

Amplificateur Nomade 0,5W – V1.0

Frédéric Giamarchi V1.0 : 3 sept. 2016

Mots clés

Transistor, Amplificateur, Push-Pull, classe AB, Pile 9V, Nomade

Généralités

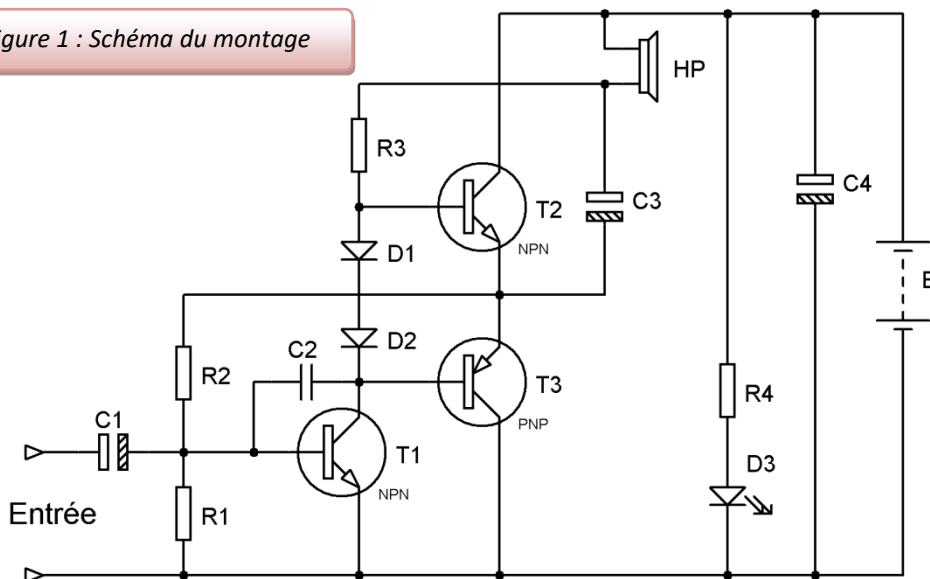
Le but de ce document est de permettre à un débutant de réaliser un amplificateur audio nomade simple. Ce montage est parfait pour amplifier le son d'un smartphone. Il n'est pas très performant, mais il est largement suffisant pour découvrir l'électronique de façon agréable.

Les explications données sont une information complémentaire pour ceux qui veulent comprendre son fonctionnement. Les débutants auront besoin de consulter des documents généralistes expliquant le fonctionnement des transistors dans les montages de base, avant d'aborder celui-ci.

Schéma du montage

Le schéma est l'un des plus simples qu'il soit possible de trouver. Il utilise 3 transistors très classiques.

Figure 1 : Schéma du montage



Composants :

E : 9 Volts
T1 : BC547B
T2 : BC337
T3 : BC327
C1 : 10 μ F
C2 : 150pF
C3, C4 : 220 μ F
R1 : 12k Ω
R2 : 68k Ω
R3 : 1,8k Ω
R4 : 4,7k Ω
D1, D2 : 1N4148
D3 : Del 3mm Rouge
HP : 8 Ω

Explications

L'explication doit se faire en 3 parties. En premier, il faut comprendre la structure choisie, ensuite le fonctionnement du montage en statique, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de signaux en entrée, et pour finir, analyser le fonctionnement en dynamique avec un signal à amplifier en entrée.

La structure de cet amplificateur

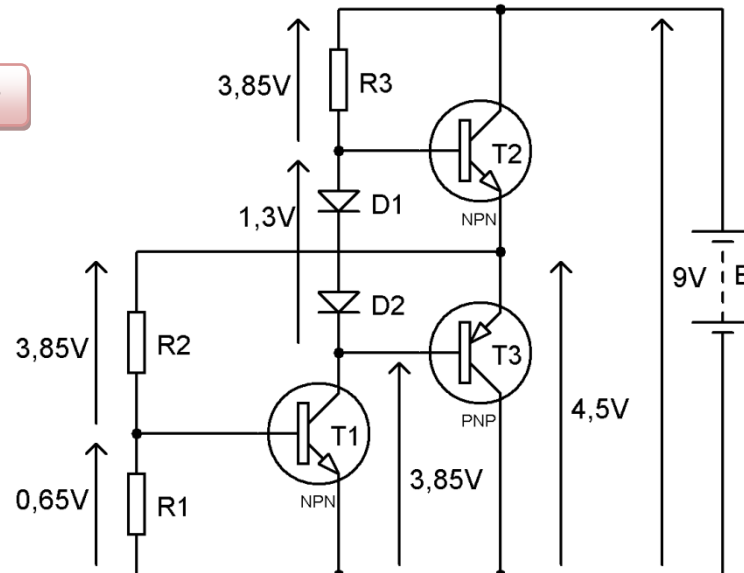
Sa structure peut être décomposée en 2 parties. A gauche, T1 est un transistor en mode Emetteur Commun pour amplifier la tension d'entrée. A droite, T2 et T3 sont montés en Collecteur Commun pour amplifier le courant. C'est l'association des 2 étages en cascade qui permet d'obtenir de la puissance en sortie, $P = UI$. T2 et T3 forment une structure de type Push-Pull, étage de sortie typique d'un amplificateur de puissance. Les 2 diodes en série permettent une polarisation en classe AB de ces 2 transistors pour réduire la distorsion de croisement.

Les valeurs des résistances permettent de régler les courants au repos. Les condensateurs limitent la bande passante au domaine audio.

Analyse au repos

Le but de cette analyse est de comprendre le choix des valeurs pour les résistances. Pour cela, on simplifie le montage en supprimant les condensateurs équivalent à des circuits ouverts en continu. Le haut-parleur est une charge négligeable, car elle est en série avec R3 de valeur très supérieure.

Figure 2 : Analyse statique



La règle n°1 dans ce type de montage, c'est d'obtenir une tension en sortie du montage égale à la moitié de la tension d'alimentation, entre les 2 transistors T2 et T3. Pour obtenir cela, il faut que ces 2 transistors soit légèrement passants. Pour rendre ces 2 transistors passants, il faut que la tension entre leur base soit égale à 2 fois 0,65V environ. C'est le rôle des 2 diodes D1 et D2, en faisant passer un courant dans ces diodes, on obtiendra cette valeur de 1,3V. C'est le transistor T1 qui va gérer ce courant dans les diodes, lorsqu'il va être passant.

Un équilibre sera obtenu entre tous ces transistors par le choix des 2 résistances R1 et R2.

$$\text{Pont diviseur de tension} \quad \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times 4,5 = 0,65V \Rightarrow R_2 \approx 6 \times R_1$$

Cette équation est insuffisante pour choisir un couple de valeur pour R1 et R2. On va faire intervenir la valeur des courants en commençant par dimensionner R3.

Un courant de l'ordre de 1 à 2mA suffit pour polariser les diodes, mais il faut savoir que R3 définit aussi le courant de base de T2. On reviendra sur T2, plus tard.

$$\text{Donc on calcule:} \quad R_3 = \frac{3,85}{0,002} = 1925\Omega, \quad \text{soit une valeur pratique de } 1,8k\Omega.$$

Donc, le courant dans le collecteur de T1 est de l'ordre de 2mA. T1 est un transistor de gain en courant de l'ordre de 200, c'est un modèle B. Le courant de base est de 10μA. Pour pouvoir régler la tension à 0,65V sur la base de T1, il faut un courant dans R1 au moins 5 fois plus grand. Donc on choisit 50μA et on calcule R1.

$$R_1 = \frac{0,65}{0,00005} = 13k\Omega, \quad \text{soit une valeur pratique de } 12k\Omega.$$

D'où une valeur pour R2 de 6 fois 12kΩ, soit 72kΩ, on prendra la valeur pratique de 68kΩ.

Mais on aurait pu choisir d'autres couples de valeurs pour R1 et R2 (4,7k et 27k ou 10k et 56k). Cela augmente un peu la consommation, mais permet de tolérer des transistors de gain plus faible pour T1.

On y a ajouté une Del rouge pour vérifier la présence de la tension 9V. Mais vous pouvez souhaitez faire l'économie de ce courant, dans ce cas, ne placer pas les 2 composants, R4 et D3.

Fonctionnement en amplification

Quelle est la tension maximale en théorie ?

Les transistors se saturent pour une tension de l'ordre de 1V.

$$V_{Smax} = \frac{E}{2} - V_{CEsat} = 4,5 - 1 = 3,5V$$

Calcul de la puissance maximale théorique :

$$P_{max} = \frac{V_{S_{eff}}^2}{R_{ch}} = \frac{\left(\frac{3,5}{\sqrt{2}}\right)^2}{8} = 0,766W$$

Mais en réalité, la tension de sortie est plus faible. Il faut tenir compte de la tension de 0,65V entre base et émetteur de T2 (ou T3) et de la chute de tension dans la résistance R3. Cette résistance qui limite l'amplitude positive. Et pour finir, le gain en courant des transistors n'est pas constant au delà de 100mA.

La tension maximale disponible est obtenue lorsque la diode D1 n'est plus passante. Le courant de 2mA est amplifié par T2. Le gain de ce transistor est de l'ordre de 175. Soit une tension aux bornes de la charge de :

$$V_S = R_{ch} \times \beta \cdot I_B = 8 \times 175 \times 0,002 = 2,8V$$

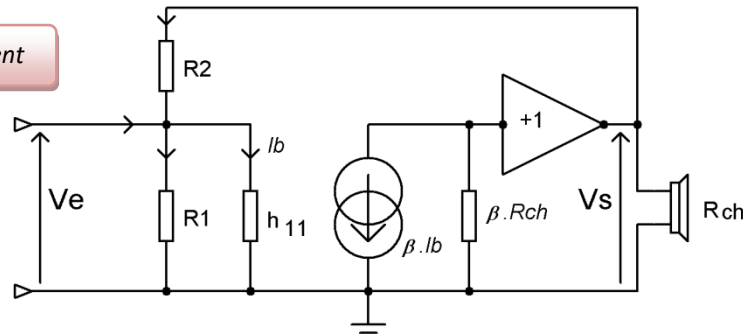
et une puissance de

$$P_{max} = \frac{V_{S_{eff}}^2}{R_{ch}} = \frac{\left(\frac{2,8}{\sqrt{2}}\right)^2}{8} = 0,49W$$

Mais, là aussi, la réalité est différente. Car la variation du gain entraîne une non linéarité du signal. Donc la puissance réelle, sans nuire à la qualité est encore un peu inférieure (voir oscillogrammes).

Les transistors choisis sont des modèles TO92 en plastique, de puissance maximale de l'ordre de 600mW. Avec des pointes de courant à 350mA sous presque 3V, on atteint sa limite, mais comme ce n'est pas en continu et que ce n'est vrai que pour une seule alternance, la valeur moyenne de la puissance dissipée par chaque transistor est plus proche des 100mW au maximum.

Figure 3 : Schéma équivalent



Le gain en tension du montage est le gain en tension du 1^{er} étage autour de T1, dont la charge est l'impédance d'entrée du 2^{ème} étage. On rappelle que le gain du 2^{ème} étage est de l'ordre de 1, car les 2 transistors sont montés en collecteur commun. Sachant que ce modèle est non linéaire, il est plus simple de le représenter comme ça.

$$G_V = -\frac{\beta_1 \cdot Z_{e2}}{h_{11}} = -\frac{200 \cdot 175 \cdot 8}{2600} \approx -110$$

Ce qui veut dire que la sensibilité d'entrée est de :

$$V_{e_{max}} = \frac{2,8}{110} \approx 25mV$$

On constate que les résistances R1, R2 et R3 n'interviennent pas dans le calcul du gain et que les paramètres des transistors influencent ce résultat. Cette situation n'est pas acceptable. Ce montage est trop dépendant des transistors.

Des oscillogrammes sont disponibles en fin de document. On pourra constater des différences par rapport à la théorie. Cela est dû aux transistors dont les paramètres choisis pour les calculs sont des valeurs typiques.

Réalisation du montage

Pour réaliser ce montage sur un circuit imprimé, il vous faudra réaliser le circuit imprimé en copiant l'image suivante, ou en téléchargeant le fichier associé. Puis percer et souder les composants indiqués dans la nomenclature.

Le circuit imprimé

Les dimensions du circuit imprimé sont de 62,2mm de long sur 25,4mm de large.

On a veillé à ne pas avoir de boucle de masse dans le circuit imprimé. La fixation du circuit sur un boîtier devra se faire avec des entretoises isolées.

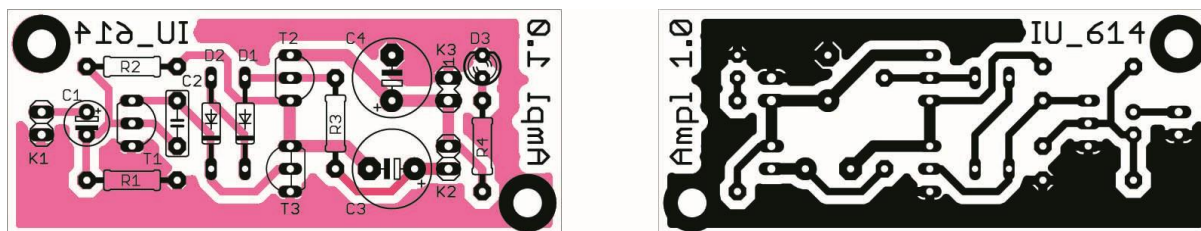


Figure 4 : circuit imprimé

Nomenclature (liste des composants)

R1 : 12k Ω (marron, rouge, orange, or)

R2 : 68k Ω (bleu, gris, orange, or)

R3 : 1,8k Ω (marron, gris, rouge, or)

R4 : 4,7k Ω (jaune, violet, rouge, or)

T1 : BC547B

T2 : BC337

T3 : BC327

Circuit imprimé : IU_614

C1 : 10 μ F (25V vertical)

C2 : 150pF

C3, C4 : 220 μ F (25V vertical)

D1, D2 : 1N4148

D3 : Del rouge 3mm

K1, K2 : connecteur femelle 1x02

K3 : connecteur male 1x02

Tests

Le premier test est optique. Vérifier que vos soudures sont bien brillantes et qu'elles ne sont pas en court-circuit avec d'autres. Les soudures doivent ressembler à un volcan (pas de boules ou trop peu de soudure). Que les composants sont branchés dans le bon sens.

Dans les conditions normales, on doit utiliser une alimentation de laboratoire réglée sur 9Volts avec limitation d'intensité. Mais il est possible de faire un test simple en utilisant une pile 9Volts connectée à K3. La Del rouge doit s'allumer.

Vérifier avec un multimètre, en mode voltmètre, les tensions entre les 2 transistors T2 et T3. Si la tension est de l'ordre de 4,5Volts, vous pouvez remplacer la résistance de test par un haut-parleur et brancher la prise pour le téléphone.

Maintenance

Si la Del ne s'allume pas, il est possible que la pile soit vide ou que vous ayez un problème de soudures.

Si la tension entre les transistors T2 et T3 n'est pas correcte, il est fort probable qu'un ou plusieurs composants sont soudés à l'envers ou détruits, ou bien qu'il y a un court-circuit.

Caractéristiques

- Puissance efficace de 0,5W sous une charge de 8Ω
- Tension d'alimentation : pile 9Volts
- Consommation inférieure à 50mA, soit une autonomie de plus de 5h.
- Sensibilité 20mV
- Bande passante de 60Hz à 18kHz
- Indicateur de fonctionnement par une Del rouge 3mm

Notes sur les composants

Les transistors

Il est conseillé d'apparier les 2 transistors T2 et T3. C'est-à-dire que le gain en courant de ces 2 transistors soit le même. Cela garanti une amplification identique des 2 alternances du signal. Un tri par référence des transistors est insuffisant, il faut mesurer plusieurs transistors et sélectionner ceux qui ont un gain proche.

Il s'agit de modèles très classiques qui peuvent être remplacés par d'autres en faisant attention à leurs broches. Même si ce n'est pas obligatoire ici, il est conseillé que les 2 transistors T2 et T3 soient des modèles complémentaires; c'est-à-dire que leurs caractéristiques soient identiques. Les paires BC337 et BC327 sont complémentaires, les paires 2N3904 - 2N3906 et 2N2222 – 2N2907 aussi.

T1 : BC547, BC548, 2N2222, PN2222 (broches inversées), 2N3904 (broches inversées)

T2 : BC337, 2N2222, PN2222 (broches inversées), 2N3904 (broches inversées)

T3 : BC327, 2N2907, 2N3906 (broches inversées)

On préférera les modèles 2N2222 et 2N2907 en boîtier métal (TO18) pour une meilleure dissipation.

Conseil

Il ne faut pas hésiter à tester le montage sur une plaque d'essai. Cela permet de tester divers transistors pour chercher ceux qui ont le meilleur gain. En fonction des transistors choisis et en changeant les résistances, il faut régler la tension entre les transistors T2 et T3 à la moitié de la tension d'alimentation.

Remarques sur le montage

Le montage de la charge (le haut-parleur) entre le plus de l'alimentation et le point milieu du push-pull avec un condensateur en série est un montage type bootstrapp, permettant d'améliorer la dynamique du signal de sortie. En son absence, les alternances positives du signal de sortie seraient plus petites. Le petit inconvénient de ce montage original, c'est que l'on entend le condensateur se charger à la mise sous tension et qu'il y a 2mA qui passe dans le haut-parleur au repos.

Smartphone

Le smartphone est une source musicale de plus en plus utilisée en remplacement des sources habituelles. Il est possible de l'utiliser de diverses façons. La plus simple est de brancher un amplificateur à l'aide d'une prise écouteur, mais il faut respecter les caractéristiques électriques.

Pour un Samsung, on a relevé jusqu'à 1,31 Volts crête à crête, soit 0,46Veff. Et une résistance interne de 11Ω .

Oscillogrammes

Figure 5 : Fonction de transfert

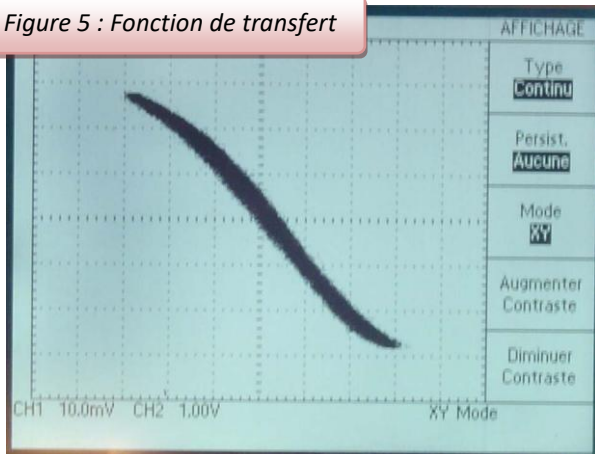


Figure 5 :

En mode XY, on peut constater plusieurs points. La linéarité est correcte jusqu'à 2Volts d'amplitude. Le gain est négatif et un peu inférieur à 100. L'amplificateur est bien inverseur.

Cette image est obtenue avec un signal triangulaire d'amplitude 30mV sur l'entrée.

Figure 6 :

En mode classique, le signal de sortie est correct pour une sinusoïde d'entrée d'amplitude crête à crête de 40mV à 1kHz. On constate bien le gain négatif par l'inversion des signaux.

Figure 6 : Sinusoïde

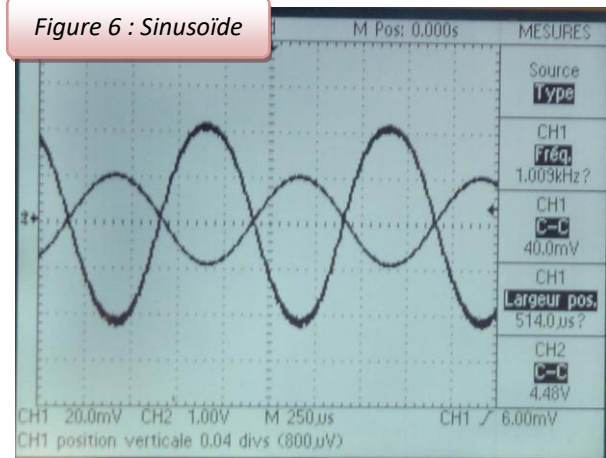


Figure 7 : Signal carré

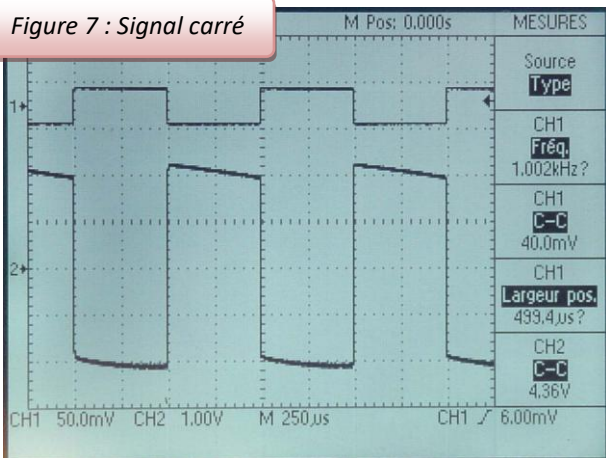


Figure 7 :

Avec un signal carré à 1kHz, les fronts du signal de sortie sont bien raides.

Figure 8 :

Mais sur une charge complexe ($1\mu\text{F}$ en parallèle sur la charge), toujours à 1kHz, l'ampli a plus de mal à répondre. Le temps de réponse passe à $20\mu\text{s}$ sous 4Volts.

Figure 8 : Charge complexe

