1 Haut-parleur à plasma

1.1 Objectifs et principes

Un haut-parleur à plasma (*plasma* speaker) est un *tweeter* dont la génération des ondes sonores est obtenue par la modulation d'un plasma. Le plasma est obtenu au moyen d'un transformateur haute tension. Il s'agit d'un montage très populaire sur Internet.

1.1.1 La génération d'ondes sonore au moyen d'un plasma

Le principe de fonctionnement d'un haut-parleur à plasma est très simple : un fort champ électrique chauffe les molécules de gaz et les ionise (production d'un plasma) ; l'augmentation de la température induit une augmentation de la pression locale[1] (loi des gaz parfaits) ; la variation de la pression est ce que l'on appelle communément une onde sonore. En pratique, le signal sonore à transmettre (par ex. un signal musical) module une porteuse dont la fréquence est de plusieurs kilohertz (typiquement : 40KHz, voir [1] pour une description détaillée de la physique du phénomène).

Du fait de l'absence de pièces mécaniques (par exemple, une bobine, un cône,…), le haut-parleur plasma permet de produire des sons de très haute fréquence (150KHz) ; par contre, étant donné le faible volume de gaz déplacé (le gaz qui se situe immédiatement à proximité de l'arc), le volume reste faible.

1.1.2 La génération du plasma

(a) Le transformateur THT

La très haute tension nécessaire à la génération de l'arc électrique est obtenue au moyen d'un transformateur. On pourrait aussi obtenir une très haute tension au moyen d'un multiplicateur de tension à diodes ; parfois, les deux dispositifs (transformateur et multiplicateur) sont utilisés conjointement.

Dans un transformateur, le rapport des tensions entre primaire et secondaire est égal au rapport du nombre de spires. Aussi, pour obtenir une tension de l'ordre de la dizaine de kilovolts, il est nécessaire d'avoir plusieurs milliers de spires au secondaire. Pour que le volume et le poids du transformateur reste raisonnable, le diamètre du fil du secondaire est extrêmement faible.

On trouve des transformateurs THT dans divers équipements : dans le système d'allumage des automobiles (dans ce cas, il ne s'agit pas vraiment d'un transformateur mais d'une simple bobine), dans le système d'allumage des chaudières et – surtout – dans les téléviseurs et moniteurs à tubes cathodiques. La plupart des montages hauts-parleurs plasma disponibles sur Internet exploitent ce dernier type de transformateur (en anglais : *flyback transformer*).

Dans un téléviseur, la THT est utilisée pour accélérer le faisceau d'électrons dans le tube[2] (en vérité, le même transformateur produit plusieurs tensions pour divers usages…).

La figure ci-après (issue du site de M. Dubois [3]) donne la structure schématique d'un tube couleur. Le texte qui suit est extrait du site :

> *Chaque canon comprend, en plus de son filament et de sa cathode, une grille de commande G1, une anode accélératrice G2, une anode de concentration G3 (toujours du type électrostatique), et enfin une seconde grille accélératrice G4, reliée électriquement à l'anode représentée par le cône métallique. La [Figure 1] indique le schéma électrique d'un tel cathoscope. On remarquera qu'il y a une grille G1 de commande pour chacune des trois couleurs, qu'il y a de même trois grilles G2 distinctes. Par contre, les grilles G sont reliées entre elles et aboutissent à une seule broche, de même que les grilles G. Les filaments sont au nombre de trois et reliés en parallèle.*
> *Les tensions requises pour le fonctionnement de ce tube sont :*
> - *6,3 volts pour les filaments (1,8 A pour les trois)*
> - *40 à 100 volts négatifs par rapport à la cathode, pour les grilles de commande G*
> - *150 à 300 volts positifs par rapport à la cathode pour les grilles accélératrices G*
> - *3 800 à 5 300 volts pour les grilles de concentrations G*
> - *20 000 à 25 000 volts pour les grilles accélératrices G pour l'anode et le masque*

L'électrode G4 est celle connectée au moyen d'une « ventouse » à la sortie « principale » du THT.

---

[1] Etant donnée la vitesse de variation de la température, on peut considérer en première approximation que le volume de gaz est constant.

[2] Voir par exemple le cours de M. Cremmel [2].

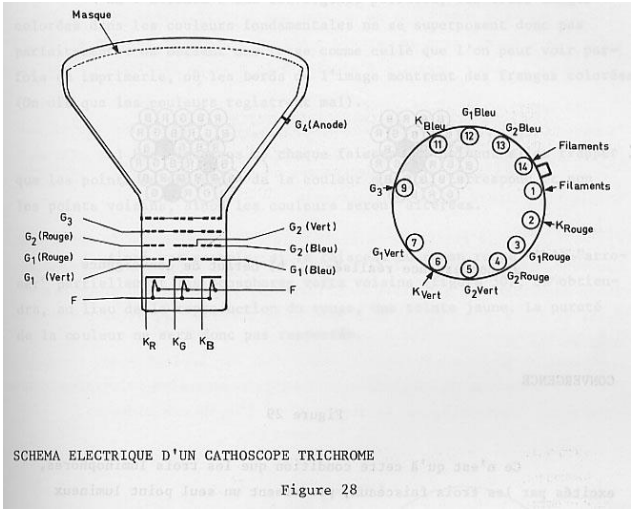

Figure 1: Structure d'un tube TV couleur

S'agissant d'une tension de polarisation, le signal en sortie du transformateur est redressée par une diode HT et filtrée par la capacité du tube lui-même. La diode HT est constituée d'un ensemble de diodes mises en série[3].

Figure 2: Diodes THT 15KV

Il existe divers types de transformateurs THT. Ils diffèrent sur plusieurs points : la tension de sortie, la présence d'une capacité intégrée, la présence d'une diode HT, etc. Jozef Bogin [4] distingue 4 types principaux, mais on ne trouvera lors du démontage de téléviseurs ou de moniteurs relativement récents que des modèle du « type 4 » comportant des diodes HT, éventuellement une capacité HT intégrée[4] (voir Figure 3) et divers enroulements secondaires. La présence de nombreuses broches (une douzaine) et de diodes HT complique l'identification de la broche de retour de la tension HT puisque les diodes HT (constituées d'une série de diodes) ne deviennent conductrices qu'avec une tension de quelques dizaines de volts (30V) bien supérieure à ce que délivre un ohmmètre. Deux solutions sont applicables. La première consiste à produire une tension HT (via le primaire) et déterminer à l'aide de la sortie HT (le gros fil muni d'une vensouse à son extrémité) la broche pour laquelle l'arc est le plus grand. La deuxième solution consiste à polariser les diodes avec une tension suffisante (30V) et une résistance en série et sonder la broche qui a présente la tension la plus élevée.

[3] A noter que la présence d'une diode HT en sortie du secondaire empêche l'utilisation d'un ohmmètre pour déterminer la broche de retour de la THT (la série de diodes ne devient passante qu'à une tension de plusieurs dizaines de volts).

[4] Gare aux chocs électriques! Il est conseillé de décharger la capacité avant de manipuler le transformateur. De même, il est conseillé de décharger le tube cathodique lors du démontage du transformateur. Pour cela, il suffit de court-circuiter le chassis métallique du tube avec le connecteur situé sous la ventouse (il suffit de glisser un fil sous le caoutchouc).

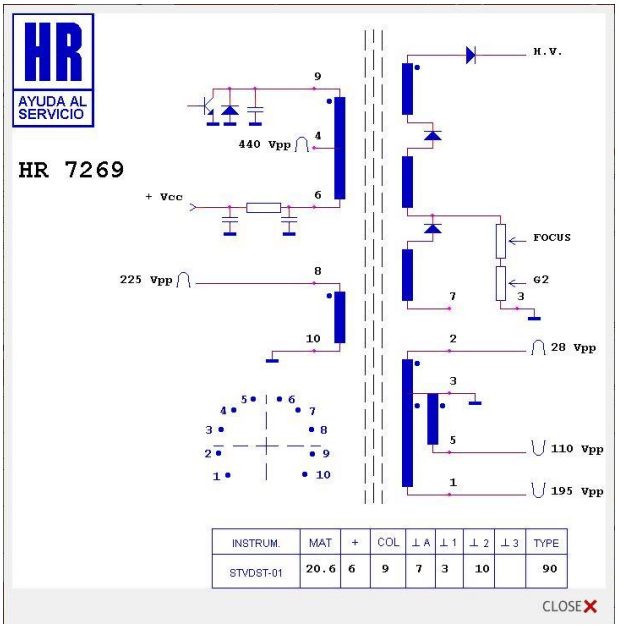

Figure 3 : Exemple de structure interne d'un transformateur *flyback*

(b) La génération du signal primaire

On distingue trois parties :

- Le générateur du signal à quelques kilohertz modulé par la source sonore ;
- Le dispositif de transformation du signal basse puissance en un signal haute puissance destiné à piloter la bobine du primaire ;
- Le bobinage du primaire.

Signal modulé basse puissance

Le signal basse puissance modulé peut être généré de diverses manières.

Dans un téléviseur…

Dans le cas particulier des hauts-parleurs à plasma, diverses solutions ont été adoptées :

- Utlisation d'un oscillateur à transistor
- Utilisation d'un NE555
- Utilisation d'un controleur PWM intégré

Production du signal forte puissance

La encore, diverses solutions ont été adoptées :

- Transistor bipolaire
- Transistor MOSFET

La deuxième solution est la plus courante.

Le pilotage du MOSFET est soit réalisé directement (par ex. par la sortie du NE555) ou par l'intermédiaire d'un *driver*. Cette deuxième solution semble la plus appropriée car elle assure une bonne commutation du transistor (or, dans le cas d'une commutation incomplète, la puissance dissipée par le transistor est énorme…). A noter que certains concepteurs jugent cette solution luxueuse (*overkill*) étant donnée la faible fréquence du signal (20KHz).

Un fois la technologie de commutation forte puissance choisie, il reste à déterminer la topologie du circuit :

- Commutation par un seul transistor
- Demi-pont en H
- Pont en H complet

Les différences de performance entre un demi-pont et un un pont complet sont analysées dans [1].

Le circuit de puissance doit être protégé :

- Contre une température trop importante
- Contre les surtensions inverses en provenance de la bobine du primaire.

Bobinage primaire

Là encore, il existe une alternative :

- Utiliser le primaire d'origine du THT (mais il faut déterminer les broches correspondantes…)
- Réaliser un bobinage manuel sur le noyau de ferrite (ce qui impose que l'on puisse accéder au noyau et y bobiner un fil…)

Alimentation de puissance

L'alimentation de puissance doit pouvoir débiter plusieurs ampères (4A) sous au moins 24V pour que l'arc soit de taille suffisante ; une puissance de l'ordre de 90W est suffisante.

Les montages proposés sur Internet utilisent les sources continues suivantes :

- Alimentation de PC de bureau
- Alimentation de PC portable (on en trouve pour une dizaine d'euros sur eBay)
- Batterie au plomb (là, gare aux courts-circuits…)

Sur un poste de télévision, le transformateur est alimenté par une tension d'environ 100V (la tension collecteur sur le transistor de commutation est de l'ordre de 1200V ce qui, avec un rapport de transformation de l'ordre de 20 conduit à une tension au secondaire de l'ordre de 25KV, cf. [5])

1.1.3 Les différentes formes de modulation

Deux types de modulations sont utilisés :

- Modulation du rapport cyclique

  Attention : le rapport cyclique doit être très faible de façon à minimiser la puissance dissipée dans le transistor.
- Modulation de la fréquence

1.2 Les différentes solutions

L'une des meilleures réalisations est celle de Richard (alias *timetec* sur youtube). Ce dernier a publié diverses vidéos qui démontrent la bonne qualité sonore de sa réalisation. Malheureusement, l'auteur n'a pas publié de schéma ; on peut cependant avoir une idée de celle-ci à partir des discussions du forum 4hv.org. Il semble qu'elle s'inspire de celle proposée par *kizmo* (https://www.youtube.com/watch?v=1BlrhI0pRIs) qui donne elle-aussi de bons résultats. Elle utiulise sur un contrôleur PWM TL494, un MOSFET IRFP460 piloté par un driver ICC 9A ; un transformateur fournit la tension de 30V utilisée pour le primaire. Le signal est modulé à 20KHz.

1.3 Notre réalisation

1.4 Pour aller plus loin

On trouvera d'intéressantes informations techniques sur les transformateurs *flyback* sur le site www.repair.org [6]. Sur les aspects plus théoriques, on pourra aussi consulter la note d'application SLUG127 de Texas Instruments [7].

1.5 Références

[1] D. Severinsen et G. Sen Gupta, « Design and evaluation of electronic circuit for plasma speaker », in *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, UK, 2013.

[2] M. Cremmel, « Tubes cathodiques - Constitution et circuits de déviation ». [En ligne]. Disponible sur: http://electronique.marcel.free.fr/Video_Television/Docs/CRT_&_D%E9viations.pdf. [Consulté le: 24-août-2014].

[3] « Les tubes cathodiques couleurs ». [En ligne]. Disponible sur: http://dede92dubois.free.fr/alacouleur/15/15alacouleur.htm. [Consulté le: 24-août-2014].

[4] J. Bogin, « A Guide to Flyback Transformers.docx ». .

[5] « Production de la THT – Circuits annexes ». [En ligne]. Disponible sur: http://dede92dubois.free.fr/alacouleur/21/21alacouleur.htm. [Consulté le: 26-août-2014].

[6] « Testing of Flyback (LOPT) Transformers ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.repairfaq.org/REPAIR/F_flytest.html. [Consulté le: 24-août-2014].

[7] « Magnetic design », Texas Instruments, slup127.