

AMPLIFICATEUR PUSH-PULL

OBJECTIF :

Dans ce TP nous allons étudier un amplificateur de puissance basse fréquence à transistors bipolaires polarisés en classe B et en classe AB. Ce type d'amplificateur permet de fournir la puissance nécessaire pour faire fonctionner une charge telle qu'un haut-parleur par exemple. On le retrouve également sous forme intégrée dans l'étage de sortie des amplificateurs opérationnels.

Nous nous intéresserons particulièrement à l'efficacité d'un tel montage (rendement) ainsi qu'aux améliorations à apporter à la structure de base pour diminuer la distorsion du signal de sortie.

PARTIE THÉORIQUE

I.1 Classes de polarisation d'un transistor

I.1.1 *Classe A*

Le transistor fonctionne toujours dans la « zone active ». Le point de repos idéal est situé au milieu de la droite de charge. Pour un transistor bipolaire, lors de l'amplification d'un « petit signal », le point de fonctionnement ne doit pas atteindre les zones de blocage ou de saturation du transistor.

En l'absence de signal à amplifier, le montage consomme une puissance liée au courant de polarisation. De plus lorsque le signal utile augmente on montre que le rendement maximum ne peut pas dépasser 25%.

Les montages fondamentaux émetteur commun, collecteur commun, base commune appartiennent à cette catégorie. Leurs usages sont limités aux amplificateurs de faible puissance.

I.1.2 *Classe B*

Un transistor appartenant à un amplificateur de classe B est polarisé de manière à être bloqué au repos. Le montage est constitué de deux transistors complémentaires NPN et PNP. Chaque transistor est polarisé à la limite de la zone de blocage. Lors de l'amplification d'un signal sinusoïdal, l'un des transistors amplifie les alternances positives et l'autre les alternances négatives. Chaque transistor est conducteur pendant quasiment une demi-période.

L'étage Push-Pull (Figure 1) appartient à cette catégorie.

I.1.3 *Classe AB et Classe C*

Classe AB :

La classe AB est une variante de la classe B. Pour améliorer la linéarité et atténuer la distorsion de croisement du signal de sortie, on modifie le montage classe B (voir plus loin la

Figure 4) afin de polariser légèrement les 2 transistors au repos. Chaque transistor conduira alors un peu plus qu'une demi-période.

Classe C :

Chaque transistor conduit pendant un laps de temps inférieur à la demi- période du signal de commande.

I.2 Montage Push-Pull

Le schéma de principe pour le montage de classe B est le suivant :

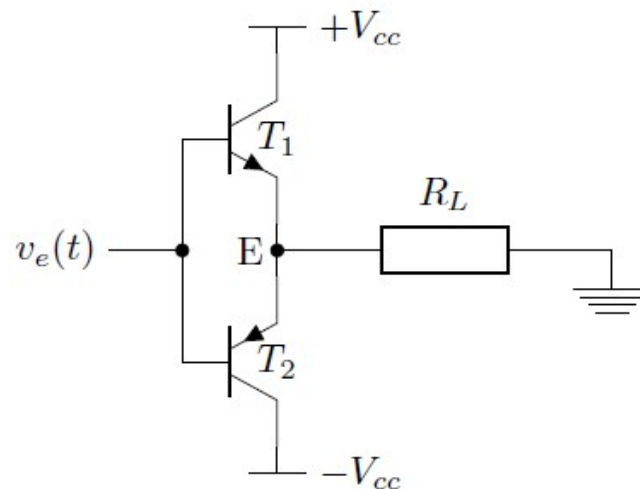


Figure 1 : Schéma de principe d'un amplificateur Push-Pull

On notera V_{BEsat} la tension de coude des jonctions base-émetteur ; de l'ordre de $+0,6V$ pour le transistor NPN et de l'ordre de $-0,6V$ pour le transistor PNP.

Il est constitué d'un transistor T_1 de type NPN et d'un transistor T_2 de type PNP ayant des gains en courant β proches. Suivant le signe des alternances d'un signal d'entrée sinusoïdal, l'un des transistors fonctionne en mode actif (amplification linéaire) et l'autre est bloqué donc équivalent à un interrupteur ouvert.

Considérons un signal d'entrée sinusoïdal $v_e(t)$.

Pour les alternances positives :

$v_{be1} = V_{BE1sat} \approx 0,6 V$ alors que $v_{be2} \geq V_{BE2sat} \approx -0,6 V$, donc T_1 est passant et T_2 est bloqué.

Selon l'amplitude de v_e , pour les valeurs fortement positives, T_1 peut saturer ; dans ce cas on a $v_{ce1} \approx V_{CEsat}$.

Pour les alternances négatives :

$v_{be2} = V_{BE2sat} \approx -0,6 V$ alors que $v_{be1} \leq V_{BE1sat} \approx 0,6 V$, donc T_2 est passant et T_1 est bloqué.

Selon l'amplitude de v_e , pour les valeurs fortement négatives, T_2 peut lui aussi saturer à V_{CEsat} .

On obtient alors la caractéristique de transfert $v_s(v_e)$ de la figure 2.

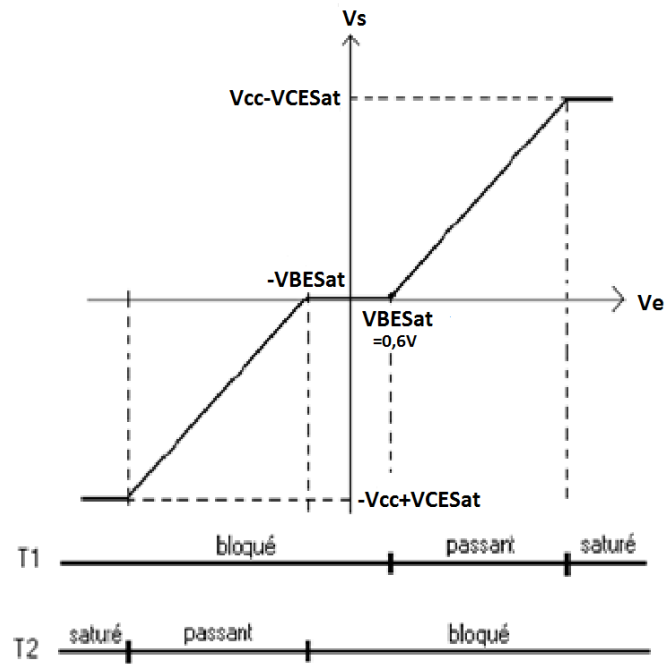


Figure 2 : Caractéristique de transfert d'un ampli Push-Pull classe B

On observe une non-linéarité de la caractéristique autour de l'origine qui correspond au blocage des deux transistors simultanément. La conséquence est une distorsion du signal de sortie appelée distorsion de croisement (figure 3).

Remarque : Généralement $v_e(t)$ ne dépasse pas les tensions d'alimentation ($\pm V_{cc}$).

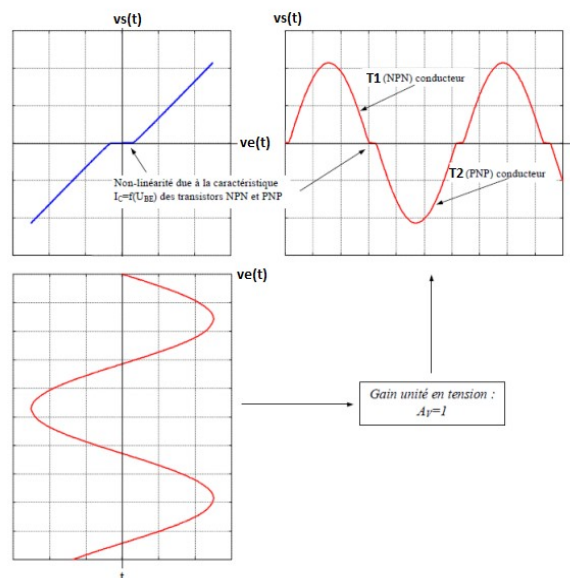


Figure 3 : Distorsion de croisement sur le signal de sortie

I.3 Amélioration du montage Push-Pull

Pour améliorer la linéarité du montage, on propose 2 solutions :

- Polariser les transistors en classe AB avec des diodes
- Utiliser un AOP en contre-réaction.

I.3.1 Classe AB : Polarisation par des diodes

Une solution pour supprimer la distorsion de croisement est d'utiliser le circuit de la figure 4. De façon à améliorer la linéarité du montage, on polarise les transistors en classe AB, c'est-à-dire que les transistors seront légèrement passants même lorsque $v_e(t) = 0$.

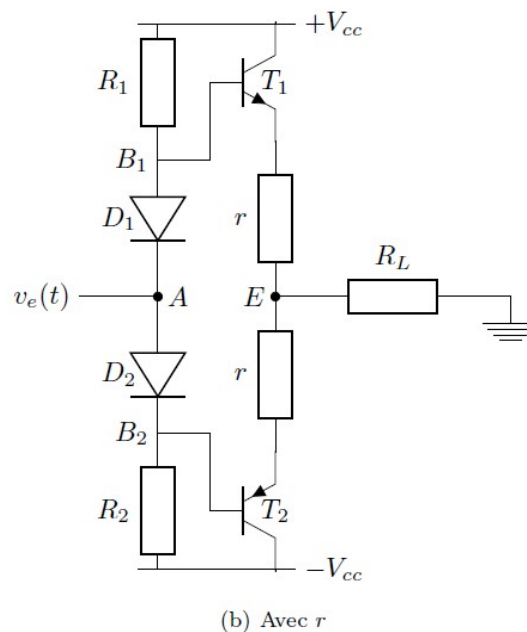


Figure 4 : Diminution de la distorsion par des diodes

Principe :

Les 2 diodes sont toujours polarisées en direct et voient donc chacune à leurs bornes $V_{\text{BESat}} \approx 0,6\text{V}$, ce qui compense le V_{BESat} des transistors à l'origine de la distorsion de croisement. On se rapproche alors d'une caractéristique de transfert linéaire.

Remarque : Dans le cas où ce circuit est utilisé comme étage de sortie d'un amplificateur opérationnel, on comprend les limitations de la tension de sortie $v_s(t)$ à $\pm V_{\text{sat}}$ légèrement inférieures aux tensions d'alimentation i.e. dans le meilleur des cas à $\pm (V_{\text{cc}} - V_{\text{BESat}})$.

Ce montage est bien un amplificateur de courant. Le gain en tension est unitaire ($v_s = v_e$) mais le courant de sortie est amplifié : $i_s = \beta i_e$. Le courant dans la charge peut donc être beaucoup plus important que celui fourni en entrée.

I.3.2 Correction par contre-réaction

On peut aussi utiliser un amplificateur opérationnel (AOP) pour limiter les problèmes de distorsion.

Le montage est le suivant :

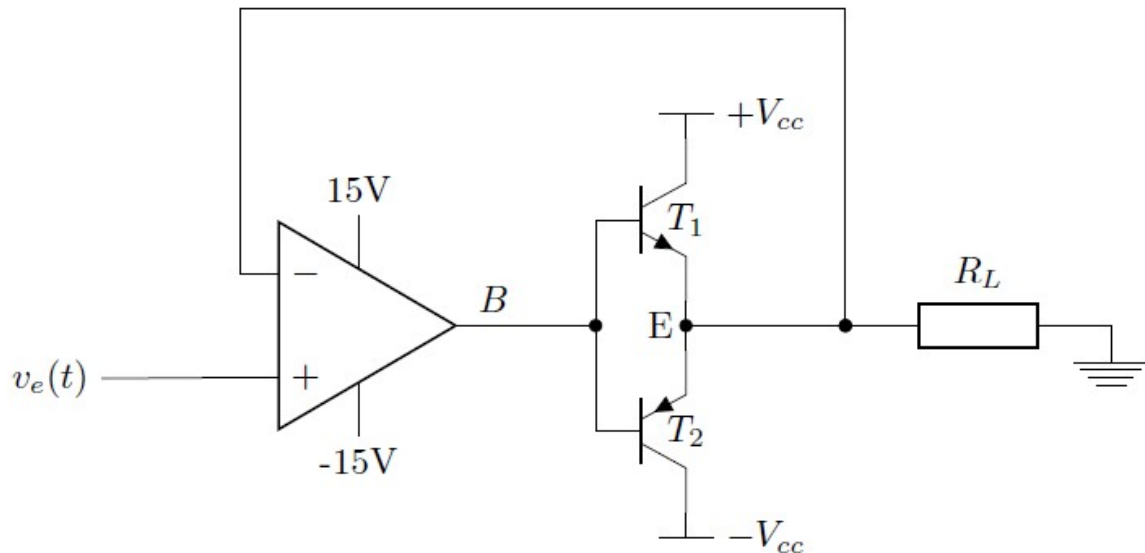


Figure 5 : Diminution de la distorsion par un AOP

Pour que le transistor T_1 se mette à conduire, il est nécessaire que :

$$v_B(t) \geq V_{BE1Sat}$$

Soit A_0 le gain en boucle ouverte de l'AOP, on a :

$$v_B(t) = A_0 \varepsilon(t) = A_0 [v_+(t) - v_-(t)] = A_0 [v_e(t) - v_s(t)]$$

Donc en considérant que $A_0 \gg 1$, on obtient à la limite de conduction de T_1 :

$$v_e(t) - v_s(t) \geq V_{BE1Sat}/A_0.$$

La tension de seuil est donc ramenée à une tension d'autant plus faible et proche de zéro que le gain en boucle ouverte de l'AOP est élevé.

II PARTIE PRATIQUE

L'amplificateur étudié est alimenté sous $\pm 10\text{ V}$ et chargé par une résistance de puissance $R_L = 8\ \Omega$. Cette résistance est dans un boîtier TO220 monté sur radiateur pour supporter une puissance approximative de 10 W (fonction de la température ambiante).

Les transistors sont des transistors de puissance également – TIP41 pour le NPN et TIP42 pour le PNP – montés sur des radiateurs pour dissiper la chaleur et assurer le bon fonctionnement de l'amplificateur.



Précautions à prendre pour éviter la destruction de l'amplificateur :

- **Respecter la position des cavaliers spécifiée dans le tableau fourni avec le schéma le schéma de la maquette (appeler un enseignant en cas de doute)**
- **Régler la limitation en courant délivré par les alimentations à 1,5 A.**

II.1 Nécessité d'un amplificateur de puissance

Régler le GBF : tension sinusoïdale de fréquence 1 kHz et d'amplitude 5 V crête-à-crête. Visualiser ce signal à l'oscilloscope.

Brancher la sortie du GBF sur la charge $R = 8\ \Omega$ et observer l'effet de la charge sur le signal de sortie du GBF.

A partir des résultats de mesures, retrouver la valeur de la résistance interne du générateur en précisant le schéma équivalent utilisé.

Conclure sur l'intérêt d'utiliser un amplificateur de puissance dont on précisera le gain en tension, les impédances d'entrée et de sortie dans le cas idéal.

II.2 Push-Pull classe B

Câbler le circuit de la figure 1 (voir l'annexe pour l'emplacement des cavaliers).

- Chronogrammes et visualisation de la distorsion de croisement

Pour une sinusoïde de fréquence 1 kHz et une amplitude de 5 V crête-à-crête, observer la tension aux bornes de la charge. Mesurer l'amplitude maximale du signal et comparer à la question II.1.

Relever sur un même oscillogramme les tensions d'entrée et de sortie.

Visualiser la caractéristique de transfert $v_s(v_e)$ à l'oscilloscope.

Relever l'allure de la courbe observée en précisant l'état de chaque transistor (passant, bloqué) pour les différentes zones (*la saturation ne peut pas être atteinte dans ces conditions ; à voir avec l'enseignant pour la mettre en évidence*).

En déduire les tensions V_{BEsat} des deux transistors ainsi que le gain dans la zone de fonctionnement linéaire.

La sortie BNC « Mesure courant » permet de visualiser le courant collecteur IC1 de T1 à l'aide de capteur de gain 1 A/V .

Visualiser ce courant à l'oscilloscope, commentez l'allure (amplitude et temps de conduction).

- Mesure du taux de distorsion (optionnel)

Donner la définition du taux de distorsion.

Mesurer le taux de distorsion (optionnel) : soit avec l'oscillo (mode FFT) soit directement avec un distorsiomètre (*à voir avec l'enseignant*).

- Mesure du rendement

On va mesurer le rendement maximal en appliquant une tension d'entrée de fréquence 1 kHz et d'amplitude 20 V crête à crête.

Insérer un ampèremètre à la place du cavalier J4 pour mesurer le courant IC2 du transistor T2. Mesurer la tension efficace aux bornes de la charge.

En déduire :

- La puissance fournie par les alimentations en expliquant le mode à choisir pour l'ampèremètre.
- La puissance dans la charge
- Le rendement

Remarque : Un calcul théorique montre que le rendement maximal d'un montage classe B idéal est de $\pi/4$ (voir poly de cours).

Utiliser une boîte à décades pour mesurer l'impédance d'entrée Ze. Expliquer le protocole et commenter la valeur.

II.3 Push-Pull avec contre-réaction

Câbler le montage de la figure 5 (voir l'annexe pour l'emplacement des cavaliers).

Pour une sinusoïde de fréquence 1 kHz et une amplitude de 5 V crête-à-crête, observer et relever sur des oscillogrammes :

- Les tensions d'entrée et de sortie et la caractéristique de transfert
- La tension $v_B(t)$ sur les bases des transistors (VB ou VA sur la maquette)
- Le courant IC1.

Mesurer la tension maximale en sortie avant saturation de l'AOP.

Mesurer l'impédance d'entrée.

Conclure en comparant les avantages et inconvénients des 2 montages, avec et sans contre-réaction.

II.4 Push-Pull de classe AB polarisé par des diodes

Câbler le circuit de la figure 4 (voir l'annexe pour l'emplacement des cavaliers).

On a $R1 = R2 = 150 \Omega$ et $r = 0,47 \Omega$.

Attention : le montage a tendance à chauffer rapidement, ne pas s'éterniser sur les mesures.

Pour une sinusoïde de fréquence 1 kHz et une amplitude de 5 V crête-à-crête, observer les tensions d'entrée et de sortie.

Commentez l'allure du signal de sortie.

Mesurez l'amplitude du signal d'entrée, la comparer au réglage du générateur et en déduire l'impédance d'entrée du montage.

Visualiser l'allure du courant pour différentes amplitudes du signal d'entrée.

Comment expliquer la composante continue du courant ? (On pourra supprimer le signal d'entrée pour la mesurer plus facilement)

En déduire la classe de fonctionnement (A, AB ou B).

Conclusion : ce montage ne fonctionne pas comme attendu, comment l'améliorer ?