

Initiation à la pratique de l'électronique

REALISATION D'AMPLIFICATEUR B.F. DE PETITE PUISSANCE

DANS le numéro 1678 nous avons donné un aperçu sur les amplificateurs de petite puissance à transistor. Nous en avons expliqué le fonctionnement et avons abordé les principaux problèmes, tels que la puissance de sortie de l'écrêtage.

Aujourd'hui, nous proposons plusieurs solutions à transistors, à circuit intégré ou mixte.

L'amplificateur avec un seul transistor de sortie en classe A, semble la solution la plus simple. La puissance de sortie ne peut excéder la puissance dissipée dans le transistor.

L'amplificateur intégré est la solution la meilleure car elle permet, avec le minimum de calcul et de composants, de réaliser un ampli de qualité.

Une autre solution intéressante est d'utiliser un amplificateur opérationnel suivi de deux transistors polarisés en classe B. L'ampli op fournit le gain en tension, et les transistors, la puissance de sortie. Le choix de ces transistors est principalement fait par la relation :

$$P_{c \max} = 0,4 P_{\max}$$

Enfin nous parlerons de l'emploi de la contre-réaction, technique réduisant le gain global de l'amplificateur.

Montage classe A à transistor

Notre premier exemple d'amplificateur utilise un seul transistor de sortie polarisé obligatoirement en classe A.

C'est l'amplificateur qui, à première vue paraît le plus simple et le plus facile à réussir, bien que la solution à cir-

cuit intégré, comme nous le verrons plus loin, pose encore moins de problème.

Voyons maintenant quelle est la marche à suivre pour calculer et réaliser complètement un tel amplificateur.

Cet amplificateur sortira une puissance inférieure au watt et ne demandera qu'un nombre le plus restreint possible de composants. Les principaux composants sont

l'alimentation, le haut-parleur et le transistor de sortie.

L'alimentation peut se composer par exemple de deux piles de 4,5 V en série. Le haut-parleur devra avoir une impédance assez élevée (100 Ω), sinon un transformateur d'adaptation sera inséré entre sa bobine mobile et le transistor.

Le transistor devra être capable de supporter une certaine puissance, autrement dit, sa dissipation collecteur ($P_{c \max}$) devra être suffisante. Nous laisserons de côté les gros transistors (avec boîtier TO-3) nécessitant un radiateur de refroidissement, et choisirons un modèle avec boîtier du type TO-39, comme le BC 140, transistor NPN de la série 1 A.

Rappelons les caractéristiques principales de ce transistor :

$$\begin{aligned} V_{CE \max} &= 40 \text{ V} \\ I_{C \max} &= 1 \text{ A} \\ P_{C \max} &= 0,65 \text{ W} \\ \text{Gain de courant} &= 40 \text{ à } 250 \end{aligned}$$

C'est la valeur de $P_{C \max}$ qui nous intéresse le plus, car nous essaierons de tirer le maximum de puissance. Cet amplificateur devant fonc-

tionner en classe A, il faut se rappeler que le rendement d'un tel montage ne peut être supérieur à 50 %. Concrètement, ceci veut dire que l'amplificateur ne peut fournir que la moitié de la puissance donnée par la source. Si la puissance fournie par l'alimentation est de 2 W, un watt seulement atteint le haut-parleur pour être transformé en puissance sonore, le watt restant étant dissipé dans le transistor de sortie sous forme de chaleur.

Notre transistor ne pouvant dissiper que 650 mW au maximum, le haut-parleur ne pourra donner que 650 mW et la puissance fournie par la source sera 1,3 W.

Donc, en résumé, dans un amplificateur classe A, la puissance de sortie ne peut être supérieure à la valeur de $P_{C \max}$ du transistor de sortie.

La question peut se poser d'une façon différente : dans un amplificateur classe A, supposé bien étudié, connaissant la tension d'alimentation U et l'impédance Z du haut-parleur, quelle est la puissance « utile » maximale sans distorsion ?

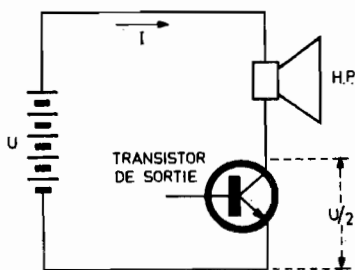


Fig. 1. — En classe A la puissance $U \times I$ fournie par la source se divise en 2 parts égales dans le transistor et dans la charge.

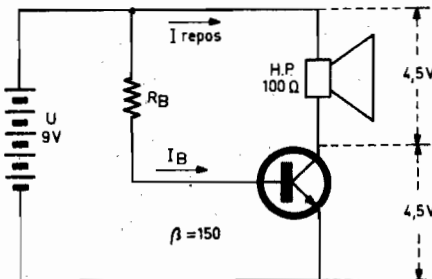


Fig. 2. — Etage de sortie classe A.

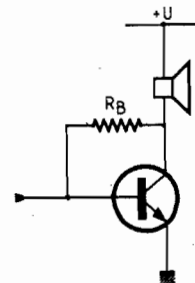


Fig. 3. — Pour une plus grande stabilité, R_B est placée entre base et collecteur.

On aura une idée de cette puissance en utilisant la formule :

$$\frac{U^2}{2Z}$$

En réalité cette formule n'est que théorique, car il faut considérer d'autres facteurs... Pour obtenir une valeur plus précise, il faut compter sur 80 % de la tension U , puis on appliquera la formule. Prenons un exemple pratique : l'alimentation est de 9 V et l'impédance de la bobine mobile est de 100 Ω , la puissance de sortie sera au maximum :

$$\frac{(9 \times 0,8)^2}{2 \times 100} = 0,2 \text{ W (fig. 1)}$$

Calcul de l'étage de sortie

Le courant de repos dans le transistor est égal à la tension aux bornes de la charge divisée par la résistance de cette charge, soit :

$$\frac{4,5 \text{ V}}{100} = 0,045 \text{ A}$$

ou 45 mA (fig. 2). Si le gain

du transistor est 150 (valeur moyenne), le courant I_B est égal à :

$$\frac{45 \text{ mA}}{150}$$

soit 300 μA , et la résistance de base sera donc égale à :

$$\frac{U - V_{BE}}{I_B}$$

c'est-à-dire à :

$$\frac{9 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{300 \times 10^{-6} \text{ A}} \approx 27 \text{ k}\Omega$$

Afin d'obtenir une plus grande stabilité de l'étage, et pour compenser l'absence de résistance dans le circuit émetteur, la résistance R_B sera placée entre base et collecteur (fig. 3). La résistance R_B n'aura plus la même valeur, elle sera égale à :

$$\frac{4,5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{300 \mu\text{A}} = 12 \text{ k}\Omega$$

Calcul de l'étage d'attaque

Pour cet étage nous utiliserons un transistor NPN standard comme le BC 107.

Cet étage n'a pas besoin de fournir une puissance, il apportera seulement un certain gain en tension.

On adoptera pour cet étage le même type de montage que précédemment : émetteur commun avec résistance R_B placée entre base et collecteur.

On sait que le gain en courant d'un transistor a une valeur maximale pour un certain courant I_C , on sait aussi que le bruit engendré par un transistor est minimal pour une valeur donnée du courant collecteur.

Pour cette deuxième raison nous choisirons une valeur de I_C égale à 1 mA.

Utilisation de la contre-réaction

La contre-réaction, ou réaction négative, est un moyen facile de réduire la distorsion tout en déterminant un gain précis de l'amplificateur.

La contre-réaction consiste à prendre une partie du signal de sortie et de l'appliquer à l'entrée du montage de telle sorte que le signal initial soit réduit. Il est indispensable que le signal ramené soit en parfaite opposition avec le signal injecté à l'amplificateur.

Pour bien comprendre ce qui se passe dans un amplificateur contre-réactionné, considérons d'abord un montage sans contre-réaction (fig. 4). Une augmentation de courant I_B se traduit par un gain de courant dans le circuit collecteur. Introduisons une résistance R_E dans le circuit émetteur, le montage est contre-réactionné (fig. 5).

Une augmentation de I_B se traduit bien par une élévation de I_E , puisqu'on peut considérer que $I_C = I_E$. Il en résulte donc une élévation de V_E tendant à réduire l'effet de I_B . Plus R_E est élevée, plus V_E sera élevée, réduisant encore plus la tension entre base et émetteur. De ceci, il faut bien se rappeler que, pour que

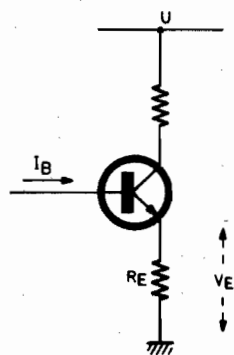
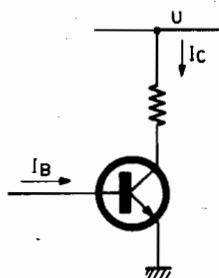


Fig. 4. — Etage sans contre-réaction. , Fig. 5. — Etage avec contre-réaction.

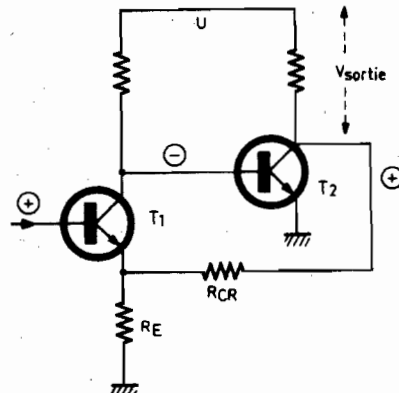


Fig. 6. — Le gain de tension est égal au rapport :

$$\frac{R_{CR}}{R_E}$$

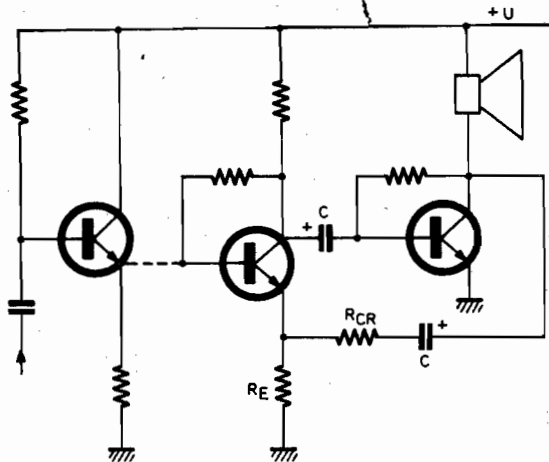


Fig. 7. - Schéma complet de l'amplificateur classe A.

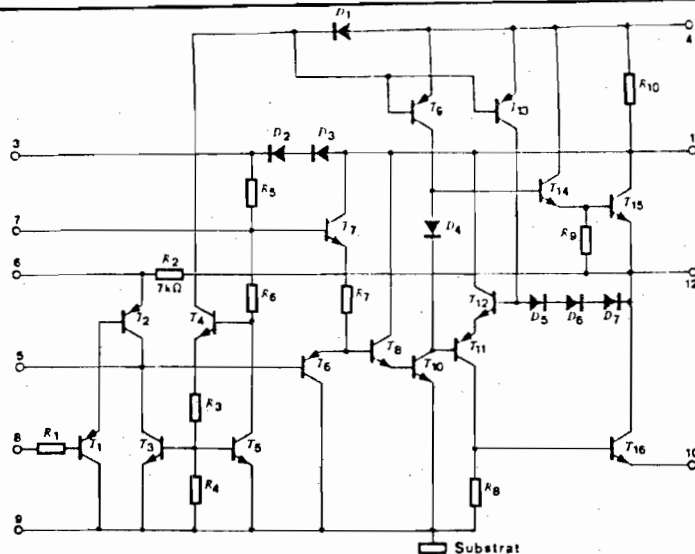


Fig. 8. - Schéma interne d'un amplificateur BF de puissance intégré (TBA 800) doc Telefunken.

l'étage soit bien contre-réactionné, l'augmentation du signal sur la base doit être compensée par une augmentation de la tension sur l'émetteur.

Passons maintenant à un amplificateur à 2 étages avec contre-réaction (fig. 6). Une partie de la tension de sortie est ramenée à l'entrée par la boucle de contre-réaction $R_{CR} - R_E$ formant un diviseur de tension. Cette tension ramenée est égale à :

$$V_{\text{Sortie}} \times \frac{R_E}{R_{CR} + R_E}$$

Nous voyons que l'ampli est bien soumis à une réaction négative : une augmentation du signal sur la base de T_1 entraîne une diminution sur le collecteur de T_1 et une augmentation de ce signal amplifié sur le collecteur de T_2 . L'élévation de tension aux bornes de R_E réduit l'effet de l'augmentation du signal à l'entrée de cet amplificateur.

Au cas où il y aurait un étage supplémentaire entre T_1 et T_2 , l'effet serait inverse, il y aurait réaction positive et l'amplificateur oscillerait.

Pour terminer ce paragraphe sur la contre-réaction, disons que celle-ci réduit le gain d'un amplificateur. Le gain de tension avec contre-réaction est égal approximativement au rapport :

$$\frac{R_{CR}}{R_E}$$

Si le gain sans boucle de contre-réaction est égal à

150, et si ensuite nous insérons une résistance R_{CR} de $1\,000\ \Omega$, la résistance R_E étant de $47\ \Omega$, le gain avec contre-réaction sera sensiblement égal à 20, et les distorsions seront considérablement réduites.

Revenons maintenant à notre schéma.

Nous avons représenté l'étage final figure 3. L'ensemble des étages d'attaque et de sortie est donné figure 7. En série avec R_{CR} se trouve un condensateur dont le but est de ne pas détruire l'équilibre des tensions continues. Sa valeur capacitive est grande pour que sa réaction soit faible par rapport à R_{CR} , pour la gamme de fréquences amplifiées.

Le calcul des composants

de l'étage d'attaque ne pose pas de problème. Le courant I_C choisi est $1\ \text{mA}$. L'insertion d'une résistance de $100\ \Omega$ dans le circuit émetteur ne modifie pas la polarisation du transistor T_1 . Et si nous souhaitons un gain total de l'ordre de 30, R_{CR} aura comme valeur $3,3\ \text{k}\Omega$. Les condensateurs C sont des $10\ \mu\text{F}/12\ \text{V}$.

Afin que l'entrée de l'amplificateur ne vienne pas amortir le circuit dont on veut amplifier le signal, il est conseillé d'ajouter un étage d'entrée en « collecteur commun » dont le but n'est pas d'amplifier la tension (son gain de tension est égal à 1) mais de disposer d'une impédance d'entrée très élevée. Celle-ci est égale au pro-

duit : résistance dans le circuit émetteur par le gain de courant du transistor. De cette façon on obtient facilement une résistance d'entrée de l'ordre du Mégohm (fig. 7). Remarquons que dans cet étage la contre-réaction est « totale ».

Amplificateur BF intégré

Une autre réalisation rapide d'amplificateur BF utilise un circuit intégré. Il en existe beaucoup sur le marché. Nous avons choisi comme modèle le TBA 810 qui se trouve dans tous les magasins de composants électroniques.

Ce circuit peut être alimenté par une tension entre 4 et 20 V. Sa puissance de sortie maximale est de 1,5 W sans radiateur si l'amplificateur fonctionne à une température ambiante inférieure à $40\ ^\circ\text{C}$. Cette puissance peut monter à 5 W si le circuit est monté sur un radiateur. Ce composant est, en effet, pourvu de petites ailettes qui peuvent être soudées sur le revêtement métallique d'un circuit imprimé (TBA 8105) ou fixé par 2 boulons si les ailettes sont perforées (TBA 810 AS).

Le montage interne est un push-pull complémentaire classe B, dont le rendement est de 78 %.

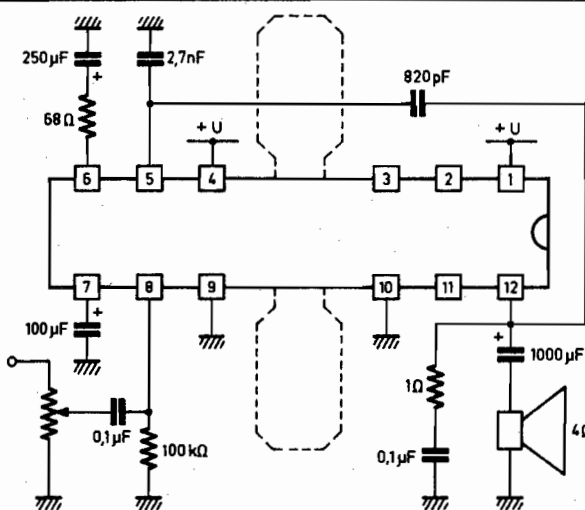


Fig. 9. - Schéma de l'amplificateur complet.

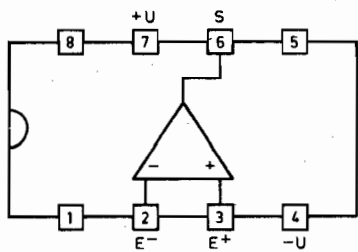


Fig. 10. - Schéma du boîtier du 741.

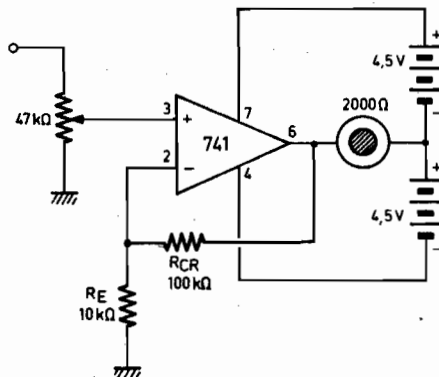


Fig. 11. - Amplificateur pour écouteur.

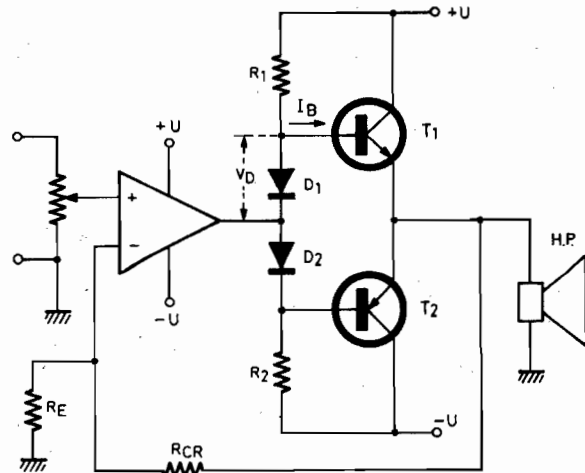


Fig. 12. - Amplificateur utilisant un ampli op muni de deux transistors.

La puissance de sortie maximale dépend de la tension d'alimentation et de l'impédance du haut-parleur. Si celle-ci est de 4Ω la puissance de sortie max est de 250 mW pour une tension d'alimentation de 4,5 V, 0,5 W pour 6 V, 1,25 W pour 9 V.

Les autres caractéristiques intéressantes sont l'impédance d'entrée ($5 M\Omega$) et la bande passante qui va de 40 Hz à 20 000 Hz, pour une distorsion de 0,3 %. Cet amplificateur peut être qualifié de « haute fidélité ».

Montage pratique

Nous donnons sur la figure 8 le schéma interne d'un amplificateur BF intégré (TBA 800). On reconnaît aisément les circuits de base constituant un amplificateur BF classique.

Le préamplificateur, montage Darlington (T_1, T_2), a son entrée sur la broche 8. La résistance R_E dont nous avons parlé à propos de la contre-réaction doit être câblée extérieurement entre la broche 6 et la masse à travers un condensateur. La résistance R_{CR} de la boucle de contre-réaction n'est autre que la résistance R_2 du schéma (7 k Ω pour le TBA 800, 4 k Ω pour les TBA 810 et TCA 830). Une autre résistance devra être

connectée entre la broche 8 et la masse afin que la base de T_1 ne soit pas « en l'air » en continu. Les broches 9 et 10 sont connectées à la masse (moins zéro volt). La sortie de l'ampli se trouve sur la broche 12. L'alimentation du circuit intégré se fait par la broche 4.

Le schéma de branchement (vue du dessus) du circuit intégré, valable aussi bien pour le TBA 810 que pour le TBA 800 et le TCA 810, est donné sur la figure 9, ainsi que les composants extérieurs, constituant un amplificateur BF complet.

Il est vivement conseillé de n'appliquer la tension sur le montage qu'une fois placés le circuit intégré et les composants extérieurs.

On voit que le câblage est très simplifié, seuls les condensateurs (trop encombrants) n'ont pas été intégrés, de même que les résistances câblées sur la broche 6 dont le rôle est de fixer le gain de tension total de l'amplificateur.

Le condensateur branché entre les broches 5 et 12 détermine la fréquence max de la bande passante. Cette dernière est garantie de 40 à 20 000 Hz pour $C = 820$ pF, ou de 40 à 10 000 Hz avec $C = 1 500$ pF.

Entre la broche 7 et la masse un condensateur peut éventuellement être connecté pour éliminer des ronflements parasites.

Emploi d'un amplificateur opérationnel

Une autre technique consiste à utiliser un amplificateur opérationnel suivi d'une paire de transistors.

L'amplificateur opérationnel intégré est également d'un emploi facile. Ses deux entrées permettent d'appliquer sans ambiguïté une contre-réaction, déterminant de ce fait le gain de l'amplificateur (fig. 10).

Le schéma de la figure 11 indique le montage d'un ampli opérationnel (741) utilisé en amplificateur BF pour écouteur de 2 000 Ω .

Le gain total est égal au rapport :

$$\frac{R_{CR}}{R_E}$$

soit 10 dans notre exemple. L'alimentation est composée par deux sources.

La figure 12 donne un exemple d'un schéma d'un amplificateur de petite puissance utilisant une paire de transistors complémentaires T_1, T_2 précédée d'un ampli op.

Choix des transistors de sortie

Il est nécessaire que les transistors de sortie soient bien appariés.

Si T_1 est un BC 140 (NPN), le transistor équivalent en PNP est le BC 160.

En ce qui concerne la puissance maximale (P_{max}) que

l'on peut sortir de l'ampli et de son rapport avec la puissance P_{Cmax} du transistor, il faut savoir que le rendement d'un étage classe B est de 78 % on démontre que :

$$P_{Cmax} = 0,4 P_{max}$$

Ceci signifie que si on souhaite 10 W en sortie d'un push-pull classe B, on a $P_{Cmax} = 4$ W, soit 2 W par transistor.

Autrement dit on peut sortir d'un push-pull une puissance égale à 5 fois la puissance max dissipée dans un seul transistor.

Les transistors BC 140 et BC 160 ont un P_{Cmax} de 0,65 W, la puissance de sortie peut monter jusqu'à $0,65 \times 5$ soit 3,25 W sans dommage, ce qui est déjà une puissance BF appréciable.

Nous avons vu dans l'article précédent l'utilité des diodes D_1 et D_2 (1N 4148 ou 1N 914). Les résistances R_1 et R_2 dépendent du courant demandé en sortie et du gain des transistors T_1 et T_2 . Si le courant I_B est de 100 μA , le courant traversant R_1 ou R_2 sera au moins 10 fois plus élevé, soit 1 milliampère. La résistance est égale à :

$$\frac{U - V_D}{1 \text{ mA}}$$

Si $U = 9$ V et $V_D = 0,7$ V, cela donne $R_1 = R_2 \approx 8,2$ k Ω .

Nous espérons que ces conseils donnés dans ces deux articles vous auront aidé à réaliser un amplificateur BF, rapidement et sans ennui.

J. B. P.