

Applications de fonctions électroniques simples à la réalisation d'une table de mixage

par Mustapha-Hedi OBEIDI et Philippe REYNAUD
assistés par Michèle FERAUD
IUFM d'Aix-Marseille

1. INTRODUCTION

Les récents remaniements des programmes de physique appliquée de la filière STI ont renforcé notablement l'enseignement par les travaux pratiques. Dans cette optique, nous avons réalisé une table de mixage particulièrement adaptée aux classes de terminale STI option génie électronique. Elle réinvestit, en effet, une partie du programme : amplification en tension, en puissance, additionneur et filtres.

De plus, le faible coût, au regard de la qualité obtenue et de la simplicité du matériel utilisé, en permet la réalisation par les élèves, au cours de diverses séances de travaux pratiques.

A cette fin, nous nous proposons de présenter les caractéristiques de cette table de mixage ainsi que certaines de ses possibilités.

2. DESCRIPTION DE LA CHAÎNE ÉLECTRONIQUE

2.1. Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel proposé est le suivant :

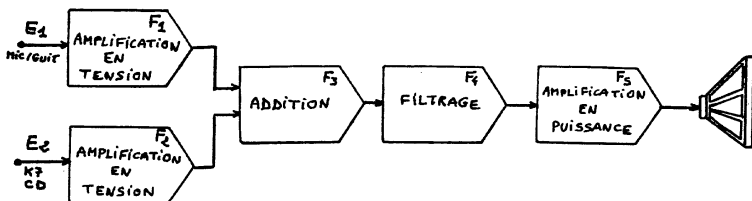


Figure 1

Comme le montre le schéma fonctionnel, cette chaîne permet l'acheminement simultané de deux sources sonores : l'une, issue d'un

micro ou d'une guitare, l'autre d'un lecteur CD, platine ou synthétiseur, vers une sortie haut-parleur.

Pour ce faire, une première étape consiste à amplifier et à remettre au même niveau les deux entrées issues des voies E_1 et E_2 par F_1 et F_2 afin qu'elles soient additionnées (mixées) par F_3 .

A la sortie de F_3 , on pourra éventuellement faire varier le niveau sonore résultant (volume) de sorte que l'on puisse le contrôler.

Ce signal transitera à travers un filtre F_4 permettant ainsi d'ajuster, à notre convenance, la gamme des fréquences graves et aiguës afin d'en améliorer l'écoute.

Enfin, un étage amplificateur de puissance F_5 s'avère nécessaire pour obtenir l'énergie suffisante au bon fonctionnement du haut-parleur.

2.2. Caractéristiques électriques relatives aux entrées / sorties

• Entrée mono E_1

- *Position micro* : l'amplitude issue d'un micro varie de 2 à 20 mV (figure 2).
- *Position guitare* : l'amplitude varie généralement de 20 à 200 mV.

• Entrée stéréo E_2

La sortie d'une platine laser, ou d'un lecteur de cassettes, fournit une amplitude comprise entre 0,2 et 1 V (figure 3).

• Sortie haut-parleur

Le choix doit se porter vers un haut-parleur ayant une puissance nominale d'au moins 15 W sous 8 Ω (impédance la plus couramment utilisée dans les équipements Audio).

Le fait d'utiliser un seul haut-parleur amène de plus à opter pour un type «large bande» de manière à ce qu'une grande partie du domaine audible (de 20 Hz à 20 KHz) puisse être reproduite.

• Alimentation symétrique stabilisée (– 15 V ; 0 V ; + 15 V)

Elle doit pouvoir délivrer une intensité de 0,8 A.

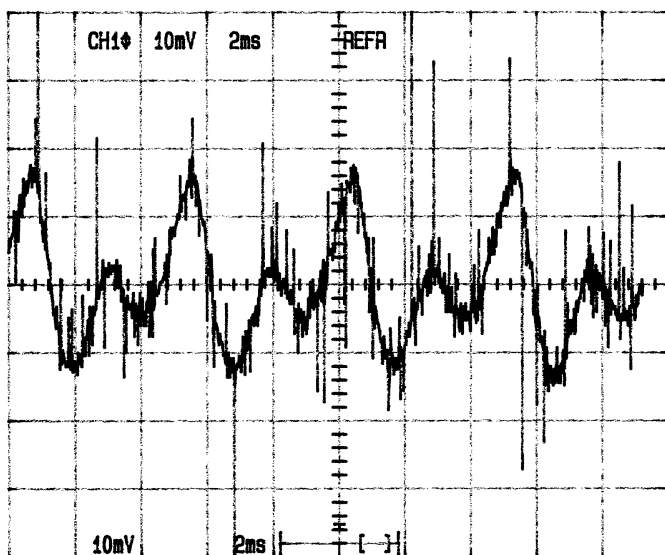


Figure 2

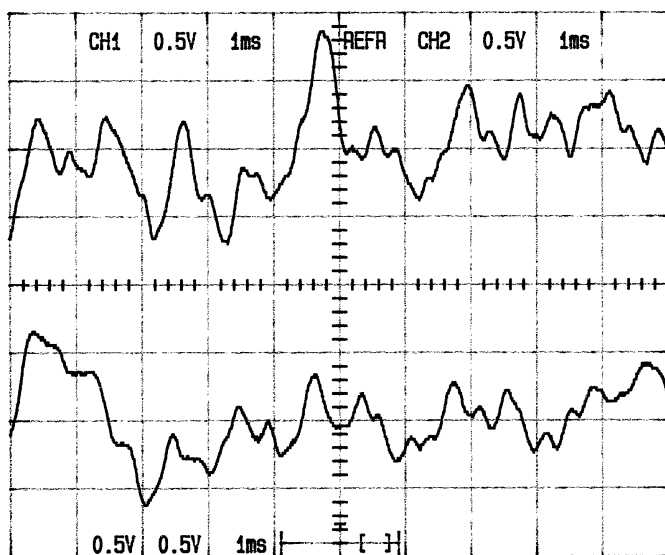


Figure 3

3. SCHÉMA STRUCTUREL

Le schéma structurel de la table de mixage est le suivant :

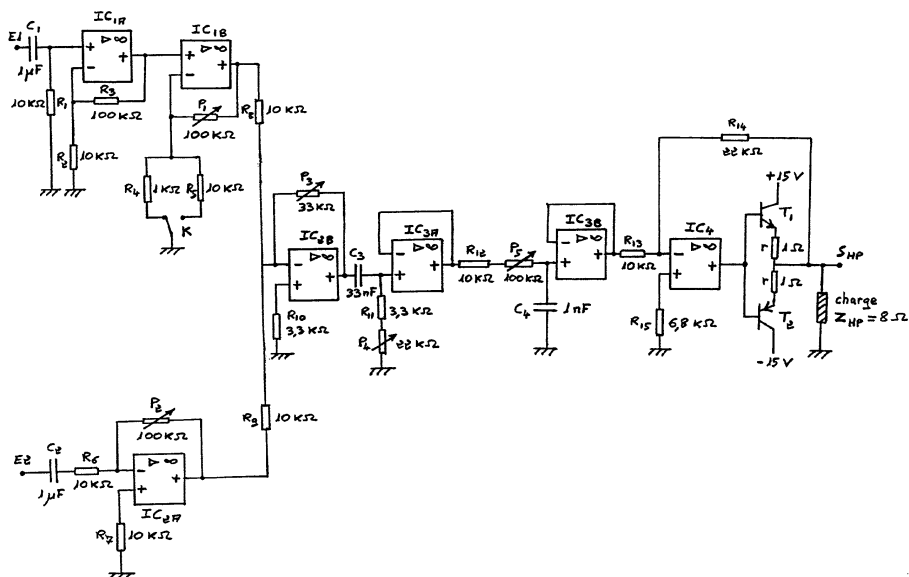


Figure 4

4. ANALYSE DE LA CHAÎNE ÉLECTRONIQUE

4.1. Fonction amplification en tension

Les potentiomètres P_1 et P_2 permettent une amplification en tension *ajustable* de chacune des deux voies. En pratique, ils assurent le réglage du niveau relatif des entrées.

Une amplification globale *maximale* de 1 000 pour l'entrée micro et de 100 pour l'entrée guitare est possible par l'intermédiaire du commutateur K. La forte amplification de l'entrée micro nécessite en fait une préamplification par 10. Il reste alors à amplifier par 100, ce qui correspond à une fréquence de coupure $f_c = 3.10^6 / 100 = 30$ KHz pour le TL082 dont le produit gain-bande passante est de 3.10^6 Hz. Toutes les fréquences audibles sont ainsi amplifiées de la même manière, ce qui n'aurait pas été le cas sans préamplification.

Afin d'éviter toute composante continue parasite, un filtre passe-haut (C, R) est placé au niveau de chaque entrée. Le choix de la fréquence de coupure $f_{c1} = 1/2\pi R_1 C_1 = f_{c2} = 1/2\pi R_6 C_2 = 16 \text{ Hz}$ permet ainsi la transmission de toutes les fréquences audibles.

Attirons l'attention sur deux problèmes d'ordre pratique pouvant se produire pour les fortes amplifications. Prenons le cas le plus défavorable, une amplification en tension de 1 000 par l'intermédiaire de l'entrée micro :

- une tension de décalage des amplificateurs opérationnels trop élevée engendre une saturation. Pour le TL082, elle est de l'ordre de 2 mV, ce qui induit une tension de 2 V à la sortie de l'étage amplificateur. Il faudra donc prendre garde à utiliser seulement des amplificateurs opérationnels présentant une tension de décalage suffisamment faible ;

- une amplitude trop importante, 12 à 13 mV, induit le même phénomène. L'utilisation des générateurs basse fréquence classiques, pour simuler l'entrée micro, devient alors délicate puisque nombre d'entre eux ne peuvent fournir une si faible amplitude. Une solution, à la fois simple et efficace, est proposée en annexe 1.

4.2. Fonction addition

L'additionneur permet le mélange (mixage) des deux voies. Le réglage du volume (total) se fait par l'intermédiaire du potentiomètre P_3 agissant sur l'amplification en tension.

A titre d'essai, nous avons visualisé à l'oscilloscope et en concordance des temps la tension appliquée à l'entrée E_1 sur la voie 1 (CH1) et, successivement, la tension à l'entrée E_2 (figure 5) et celle obtenue à la sortie de l'additionneur IC_{2B} (figure 6) sur la voie 2 (CH2).

On voit très nettement la superposition des signaux en créneaux sur la sinusoïde et l'amplification en tension obtenue. On peut aussi constater la présence d'une composante continue (positive dans notre cas), due essentiellement à la tension de décalage des amplificateurs opérationnels.

4.3. Fonction filtrage

On réalise un filtre passe-bande par mise en cascade d'un passe-haut (C, R) et d'un passe-bas (R, C) du premier ordre. Un

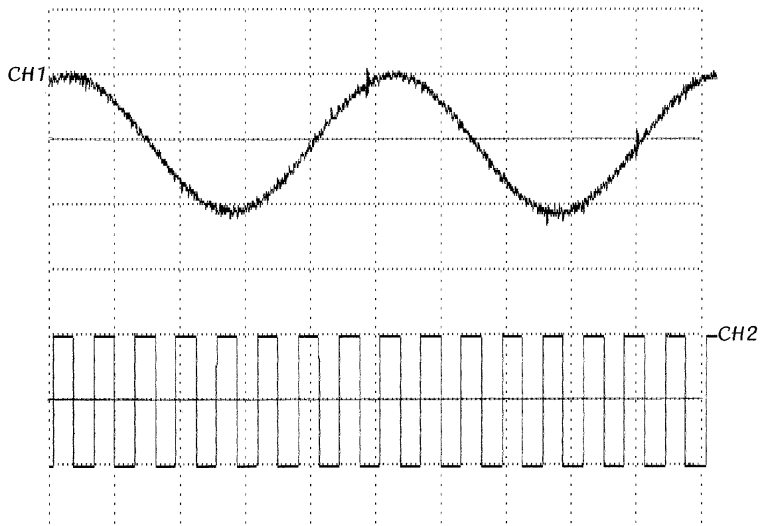


Figure 5 : 0,2 ms / div - CH1 : 5 mV / div - CH2 : 0,5 V / div.

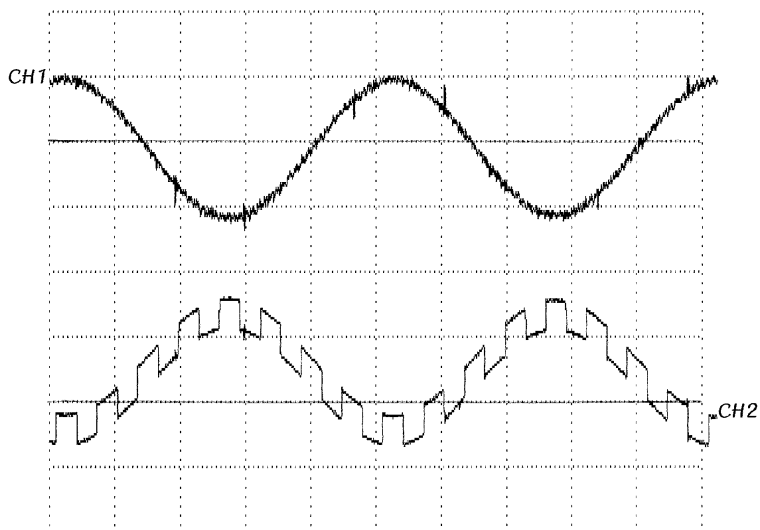


Figure 6 : 0,2 ms / div - CH1 : 5 mV / div - CH2 : 5 V / div.

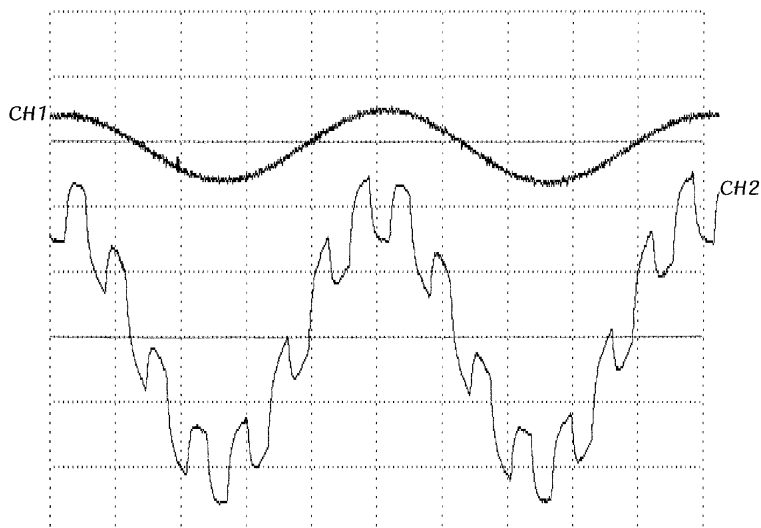


Figure 7 : 0,2 ms / div - CH1 : 5 mV / div - CH2 : 0,5 V / div.

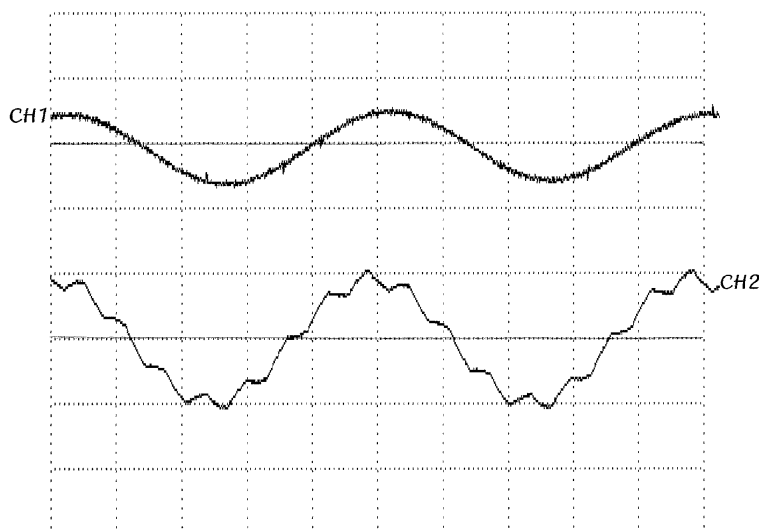


Figure 8 : 0,2 ms / div - CH1 : 5 mV / div - CH2 : 5 V / div.

montage suiveur est placé à la sortie de chacun des deux filtres afin de rendre indépendant le montage en amont de celui en aval de chaque suiveur.

Le premier filtre permet de régler les graves par l'intermédiaire du potentiomètre P_4 qui agit sur la fréquence de coupure. De la même manière, le second filtre ajuste les aigus à l'aide du potentiomètre P_5 .

Nous avons fixé la fréquence de coupure *maximale* du passe-haut, égale à la fréquence de coupure *minimale* du passe-bas, à 1,5 KHz. Ce choix fut motivé par la grande sensibilité de l'oreille autour de cette fréquence, et le résultat auditif est étonnant...

A titre d'exemple, nous avons visualisé, sur la voie 1, le signal d'entrée E_1 (le signal sur l'entrée E_2 étant toujours en créneaux) et, sur la voie 2, le signal à la sortie du filtre lorsque la bande passante est la plus large (figure 7 : P_4 maximum et P_5 minimum) et la plus étroite (figure 8 : P_4 minimum et P_5 maximum). Dans ce dernier cas, le nombre et l'amplitude relative des harmoniques sont nettement diminués.

A noter que la composante continue obtenue précédemment à la sortie de l'additionneur, et pouvant conduire à terme à la saturation du montage, a disparu grâce à la présence du filtre passe-haut.

4.4. Fonction amplification en puissance

La limitation en courant à la sortie de l'AO I C_{3B} ($I_{smax} = 20$ mA) nous amène à utiliser un amplificateur de courant qui apporte l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de notre haut-parleur.

Le choix s'est porté sur un étage push-pull de classe B, à transistors complémentaires et de caractéristiques identiques, avec contre réaction sur l'AO.

La répartition des puissances mises en jeu peut être représentée par la figure 9.

P_e , P_f , P_{AO} , P_j , P_{dt} et P_u étant respectivement les puissances moyennes d'entrée, fournie par les alimentations continues, consommée par les amplificateurs opérationnels, dissipée par effet Joule dans les

résistances r , dissipée par les deux transistors et utile à la charge, on peut écrire que :

$$P_f + P_e = P_u + P_{dt} + P_{AO} + P_j$$

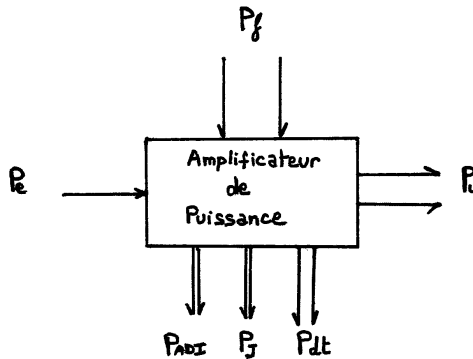


Figure 9

Les termes P_e , P_{AO} et P_j étant négligeables devant les autres puissances, on se ramène à une puissance consommée par la charge :

$$P_u = P_f - P_{dt}$$

Afin d'évaluer les performances de cet amplificateur de puissance, on a relevé en fonction de l'amplitude de la tension aux bornes de la charge :

- la puissance moyenne fournie par les alimentations continues : $P_f = f(U_s)$;
- la puissance moyenne utile à la charge : $P_u = f(U_s)$;
- la puissance moyenne dissipée par les transistors : $P_{dt} = f(U_s)$.

Pour ce faire, on utilise un générateur de commande basse fréquence qui fournit une tension $U_e(t) = U_e \sin \omega_e t$ avec $f_e = 1 \text{ KHz}$ (fréquence de référence audio).

Deux séries de mesures ont été effectuées : l'une avec une charge résistive $R_{ch} = 8 \Omega$ (valeur correspondant à l'impédance des haut-parleurs équipant les chaînes Hi-Fi), et l'autre avec $R_{ch} = 4 \Omega$ (valeur que l'on rencontre dans les équipements d'auto-radio).

Les résistances r de faible valeur ($1\ \Omega/1\ \text{W}$) ont été placées afin d'éviter l'emballement thermique pouvant aller jusqu'à la destruction des transistors.

Cependant leur présence présente l'inconvénient de consommer une puissance, affaiblissant ainsi le rendement de l'étage pour U_s proche de V_{cc} .

Comme les résistances R_7 et R_{10} , R_{15} permet de compenser l'effet des courants de polarisation de l'AO.

Le relevé de mesures s'effectue en agissant sur l'amplitude du signal de commande U_e , entraînant ainsi des variations de U_s .

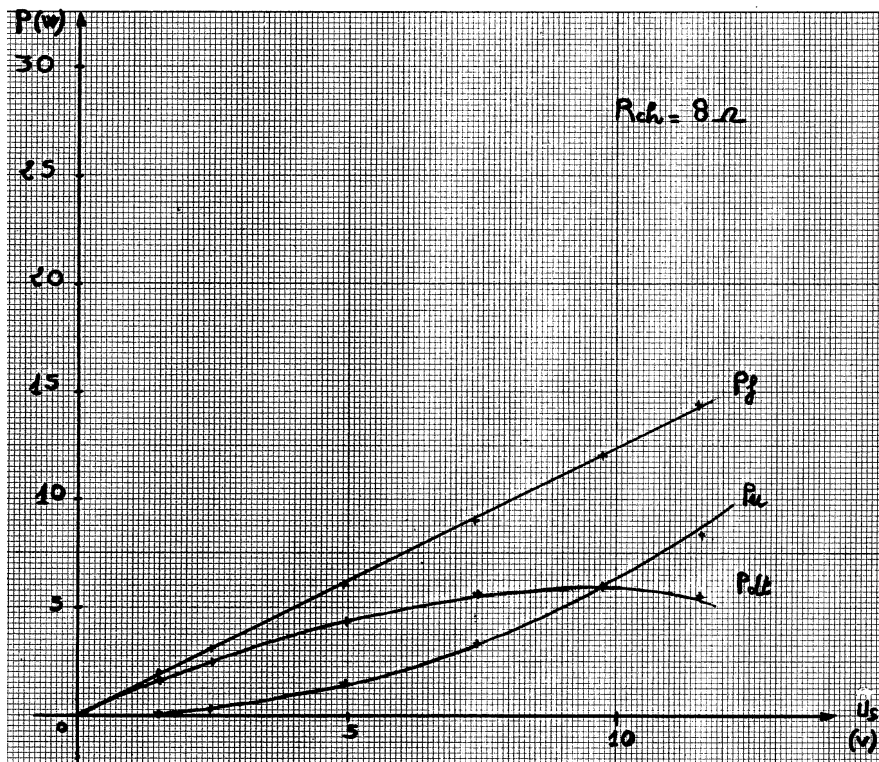


Figure 10

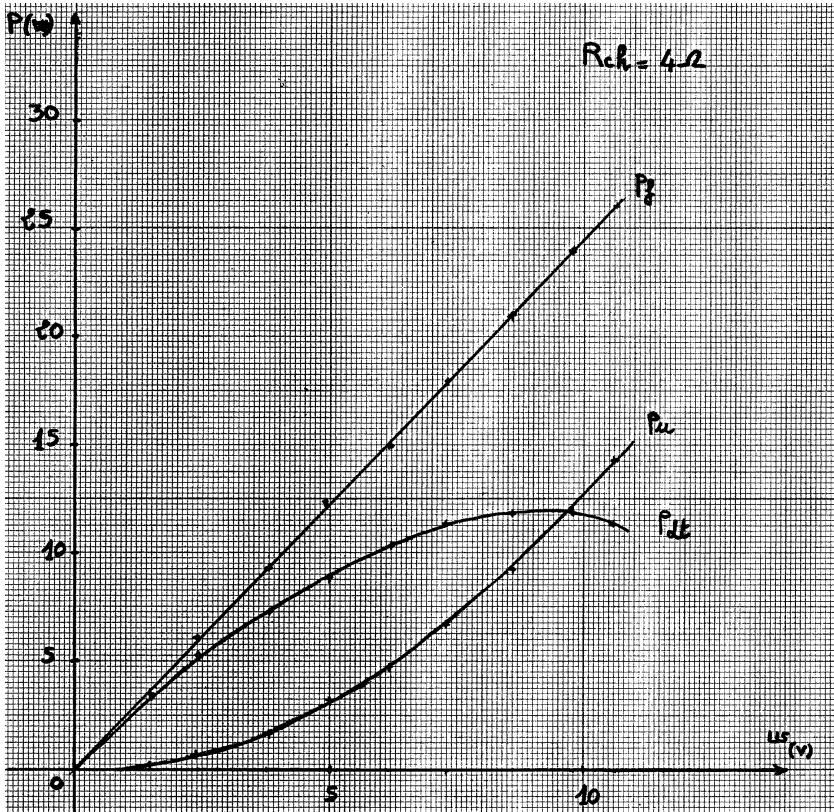


Figure 11

Les graphes de la figure 10 et 11 nous permettent de faire les remarques suivantes :

- La limite de l'écrtage ne se situe pas pour $U_s = V_{cc}$ à cause de la tension de déchet d'environ 1 V due à l'AO. De plus, à cause de la résistance de sortie de l'étage de puissance (très faible mais non nulle), il apparaît à nouveau une chute de tension lorsque cet étage est chargé par 8Ω ou 4Ω .

Ces considérations nous écartent de la valeur théorique maximale du rendement (78 %) pour n'obtenir qu'une valeur avoisinant les 60 %...

- La puissance P_f absorbée par le montage est proportionnelle à U_s (croissance linéaire).

Elle est maximale lorsque l'on se situe à la limite de l'écrêtage et pratiquement nulle en absence de signal de commande (seul l'AO consomme un faible courant de polarisation de 4,5 mA).

– La puissance P_u délivrée à la charge croît d'autant plus rapidement que U_s devient grand (croissance parabolique). Elle est maximale à la limite de l'écrêtage.

– La puissance dissipée par les transistors P_{dt} peut aussi être tracée puisque : $P_{dt} = P_f - P_u$.

Elle fait apparaître un maximum correspondant à la valeur particulière : $P_{dt} = P_u$.

Contrairement à ce que l'on peut croire, ce n'est pas lorsque l'étage de puissance délivre le maximum de puissance à la charge que la puissance dissipée par les transistors est maximale !

Une bonne utilisation de cet étage consiste donc à le faire travailler avec un courant et une tension de sortie aussi grande que possible.

– Enfin le passage de $R_{ch} = 8 \Omega$ à 4Ω double les puissances mises en jeu. Il faudra donc veiller à avoir une alimentation plus importante, des caractéristiques de transistors et de radiateurs adaptées.

5. CONCLUSION

Par cet article, nous avons voulu montrer comment une réalisation pratique, susceptible d'intéresser enseignants par l'introduction de l'acoustique dans les nouveaux programmes du secondaire et élèves, peut s'intégrer parfaitement dans le déroulement du programme de terminale STI option génie électronique.

Cette maquette se veut avant tout didactique¹ et non pas industrielle. On trouvera d'ailleurs en annexe 2 des améliorations pouvant être éventuellement effectuées. Elle peut faire l'objet de multiples fiches T.P. Nous-mêmes en avons proposées deux, que nous ne pouvons publier dans cet article, faute de place.

1. C'est un parti pris didactique que d'employer des amplificateurs opérationnels systématique. Les solutions industrielles exploitent généralement des transistors et des circuits intégrés spécifiques.

Pour terminer, il n'est pas vain d'insister sur l'importance des réglages par les différents potentiomètres, afin que toute l'information soit transmise, et sur le choix d'un bon haut-parleur pour la qualité du son obtenu.

BIBLIOGRAPHIE

- «*Amplificateurs opérationnels 2*» - GIRARD - Ediscience.
- «*Électronique 2*» - CŒURDACIER - Dunod.

Annexe 1

Mise en forme d'un signal sinusoïdal de très faible amplitude

Grand nombre d'établissements ne sont pas équipés de générateurs basse fréquence pouvant délivrer une amplitude comparable à celle que peut fournir un micro (2 à 20 mV). C'est le cas par exemple du générateur CIRCUITMATE FG2 qui ne peut délivrer une amplitude en-deçà de 50 mV (en position - 20 dB).

On peut alors faire suivre ce type de générateur par le montage atténuateur ci-après.

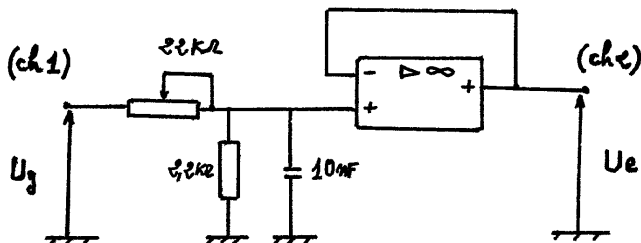


Figure 12

Si on omet la capacité de 10 nF, on laisse transiter le signal U_g entaché de parasites (figure 13).

En revanche, la présence de cette capacité permet de restituer proprement la forme du signal initial (figure 14).

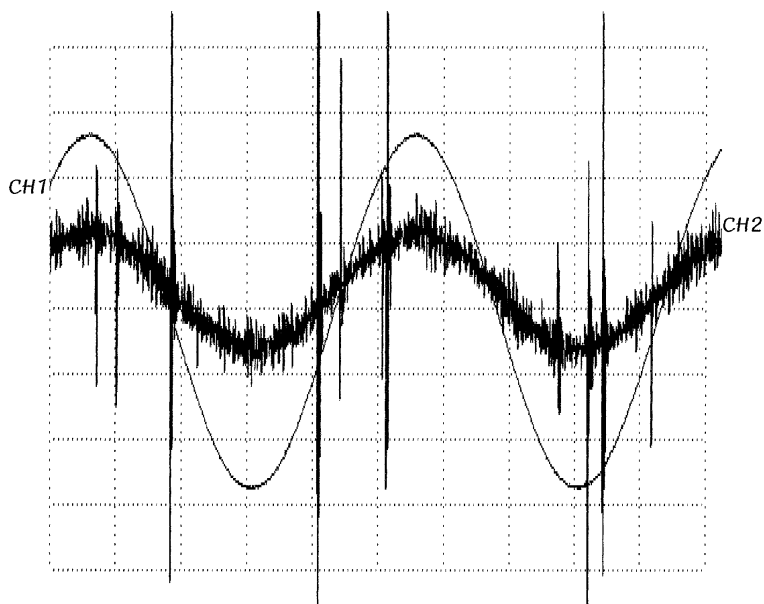


Figure 13

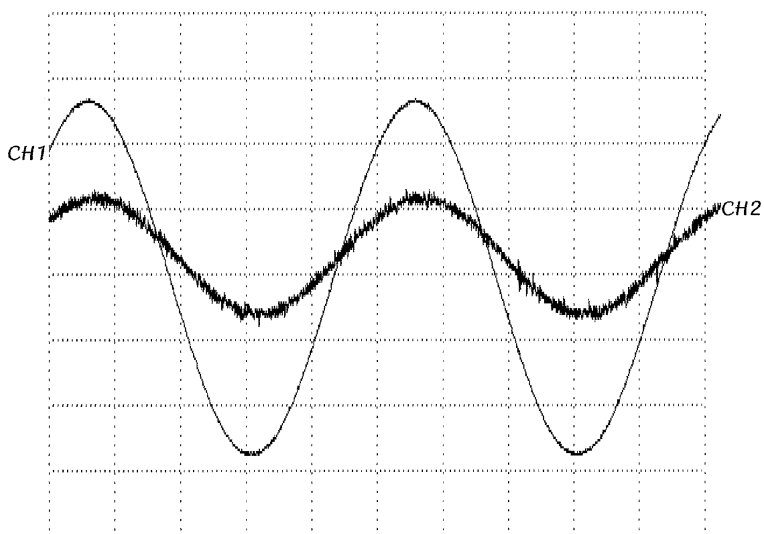


Figure 14

Annexe 2

Améliorations éventuelles de la table de mixage

Entrée mono (micro / guitare) : on peut par exemple réaliser deux entrées identiques : l'une pour le micro et l'autre pour la guitare.

Entrée audio : le rajout d'un autre étage amplificateur de tension inverseur nous permet de réaliser une entrée stéréo (voie gauche et droite). Prévoir, dans ce cas, un raccordement à fiche CINCH stéréo.

Sortie haut-parleur : en réalisant plusieurs étages symétriques (additionneur, filtrage et étage de puissance), on peut obtenir deux sorties haut-parleur (voie gauche et droite).

Sortie enregistrement : pour ce faire, il suffit de se raccorder à une fiche DIN cinq broches à la sortie des filtres (graves et aigus). Il est tout de même nécessaire d'intercaler un potentiomètre (100 K Ω environ) de manière à diminuer le niveau à une amplitude correspondant à celle de l'entrée enregistrement.

Alimentation : si l'on met en sortie des haut-parleurs 2×15 W, une alimentation délivrant un courant plus important (environ 2 A) est nécessaire.

Enfin, pour minimiser le bruit et le souffle résultant au niveau des sorties, on pourra utiliser des amplificateurs opérationnels adaptés au fonctionnement audio (faible bruit, bonne séparation des canaux, bonne réjection de la tension d'alimentation) comme le TL072 ou le NE5532.

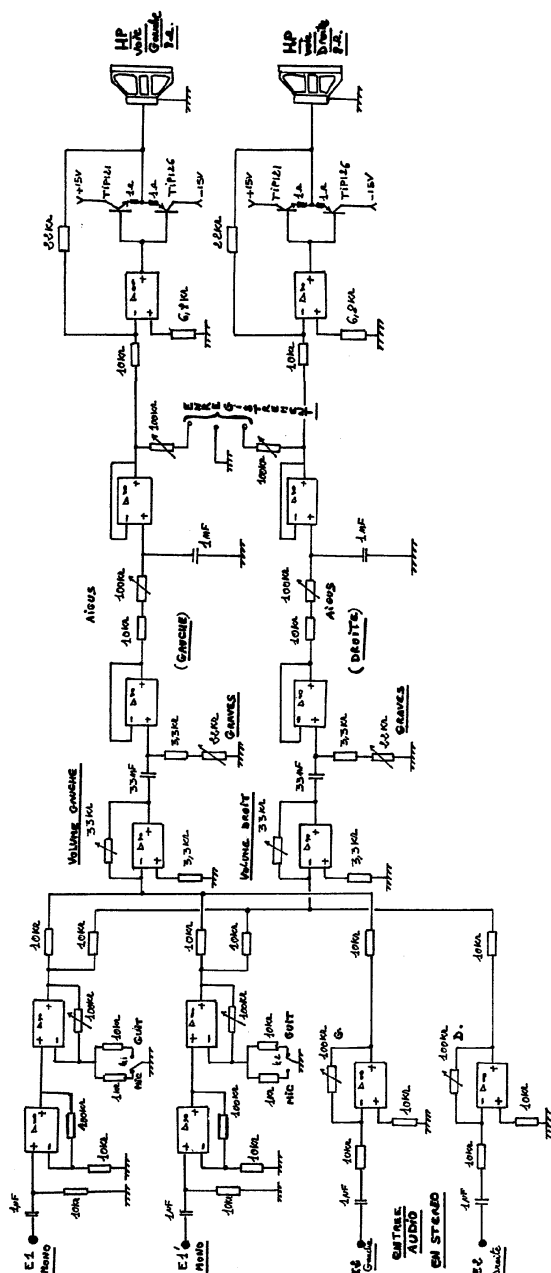


Figure 15 : Schéma complet de la table de mixage.