

## Initiation à la pratique de l'électronique

# AMPLIFICATEURS B.F. DE PETITE PUISSANCE

Dans le numéro précédent nous avons traité des différents montages amplificateurs de petite puissance à transistors. Aujourd'hui, nous allons voir le côté un peu plus pratique, afin d'aider l'électronicien à construire et à mettre au point un amplificateur avec le maximum de chances de réussite. Il est préférable, pour le débutant, de commencer par un montage le plus simple possible (pour cela, nous nous contentons au départ d'une puissance plutôt faible) c'est ensuite, lorsqu'il aura obtenu des résultats acceptables, qu'il pourra se lancer dans des réalisations de plus grande puissance.

Malgré la simplicité des circuits, le novice doit prendre toutes les précautions indispensables lors du montage. L'amplificateur devra d'abord être soigneusement calculé, puis chaque étage sera monté l'un après l'autre, tout étant testé par de nombreuses mesures. Pour cela, trois appareils sont indispensables pour obtenir de bons résultats : un oscilloscope, un générateur BF et un multimètre de qualité. Nous n'avons pas mis de valeurs sur le schéma final afin de forcer le réalisateur à calculer chaque composant suivant les performances à atteindre.

type BC 107 ou similaire (2N2222...) La charge de  $T_2$  est un haut-parleur d'impédance de l'ordre de 80 à 100  $\Omega$ . Dans le cas où l'on ne disposerait que d'un haut-parleur de plus faible valeur, mettons de 4  $\Omega$ , il serait nécessaire de prévoir un transformateur d'adaptation afin qu'il y ait, entre A et B, une impédance pas trop faible. Chaque transistor est polarisé par une seule résistance ayant un effet de contre-réaction, comme cela est courant dans ce type d'amplificateur économique. Le potentiomètre P est logarithmique.

Si le gain de l'ensemble n'est pas assez élevé, on rajoutera à l'entrée un étage supplémentaire, et si

le fait d'avoir trois étages augmente le gain d'une façon inconsidérée, on le réduira par l'emploi d'une contre-réaction sur deux étages.

Nous représentons un deuxième schéma (fig. 2) avec contre-réaction et étage de sortie équipé d'un Darlington.

Rappelons que le gain des deux derniers étages est déterminé par le rapport  $R_{CR}/R_E$  (= 100). Le condensateur  $C_{CR}$  isole en continu les étages et évite, de ce fait, les risques de déséquilibrer les polarisations. En plus, ce condensateur a une action variant avec la fréquence. Aux fréquences les plus basses sa réactance augmente, ce qui diminue la contre-réaction et remonte le gain, améliorant ainsi la courbe de réponse de l'amplificateur.

Autre point important : si, au lieu d'utiliser un haut-parleur de 80 à 100  $\Omega$  comme nous le préconisons sur le schéma de la figure 2, on préfère prendre un modèle de plus faible valeur adapté par transformateur, il y a lieu de bien faire attention au branchement de ce dernier. En effet, la tension renvoyée sur l'émetteur de  $T_2$  doit

### Amplificateur de petite puissance classe A

Afin d'aller du plus simple au plus compliqué, nous donnons tout d'abord un schéma simple, pour ceux qui désirent monter rapidement un amplificateur dont le but final n'est pas la haute fidélité. Ce premier schéma est donné sur la figure 1. Il se compose de deux transistors NPN, du

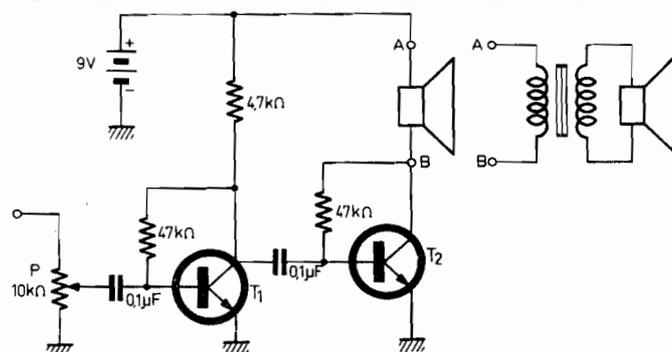


Fig. 1. — Schéma très simple d'amplificateur BF de petite puissance. Le haut-parleur sera de quelques dizaines d'ohms, sinon on utilisera un transformateur d'adaptation ( $T_1$  et  $T_2$  : transistors NPN, comme le BC107).

avoir une polarité telle que la phase du signal soit bien en opposition avec celle du signal reçu à l'entrée du premier étage contre-réactionné, sinon, au lieu d'une « contre-réaction », il y a une « réaction », ce qui se caractérise par un violent sifflement émis par le haut-parleur. Lorsque cela arrive (il y a une chance sur deux pour que le branchement ne soit pas bon), il suffit d'inverser soit le primaire, soit le secondaire. Ainsi, sur la figure 3, c'est le point C qui sera relié à la masse, et c'est sur D que seront connectés les com-

posants  $C_{CR}$  et  $R_{CR}$ . On n'aura pas de problème de ce genre si ces derniers aboutissent au point E (collecteur de  $T_4$ ). Disons, pour conclure, qu'il est préférable de prendre le signal de contre-réaction aux bornes du secondaire puisque, de cette façon, on remédie à la mauvaise transmission à travers le transformateur.

Le lecteur qui aura réalisé un de ces premiers montages pourra encore en améliorer les performances en réglant, étage par étage, la polarisation des transistors (polarisation par pont de résistances sur la base),

tout en observant le signal sur l'écran de son oscilloscope.

### Etage de sortie push-pull

Passons maintenant à l'amplificateur push-pull série. Nous savons qu'avec ce type d'amplificateur, nous devons utiliser un couple de transistors NPN/PNP devant effectuer le déphasage de  $180^\circ$  nécessaire au push-pull. Nous avons également vu que les calculs préliminaires nécessaires pour le choix des valeurs pouvaient se résumer

comme suit pour la réalisation d'un amplificateur ayant une puissance  $P$  bien précise et utilisant un haut-parleur de valeur  $Z$ . A partir de ces deux premières données, on calcule la valeur minimale  $U$  que doit avoir l'alimentation. Au-dessous de cette valeur  $U$ , il n'est pas possible d'obtenir la puissance  $P$  désirée. Enfin, il reste à déterminer les  $I_C$  max et  $P_C$  max des transistors.

Nous nous attacherons au début au montage d'un amplificateur de petite puissance dont les transistors peuvent être employés tels quels, sans nécessiter de radiateurs de refroidissement. Le schéma pratique de base de l'étage de sortie pourrait être celui donné sur la figure 4. Le haut-parleur choisi porte l'indication «  $8 \Omega$  0,8 W ». L'amplificateur sera alimenté par deux piles de 4,5 V placées en série. D'après les calculs, nous devrions sortir une puissance de 0,7 W.

En ce qui concerne les transistors de sortie, nous emploierons un BC 140, c'est un NPN dont le complémentaire est le BC 160. Ces transistors supportent un  $V_{CE}$  de 40 V, ce qui est très largement suffisant pour notre tension d'alimentation de 9 V. Les autres caractéristiques limitées sont  $I_C$  max = 1 A et  $P_C$  max = 0,65 W, ce qui convient à notre amplificateur.

### Polarisation

Polarisons maintenant ces deux transistors. Quelques remarques doivent être faites sur les valeurs des tensions de polarisation. Le point F (fig. 4) se trouve à un potentiel égal à la moitié de l'alimentation.

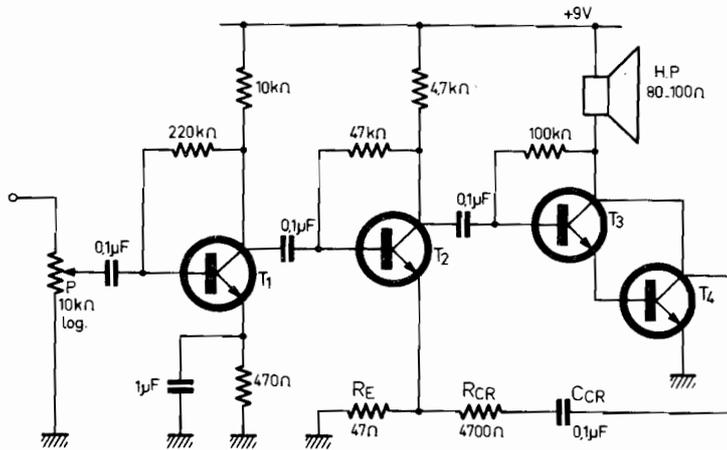


Fig. 2. — Autre schéma très simple d'amplificateur.

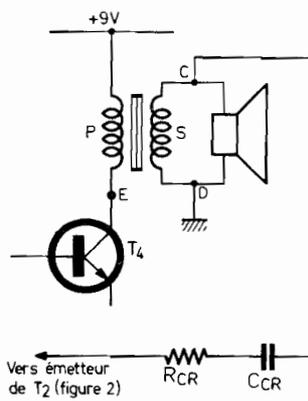


Fig. 3. — Branchement de la contre-réaction au secondaire du transformateur d'adaptation.

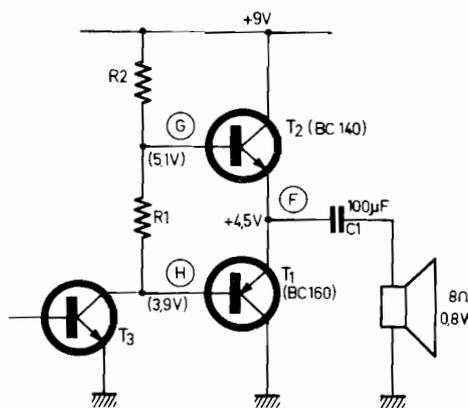


Fig. 4. — Schéma très simplifié d'un push-pull série. Parfois, une résistance CTN est branchée en parallèle sur  $R_1$  dans le but d'obtenir une polarisation constante en fonction de la température.

soit 4,5 V. Il se trouve donc que le point G est porté à une tension telle que le transistor correspondant est très légèrement polarisé afin, qu'au repos, ce transistor laisse passer un très léger courant (classe AB). Ainsi G sera égal, par exemple, à 5,1 V (chute  $V_{BE}$  égale à 0,6 V). De même, le point H aura une tension de repos égale à + 3,9 V (4,5 V - 0,6 V). D'après ces valeurs de tension, le calcul de  $R_1$  et  $R_2$  est possible. La chute de tension aux bornes de  $R_1$  est égale à 1,2 V, celle aux bornes de  $R_2$  égale à 3,9 V. Il reste à connaître quel sera le courant de repos du transistor  $T_3$ . Ce courant sera égal à environ cinq fois le courant à fournir aux bases de  $T_1$  et  $T_2$ , qui est lui-même égal au courant collecteur traversant  $T_1$  et  $T_2$ , divisé par le gain de courant statique de ces mêmes transistors.

**Polarisation par diodes**

Le plus souvent, cette résistance  $R_1$  est remplacée par des diodes ou, même, par un transistor. La tension entre G et H est égale à deux fois la chute directe d'une diode, elle est même légèrement supérieure lorsqu'une résistance est présente dans le circuit émetteur. Le schéma se présente comme sur la figure 5.

Le potentiomètre P est là pour régler au mieux la polarisation et supprimer au maximum la distorsion de raccordement (dite de « cross-over »).

L'autre solution, avec transistor, est donnée figure 6. La tension entre G et H doit être constante et égale, par exemple, à

1,5 V. Le courant  $J_c$  dans ce transistor est de 5 mA, par exemple. On laissera passer, dans le pont de polarisation de  $T_4$ , un courant égal au dixième de  $I_c$  soit 0,5 mA. La loi d'Ohm nous donnera la valeur des résistances pour obtenir 0,6 V entre base et émetteur ( $V_{BE}$ ) et 0,9 V entre base et collecteur (pour avoir 1,5 V de régulation). Le potentiomètre P figne la polarisation. De cette façon, la tension entre collecteur et émetteur restera constante.

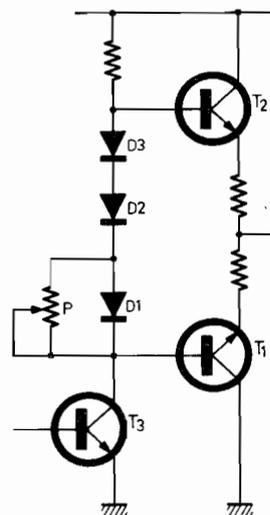
**Darlington en sortie**

Dans les amplificateurs devant fournir une plus grande puissance, l'étage de sortie est composé non pas de deux, mais de quatre transistors (fig. 7). On reconnaît  $T_3$ - $T_4$  comme étant monté en « Darlington ». Les deux autres transistors composés de NPN/PNP sont équivalents à un seul transistor PNP. Le courant  $I_B$  dans la base de  $T_1$  se retrouve dans le collec-

teur dudit transistor multiplié par  $\beta_1$ . Ce courant, envoyé dans la base de  $T_2$ , se retrouve égal à  $I_B \beta_1 \beta_2$  à la sortie de ce dernier.

On remarque qu'entre G et H il y a trois jonctions et que la polarisation nécessite au moins quatre diodes.

Nous donnons, sur la figure 8, deux autres schémas d'étages de sortie. En (a), nous avons deux Darlington. Il apparaît entre G et H quatre jonctions à polariser. En (b), on reconnaît le montage présenté plus



Diodes : 1N4148

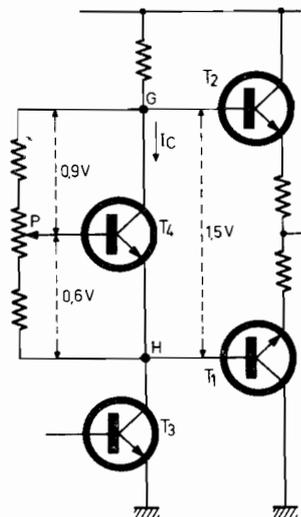
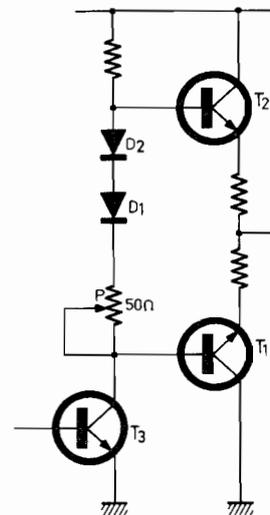


Fig. 6. - Polarisation par transistor.

Fig. 5. - Exemple de polarisation par diodes.

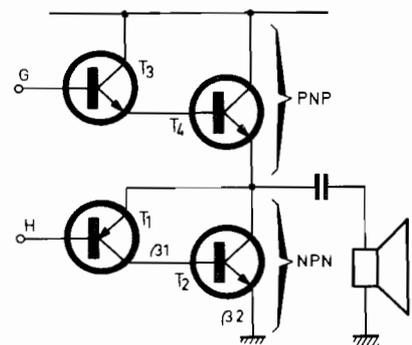


Fig. 7. - Etage de sortie convenant aux fortes puissances (les résistances dans les émetteurs n'ont pas été représentées).

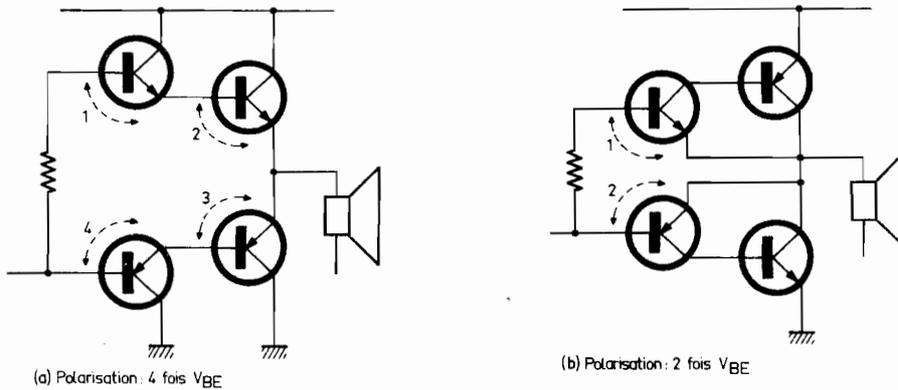


Fig. 8. - Push-pulls complémentaires à quatre transistors.

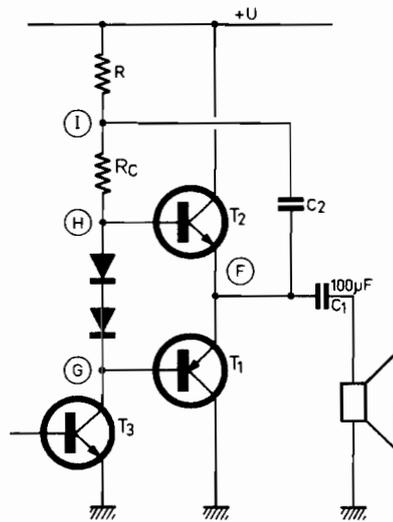


Fig. 9. - Utilisation des « bootstrap ».

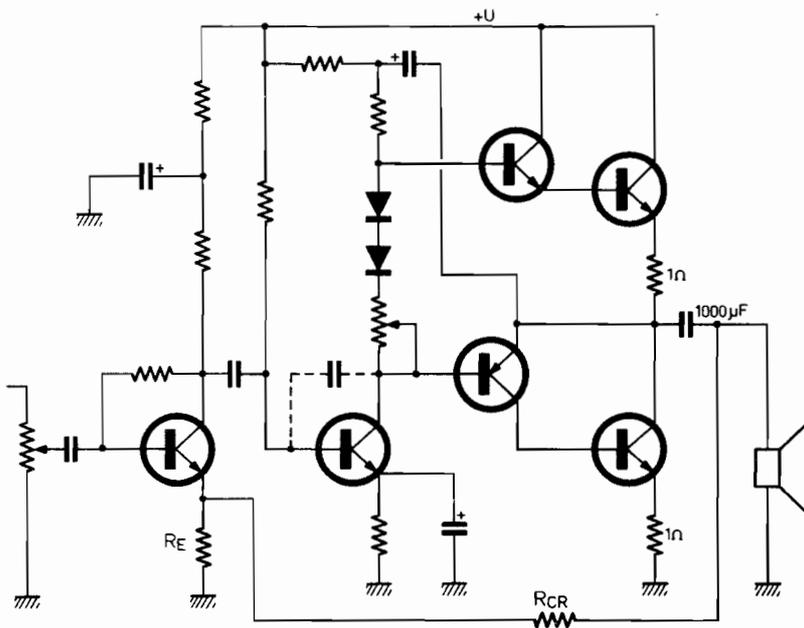


Fig. 10. - Exemple de schéma complet.

haut, il lui faut une polarisation égale à deux fois  $V_{BE}$ . Ce dernier montage convient mieux lorsque la tension d'alimentation n'est pas très élevée.

### Bootstrap

Dans les amplificateurs push-pull série, on utilise souvent un montage dénommé « bootstrap », dont le but est de remédier à la défaillance du transistor d'attaque lorsque le courant de celui-ci est faible. Pour en comprendre la raison, reprenons le schéma de base de la figure 4. A chaque alternance négative apparaissant sur la base de  $T_3$ , ce transistor devient moins passant et le potentiel de H (et de G) augmente, réduisant le courant de  $T_1$  et rendant  $T_2$  davantage conducteur. L'alternance positive du signal apparaît en sortie.

Le courant de commande provenant de  $T_3$  étant plus faible risque de ne pas commander le transistor  $T_2$  avec la vigueur nécessaire. Pour remédier à cet état de choses, il aurait fallu alimenter  $T_3$  avec une tension d'alimentation plus élevée. On préfère une solution plus simple qui est d'utiliser le circuit « bootstrap ». Cela consiste à ramener à la base de la résistance  $R_c$  une tension provenant de la sortie de l'amplificateur (fig. 9). Le transistor  $T_3$  est maintenant chargé par une résistance supplémentaire. Le point I, intersection de  $R_c$  et R suivra les variations de sortie par l'intermédiaire du condensateur  $C_2$ .

Lorsque  $I_c$  de  $T_3$  est faible (cas critique), le potentiel de H augmente, ainsi que celui de F (émetteur de  $T_2$ ). Cette augmentation de tension est transmise en I à

# B. G. MENAGER

20, rue Au-Maire, PARIS-3<sup>e</sup>  
Tél. : 887.66.96 - C.C.P. 109-71 Paris  
A 50 mètres du métro Arts-et-Métiers

MAGASINS OUVERTS  
Tous les jours de 9 h à 12 h 30 et de 14 h à 19 h  
sauf Samedi-Dimanche

## TOUJOURS DES PRIX INTERESSANTS

**POMPE DE VIDANGE** pour machine à laver adaptable toutes marques ..... 149 F

**POMPE DE VIDANGE** pour cave ou puisard. Marche/arrêt automatique par contacteur à flotteur. 7 m<sup>3</sup>/heure ..... 890 F

**RADIATEUR** pour salle de bains modèle infra-rouge à quartz 2 allures 600-1 200 watts ..... 195 F

**MOTEUR SEGAL**  
TRI 220/380, 1 CV, 1 500 tr 280 F

**COMPRESSEUR avec pistolet.**  
Pression 6-8 bars, débit 5,2 m<sup>3</sup>  
Prix ..... 800 f

**PERCEUSE FRAISEUSE**  
cône Mors n° 3, mouvement AV/ARR/GAUCHE/DROITE  
8 vitesses ..... 8 025 F

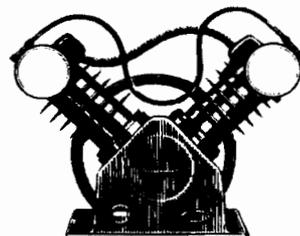
**PERCEUSE COLONNE**  
24 cône Mors n° 2 en mono ..... 1 880 F

**PERCEUSE A COLONNE**  
PCX 13. 5 vitesses  
livrée avec mandrin 13 mm 840 F

**TOURET D'ATELIER**  
2 meules. Ø 125 et 150 mm. Courant 220 V mono  
Avec écran protecteur ..... NET 282 F et 420 F

**GROUPES ELECTROGENES**  
MONO  
2 500 W ..... 3 600 F  
TRI-MONO  
4 000 W ..... 5 920 F

**TETE DE COMPRESSEUR**



**Monocylindre**  
5 m<sup>3</sup> ..... 550 F

**Bi-cylindres**  
10 m<sup>3</sup> ..... 946 F  
15 m<sup>3</sup> ..... 1 190 F

**2 cylindres monoétagés**  
21 m<sup>3</sup> ..... 2 160 F

**Monocylindre 5 m<sup>3</sup> + 1 moteur**  
1 CV 1 500 T. Tri 220/380 . 830 F

**CUISINIÈRE A MAZOUT**  
marque COSTE 70 x 60 cm.  
6 000 calories. SOLDEE : 2 500 F

**POMPE IMMERGÉE**  
à moteur vertical. 3 000 l/h à 14 m, et 600 l/h à 54 m ..... 2 160 F

**FLOTTANTE** utilisation instantanée, refoulement 28 m 1 800 L/Heure, puits, rivière, mare, étang, piscine pour abreuvage, étalement, arrosage, habitation, etc. Avec 10 m de câble ..... TTC 990 F

**POMPE PORTATIVE**  
Autoamorçante de marque Marelli 675 W, débit 4 800 l/h aspirat. 7 m valeur 1 375 F

Vendue ..... **650 F**

**ENSEMBLE SOUS PRESSION**

Pour DISTRIBUTION EAU ménagère avec réservoir 25 l ..... 1 060 F  
En 100 l à pression air ..... 1 490 F

**COFFRET DE SOUDURE professionnel comprenant :**  
1 CHALUMEAU propane, 4 lances + 1 détendeur et tuyaux ... 490 F

**EQUIPEZ VOS RADIEURS DE ROBINETS THERMOSTATIQUES.**  
fabrication allemande en 12 x 17 ou 15 x 21  
Prix ..... 75 F

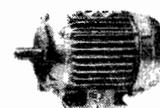
**CIRCULATEUR ACCELERATEUR**  
de chauffage central ..... 360 F

**BRULEUR A MAZOUT**  
20 à 25 000 Cal/h ..... 1 950 F

**BRULEUR A GAZ**  
20 à 40 000 calories ..... 3 686 F

**MEULEUSE TRONÇONNEUSE**  
Ø 230, puissance 2 000 W, 6 000 tr. 220 V  
Prix ..... 750 F

**au prix de gros**



**MOTEURS ELECTRIQUES**  
triphase 220/380  
ventilés  
NEUFS  
Garantie 1 an

1 CV	3000 T/m	329 F	1500 T/m	337 F
1.5 CV	3000 T/m	400 F	1500 T/m	459 F
2 CV	3000 T/m	458 F	1500 T/m	516 F
3 CV	3000 T/m	578 F	1500 T/m	666 F
4 CV	3000 T/m	742 F	1500 T/m	768 F
5.5 CV	3000 T/m	904 F	1500 T/m	968 F
7.5 CV	3000 T/m	1 178 F	1500 T/m	1 232 F

Avec inter. jusqu'à 4 CV ..... + 90 F  
Avec démarreur Et. triangle de 3 à 10 CV ..... 250 F

Moteurs mono 220 V

1 CV	3000 T/m	528 F	1500 T/m	637 F
1.5 CV	3000 T/m	617 F	1500 T/m	764 F
2 CV	3000 T/m	665 F	1500 T/m	930 F
3 CV	3000 T/m	950 F	1500 T/m	1 145 F

travers C<sub>2</sub>. Ce surcroît de tension augmente le courant collecteur de T<sub>3</sub>.

Quelle est la valeur de R et de C<sub>2</sub>? Il faut d'abord voir que R se trouve en parallèle sur la bobine mobile (à travers C<sub>2</sub>) et que sa valeur doit être assez élevée par rapport à l'impédance Z de la bobine mobile. On prend généralement pour R le dixième du nombre calculé pour R<sub>c</sub>. Si nous devons charger T<sub>3</sub> par une résistance de 5,6 kΩ, nous prendrons comme valeur de R 560 Ω, et R<sub>c</sub> sera égal à 5 040 Ω (5 600 - 560). Une résistance normalisée de 5 100 Ω (± 5 %) fera l'affaire. Quant à 560 Ω, c'est une valeur assez grande par rapport à l'impédance du haut-parleur.

Le condensateur C<sub>2</sub> se calcule comme tout condensateur de liaison. Sa réactance X<sub>c</sub> (+ 1/2π FC) devra être assez faible par rapport à R (X<sub>c</sub> ≈ R/5), et cela, pour la fréquence la plus basse à transmettre. Si nous nous contentons de 30 Hz pour celle-ci, le condensateur C<sub>2</sub> sera calculé avec la formule ci-dessus, X<sub>c</sub> devant être égal à 100 Ω environ, ce qui donne pour C<sub>2</sub> une valeur proche de 47 μF.

## Schéma complet de l'amplificateur

Un exemple de schéma complet est donné sur la figure 10. Les deux transistors de puissance sont du même type, ce sont deux NPN qui pourraient être des BC140. Mais si on souhaite par la suite augmenter la puissance de sortie, en augmentant la tension d'alimentation ou en diminuant Z de la bobine mobile, ces transistors pourront être remplacés par des

modèles plus puissants, comme le célèbre 2N3055. Le schéma général n'en sera pour autant pas modifié.

Le déphasage est réalisé par un couple PNP/NPN, comme par exemple : BC 177/ BC107, ou, pour une plus forte puissance : BC160/ BC140. On reconnaît le transistor d'attaque avec son circuit collecteur comportant les résistances de bootstrap et de charge, les deux diodes de polarisation (1N4148 ou 1N914) et le potentiomètre ajustable de 50 Ω pour le réglage de la polarisation.

Le premier étage doit faire l'objet de quelques précautions. D'abord, son transistor sera choisi parmi ceux qui ont un faible bruit : BC414 (NPN) ou BC415 (PNP). Ces derniers sont garantis pour avoir un facteur de bruit F inférieur à 3 dB. Remarquons aussi que le BC107, si son courant I<sub>c</sub> est réglé aux alentours de 0,3 mA, présente un facteur de bruit inférieur à 2 dB. D'autre part, afin d'éviter les accrochages, ce même étage comporte dans son circuit collecteur un découplage, dont la résistance est égale à environ un cinquième de la valeur de la charge et dont le condensateur a une capacité de quelques dizaines de microfarads.

Une contre-réaction est appliquée sur la totalité de l'amplificateur (R<sub>E</sub> = 100 Ω, R<sub>CR</sub> = 10 kΩ). Parfois un condensateur céramique de 50 à 200 pF est placé entre base et collecteur du transistor d'attaque ayant un f<sub>T</sub> élevé. Ce condensateur évite les accrochages.

J.-B.P.