

LES AMPLIFICATEURS B.F. de petite puissance

BEAUCOUP d'électroniciens débutants se trouvent embarrassés lorsqu'ils veulent réaliser un amplificateur de puissance, même si une faible puissance leur est nécessaire.

Le but de l'article de ce mois est de leur expliquer comment fonctionne un amplificateur de puissance « push-pull » afin de les aider pour la réalisation d'un amplificateur BF de petite puissance.

Nous commencerons par parler des classes de polarisation, puis nous rappellerons ce que sont les montages fondamentaux d'un transistor.

Nous passerons ensuite à la pratique en indiquant la façon de régler et de contrôler la polarisation d'un étage, afin d'éviter les écrêtages. Nous verrons comment fonctionne un push-pull et comment reconnaître les différents types : parallèle, série, symétrie complémentaire et quasi complémentaire. Enfin nous examinerons quelques détails d'un amplificateur type.

Par la suite, nous passerons à la réalisation d'amplificateurs à transistor et intégrés.

larisation du transistor (potentiomètre P de la figure 1).

Un signal alternatif v étant appliqué à l'entrée de l'étage, on retrouve en sortie cette tension amplifiée variant de part et d'autre de la tension V_0 (voir figure 7 représentant ce signal sur l'écran d'un oscilloscope).

Pour des raisons que l'on comprend (écrêtage), si la tension de sortie doit avoir une amplitude assez grande, la tension V_0 doit être approximativement égale à $U/2$.

La classe B est celle des amplificateurs de puissance push-pull. Elle se caractérise par le fait qu'en l'absence de signal à l'entrée, le courant

collecteur est pratiquement nul. La valeur de la tension V_0 est donc proche de celle de la tension d'alimentation.

La tension de polarisation est réglée pour un courant I_b proche de zéro.

Les montages fondamentaux

On sait que les trois montages fondamentaux d'un transistor sont les montages base commune, émetteur commun et collecteur commun.

Aujourd'hui, nous nous occuperons des deux derniers car il est nécessaire de pouvoir les reconnaître dans un schéma afin de bien com-

Classe A Classe B

La « classe » d'un amplificateur définit sa polarisation.

La classe A est la plus courante pour les amplificateurs de tension. La tension V_0 de sortie de l'amplificateur est toujours présente, même s'il n'y a aucun signal à l'entrée. Cette tension V_0 , mesurée au voltmètre ou avec un oscilloscope, se règle en jouant sur la valeur de la po-

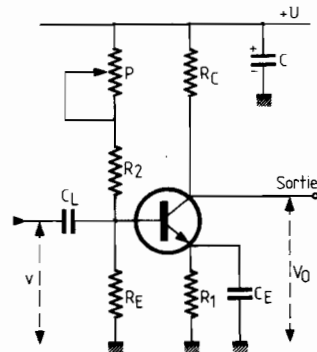


Fig. 2. — Schéma théorique du montage émetteur commun.

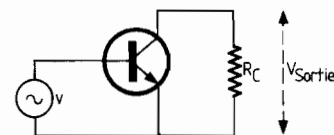


Fig. 1. — Montage émetteur commun. Le signal est appliqué entre base et émetteur.

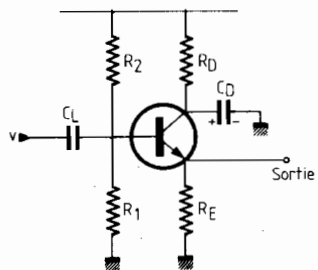


Fig. 3. — Montage collecteur commun. La résistance R_E n'est pas découplée.

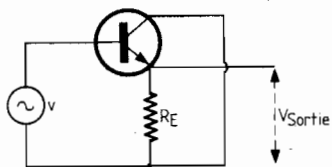


Fig. 4. — Schéma théorique du montage collecteur commun. La résistance R_E est commune aux circuits d'entrée et de sortie.

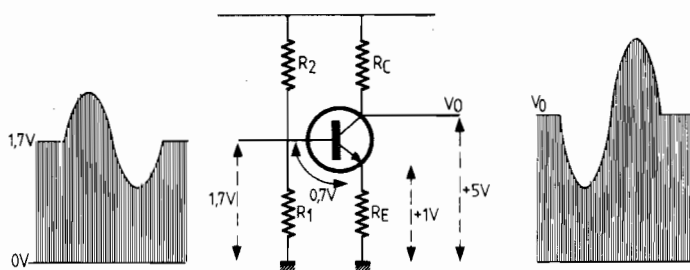


Fig. 5. — Transistor polarisé en classe A. La tension en sortie est proche de $U/2$.

prendre le fonctionnement des étages d'un ampli BF de puissance.

Prenons d'abord le montage le plus classique : l'émetteur commun, représenté sur la figure 1. On reconnaît aisément le circuit avec, en plus, le condensateur C de découplage de l'alimentation, et le condensateur C_L de liaison. Une tension basse fréquence v est appliquée à l'entrée. La fréquence du signal est telle que ces condensateurs ont une réactance négligeable et sont équivalents à des courts-circuits pour la gamme de fréquence considérée. Cette dernière remarque permet de simplifier le montage pour plus de compréhension. Pour cela, on retire les circuits d'alimentation et de polarisation, de même que les composants courts-circuités par la réactance des condensateurs. On arrive au schéma théorique (fig. 2) d'où on tire la conclusion suivante.

Dans un montage émetteur commun, le signal d'entrée v est appliqué entre base et émetteur, et le signal de sortie se trouve entre collecteur et émetteur.

Passons au montage collecteur commun (fig. 3) représenté ici avec une cellule de découplage $R_D C_D$. La différence fondamentale par rapport au montage précédent réside dans le fait que la résistance de charge se trouve dans le circuit émetteur.

En simplifiant à l'extrême le circuit, on obtient le circuit de base (fig. 4). Le signal d'entrée v n'est plus appliqué entre base et émetteur, et la résistance de charge R_E est commune aux circuits d'entrée et de sortie. On dit qu'il y a contre-réaction. La tension de sortie est inférieure à celle de l'entrée. L'impédance du circuit d'entrée est très élevée, ce qui fait que le montage collecteur commun est utilisé comme adaptateur d'impédance.

Le premier schéma

Le schéma le plus simple comporte une charge directement connectée dans le circuit collecteur du transistor qui fonctionne en classe A. La charge peut évidemment

être un haut-parleur de haute impédance ou bien encore un écouteur.

Au repos, la tension par rapport au potentiel masse est $+1,7\text{ V}$ sur la base et $+5\text{ V}$ sur le collecteur. Un signal appliqué sur la base se retrouve amplifié en sortie, comme le montre le dessin (fig. 5). Plus ce signal sera élevé, plus la puissance sonore sera grande.

On est toutefois limité par la tension d'alimentation et la tension émetteur.

En augmentant inconsidérément le signal d'entrée, il y a écrêtage en sortie. Un bon moyen de se rendre compte du phénomène est de brancher un oscilloscope entre collecteur et masse (fig. 6 et 7).

L'oscilloscope est réglé sur la sensibilité 1 V/division , l'entrée étant sur la position « continu » ou « DC ». D'abord, sans signal à l'entrée, on mesure les tensions sur les points suivants : alimentation ($+9\text{ V}$), tension collecteur (c'est la tension de repos qui est de $+5\text{ V}$ dans notre exemple), tension émetteur ($+1\text{ V}$). On injecte ensuite un signal provenant

d'un générateur BF, le balayage de l'oscilloscope étant correctement réglé, on peut voir sur l'écran le signal de sortie (a) de part et d'autre du point de repos de $+5\text{ V}$.

La limite sans distorsion est atteinte lorsque la crête positive atteint la valeur de la tension d'alimentation de $+9\text{ V}$.

Quant à la crête négative, sa limite est celle de la tension émetteur ($+1\text{ V}$).

Au-delà le signal est tronqué, il y a distorsion. Le signal maximal utilisable est de 8 V crête à crête, soit en valeur efficace :

$$\frac{8}{2} \times 0,707 = 2,8\text{ volts}$$

La puissance dans la charge est : $P = V_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}$, ou (puisque $I_{\text{eff}} = V_{\text{eff}}/R_c$)

$$P = \frac{(V_{\text{eff}})^2}{R_c}$$

Si la charge R_c est un écouteur de $2\,000\ \Omega$, la puissance dans cet écouteur est de

$$P = \frac{(2,8)^2}{2\,000\ \Omega}$$

soit $3,9\text{ milliwatts}$, ce qui est bien faible.

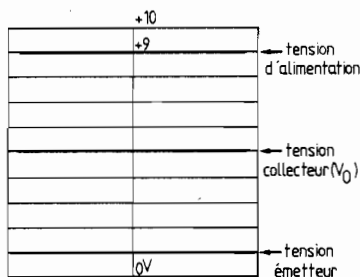


Fig. 6. — Mesure des tensions continues à l'aide d'un oscilloscope.

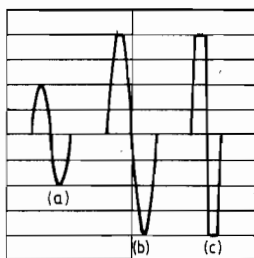


Fig. 7. — L'oscilloscope permet de contrôler l'écrêtage en sortie.

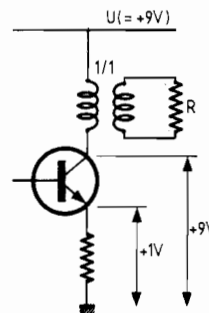


Fig. 8. — L'utilisation d'un transformateur permet d'augmenter la puissance de sortie.

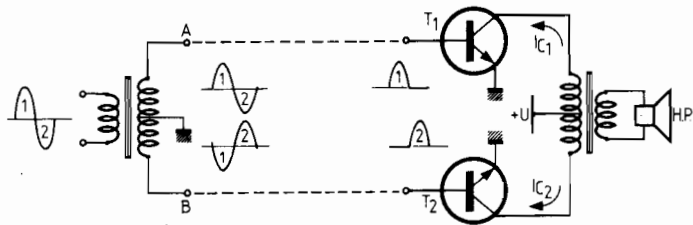


Fig. 9. - Schéma de base du push-pull.

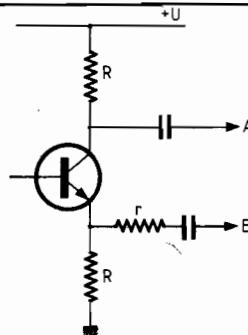


Fig. 10. - Déphaseur à transistor.

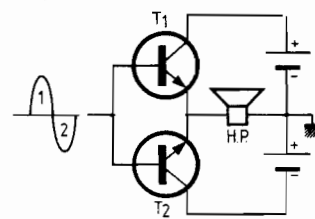


Fig. 11. - Push-pull série.

En augmentant la tension d'alimentation ou en utilisant un transformateur, comme nous allons le voir, la puissance peut être très augmentée.

Dans l'exemple précédent la valeur de la charge était imposée. Si elle ne l'est pas, quelle est la valeur optimale à utiliser ? La charge est égale au rapport :

$$V_{cc \text{ max sans distorsion}}$$

$$I_{cc \text{ max sans distorsion}}$$

La tension maximale crête à crête ($V_{cc \text{ max}}$) est dans notre exemple égale à 8 V. Le courant correspondant ($I_{cc \text{ max}}$) est égal au $I_c \text{ max}$ donné par le constructeur. Avec un BC 140 ($I_c \text{ max} = 1 \text{ A}$), la valeur optimale dans la charge est, d'après la formule, $V_{eff} \times I_{eff} = 2,8 \text{ V} \times 0,35 \text{ A} = 0,98 \text{ W}$.

La puissance de sortie est augmentée par l'emploi d'un transformateur de couplage entre le transistor et la résistance de charge. Ce transformateur est de rapport 1/1 et on suppose que sa résistance ohmique est négligeable.

La tension au repos (sur le collecteur) est égale à la ten-

sion d'alimentation U, puisqu'il n'y a pas de chute de tension dans l'enroulement du primaire du transformateur. La tension efficace correspondant au maximum sans distorsion est : tension au repos moins tension émetteur, soit $10 \text{ V} - 1 \text{ V} = 9 \text{ V}$. Quant à la puissance, elle est de

$$\frac{(9)^2}{2 \cdot 000} = 40 \text{ mW}$$

Ainsi la puissance de sortie est considérablement augmentée par l'utilisation d'un transformateur (fig. 8).

Autre avantage du transformateur : la résistance R d'utilisation peut être modifiée, la charge du transistor reste la même si le rapport de transformation du transformateur est également modifié en conséquence.

Le push-pull

Avec les semiconducteurs, la technique actuelle pour sortir une puissance B.F. est le « push-pull », technique qui consiste à utiliser deux transistors, chacun amplifiant une alternance (classe B).

Le push-pull dit « paral-

lèle » nécessite l'emploi d'un déphaseur qui peut être un transformateur (fig. 9) ou un transistor (fig. 10).

Si on considère sur le primaire du transformateur d'entrée une période du signal avec ses alternances positive (1) et négative (2), le secondaire nous donne entre chaque extrémité (A, B) et la masse, deux signaux en opposition de phase.

Le point A du secondaire est connecté à la base d'un transistor NPN (T_1) qui amplifie l'alternance 1, tandis que l'alternance 2 est amplifiée par le transistor T_2 , également NPN.

Les deux transistors fonctionnent alternativement et on retrouve sur les collecteurs les deux alternances, chacune ayant comme amplitude max. une valeur sensiblement égale à U.

Nous n'avons représenté sur la base qu'une seule alternance positive, seule cette alternance est amplifiée par le transistor, la partie négative bloquant ces NPN.

Le transformateur de sortie permet d'adapter la charge, tout comme le montage de la figure 9.

Quant au transformateur déphaseur, dit « d'attaque », ou encore appelé « driver », il peut être remplacé par un transistor ayant des charges égales dans les circuits émetteur et collecteur. Une résistance « r » est placée côté émetteur, afin de compenser la faible impédance de sortie du transistor côté émetteur.

Ce transistor déphaseur ou ce transformateur driver peut être supprimé si on choisit la technique « push-pull série » ou « symétrie complémentaire » faisant appel à des transistors de caractéristiques identiques, mais de structure opposée, autrement dit à une paire NPN/PNP (fig. 11).

On remarque que la charge se trouve entre émetteur et masse. L'alternance positive du signal à l'entrée bloque le transistor T_2 , mais est amplifiée par T_1 . C'est le contraire qui se passe pour l'alternance négative 2, elle est amplifiée par T_2 et bloque T_1 .

Ce circuit est d'une grande simplicité par rapport au push-pull parallèle ; en revanche il nécessite une alimentation spéciale et des transis-

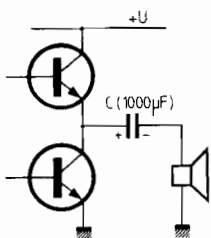


Fig. 12. - Push-pull série quasi-complémentaire.

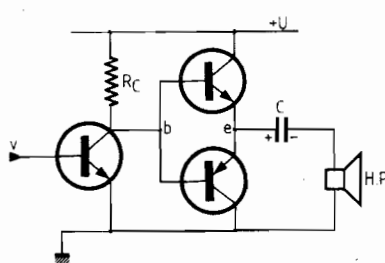


Fig. 13. - Les transistors de sortie fonctionnent en collecteur commun.

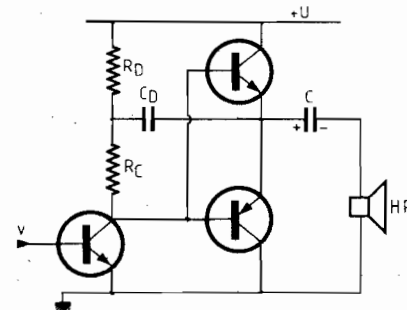


Fig. 14. - Les transistors de sortie fonctionnent en émetteur commun.

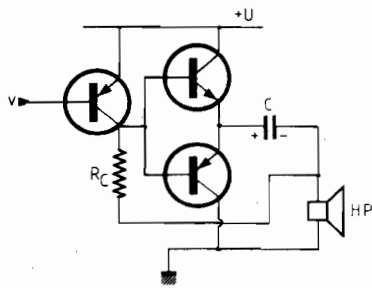


Fig. 15. — Variante du montage de la figure 14.

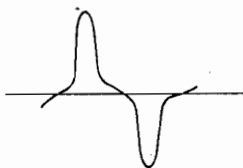


Fig. 17. — Distorsion de croisement « Cross over ».

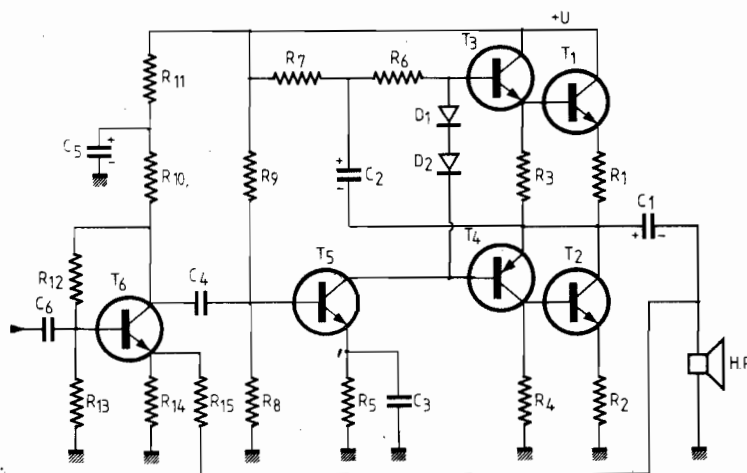


Fig. 16. — Exemple de schéma complet.

tors NPN et PNP de caractéristiques semblables.

Ces inconvénients amènent à une variante, également « push-pull série », mais « quasi complémentaire », « quasi » parce que les deux transistors sont du même type (soit PNP, soit NPN).

L'alimentation spéciale peut être remplacée par une alimentation ordinaire, si on place en série avec le haut-parleur un condensateur électrolytique de forte valeur, généralement supérieure à 1 000 μ F. Ce condensateur se charge et reste chargé à une tension égale à $U/2$ (fig. 12).

Etage d'attaque

Ce montage « quasi complémentaire », avec ses deux transistors de sortie, a quand même besoin pour le déphasage d'une paire PNP/NPN faisant également office d'étage d'attaque.

Avant de passer à un schéma plus élaboré, faisons un retour au montage push-pull complémentaire afin de voir comment s'effectue l'attaque des deux transistors PNP/NPN. Le premier schéma qui vient à l'esprit est celui de la figure 13.

On se rappelle que les deux transistors de sortie

doivent fonctionner en classe A, et que pour cela, ils doivent être attaqués entre base et émetteur (soit entre les points b et e). Ceci n'est pas le cas pour ce schéma dans lequel les transistors de puissance se trouvent branchés en collecteur commun.

L'adjonction d'une cellule de découplage (fig. 14) permet d'arriver à nos fins. La charge du transistor est R_c , R_D a une valeur faible et C_D a une réactance négligeable aux fréquences BF amplifiées.

De nombreux autres schémas sont possibles. Nous en donnons un autre comme exemple, dans lequel l'étage d'attaque est un PNP. La tension aux bornes de la résistance de charge R_c du driver est bien appliquée entre base et émetteur de l'étage final à travers le condensateur C. L'alimentation en continu de l'étage se fait à travers la bobine mobile du haut-parleur.

Schéma complet

Un schéma plus complet est donné sur la figure 16. On remarque qu'il s'agit d'un amplificateur push-pull série quasi complémentaire, avec deux transistors NPN polarisés en classe B. Les résistances R_1 et R_2 du circuit émetteur (de l'ordre de l'ohm) limitent le courant dans ces

transistors de sortie. Une paire PNP/NPN, également polarisée en classe B précède l'étage de sortie. Les deux diodes D_1 et D_2 règlent la polarisation des transistors T_1 à T_4 . Une résistance ajustable est souvent placée en série avec ces diodes, elle sert à régler le courant de repos (très faible) de l'étage de sortie. De cette manière on réduit la distorsion de croisement (en anglais « cross over ») due au fait que les alternances positives et négatives sont amplifiées par des voies différentes (fig. 17).

On voit que les diodes sont traversées par le courant collecteur du transistor T_5 polarisé en classe A. La charge de celui-ci est la résistance R_6 , tandis que R_7 et C_2 constituent une cellule de découplage dont nous avons déjà vu l'utilité. A part ce point particulier, les circuits de T_5 et T_6 sont classiques. Néanmoins, l'amplificateur d'entrée devra être équipé d'un transistor « faible bruit » (comme le BC 424).

L'ensemble R_{14} , R_{15} forme une boucle de contre-réaction utilisée pour réduire les inévitables distorsions dues au push-pull et obtenir également un gain constant en fonction de la fréquence.

Le rapport R_{15}/R_{14} fixe le gain total de l'amplificateur.

Puissance de sortie

La tension d'alimentation U et l'impédance du haut-parleur déterminent la puissance de sortie de l'amplificateur.

En prenant comme exemple une tension d'alimentation de 18 V et une impédance de bobine mobile du haut-parleur de 8 Ω , quelle est la puissance maximale disponible en sortie, sans distorsion ?

Celle-ci est donnée par la formule :

$$\frac{E^2_{eff}}{R}$$

La tension crête à crête de sortie ne peut dépasser les 18 V de l'alimentation.

Afin d'être sûr de ne pas avoir d'écroulement et en tenant compte des résistances dans les émetteurs des transistors de sortie, nous nous fixons la valeur maximale de 15 V crête à crête, ce qui correspond à une tension efficace de 5,25 V. La valeur de R étant de 8 Ω , la formule nous indique que nous pouvons compter sur une puissance de l'ordre de 3,5 watts.

J.-B. P.