurre et l'argent du beurre et...D'autre part, l'industrie électronique, essentiellement asiatique, étant devenue très concurrentielle, il est désormais très difficile de monter soi-même son ampli en économisant de l'argent (car on trouve dans les grandes surfaces, spécialisées ou non, de très bons appareils pour pas cher). Ceci dit, on trouve maintenant plutôt des amplis AV à 5 ou 6 x 60 W (par exemple) avec tuner RDS incorporé pour "Home cinema", mais les amplificateurs stéréo sont devenus rares...et chers; or ils intéressent toujours (vos demandes le prouvent) les audiophiles qu'on pourrait bien qualifier, d'ailleurs, "d'amoureux du deux voies" (alors que les voies, justement, se multiplient) comme il reste des amateurs du deux roues à l'époque des 4X4 nickels pour macadam sans nids de poules !

L'amplificateur de puissance BF que nous vous proposons ici de construire fournit 100 W (sous 4 ohms) par voie (c'est-à-dire chaque module que vous voyez, figures 1 à 3, schéma électrique, schéma d'implantation des composants et photo

du prototype) et 70 W sous 8 ohms. Et vous pourrez l'attaquer avec l'un des multiples préamplificateurs que nous avons publiés, jusqu'à récemment (il y en a de très économiques). Bien sûr, pour un ampli stéréo il vous faudra monter côte à côte deux modules identiques et doubler la puissance du transformateur d'alimentation (un 250 VA fera l'affaire, 300 VA si vous aimez avoir de la marge ou comptez utiliser toute la puissance, pour une sono de spectacle par exemple). Ajoutons que les petites dimensions de chaque module favorisent une utilisation dans des enceintes amplifiées (pourquoi pas également les construire ? On trouve des kits d'enceintes closes ou à évent abordables et qui se prêtent à la réalisation d'enceintes amplifiées).

Le schéma électrique

Un premier coup d'œil figure 1 nous montre que l'alimentation est incorporée (oh pas le transformateur, bien sûr, il est beaucoup trop volumineux, même si vous choisissez un torique) : nous avons choisi cette solution en pensant à une utilisation monophonique, comme par exemple l'amplification d'un instrument de musique, guitare ou autre. Dans un tel cas, il suffit d'installer le module mono au fond de l'enceinte de scène (avec

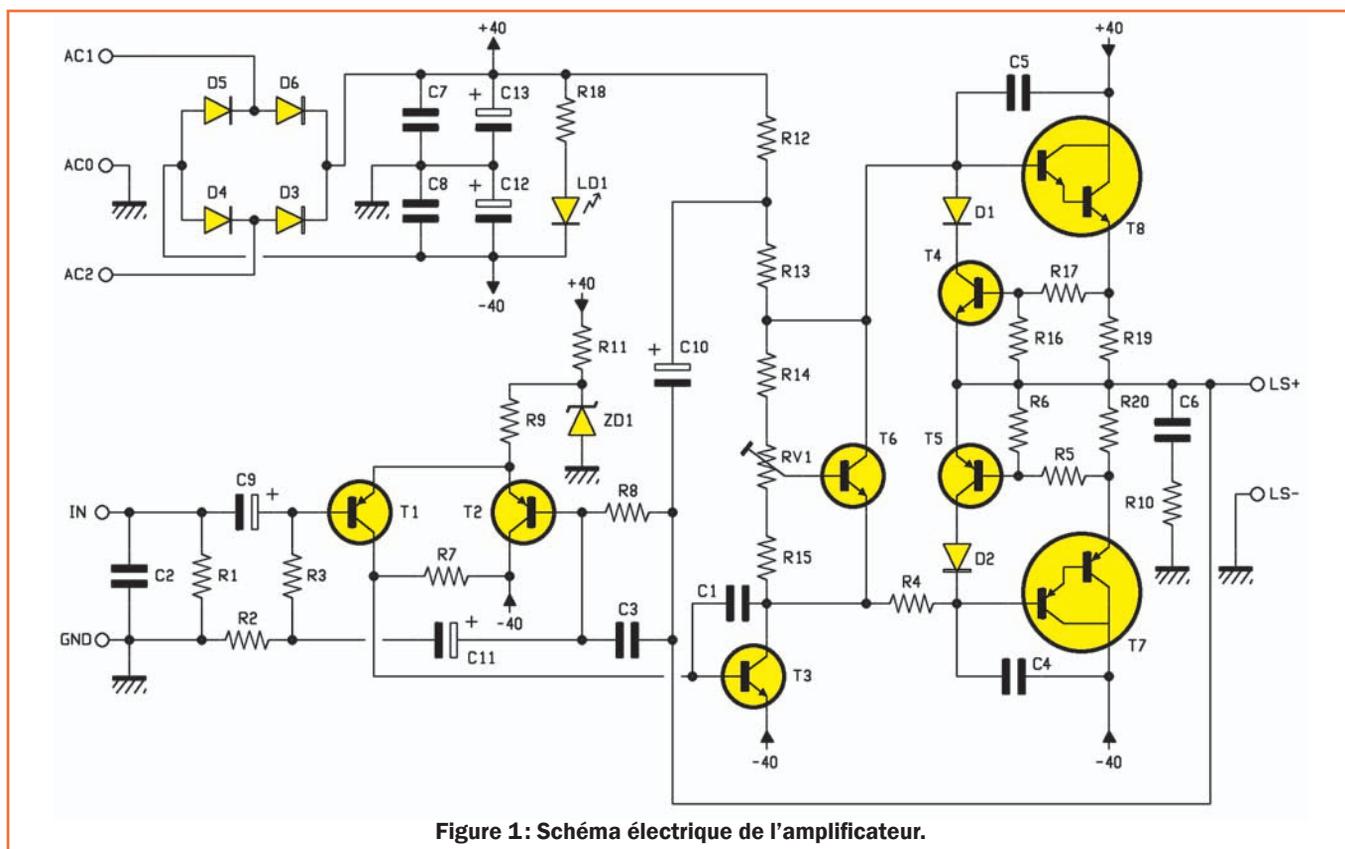


Figure 1: Schéma électrique de l'amplificateur.

ou sans coins adoucis et chromés), de le protéger par une feuille de plastique ou de le blinder avec une tôle de métal et de monter à côté le transformateur secteur (en le choisissant le moins rayonnant possible: torique ou mieux R, ce dernier ayant en audio tous les avantages, le 120 VA coûte 35 euro et le 300 VA 70 euro). Et voilà, vous avez une enceinte amplifiée: deux cordons y parviennent, un cordon secteur et le câble blindé à un conducteur venant de l'instrument ou de la table de mixage ou du préampli.

Mais assez de digressions, revenons au schéma électrique. Décomposons-le en blocs: nous avons le bloc d'alimentation double symétrique qui convertit l'AC en DC, le différentiel d'entrée, l'étage amplificateur pilote, la section finale de puissance, le rôle de T6 (régulateur du courant de repos et protection thermique) et la protection en courant.

L'alimentation

Elle est constituée d'un pont de Graetz à quatre diodes au silicium (D3 à D6) travaillant à partir d'un transformateur secteur à secondaire double symétrique 30 + 30 V (enroulement à prise centrale). Le courant consommé pouvant atteindre 2 A, prévoit une puissance de $(30 + 30) \times 2 = 120$ VA pour un module mono. Les deux tensions alternatives alimentent l'une l'anode de D6 et la cathode de D5 et l'autre l'anode de D3 et la cathode de D4. Les deux étant en phase, quand une est positive par rapport à

la prise centrale (reliée à la masse de l'amplificateur) l'autre est négative et vice-versa; le fonctionnement suivant en découle: supposons la borne AC1 positive par rapport à la borne AC0, D6 conduit et laisse passer le courant vers C7 et C13 qui se chargent. En même temps l'autre tension, positive à la masse par rapport à AC2, fait passer le courant vers C8 et C12 et de là à travers D4; D3 et D5, en polarisation inverse, ne conduisent pas. Dans la demi onde opposée: la première tension devient positive à la masse et force le passage du courant vers C8 et C12, courant qui se ferme sur la moitié du secondaire en passant à travers D5; la seconde, maintenant positive sur AC2, traverse D3, C7 et C13 pour se fermer à travers la masse sur l'autre moitié du secondaire. D4 et D6 sont à leur tour interdites. Ce processus s'inverse à chaque demi période de la tension alternative présente aux bornes du secondaire du transformateur secteur 50 Hz: les impulsions sont donc d'une fréquence double, soit 100 Hz et elles chargent les condensateurs de filtrage C7, C8, C12 et C13, ce qui détermine à leurs bornes deux tensions, une positive, l'autre négative par rapport à la masse, de 40 V chacune, utilisées pour faire fonctionner tout l'amplificateur.

Le différentiel d'entrée et l'étage amplificateur pilote

C'est la section qui reçoit le signal BF et qui doit l'amplifier: cet amplificateur est différentiel et les deux entrées sont constituées par les bases de T1 et T2. Le

premier joue le rôle de "front end" de l'amplificateur et le second s'occupe de rétroactionner T1 en fonction du signal qui lui est acheminé à travers le réseau R8/C3. La composante audio provenant du dispositif à amplifier (préamplificateur par exemple), est appliquée aux bornes IN et GND, puis aux extrémités du dipôle R1/C2 (filtre contre les parasites HF) et, à travers le condensateur électrolytique de découplage C9, elle atteint la base de T1; ce dernier l'amplifie en tension et la rend disponible sur son propre collecteur (en opposition de phase par rapport à l'entrée). Son émetteur est polarisé, comme celui de T2, par la réseau comprenant ZD1. La composante amplifiée et de phase inversée va piloter le NPN T3, monté en pilote de la paire finale T7 et T8; le transistor amplifie encore le signal et inverse à nouveau sa phase de manière à compenser le déphasage introduit par le différentiel et à garantir une parfaite cohérence de phase entre la composante aux bornes du haut-parleur et celle appliquée à l'entrée du circuit. Le courant dans son collecteur dépend des valeurs ohmiques de RV1, R12, R13, R14 et R15, mais aussi de la polarisation de T6; les variations dues à la composante audio déterminent des fluctuations analogues de la polarisation de la base de T7 et de celle de T8, par ailleurs constante et prédéfinie pour un fonctionnement en classe AB. Plus exactement, quand à l'entrée de l'amplificateur le signal est de niveau

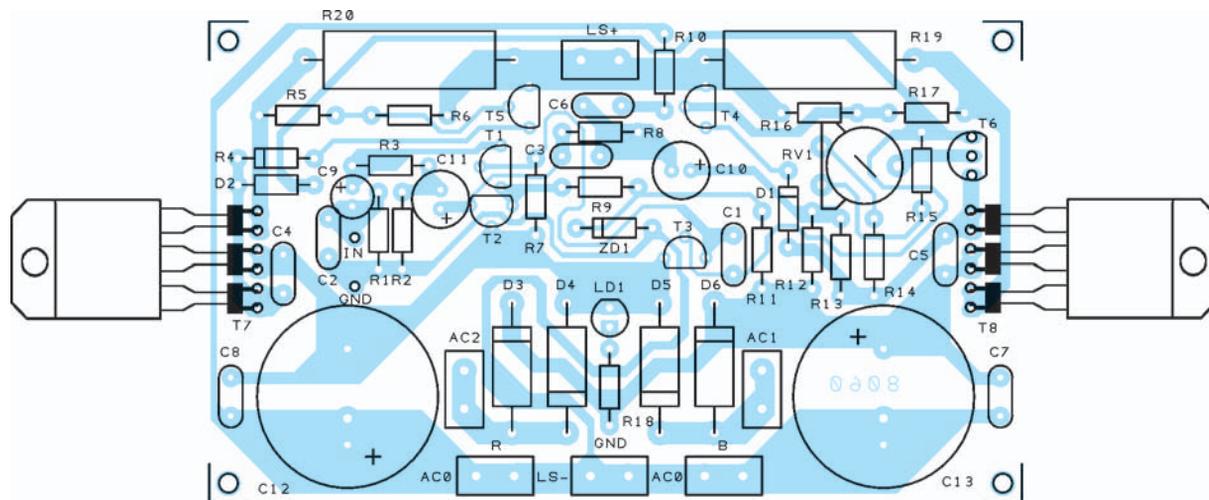


Figure 2a: Schéma d'implantation des composants de l'amplificateur.

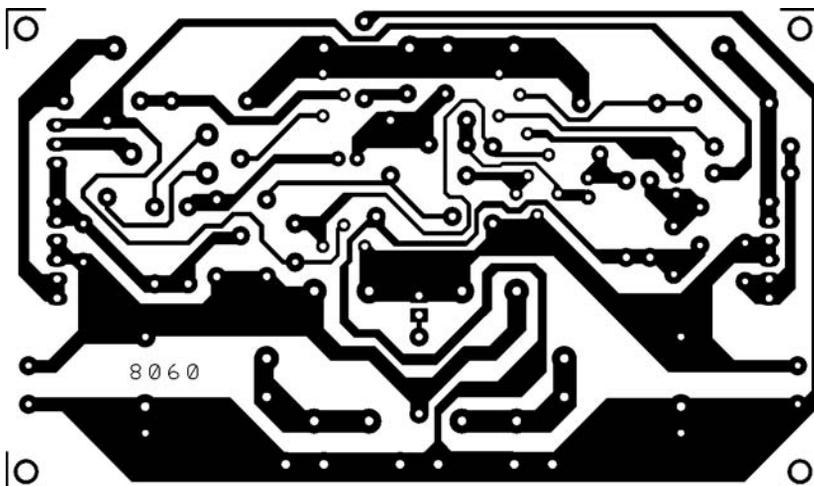


Figure 2b: Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé de l'amplificateur.

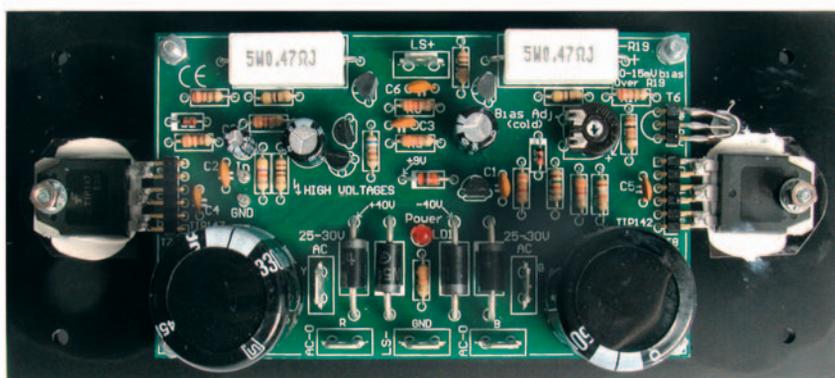


Figure 3: Photo d'un des prototypes de l'amplificateur monté sur son dissipateur.

configuration darlington. Les collecteurs sont communs et l'émetteur du premier est relié à la base du second, comme le montre la figure 5. Nous avons choisi des TIP142 et TIP147, respectivement NPN et PNP, constituant une paire complémentaire: ce choix est dû au gain en courant élevé que peut donner un darlington, ce qui nous a permis de simplifier l'amplificateur et d'épargner une paire de transistors complémentaires nécessaires pour fournir un courant élevé. Chaque élément garantit un gain en courant (hFE) d'au moins 1 000 à 4 V de Vce et 5 A de courant de collecteur; il supporte en outre une Vce en interdiction égale à 100 V (et cela est pleinement compatible avec nos exigences car le circuit fonctionne sous 40 + 40 = 80 V tout de même) et un courant de 10 A, ce qui implique une dissipation maximale de 125 W à 150 °C de température de jonction.

Fermons cette parenthèse sur les darlington pour revenir au fonctionnement en présence du signal: quand le potentiel sur le collecteur du pilote T3 augmente, T8 tend à conduire toujours plus, ce qui augmente le courant débité dans la charge (haut-parleur) par son émetteur; il s'ensuit une augmentation de la tension de sortie, en plein accord avec ce qui arrive sur les bornes d'entrée (IN/GND). Pendant ce temps T7, un PNP, conduit de moins en moins, afin de ne pas s'opposer à l'activité de T8.

Pendant les demi ondes négatives, soit quand l'amplitude du signal diminue et le rend négatif par rapport à la masse, T1 se met à conduire de plus en plus car c'est un PNP; le courant dans son collecteur croît et fait augmenter celui de la base de T3. Cela impose une augmentation du courant dans le collecteur de ce dernier et donc la chute de tension sur R12 et sur les autres résistances du

croissant et positif, T1 devient moins conducteur et le potentiel sur son collecteur devient au fur et à mesure plus négatif, ce qui fait diminuer le niveau de polarisation de T3 et le courant de collecteur de ce dernier; cela réduit la chute de tension sur le groupe RV1, R12, R13, R14, R15 et fait monter le potentiel de la base de T7, tout

comme celui qui polarise la base de l'autre final T8.

La section finale de puissance

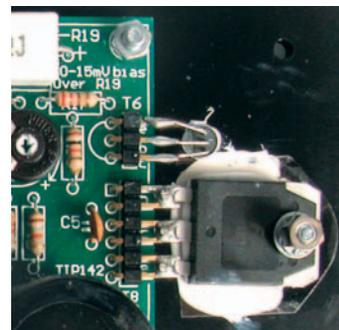
Les deux éléments de puissance en question sont des darlington: chacun d'eux contient deux transistors bipolaires de mêmes polarités montés en

Liste des composants pour un module mono de 100 W

- R1 47 k
- R2 100 k
- R3 3,2 k
- R4 330
- R5 220
- R6 47
- R7 680 k
- R8 3,3 k
- R9 3,3 k
- R10 10
- R11 3,3 k
- R12 1,5 k
- R13 3,3 k
- R14 1,8 k
- R15 1 k
- R16 47
- R17 220
- R18 33 k
- R19 0,47 5 W
- R20 0,47 5 W
- RV1 1 k trimmer
- C1..... 47 pF céramique
- C2..... 47 pF céramique
- C3..... 47 pF céramique
- C4..... 680 pF céramique
- C5..... 680 pF céramique
- C6..... 47 nF multicouche
- C7..... 100 nF multicouche
- C8..... 100 nF multicouche
- C9..... 10 µF 35 V électrolytique
- C10 100 µF 50 V électrolytique
- C11 470 µF 16 V électrolytique
- C12 3300 µF 50 V électrolytique
- C13 3300 µF 50 V électrolytique
- D1 1N4148
- D2 1N4148
- D3 1N5404
- D4 1N5404
- D5 1N5404
- D6 1N5404
- ZD1 zener 9,1 V
- LD1 LED 3 mm rouge
- T1..... BC640
- T2..... BC640
- T3..... BC639
- T4..... BC547
- T5..... BC547
- T6..... BC547
- T7 TIP147
- T8..... TIP142
- TR..... transformateur secteur
primaire 230 V / secondaire
2 x 28 ou 30 V 120 à 150
VA (mono)
ou 250 à 300 VA (stéréo)
type torique ou mieux "R"
- Divers :
- 1 barrette mâle 90° 15 broches
- 2 picots à souder
- 6 "faston" verticales mâles pour ci
- 6 écrous 3MA
- 6 vis 3MA 15 mm
- 2 kits d'isolation pour TO3P
(TIP142/147)

Figure 4 : Le capteur thermique.

Pour jouer pleinement son rôle, le capteur thermique T6 doit être fixé sur le dissipateur profilé assurant l'évacuation calorifique des deux darlington de puissance T7 et T8 : pour assurer une bonne dissipation thermique, T6, comme T7 et T8, doivent être enduits de pâte au silicone (sur la surface de contact entre leur boîtier et le dissipateur). Un mauvais contact thermique de T6 provoquerait un courant de repos excessif et la conséquence en serait la destruction des finaux de puissance, à cause de la dérive thermique.



même bloc détermine une réduction progressive de la polarisation du final T8 (qui devient moins conducteur) et une augmentation de le Vbe du darlington T7, lequel conduit de plus en plus. Maintenant, par rapport au cas précédent, la situation s'inverse : la tension aux bornes du haut-parleur devient négative, là encore en parfait accord avec ce qui se passe en entrée.

Le rôle de T6 : régulateur du courant de repos et protection thermique

Jusque là on a vu le fonctionnement en présence du signal, mais que se passe-t-il quand l'amplificateur ne reçoit aucune composante audio ? C'est là que T6 entre en jeu : il a une double fonction de régulateur du courant de repos et de stabilisateur thermique ; le courant de repos est le courant que le circuit consomme quand il n'amplifie pas le signal BF et il sert à obtenir que les transistors répondent tout de suite au signal sans avoir à attendre que ce signal dépasse leurs tensions de seuil (fonctionnement en classe AB) ; le circuit est polarisé de manière à ce que tous soient juste en conduction, ce qui détermine une consommation fictive due principalement aux finaux, dont le courant est déterminé par la chute de tension collecteur / émetteur de T6, tension dépendant de la polarisation que le trimmer RV1 opère sur la base de ce dernier. Pour être tout à fait exact : plus on place le curseur de RV1 vers le collecteur plus le Vbe augmente, ce qui produit une augmentation du courant de collecteur et une diminution du Vce de T6 ; ce qui réduit le Vbe des finaux et en diminue la tension de polarisation de base et donc le courant consommé ; inversement, quand la tension entre base et émetteur (curseur vers R15) diminue, T6 entre en interdiction et son Vce, la tension polarisant T7 et T8 et le courant de repos augmentent. Disons que, afin de minimiser la distorsion de croisement (celle qui se produit quand un final arrête de conduire au profit de l'autre) due au dépassement du Vbe

des darlington, l'intensité mesurée sur la branche positive d'alimentation doit être de l'ordre de 30 mA.

On l'a dit, T6 a une autre fonction, stabiliser thermiquement l'étage de puissance, car les transistors bipolaires, c'est bien connu, ont un coefficient de température négatif et, quand ils chauffent, ils tendent à conduire de plus en plus jusqu'à l'auto-destruction : en effet, la tension de seuil (Vbe nécessaire pour entrer en conduction) diminue de 2,5 mV / °C d'augmentation de la température et I_{cb0} (courant de saturation inverse de la jonction base / collecteur) double tous les 10 °C. Si l'on ne met pas un frein au phénomène, les finaux, se réchauffant sous l'effet de la puissance dissipée, entrent dans une spirale dangereuse pour leur survie. Or là T6 joue son rôle salutaire : en contact thermique avec le dissipateur sur lequel il s'appuie (voir figure 4) et où sont montés également les finaux de puissance, il se réchauffe en même temps qu'eux ; quand la température augmente, sa tension de seuil s'abaisse et le courant de collecteur augmente, tandis que la chute de tension entre son collecteur et son émetteur diminue, ce qui réduit dans la même proportion la tension polarisant T7 et T8 et donc leur courant et leur puissance dissipée. T6 fonctionne comme un limiteur dynamique du courant de collecteur des finaux, c'est-à-dire de stabilisateur thermique capable de prévenir leur dérive thermique.

La rétroaction, nécessaire pour fixer le gain en tension et la polarisation de l'ensemble, est obtenue en acheminant à travers R8 une partie de la composante de sortie vers T2 : plus sa base devient positive moins il passe de courant dans T1 dont le collecteur devient plus positif, avec pour conséquence une diminution du potentiel sur le nœud de sortie de l'amplificateur. Inversement, si la tension aux bornes de la charge tend à devenir trop négative, T2 augmente son courant d'émetteur, limite (à cause de

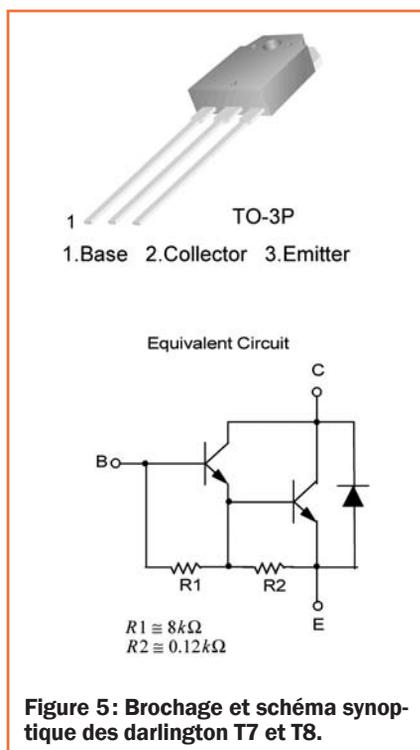


Figure 5: Brochage et schéma synoptique des darlington T7 et T8.

l'augmentation de la chute de tension sur R9) le v_{be} et la I_c de T1 et contraint le potentiel sur le nœud de sortie à augmenter.

La protection en courant

Elle a été insérée pour assister les transistors de sortie en cas de consommation excessive due, par exemple, à la connexion d'un haut-parleur d'impédance trop faible ou à un court-circuit des bornes de sortie. La protection est symétrique, en ce sens qu'il y en a une par darlington (nous nous bornerons à étudier le fonctionnement d'une seule). Prenons T7: normalement le courant d'émetteur (pratiquement celui qui traverse le haut-parleur en demi onde négative) est tel que la chute de tension aux extrémités de R20 ne permet pas le dépassement de la V_{be} de seuil de T5. Quand un pic de courant se produit, la tension aux extrémités de R20 devient suffisante pour une chute de tension sur R6 de plus de 0,6 V, si bien que T5 se met à conduire et que son collecteur ajoute du courant dans R4, ce qui augmente le potentiel de la base de T7 proportionnellement à la surcharge; cela suffit à limiter le courant circulant entre collecteur et émetteur du darlington et à le ramener dans les limites de sécurité. Notez que D2 a pour fonction d'éviter que l'entrée en conduction de T5 soit trop rapide; le réseau de protection est dimensionné de telle manière que le transistor commence à conduire lorsque le courant d'émetteur du final dépasse 6,3 A, soit au-delà de la limite correspondant à la puissance maximale (5 A).

La réalisation pratique

Aucune difficulté particulière. Tout d'abord préparez le circuit imprimé dont la figure 2b vous donne le dessin à l'échelle 1:1 ou procurez-vous le. Montez tout d'abord les deux picots (enfoncez-les puis soudez-les). Ensuite, en suivant scrupuleusement les indications de la figure 2a (et la liste des composants) et de la figure 3, montez tous les composants en commençant par ceux ayant le plus bas profil (comme les résistances quart de W, les diodes et zener, la LED, les condensateurs céramiques et multicouche, le petit électrolytique, les transistors et RV1) et en terminant par les plus encombrants (les "faston", les deux résistances-"sucres" de 5 W et les deux gros électrolytiques). Les deux résistances de 5 W seront maintenues puis soudées à deux millimètres environ de la surface pour permettre une ventilation. Faites bien attention à l'orientation des nombreux composants actifs (électrolytiques, diodes, zener, LED, transistors).

Montez enfin les trois tronçons de barrettes doubles mâles à 90° (une à trois pôles pour T6 et deux à six pôles pour T7 et T8. Vérifiez attentivement et plusieurs fois toutes vos soudures (ni court-circuit entre pistes ou pastilles ni soudures froides collées et enlevez l'excès de flux décapant avec un solvant approprié).

Fixez la platine sur le gros dissipateur profilé ($R_{th} < \text{ou} = 1,8 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) à l'aide des boulons 3MA. Montez alors le transistor T6 et les darlington T7 et T8 (attention de ne pas confondre ni intervertir ces derniers qui se ressemblent beaucoup). Comme le montrent les figures 2a et 3, avant de souder les pattes de ces composants aux broches mâles des barrettes (encore une fois sans intervention ni défaut de polarité, attention à T6 en particulier), courbez à 90° les pattes de T6 (et appuyez-le contre le dissipateur après avoir enduit la surface portante de pâte dissipatrice) et fixez T7 et T8 à l'aide de deux boulons 3MA et de kits d'isolation (micas enduit sur les deux faces de pâte dissipatrice).

Les extrémités des secondaires du transformateur d'alimentation sont reliés au circuit imprimé par connecteurs "faston" (mâles à souder sur ci, femelles à sertir sur fils). L'une des extrémités est relié à AC1 (près de C13), l'extrémité opposée à AC2 (près de C12) et les deux extrémités internes des deux enroulements iront aux points ACO (ces deux extrémités internes reliées ainsi entre elles constituent le point central du secondaire).

Câblez aussi le haut-parleur (ou enceinte): point chaud (souvent repère rouge) en LS+ et masse en LS- ou GND et enfin l'entrée (sortie préamplificateur par exemple) à souder sur les picots IN et GND près de C12 (attention à la polarité: point chaud rouge en IN et tresse de masse du câble blindé en GND). Mais faites cela après avoir réglé le courant de repos (voir ci-après).

Les essais et les réglages

Court-circuitez les deux picots d'entrée et mettez le curseur de RV1 à mi course. Mettez l'amplificateur sous tension en branchant le primaire du transformateur sur le secteur (vérifiez bien avant que vous n'avez commis aucune erreur: si le transformateur chauffe et vibre, c'est que vous avez interverti l'extrémité interne et l'extrémité externe d'un des demi secondaires). Avec un multimètre réglé sur la portée DC (tension continue), fond d'échelle 2 à 5 V, lisez la tension aux extrémités de R19 ou bien R20 (les deux résistances 5 W): dans le premier cas mettez la pointe de touche noire - sur la sortie LS+ et dans le second la pointe de touche rouge + sur cette même sortie LS+. Vous devez lire une tension de 14 mV environ et pour l'obtenir agissez éventuellement sur le trimmer RV1 (le courant de repos correspondant est de 30 mA environ). Déconnectez le multimètre, débranchez l'alimentation (attention les condensateurs électrolytiques restent chargés un moment), supprimez le court-circuit et votre amplificateur est prêt à fonctionner.

Vous pouvez par exemple (reportez-vous au début de l'article) l'insérer dans une enceinte afin d'en faire une enceinte amplifiée. Vous pouvez aussi fabriquer deux modules, les installer dans un boîtier métallique avec une ou deux alimentations et ajouter un préamplificateur stéréo: vous aurez réalisé un amplificateur Hi-Fi.

Comment construire ce montage ?

Tout le matériel nécessaire pour construire cet amplificateur EV8060 (avec un module vous pouvez fabriquer un amplificateur mono de 100 W, en stéréo il en faut deux) est disponible chez certains de nos annonceurs. Voir les publicités dans la revue.

Les typons des circuits imprimés sont disponibles sur votre nouveau site www.electronique-magazine.com ◆