

Le montage dit « push-pull parallèle »

Claude Frantz

12 août 2022*

Résumé

Le présent article se propose de décrire la structure, le fonctionnement et les caractéristiques du montage improprement appelé « push-pull parallèle », sous la forme sous laquelle on le rencontre le plus souvent. Ce montage a surtout été utilisé sur des appareils de marque Philips ou sous d'autres marques rattachées à ce même groupe d'entreprises.

1 Introduction

Le montage dit « push-pull parallèle » n'est pas un montage « push-pull ». Pour cette raison, l'épithète « parallèle » est futile. Nous allons en voir les raisons.

Au premier coup d'œil, l'observateur remarquera que les deux tubes employés sont souvent d'un type différent, ayant des caractéristiques souvent assez dissemblables. Il remarquera aussi l'utilisation d'un haut-parleur d'impédance élevée, souvent de 800 Ω , ainsi que l'absence d'un transformateur de sortie. Rien ne rappelle la structure classique d'un montage « push-pull ». Ici, les apparences ne sont pas trompeuses.

2 Le montage « push-pull » classique

Dans le cas d'un étage amplificateur de classe « A », le signal d'entrée, appliqué à la grille de commande, module le courant anodique provenant de l'alimentation. Le signal de sortie est produit à partir de cette modulation du courant

*Version revue et complétée

anodique. À chaque instant du signal d'entrée correspond un courant anodique qui ne devient jamais nul. Par ailleurs, le signal d'entrée ne peut pas conduire à une saturation du courant anodique. Il en résulte qu'un étage amplificateur de classe « A » peut être réalisé avec un seul tube.

Dans le cas d'un étage amplificateur de classe « B » idéale, le circuit comprend deux tubes identiques. Le premier tube amplifie les parties positives du signal d'entrée et il envoie le signal de sortie à la charge. Dans les parties négatives du signal d'entrée, ce premier tube se bloque et il ne produit pas de signal de sortie. Le second tube se charge d'amplifier ces parties négatives du signal d'entrée. Mais tout comme le premier, ce second tube ne peut amplifier qu'un signal positif. Pour cette raison, la phase du signal d'entrée est tournée de 180° avant d'être appliquée à ce second tube. À sa sortie, la phase du signal de sortie est de nouveau tournée de 180° avant d'être appliquée à la charge. C'est cette rotation de phase qui permet l'amplification des parties négatives. En raison des imperfections des tubes et de leurs caractéristiques courbées, certaines précautions doivent être prises pour la réalisation d'un tel montage dans le monde réel. Mise à part la rotation de phase, chacun de ces deux tubes et leurs circuits accessoires doivent être strictement identiques. Les performances en dépendent.

On appelle « angle de passage » la grandeur angulaire, se référant à un signal sinusoïdal, durant laquelle le tube ou chacun des tubes devient conducteur. Dans le cas idéal, cet angle est de 360° en classe « A » et de 180° en classe « B ». Si cet angle de passage est choisi entre ces deux valeurs, on parle alors de classe « AB ».

3 Examen du circuit dit « push-pull parallèle »

Nous allons examiner le schéma en prenant comme exemple un cas très classique : Le téléviseur Philips 21 TX 281 A/29. Comme c'est souvent le cas, nous trouvons deux tubes de type différent : Une pentode de tube PCL82 et une pentode PL84, identique à la EL86, exception faite du filament. Pour notre analyse, nous allons subdiviser le schéma en trois parties. Faute de termes plus clairs et plus pertinents, nous parlerons du circuit du haut et de celui du bas, ainsi que du haut-parleur, qui constitue la charge utile. Sur le schéma, que nous prenons comme exemple, la limite entre le circuit du haut et de celui du bas se situe au point de rencontre de l'anode de B3p, R55 et R59.

Dans un premier temps, nous allons examiner le circuit sans le haut-parleur,

de polarisation de cathode, non découplée, dans le cas présent. Même en l'absence de courbes relatives à ce tube à ce point de fonctionnement, la résistance dynamique de ce circuit du haut peut être estimée comme étant de l'ordre de $50\text{ k}\Omega$ à $100\text{ k}\Omega$, ce qui est notablement plus élevé que la résistance équivalente en courant continu.

Le circuit du haut, étant en série avec celui du bas, ce premier réduit la tension d'alimentation disponible au circuit du bas. Vu cette tension anodique réduite d'autant et vu son courant anodique, nous pouvons estimer que la charge optimale d'un tel circuit sera assez faible, un peu comme dans le cas d'un étage final BF d'un récepteur dit « tous courants », alimenté par un secteur à 110 V. Nous noterons encore que ce circuit du bas est opéré en classe « A », ce qui est possible avec un seul tube.

Assemblons maintenant tous les éléments et considérons les choses du point de vue dynamique, c'est à dire en BF. Nous trouvons d'abord le circuit du bas avec cette pentode, que nous allons considérer de la façon classique, comme un générateur de courant commandé par tension, en parallèle avec sa résistance interne. Nous trouvons ensuite ce circuit du haut, qui est maintenant en parallèle du point de vue dynamique et qui est donc équivalent à une résistance assez élevée. Finalement, nous trouvons le haut-parleur en parallèle sur les deux premiers. D'un côté, il est connecté à un circuit d'alimentation découplé, ce qui le met à la masse, du point de vue dynamique. De l'autre côté, il est connecté au même point de rencontre que les deux circuits du haut et du bas, en raison du condensateur de découplage de la grille-écran du circuit du haut, agissant comme un court circuit, du point de vue dynamique. La seule chose qui peut surprendre est que le haut-parleur est connecté de l'autre côté de la résistance de polarisation cathodique du tube du haut. Mais c'est ici pour une raison pratique, n'ayant qu'une influence minime.

Nous sommes probablement trop habitués au schéma classique d'un étage final BF, si bien que nous nous trouvons d'abord déroutés si nous retrouvons ce schéma dans un contexte un peu différent. Dans le contexte présent, l'anode du tube du haut est découplée à la masse par l'alimentation, alors qu'elle est reliée au point chaud du transformateur de sortie, dans le cas du schéma classique. Toutefois, la grille-écran est découplée vers la cathode, comme d'habitude. Nous avons donc la même tension alternative entre l'anode et la grille-écran, comme nous l'aurions avec le schéma classique. La polarisation par la cathode est réalisée de la manière classique, elle aussi. Mais le bout de cette résistance cathodique, qui est reliée à la grille de commande à travers la résistance de fuite de grille, se trouve ici à une tension alternative importante, au lieu d'être à la masse, comme sur le schéma classique. Cela explique pourquoi la

grille-écran n'est pas découplée vers la masse. Le problème qui reste à résoudre est celui de l'alimentation de la grille-écran du tube du haut. Du point de vue de l'alimentation, par rapport au schéma classique, l'anode et la grille-écran de trouvent interverties. Sur le schéma classique, nous trouvons une importante tension alternative à l'anode, mais aucune tension alternative à la grille-écran. Ici, c'est exactement l'inverse. Mais dans les deux cas, ces électrodes sont alimentées par une tension continue positive par rapport à la cathode. Dans le cas présent, c'est surtout le primaire du transformateur de sortie qui est absent. À ses bornes, nous trouverions la tension alternative qui sera transformée pour apparaître au secondaire. Cet enroulement n'offrirait qu'une résistance minime au courant continu alimentant l'anode. Sur le montage présent, une inductance pourrait remplacer ce primaire du transformateur de sortie, afin de remplacer son rôle. Mais cela conduirait à introduire un composant qui ne se différencierait guère, du point de vue de la masse et de l'encombrement, par rapport à un transformateur de sortie classique. Or, c'est justement cela que l'on a souhaité éviter. La solution adoptée est d'utiliser le haut-parleur pour remplir ce rôle. La tension d'alimentation continue destinée à la grille-écran traverse l'enroulement de ce haut-parleur, provoquant un déplacement de la bobine mobile qui est considérée comme négligeable ici. Du point de vue de l'alimentation par le signal alternatif produit par le montage, ce haut-parleur est exactement connecté comme il faut. La première de ses bornes est découplée à la masse par l'alimentation, la seconde borne se trouve connectée au point de rencontre du circuit du haut et de celui du bas, par le condensateur de découplage de la grille-écran. Le but est donc atteint.

En résumant : Le générateur de courant commandé par tension, débite sur plusieurs choses en parallèle : La résistance interne de la pentode du circuit du bas, la résistance dynamique du circuit du haut et le haut-parleur. L'impédance du haut-parleur étant notablement plus faible que les autres résistances dynamiques en parallèle, c'est donc ce haut-parleur qui recueillera la plus grande partie du courant produit par le générateur de courant. En simplifiant notablement, nous pourrions considérer que la pentode du bas débite simplement sur le haut-parleur. Bien que nous puissions soupçonner que la résistance de charge optimale pourrait être quelque peu plus élevée que celle offerte par le haut-parleur, cet inconvénient pourra être accepté ici, d'autant plus que l'impédance d'un haut-parleur est fort complexe et très variable avec la fréquence.

4 Avantages et inconvénients

Ce circuit, qui paraît d'abord étrange, offre la possibilité de pouvoir débiter sur un haut-parleur, ayant une impédance inhabituellement élevée, sans faire usage du transformateur de sortie habituel. En raison de sa construction, un transformateur de sortie produit de notables rotations de phase, souvent fort variables avec la fréquence et cela d'autant plus que sa qualité est limitée. Il en résulte que le taux de contre-réaction globale possible reste très limité, afin que le circuit puisse rester stable. De cela résulte le dilemme, que le taux de contre-réaction applicable sera plus faible avec un transformateur de sortie de mauvaise qualité, qui aurait avantage à être « amélioré » par une contre-réaction. Avec un transformateur de sortie de bonne qualité, le taux de contre-réaction pourra être plus élevé, ce qui augmentera encore davantage la qualité déjà présente.

Le montage improprement appelé « push-pull parallèle » ne faisant pas usage de transformateur de sortie, les limitations pré-citées ne s'appliquent pas, permettant alors l'application d'un taux de contre-réaction globale bien plus élevé. Cela compensera les inconvénients. Il y a d'abord un tube additionnel qui prend la place du transformateur de sortie. Si nous nous rappelons que ce circuit a surtout été utilisé par Philips, qui est surtout un grand constructeur de tubes, nous comprendrons quelque peu l'attachement de ce constructeur à ce circuit. Le haut-parleur à haute impédance n'est pas non plus des plus courants et sa fabrication est plus délicate. Le risque d'une moindre fiabilité est à redouter. Nous ne serons certainement pas surpris d'apprendre que le principal et meilleur fabricant de tels haut-parleurs est également Philips, qui est aussi un fabricant de haut-parleurs.

Un inconvénient pratique un peu marginal est que la puissance de sortie possible avec un tel circuit reste limitée. Les circuits du haut et celui du bas étant en série, du point de vue de l'alimentation, les deux se partagent la tension d'alimentation disponible. Mais c'est aussi cette tension d'alimentation réduite qui permet d'obtenir une charge optimale du circuit du bas, compatible avec le genre de haut-parleur utilisé ici. Si la tension d'alimentation était augmentée, ce qui serait parfaitement envisageable, cela conduirait alors à une augmentation de la charge optimale, entraînant la nécessité d'un haut-parleur ayant une impédance encore plus élevée. De cette façon, la puissance de sortie pourrait être augmentée, mais au prix de la nécessité d'un haut-parleur encore plus délicat à fabriquer. Au lieu d'envisager de pouvoir augmenter la puissance par une augmentation de la tension, il serait aussi envisageable d'augmenter le courant, ce qui conduirait alors à l'usage d'un haut-parleur ayant une impédance moins

élevée. Pour cela, il faudrait alors employer des tubes à cathode à oxydes conçus pour un courant cathodique élevé, du genre de ceux employés à l'étage de sortie lignes des téléviseurs.

5 Remarques additionnelles

Le montage décrit ici est celui que l'on rencontre le plus souvent en pratique. Toutefois, il existe encore un autre montage appelé « push-pull parallèle », qui lui ressemble quelque peu, mais pour lequel cette dénomination n'est pas déplacée. Il se différencie surtout par le fait que les deux tubes se trouvent excités par le signal d'entrée, chacun d'eux participant à l'amplification du signal. Contrairement au montage décrit précédemment, les deux tubes sont du même type et le point de fonctionnement est le même. En raison de l'alimentation en série des deux tubes, seul un fonctionnement en classe « A » est possible.