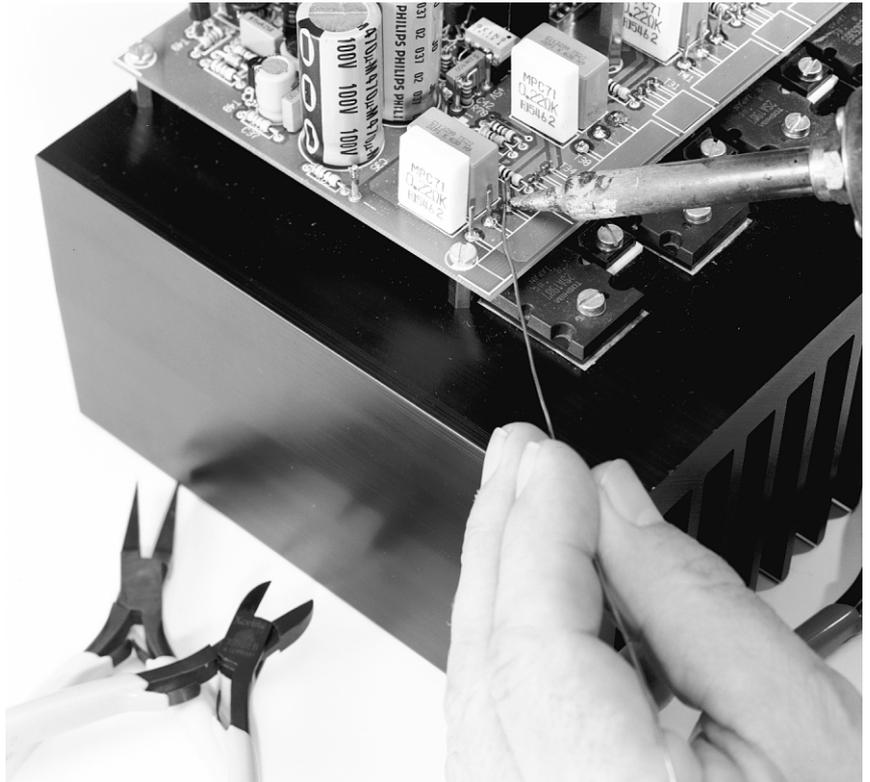


# Titan 2000

## 3<sup>ème</sup> partie : construction et réglage

En dépit de l'existence des plus belles platines qui soient et de la description la plus détaillée possible, Titan 2000 est et reste un projet de réalisation personnelle que l'amateur d'électronique ou l'électronicien amateur ne doit pas aborder à la légère. Ayons le cran de voir les choses en face, surtout lorsqu'il est doté de tous ses sous-ensembles auxiliaires, il s'agit d'un amplificateur haut de gamme complexe.

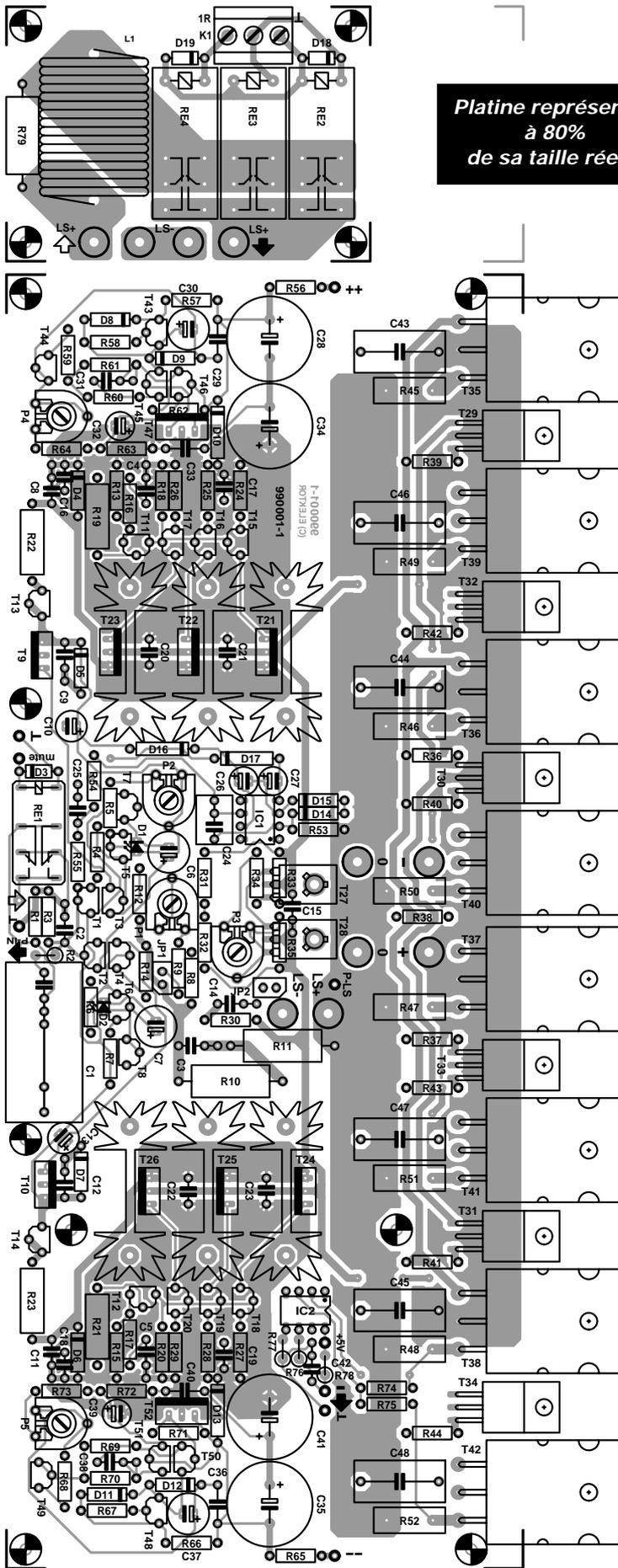


La combinaison caractéristiques et qualité haut de gamme plus puissance importante a constitué un défi, non seulement pour la conception du Titan, sa réalisation demande également énormément de celui qui envisage et entreprend de le construire. Le projet dans sa totalité présente une envergure certaine et exige, si l'on veut obtenir les résultats dignes de ce nom, une réalisation extrêmement soignée tant au niveau de la construction que du câblage. Nous ne pouvons pas nous contenter, pour la réalisation de Titan 2000, de vous renvoyer tout simplement à la sérigraphie de l'implantation des composants et à la liste des composants comme cela nous arrive dans le cas d'un montage simple. Récapitulons. Dans l'article du mois dernier nous nous sommes intéressés au principe et à la réalisation de la platine de protection – nous supposons que vous l'avez, aujourd'hui, construite. Nous avons également

abordé l'aspect pratique de l'alimentation auxiliaire de 2 x 15 V et de la temporisation de l'application de la tension du secteur, sous-ensembles dont il ne nous paraît plus nécessaire de parler. Il nous reste à parler de 2 sous-ensembles : la commande de ventilateur associée à la protection anti-surchauffe et la platine de l'amplificateur proprement dite. Le premier est en principe également utilisable avec d'autres amplificateurs, raison pour laquelle nous allons en parler séparément – si tout se passe comme prévu, dès le mois prochain. La platine principale, celle de l'amplificateur, est sans doute attendue avec impatience par tous ceux que je projet intrigue. Attaquons nous y.

### LA PLATINE DE L'AMPLIFICATEUR

Permettez-nous une remarque importante. Dans le cas d'un amplificateur de puissance rapide tel que celui (produit



**Platine représentée  
à 80%  
de sa taille réelle**

**Liste des composants**

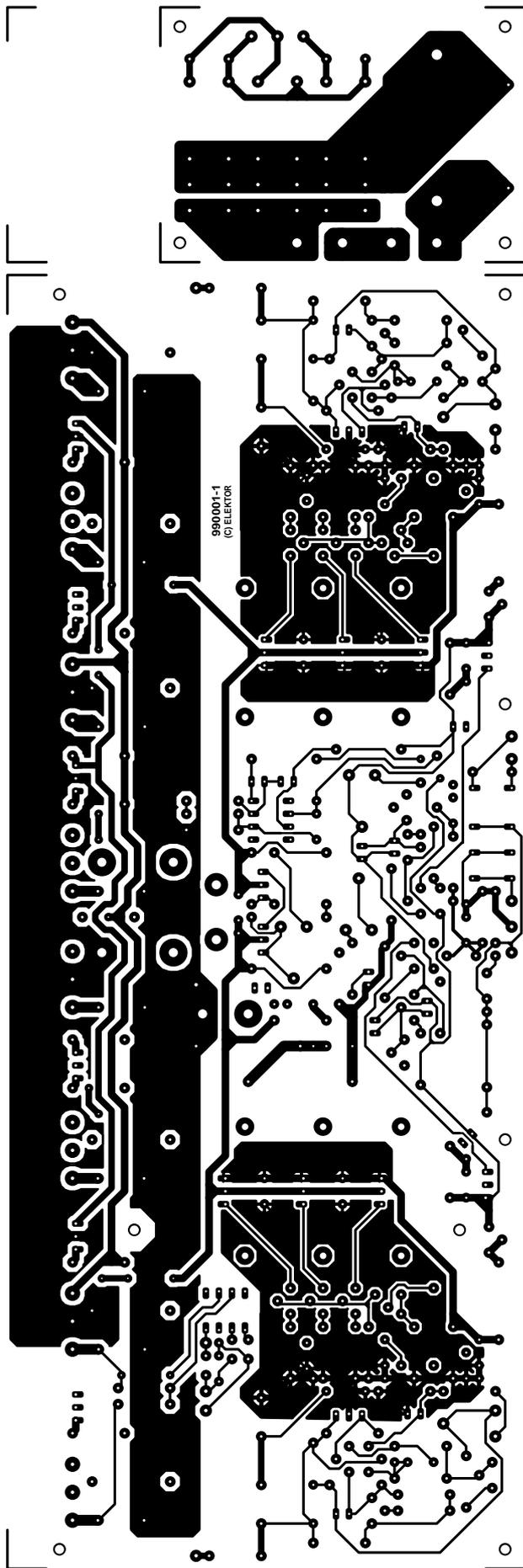
Résistances :  
 R1,R53 = 1 MΩ  
 R2 = 562 Ω  
 R3 = 47 kΩ  
 R4,R6,R12,R14,R60,R61,R69,R70 = 22 Ω  
 R5,R62,R71 = 330 Ω  
 R7,R34 = 470 Ω  
 R8 = 22Ω1  
 R9 = 390 Ω  
 R10,R11 = 470 Ω/5 W  
 R13,R15 = 1kΩ200  
 R16,R17,R38 = 150 Ω  
 R18,R20,R58,R67 = 270 Ω  
 R19,R21 = 10 kΩ/1 W  
 R22,R23 = 3kΩ3/1 W  
 R24 à R29 = 68 Ω  
 R30 = \*  
 R31,R32 = 22 kΩ  
 R33,R35 = 220 Ω  
 R36,R37 = 560 Ω  
 R39 à R44 = 10 Ω  
 R45 à R52 = 0Ω22 MPC71 (à faible induction)  
 R54,R55 = 4MΩ7  
 R56,R65 = 15 Ω  
 R57,R63,R66,R72 = 15 kΩ  
 R59,R68 = 5kΩ6  
 R64,R73 = 12 kΩ  
 R74,R76,R77 = 100 Ω  
 R75 = 33 Ω  
 R78 = 2kΩ2  
 R79 = 2Ω2/5 W  
 P1,P4,P5 = ajustable 5 kΩ  
 P2 = ajustable 250 Ω  
 P3 = ajustable 500 Ω

Condensateurs :  
 C1 = 2μF2 MKP (tel que, par exemple, WIMA MKP4 160 V)  
 C2,C3,C42 = 1 nF  
 C4,C5 = 2nF2  
 C6,C7 = 220 μF/25 V radial  
 C8,C9,C11,C12,C15 = 100 nF  
 C10,C13 = 100 μF/25 V radial  
 C14 = \*  
 C16 à C23 = 100 pF (100 V)  
 C24 = 1 μF MKT au pas de 5 ou 7,5 mm  
 C25 = 68 nF  
 C26,C27,C32,C39 = 2μF2/63 V radial  
 C28,C34,C35,C41 = 470 μF/100 V radial  
 C29,C33,C36,C40 = 220 nF/100 V  
 C30,C37 = 47 μF/63 V radial  
 C31,C38 = 15 nF  
 C43 à C48 = 100 nF/630 V

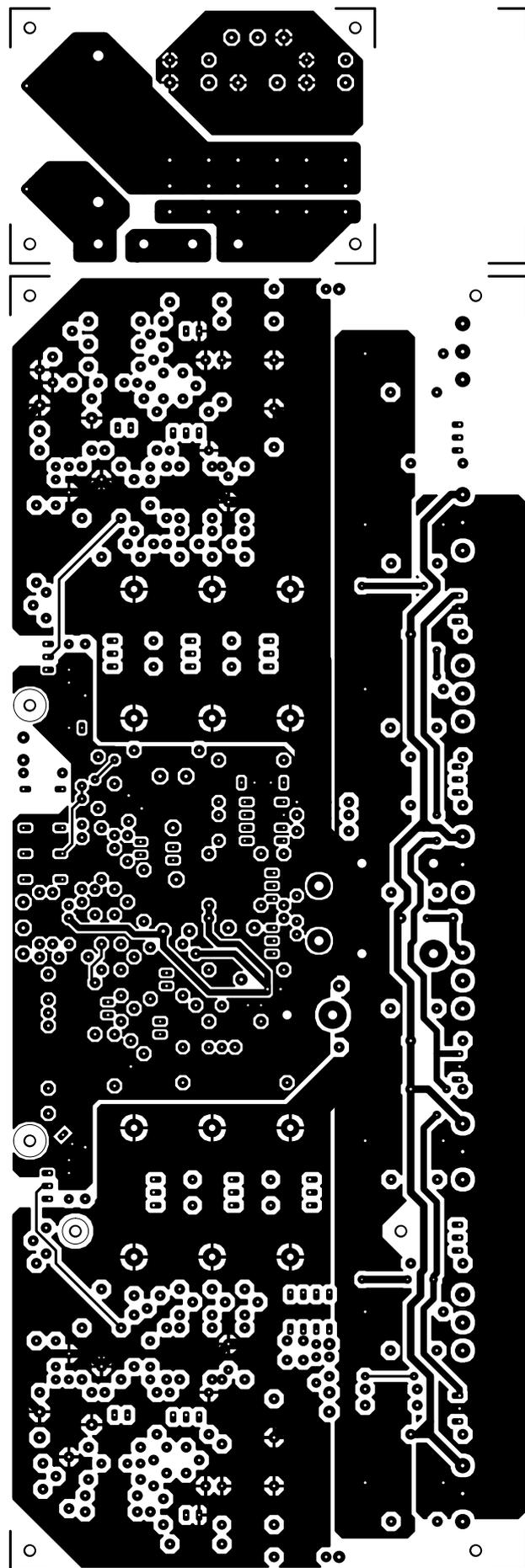
Selfs :  
 L1 = 0,6 μH, 4 x 8 spires de fil de cuivre émaillé de 1,5 mm de diamètre, diamètre intérieur 16 mm (5/8")

Semi-conducteurs :  
 D1,D2 = LED rouge (plate)  
 D3,D18,D19 = 1N4148  
 D4,D6 = diode zener 5V6/0W5  
 D5,D7 = diode zener 15 V/1W3  
 D8,D11 = diode zener 30 V/1W3  
 D9,D12 = diode zener 39 V/1W3  
 D10,D13,D16,D17 = 1N4004  
 D14,D15 = diode zener 12 V/0W5

**Figure 1. La platine (double face à trous métallisés) a été dessinée de manière à pouvoir être montée en sandwich avec le radiateur. Il faudra séparer la partie destinée à recevoir les relais de sortie et la self.**



*côté composants*



*côté soudures*

*Platine représentée  
à 80%  
de sa taille réelle*

T1,T4,T5,T15 à T17 = BC560C  
 T2,T3,T6,T18 à T20 = BC550C  
 T7,T8,T43,T48 = BF245A  
 T9 = BF871  
 T10 = BF872  
 T11,T50,T51 = BC640  
 T12,T45,T46 = BC639  
 T13,T14 = BF256C  
 T21 à T23 = MJE350  
 T24 à T26 = MJE340  
 T27 = BD139  
 T28 = BD140  
 T29 à T31 = 2SC5171 (Toshiba)  
 T32 à T34 = 2SA1930 (Toshiba)  
 T35 à T38 = 2SC5359 (Toshiba)  
 T39 à T42 = 2SA1987 (Toshiba)  
 T44,T49 = BF256A  
 T47 = BD712  
 T52 = BD711  
 IC1 = OP90G (PMI)  
 IC2 = 6N136

Divers :

JP1,JP2 = embase auto-sécable à 2 contacts + cavalier  
 K1 = bornier encartable à 3 contacts au pas de 5 mm  
 Re1 = relais V23042-A2003-B101 (12 V/600 Ω) (Siemens)  
 Re2 à Re4 = relais RP310012 (16 A/12 V/270 Ω) (Siemens)  
 radiateur pour T21 à T26 = SK104-STC (ou STS)/TO220 38,1 mm, 11 K/W (Fischer)  
 radiateur pour transistors de puissance et drivers = SK157, 150 mm, 0,25 K/W (Fischer)  
 plaquettes d'isolation céramique pour T21 à T34 (14 x) AOS220 (Fischer)  
 plaquette d'isolation en mica pour T35 à T42 (8 x)

\* cf. texte

gain/bande passante de quelque 0,5 GHz !) la platine est une partie intégrale de la réalisation. De ce fait, les caractéristiques de la platine ont été intégrées dans les différents calculs ayant précédé la conception de l'amplificateur. La longueur des pistes, l'aire des surfaces de cuivre, le placement exact des condensateurs de découplage par exemple, sont là différents aspects d'une importance essentielle pour un fonctionnement stable de l'ensemble du système. Ceci explique que nous demandions à ceux d'entre nos lecteurs qui voudraient réaliser cette platine par leurs propres moyens, de ne pas modifier le dessin des pistes. Une caractéristique spécifique à cet amplificateur nous amène à faire une remarque additionnelle importante. Vu

la puissance mise en jeu, il nous a fallu opter pour un montage en parallèle tant des drivers que des « predrivers ». Leur montage sur un radiateur se traduit par la création d'une capacité (parasite) additionnelle par rapport à la masse notable, sachant que, pour des raisons de stabilité, tant le radiateur principal que ceux des transistors T21 à T26 doivent être reliés à la masse. Il est essentiel de réduire au strict minimum ces capacités parasites, ce qui ne peut se faire que par l'utilisation, pour le couplage thermique des transistors T21 à T34, de plaquettes d'isolation de céramique. Il ne saurait être question, pour les dits transistors, d'utiliser des plaquettes de mica ! Seuls les transistors de puissance proprement dit pourront être isolés à l'aide de plaquettes de mica vu qu'à leur niveau, les capacités parasites ne jouent plus de rôle significatif. Le **figure 1** montre le dessin des pistes et la sérigraphie de l'implantation des composants de la platine de l'amplificateur. Il s'agit d'un double face à trous métallisés constitué de 2 parties. La platine des relais de sortie sera séparée de la platine principale et montée, une fois les composants mis en place, en sandwich sur le grand circuit imprimé par le biais d'entretoises de quelque 50 mm de long et ceci en veillant à ce que les connexions LS- et LS+ des 2 platines se trouvent parfaitement à l'aplomb l'une de l'autre. Les entretoises métalliques assurent le transfert des signaux électriques entre lesdits points. Les 2 entretoises disposées à l'autre extrémité de la platine servent à assurer la solidité mécanique de l'ensemble. Le **figure 2** vous montre le détail de cette opération. Puisque nous en sommes à parler de la platine des relais, parlons dès à présent de la self L1. Cette bobine à air se compose de 4 enroulements de 8 spires de fil de cuivre émaillé de 1,5 mm de diamètre d'un diamètre interne de 16 mm montés en parallèle. Le bobinage de cette self est une opération délicate. On commencera par bobiner d'un coup les 2 premiers enroulements. Les 2 autres enroulements sont ensuite bobinés par-dessus les 2 premiers. On pourra utiliser, pour cette opération, un morceau de tube de canalisation électrique de 5/8". On pourra, pour le bobinage, s'aider d'un gabarit qui permettra de bien serrer les conducteurs (cf. **figure 3**). Compte non tenu des drivers et des transistors de puissance –composants

auxquels nous reviendrons – la réalisation de la platine ne diffère en rien de celle d'un autre montage. Il faudra cependant opérer avec plus de soin et de précision que d'habitude. Il nous faut évoquer certains points auxquels il faut veiller. Il ne faudra pas oublier ainsi, comme nous le disions dans la 1<sup>ère</sup> partie, de coupler thermiquement les paires de composants T1/T3, T2/T4, D1/T5 et D2/T6, ce que l'on pourra réaliser en s'aidant d'un serre-câble. Il est recommandé de faire de même pour les amplificateurs différentiels T45/T46 et T50/T51.

Il faut en outre fixer les triplettes de transistors T21 à T23 d'une part et T24 à T26 de l'autre, sur un radiateur en les isolant par le biais de plaquettes de céramique. On pourra ensuite monter l'ensemble radiateur + transistors sur la platine et procéder à la connexion à la masse des radiateurs.

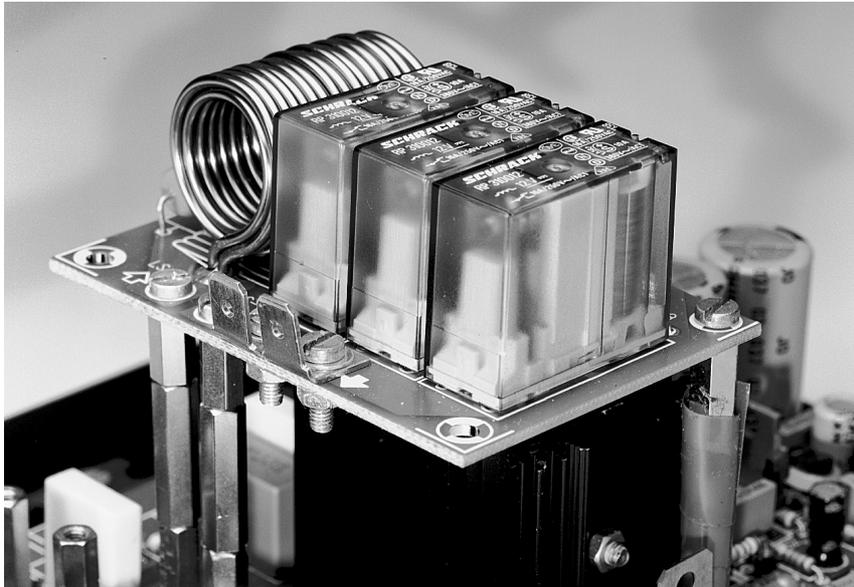
L'application du signal d'entrée et des tensions d'alimentation de ± 85 V se fait par le biais de picots ordinaires. Nous avons prévu, pour la connexion de la tension d'alimentation de ± 70 V et celle de la platine des relais évoquée plus haut, des orifices de 3 mm. On pourra y fixer des entretoises métalliques sur lesquelles viendront se glisser des languettes auto auxquelles seront connectés les câbles.

## LE DISSIPATEUR

Une fois la réalisation de la totalité de la platine principale terminée et vérifiée d'un oeil critique, nous en arrivons à l'étape la plus délicate, à savoir le montage des transistors T27 à T42. Le problème est qu'il faut fixer tous lesdits transistors sur le dissipateur tout en y fixant également la platine montées sur entretoises. Nous avons utilisé un dissipateur de 150 mm du type SK157 de chez Fischer (caractéristique thermique de 0,25 K/W).

Le montage des transistors et de la platine sur le dissipateur est une opération requérant un certain doigté. La condition sine qua non de succès est d'avoir foré, avec une extrême précision, les orifices filetés de 3 mm aux endroits prévus. Cette opération prend du temps et exige l'utilisation d'un gabarit précis, ce que les adresses habituelles fournissent, avec la platine principale, un tel gabarit.

Une fois terminé le perçage des orifices, on pourra se lancer dans le montage des transistors. Les premiers



**Figure 2.** On voit ici la technique de montage utilisée pour la fixation de la platine des relais sur la platine principale : des entretoises.

concernés sont les transistors de courant de repos T27 et T28 vu qu'ils viennent se monter en-dessous de la platine et qu'ils ne sont plus accessibles ultérieurement. Lesdits transistors ne sont pas montés à l'endroit prévu sur la platine mais, vu leur fonction, disposés le plus près possible des transistors de puissance; le gabarit reproduit leur position avec grande précision. Ces 2 transistors pourront être dotés de petites longueurs de fil de câblage qui viendront, ultérieurement, se glisser dans les 2 orifices prévus à cet effet dans la platine (aux emplacements marqués T27 et T28) et seront soudés à une double barrette à 3 contacts par exemple.

On procède ensuite à la mise en équerre des pattes des drivers et des transistors de puissance. Chez ces derniers cette pliure se fera à 5 mm du boîtier, chez les drivers à l'endroit précis du rétrécissement des pattes. Ces dif-

On visse ensuite les différentes entretoises dans les orifices prévus à cet effet dans le dissipateur. Elles doivent avoir une longueur de

10 mm. Nous avons utilisé sur nos prototypes des entretoises à filetage (mâle et femelle) de 3 mm. Il nous faut 10 entretoises au total. 2 d'entre elles servent de support additionnel à la platine des relais, 2 autres assurent le transfert de la masse de l'alimentation vers le métal du dissipateur.

Lorsque tous les transistors et toutes les entretoises sont à leur place, la platine devrait ressembler à celle de la **figure 4** (absence des plaquettes d'isolation céramique en vue de tests).

Nous en arrivons au point crucial. Il s'agit en effet de fixer la platine sur le dissipateur -les entretoises devant se trouver en face des orifices qui leur sont destinés, et point plus délicat encore,

toutes les pattes des différents transistors passer par les orifices de soudure prévus. Il ne faudra pas avoir oublié d'avoir doté la platine des 4 entretoises de 20 mm destinés au transfert des tensions +, -, LS+ et LS-. Comme les pattes des transistors de puissance sont plus longues que celles des transistors drivers, cette opération d'« enfilage » pourra se faire en 2 étapes, d'abord les pattes des transistors de puissance puis ensuite, la platine étant descendue d'un cran, celles des drivers. Il peut s'avérer nécessaire de modifier légèrement la position de l'un ou l'autre des transistors, ce qui explique que nous ayons suggéré de ne pas visser à fond dès le départ les différentes vis de fixation. N'oublier pas ensuite, lorsque tout s'emboîte comme prévu, de fixer fermement toutes les vis !

Lorsque cette opération délicate est terminée avec succès, on pourra monter, comme décrit plus haut, la platine des relais sur les entretoises (un second étage de 30 mm permet à la platine de « planer » au-dessus des radiateurs placés en-dessous) assurant le transfert des potentiels LS+ et LS-. Nous en avons, enfin, terminé avec le module de l'amplificateur, mais il nous faut, avant de pouvoir le mettre à contribution, en effectuer..

## LE RÉGLAGE

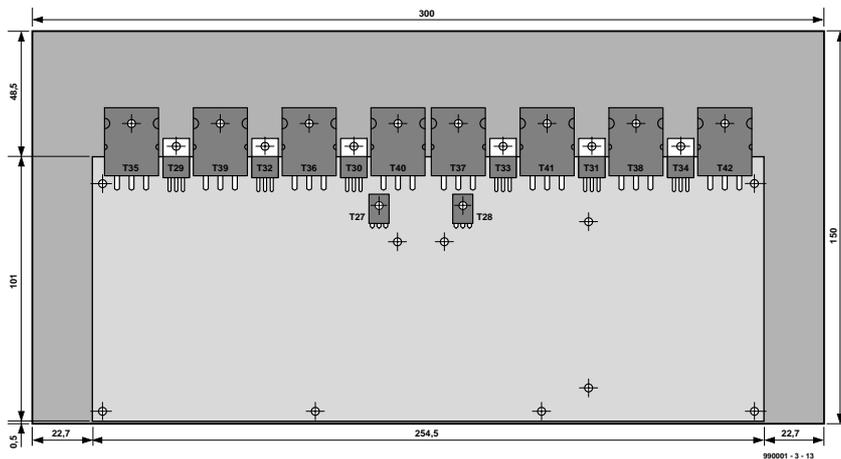
Cette platine comporte 3 points requérant un réglage, à savoir les régulateurs de tension 78 V, par le biais de P4 et de P5, la symétrie de l'étage d'entrée (P2) et le courant de repos (P3).

L'ajustable P1 sert uniquement à un réglage de symétrie en cas de configuration en pont et ne remplit donc pas, dans le cas présent, de fonction. Commençons par mettre l'ajustable de courant de repos P3 en butée vers la gauche, et les ajustables P2, P4 et P5 à

**Figure 3.** La self (à air) L1 prend la forme d'une paire d'enroulements doubles de 8 spires chacun superposés. Le gabarit sera un morceau de tube de 16 mm de diamètre. Les 4 bobines ainsi obtenues sont tout simplement montées en parallèle.

férents transistors peuvent ensuite être fixés au dissipateur (n'oubliez pas les plaquettes d'isolation !), sans cependant déjà serrer à fond les vis de fixation. Ceux d'entre vous qui envisagent d'utiliser le système de refroidissement par ventilateur (puissances supérieures à 500 W) peuvent monter dès à présent le capteur de température, un transistor du type BD140, sur le dissipateur. Sa place n'est pas indiquée sur le gabarit, mais la position la plus logique se trouve au centre du dissipateur, à proximité de T40 ou T37 donc.





**Figure 4. La platine est accompagnée d'un gabarit de perçage permettant un placement précis des transistors sur le radiateur.**

mi-course. Nous appelons ensuite l'alimentation + alimentation auxiliaire à la rescousse et, avant d'en effectuer

le branchement, en vérifions les tensions. Si tout est OK nous connectons le +70 V aux picots « + » et « 0 », le -70 V aux picots « - » et « 0 » et les +85 V et -85 V aux picots « ++ » et « -- » respectivement. On pourra, à titre de précaution, connecter, pour l'instant, les + et -70 V par le biais d'une résistance-talon de 10 Ω/5 W.

L'étape suivante est, logiquement, de procéder au réglage des régulateurs de tension basés sur les transistors T43 à T52. Les tensions de sortie peuvent être mesurées sur les boîtiers de T47 et de T52 (la plaquette métallique de chacun de ces régulateurs est reliée à la sortie), pour être ajustées, par P4 et P5 respectivement, aux valeurs requises de +78 et -78 V. Il n'est pas nécessaire de travailler au volt près, l'important est que les tensions positive et négative soient égales.

C'est ensuite au tour de P2. Les NPN et PNP utilisés dans l'étage d'entrée ne sont jamais parfaitement identiques, il y aura donc toujours une certaine asymétrie, aussi faible soit-elle. Nous la compensons en réglant la source de courant T5 de manière à ce que la sortie de IC1 (sa broche 6) se trouve, à froid, à 0 V très exactement.

Nous terminons par le courant de repos. La façon la plus pratique d'en effectuer le réglage consiste à prendre, le temps du réglage, un ampèremètre en série avec la ligne +70 ou -70 V et, par action sur P3, à ajuster la consom-

mation de l'amplificateur de courant à 200 mA. Ce réglage doit, lui aussi, se faire à froid, c'est-à-

dire immédiatement après l'application de la tension d'alimentation. En cas de forte modulation, le courant de repos peut atteindre jusqu'à de l'ordre de 0,6 A, mais à température de fonctionnement normale, il devrait se stabiliser entre 0,2 et 0,4 A. Ces variations du courant de repos sont parfaitement normales et n'ont pas le moindre effet sur les performances de l'amplificateur.

### VÉRIFICATIONS

Une fois les différents réglages effectués et si tout semble, au premier abord, fonctionner normalement, on laissera à l'amplificateur le temps (une demi-heure) de prendre sa température de croisière. On pourra ensuite vérifier la présence, aux différents points concernés (cf. partie 1) des valeurs de mesure mentionnées. Soulignons cependant que les valeurs de tension qui dépendent du réglage d'une source de courant à FET (et il y en a un certain nombre) peuvent présenter certaines tolérances. Il ne faudra donc pas s'effrayer si l'on constate des différences pouvant atteindre jusqu'à de l'ordre de 30%. Ces mesures impliquent bien entendu l'utilisation d'un voltmètre ou multimètre numérique de bonne qualité à impédance d'entrée élevée.

Il reste, outre les valeurs de mesure portées sur le schéma, 2 ou 3 points méritant d'être vérifiés. On peut s'assurer, par la mesure de la tension aux bornes des résistances R45 à R52, que

les tous les transistors de puissance sont en état de marche et montés correctement. Pour ce faire on place l'une des pointes de touche sur la borne LS et on sonne les lignes d'émetteur des transistors de puissance. On devrait mesurer, en moyenne, de l'ordre de 20 mV, mais il n'y a rien d'anormal à constater des variations jusqu'à 50%. On peut également, par mesure de la consommation de courant, vérifier l'état de fonctionnement de l'ensemble d'amplification en courant : on devrait trouver, après mise en température de l'amplificateur, une tension de 08 à 1,1 V aux bornes de soit R56 soit R65.

Il faudra en outre, dans le cas des amplificateurs différentiels T45/T46 et T50/T51, s'assurer que la chute de tension aux bornes de l'une des résistances d'émetteur ne diffère pas, d'un facteur 2 ou plus, de celle relevée sur les autres. Une asymétrie trop importante a une influence néfaste sur la régulation. Il est possible, bien souvent, de minimiser ces tolérances par modification de la valeur de R62 ou de R71. Si cette approche s'avère impossible il ne reste plus d'autre solution que de monter une nouvelle paire de transistors (appariés de préférence).

Une fois terminé le contrôle des points de mesure importants et si les variations restent à un niveau acceptable, on pourra enlever la résistance de 10 Ω/5 W éventuellement mise en place. Terminons par un avertissement que nous aurions peut-être pu donner plus tôt : **cet amplificateur travaille à une tension d'alimentation dont le niveau est dangereux !** Normalement, nous n'attirons votre attention sur ce fait que dans le cas de la tension du secteur, mais une tension continue de 70 V, sans parler de 140 V, n'est pas inoffensive. Il faudra donc prendre la bonne habitude de toujours couper l'alimentation lorsque l'on veut intervenir sur l'amplificateur et s'assurer que les tensions sont tombées à une valeur ne présentant plus de danger.

(990001-3)

*NdlR : Signalons la présence, dans le premier article, de l'une ou l'autre erreur. Le potentiomètre servant à ajuster le courant de repos est P3 et non pas P1. Le schéma comporte également quelques erreurs, les transistors T21 à T23 sont, ainsi, des MJE350. La liste des composants donnée ici est correcte. Merci Mr Frantz.*