

LED it beam !

Projecteur à LED de puissance

Jeroen Domburg

Malgré l'agrément d'une soirée au cinéma, elle présente quelques inconvénients comme l'impossibilité de mettre le film sur pause le temps de satisfaire un besoin, un confort incertain, et le voisinage de spectateurs turbulents.

Inconvénients que n'a pas le projecteur *home cinéma* : grand écran, pause, et public privilégié. Reste la faible durée de vie de la lampe, et son prix prohibitif.

Le projecteur *home cinéma* offre une image d'autant plus grande qu'on lui ménage le recul nécessaire.

L'installation se fait facilement : un grand mur, un écran, une source, par exemple un PC ou un lecteur DVD, et voilà des images qui peuvent atteindre plusieurs mètres de diagonale.

Les coûts

Les projecteurs *home cinéma* ont cessé d'être onéreux par rapport aux services qu'ils rendent. On en trouve à partir de quelques centaines d'euros sur le marché de l'occasion. En acheter un nouveau ne coûte plus une fortune.

Mais ce serait oublier la question du remplacement régulier de la lampe UHP qu'ils contiennent tous. Quelques milliers d'heures est une durée de vie bien limitée pour une lampe UHP qui revient à près de 400 €.

Si l'on prend l'habitude de l'utiliser tous les jours pour les nouvelles, visionner un film et jouer aux jeux sur PC, on peut s'attendre à devoir remplacer la lampe UHP chaque année.

Or, certains projecteurs récemment mis sur le marché utilisent des LED de puissance comme source de lumière en lieu et place de la lampe UHP. Il en résulte non seulement une durée de vie allongée, mais également une simplification du circuit de refroidissement qui permet un plus grand silence de fonctionnement.

L'inconvénient pour l'instant, est que ces projecteurs à LED, du fait de la nouveauté, restent onéreux avec des prix au-delà de 1 000 €.

Depuis quelques mois, les LED de puissance sont disponibles au détail. D'où l'idée de les utiliser pour la mise au point d'un projecteur *home cinéma* silencieux, bon marché et sans coûts récurrents.

Tel est le défi que nous vous proposons ici.

La technique

Nous sommes partis d'un projecteur très répandu à base de DLP, technique bien connue de nos lecteurs.

Pour rappel, l'image se forme sur la puce DLP constituée d'environ un million de petits miroirs basculants, commandés par la force électrostatique.

Chaque pixel de la puce dévie ou non la lumière de la source vers l'écran de projection.

Les niveaux intermédiaires sont gérés par la puce DLP, qui commute chaque miroir en PWM (*Pulse Width Modulation*, MLI pour Modulation en Largeur d'Impulsion en français) à plusieurs centaines de hertz, modulation que l'œil humain intègre du fait de la persistance rétinienne.

Voilà pour le schéma général.



Voici notre projecteur, celui que nous allons modifier. Très compact, il n'y aura pas beaucoup de place pour y installer de nouveaux éléments spécifiques.



Cette fameuse lampe, fragile et onéreuse, que nous nous efforçons de remplacer par des LED.



Voici où prend place la lampe. Sous elle on remarque un des trois ventilateurs qui assurent son refroidissement. Vers l'arrière, l'orifice rond débouche sur la roue colorée et le système de condensation (noir).

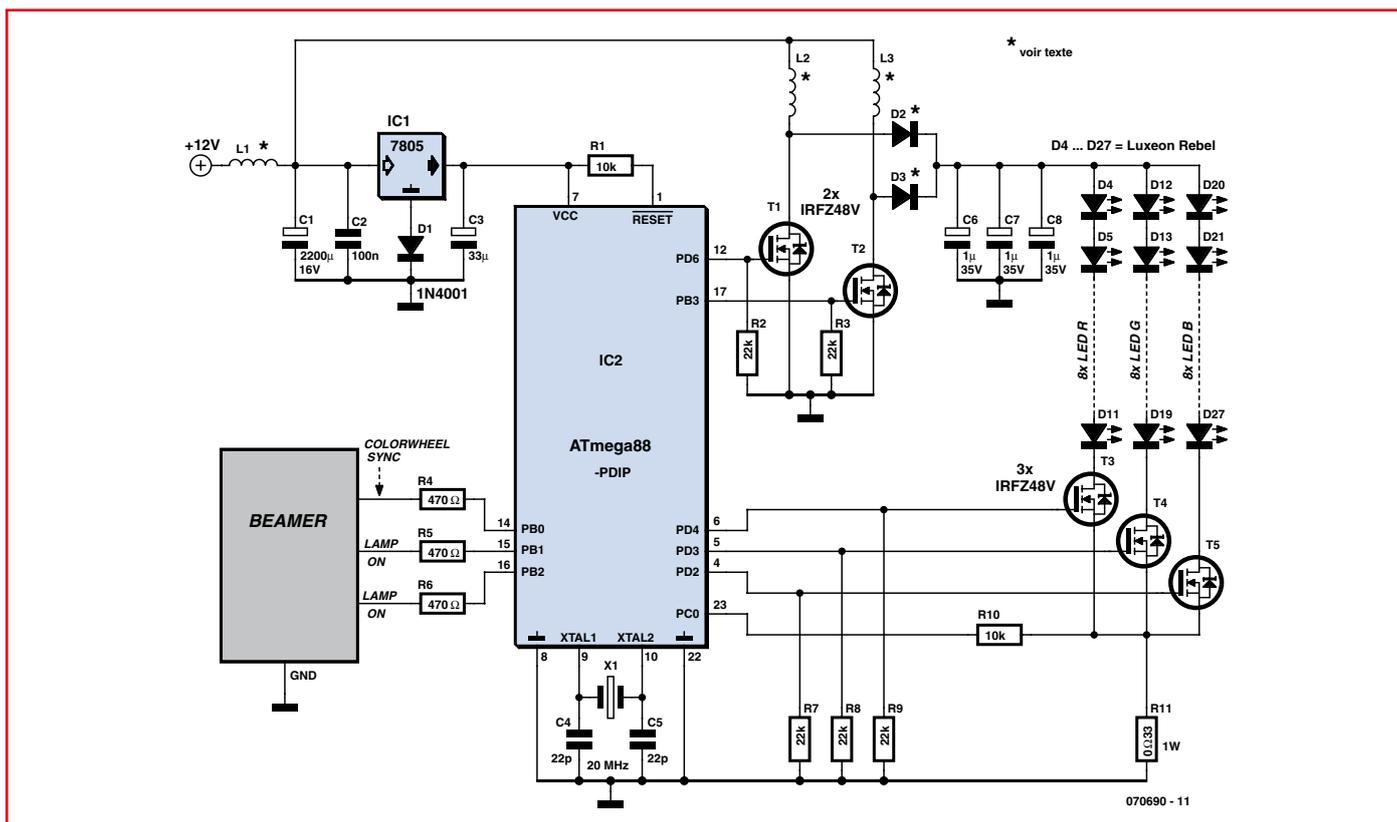


Figure 1. Le schéma est comme souvent à base d'un microcontrôleur qui s'occupe ici du séquençage et de la gestion du convertisseur boost.

La source de lumière consiste habituellement en une lampe à gaz sous haute pression, appelée lampe UHP, dont le faisceau est en principe condensé par une lentille. Pour la reproduction des couleurs, le faisceau passe au travers de filtres colorés, matérialisés par le système de la « roue colorée », où chaque couleur primaire est activée à tour de rôle, rouge, puis vert, puis bleu. Comme d'habitude, s'agissant d'une image colorée, il y a en réalité trois images distinctes, une par couleur primaire. La roue tourne à une fréquence de 100 Hz en PAL 50 Hz, soit 6 000 t/m ce

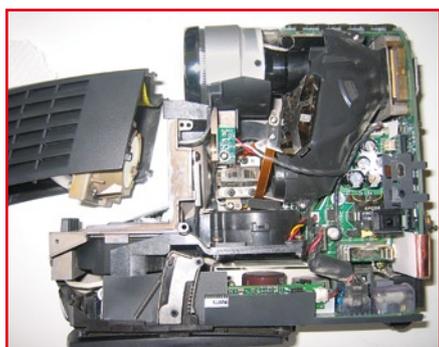
qui, encore une fois, échappe à notre œil qui ne peut pas suivre. En NTSC 60 Hz, elle tournerait à 120 Hz, soit 7 200 t/m.

Derrière la roue colorée se trouve le dispositif de focalisation qui produit un faisceau homogène et adapté, dirigé sur la puce DLP (*Digital Light Processing*) qui est constituée de près d'un million de micro-miroirs.

Il en résulte deux faisceaux distincts. Le premier forme l'image désirée, et est pris en charge par la lentille de sortie qui assure la focalisation sur l'écran

de projection. Le deuxième, en quelque sorte le négatif de l'image, décalé de 45 degrés du fait des micro-miroirs qui ont basculé, vient mourir dans un absorbeur noir.

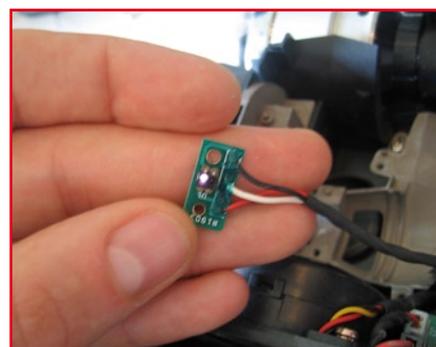
On procède à un multiplexage des couleurs primaires. Sur une image mouvante rapide, il va y avoir un décalage temporel entre les trois couleurs, donc apparition d'une frange colorée sur les bords des objets lumineux qui se déplacent rapidement. Les spécialistes repèrent ainsi les projecteurs construits à base de DLP et de roue colorée.



La lumière chemine de la lampe, vers la roue colorée (derrière le PCB), par le système de condensation optique, avant de frapper la puce DLP (dorée) et de s'y réfléchir pour gagner la lentille de sortie.



La roue colorée. On reconnaît également le petit PCB qui contient le détecteur optique. La roue colorée comporte les trois sections colorées plus un petit secteur transparent.



La détection optique. La LED infrarouge est distincte du phototransistor. Ici, l'appareil photo a capté le rayonnement infrarouge, ce qui nous permet d'identifier l'émetteur.

On pourrait se contenter de remplacer la lampe UHP par un groupement de LED blanches de puissance.

Mais, puisqu'il existe des LED rouges, vertes et bleues, pourquoi ne pas tenter de se passer de la roue colorée ?

Si l'on installe trois sources distinctes (rouge, vert et bleu), la roue colorée devient inutile pour autant que l'on gère avec précision les sources, en émulant le flux lumineux qui sort de la roue colorée. Comme chaque LED n'est active qu'un tiers du temps, on pourra monter le courant de pointe à la valeur de 300% sans préjudice pour la durée de vie des LED ainsi utilisées de façon optimale. Il nous faut un circuit de séquençage et de synchronisation (inutile si l'on transforme un projecteur LCD, qui lui ne contient pas de roue colorée).

L'opération va donc se résumer à ouvrir le projecteur DLP, retirer sa lampe, retirer sa roue colorée, installer notre source RGB à LED, et programmer un microcontrôleur afin d'émuler le flux sortant de la roue colorée.

Bric-à-brac

Nous avons trouvé sur eBay un projecteur *home cinéma* DLP Compaq MP3800 d'une résolution de 1 024 x 768 pixels. Il nous plaît car il est compact et il délivre des images précises, proches de la HD. Au rang des inconvénients, les critiques sont nombreuses : trop de bruit de ventilation, certaines parties exposées chauffent trop, et piètre durée de vie de la lampe (parfois moins de 500 h).

Le profil parfait pour notre charcutage ! A nous d'effacer tous ces défauts en remplaçant la lampe par des LED de puissance trouvées dans l'arsenal Luxeon, fabricant renommé, en particulier la série « Rebel » en format SMD. Malgré leur petit diamètre, elles digè-

rent un courant de 700 mA et génèrent jusqu'à 100 lumens. Ces LED dernier cri sont disponibles chez les bons vendeurs de composants.

Pour un budget limité à 100 € nous pouvons en obtenir 24, ce qui représente une puissance lumineuse brute combinée de 2 400 lumens, qui, précision importante, ne sera pas dégradée par le passage dans la roue colorée, celle-ci allant être supprimée.

Vient à présent le calcul sommaire de la puissance dissipée : 700 mA efficaces dans trois canaux (rouge-vert-bleu) comportant chacun 8 LED en série, cela fait des volts et des ampères, donc des watts. Si l'on considère donc 24 éléments d'une tension directe de 3 V par LED, parcourus par un courant de 700 mA, cela donne une dissipation totale de 50 W environ. Pour conserver une durée de vie supérieure à 50 000 h, la puce ne peut dépasser une température de 150 °. Un système de refroidissement reste nécessaire, mais on ne parle plus maintenant que de dizaines de watts à dissiper.

Afin d'utiliser tant que possible du matériel disponible, nous nous sommes dirigés vers les techniques de refroidissement des PC, en particulier un refroidisseur Peltier pour Pentium 4 capable d'absorber jusqu'à 130 W, trouvable au rayon surcadencage (*overclocking*). Une telle solution peut paraître compliquée, mais nous en sommes aux préliminaires et nous voulons tester toutes les options, par exemple la relation entre la température de fonctionnement et la durée de vie. De plus, au vu des efforts consentis, nous voulons assurer un fonctionnement le plus silencieux possible. Le prix à payer pour cela est une heureuse surprise : moins de 50 € y compris un joli module d'affichage de la température. Tant que nous nous trouvons au rayon « surca-

dençage », achetons du compound adhésif et conducteur de chaleur, une sorte de colle à deux composants. Ainsi parés, nous serons en mesure de fixer de façon optimale les 24 LED sur la semelle active du module Peltier.

Premiers pas

Premier objectif : tester la source de lumière. Première difficulté : les LED sont au format SMD, donc elles ont leurs conducteurs au dos, sur la face qui doit être refroidie par le module Peltier. Comment dès lors les alimenter et les refroidir, si du câblage vient s'interposer ?

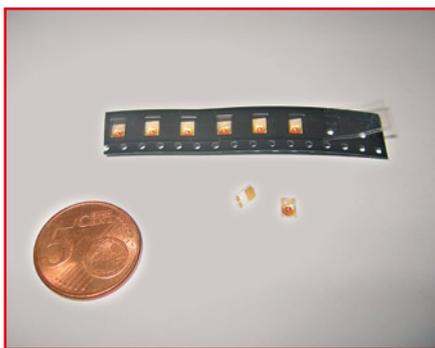
La solution est simple : enlever la semelle métallique du module Peltier pour découvrir le module actif en céramique non conductrice. Laquelle viendra directement au contact du dos des LED. Celles-ci ne seront dès lors pas mises en court-circuit.

Pour les connecter, gratter un peu le vernis protecteur à l'avant et dégager les conducteurs pour y souder le fil wire-wrap 30 AWG au Kynar, qui résiste à une température jusqu'à 130 °. Chaque couleur va utiliser 8 LED qu'on branchera en série en dosant le courant via une alimentation de laboratoire, réglable en courant, à 700 mA.

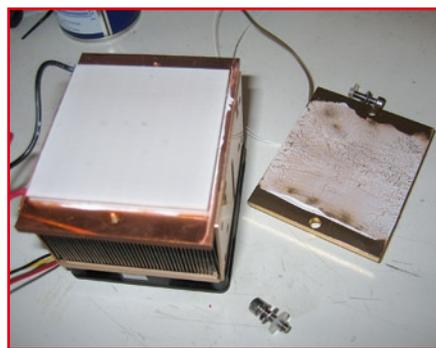
Si l'on envoie le courant, gare à la surchauffe tant que le module Peltier n'est pas en action !

Il est interdit de regarder la source directement, car une intensité de près de 2 400 lumens occasionne des lésions oculaires graves et irréversibles.

Toutes précautions prises, après avoir connecté le dispositif quelques dixièmes de secondes pour éviter l'échauffement, nous pouvons affirmer que 2 400 lumens représentent une sacrée fontaine de lumière ! Belle motivation pour poursuivre le projet !



Les LED de la marque Luxeon ne sont pas grandes, loin s'en faut. C'est bénéfique pour obtenir une source ponctuelle, mais c'est un inconvénient au moment de les souder.



Le refroidisseur Peltier. Après enlèvement de la semelle métallique, on a accès à la couche céramique qui peut entrer en contact direct avec les LED.



Les LED une fois collées à l'élément Peltier au moyen de colle compound thermique.

« Rétro ingénierie »

Occupons-nous à présent du projecteur. Une fois son capot enlevé, apparaissent tous les éléments : la lampe, la roue colorée et le tunnel de condensation. Dans le cas présent, le tunnel de condensation adopte une géométrie spéciale, avec un miroir qui dévie la lumière vers le haut.

Ce qui saute aux yeux, ce sont les trois ventilateurs pour le refroidissement de la lampe.

Passons à l'examen de la roue colorée. Rien de bien compliqué : un moteur pas à pas fournit le mouvement rotatif tandis qu'un opto-coupleur assure le feedback et la synchronisation. Ce qui veut dire que le circuit de gestion n'aurait besoin que d'un 'top' synchro régulier pour fonctionner, rien de plus. Avec la source vidéo que nous utilisons ici, l'oscilloscope nous indique que ce « top » a bien une fréquence de 100 Hz, autrement dit, la roue colorée boucle bien un tour en 10 ms.

Donc l'idée audacieuse serait que si nous fournissons au circuit de gestion un signal régulier à 100 Hz, tout le projecteur se mettrait à fonctionner comme si la roue colorée était encore présente. Ne pensons pas plus loin pour l'instant, comme par exemple se verrouiller sur la source vidéo.

À partir de ce principe simple (mais peut-être erroné), émuler la roue codeuse devient un jeu d'enfant si on utilise un petit microcontrôleur. Nous avons utilisé un ATmega88. Celui-ci commute trois FETMOS de puissance, un pour chaque couleur. En examinant la roue colorée, on a une petite surprise : au lieu d'une séquence RGB, il y a un secteur transparent sur 1/7 de tour suivi de 2/7 bleu, puis 2/7 rouge puis 2/7 vert. Le secteur transparent permet en effet plus de pêche sur les parties

claires de l'image. Les trois sources devront être activées ensemble durant le secteur transparent, pour émuler cette lumière blanche.

Pour arriver à loger la source LED et son refroidisseur Peltier, il est nécessaire d'enlever les trois ventilateurs d'origine. Or, la gestion du projecteur comporte une sécurité qui l'empêche de démarrer sans ventilateurs. Leur mouvement est détecté via leur fil jaune, qui fournit un signal de masse lorsque tout va bien. Démontons les ventilateurs mais gardons les fils jaunes et branchons-les à une masse quelconque. Le tour est joué.

Au niveau de la lampe, l'on trouve également deux signaux logiques qui influent sur le fonctionnement, et qui sont délivrés par des opto-coupleurs. Le premier signal, fourni par la gestion, demande l'allumage de la lampe. Le deuxième signal, fourni par la lampe, indique que son état est bon. Si cette réponse n'arrive pas en l'espace de quelques secondes, la gestion annule le processus d'allumage.

Donc, pour ce qui nous occupe, il suffit de démonter ces opto-coupleurs et de remplacer le premier (la demande d'allumage) par une LED rouge (qui nous indique visuellement si la gestion demande un allumage), et le deuxième par un interrupteur (normalement fermé) qu'il nous suffit de manœuvrer afin d'envoyer le signal « OK » dans les temps vers la gestion.

Puis il reste à installer la source lumineuse à LED, son module Peltier, y adapter le tunnel de condensation optique, et nous voilà prêts sur le plan mécanique.

Quelques tâtonnements pour figurer la chronologie du microcontrôleur, et nous voilà prêts également de ce côté-là : l'image apparaît enfin, pas aussi belle ni brillante qu'avec la lampe

d'origine, mais ce n'était pas le but recherché puisque nous ne gérons pas encore la totalité des possibilités à ce stade.

Le principe de la conversion est bel et bien validé. Ouf !

L'alimentation

Le refroidisseur qui est issu du monde du PC a besoin de 12 V pour le ventilateur et de 5 V pour l'élément Peltier.

L'alimentation des LED est plus délicate. Elle doit fournir une tension qui ne dépend que des caractéristiques et du nombre de LED en série, soit environ 24 V, et ce qui importe est de respecter la limite du courant admissible spécifiée par le fabricant des LED. Jusqu'à présent, c'était une alimentation de laboratoire DC et régulée en courant qui s'occupait de ce volet. Il est temps de la remplacer par un dispositif ad hoc capable de fournir 2 100 mA pendant 1/3 du temps dans chaque branche de couleur, ce qui équivaut à un courant continu de 700 mA, mais qui procure une brillance supérieure.

La configuration retenue est celle d'un convertisseur *boost* (figure 1) géré et régulé en courant par le microcontrôleur, qui travaille à partir du 12 V. Le circuit résultant est simple ; et cela nous a permis de doubler la structure pour plus de fiabilité avec deux inductances L2 et L3, deux FETMOS T1 et T2, et deux diodes de redressement D2 et D3. Une attention particulière a été donnée aux condensateurs C1 et C2 (au primaire) et C6 à C8 (au secondaire) qui sont parcourus par d'intenses courants alternatifs à 10 kHz (fréquence de travail du convertisseur), qui s'ils n'étaient pas à faible résistance série (*low ESR*), chaufferaient et ne tiendraient pas.

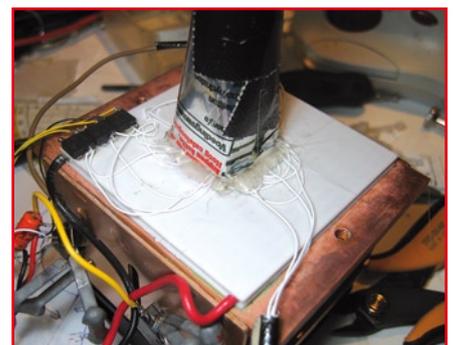
On a vu des condensateurs ordinaires,



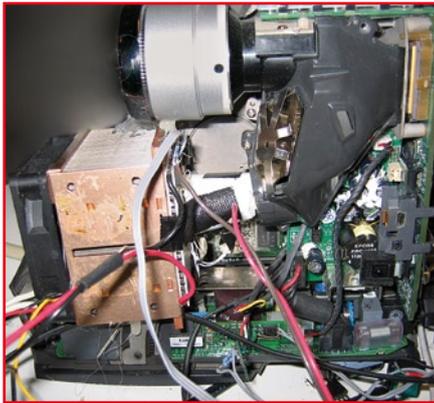
Câblage de la première moitié des LED au moyen de fil wire-wrap au Kynar. On peut éventuellement rigidifier le câblage au moyen de colle instantanée mais dans ce cas, plus question de réparer facilement.



Seulement la moitié des LED ont été câblées, et déjà la source délivre trop de lumière pour notre appareil photo !



Le tout premier dispositif de test : toutes les LED sont câblées, on voit des résistances qui servent à aider l'alimentation de laboratoire, et le capot noir sert à nous protéger de l'émission lumineuse.

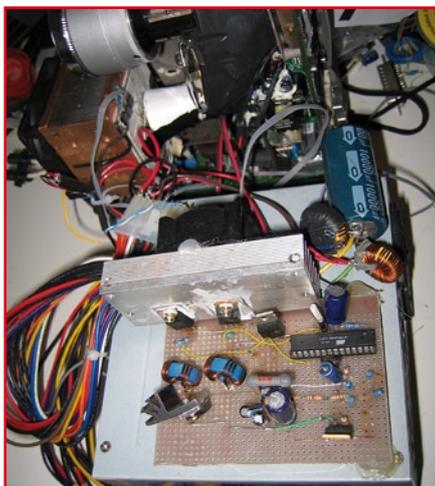


Et voilà le résultat ! De gauche à droite : le ventilateur, le radiateur, le module Peltier, les sources LED et la liaison avec le tunnel de condensation optique.

pas à faible résistance série, littéralement exploser à cause de l'échauffement provoqué par le courant alternatif.

Contrairement aux autres convertisseurs *boost*, la tension sur les condensateurs C6, C7, C8 n'est pas constante car suivant la branche commutée (rouge, vert, bleu), la tension varie quelque peu pour atteindre la consigne de 2 100 mA. Un juste compromis a été trouvé avec les valeurs renseignées ici, c'est-à-dire un filtrage correct du 10 kHz, mais la possibilité également de laisser varier la tension DC suivant la branche allumée.

Des variations du courant de consigne se traduiraient par des couleurs localement inexacts, puisque le rapport RGB ne serait plus constant sur toute



Mais ce serait oublier l'alimentation ATX, à l'avant-plan, sur laquelle prend place le séquenceur et contrôleur d'alimentation comprenant les MOSFET et le ATmega88. Rien n'empêche de peaufiner quelque peu en rassemblant le tout, projecteur et alimentation, dans un boîtier ad hoc.

l'image.

La résistance R11 introduit une chute de tension, et c'est celle-ci qui est régulée par le microcontrôleur ATmega88. Le circuit décrit est bien un convertisseur survolteur *boost*, mais séquencé et régulé en courant de sortie, ce qui en fait toute sa particularité et son intérêt.

Les MOSFET T1, T2, T3, T4 et T5 sont utilisés en commutation « tout ou rien ». Aux courants considérés, en mode passant, la moindre résistance drain-source se traduirait par un échauffement intolérable. Ils doivent commuter de façon franche et totale, et c'est la raison pour laquelle la tension d'alimentation du microcontrôleur est de 5,6 V au lieu des classiques 5,0 V. Ce petit supplément de tension est obtenu par la diode D1 insérée dans le pied du régulateur 7805.

Dans le même ordre d'idées, les grilles de tous les MOSFET comportent une résistance de rappel vers la masse. Ceci garantit un état *off* rapide sans dissipation de puissance au cas où le microcontrôleur se planterait en mettant ses sorties à l'état flottant. Si ces résistances n'étaient pas présentes, et si le microcontrôleur mettait accidentellement ses sorties en mode flottant (haute impédance), les charges éventuellement accumulées sur les grilles des MOSFET ne peuvent pas s'écouler de sorte que la tension de grille peut définir trop longtemps un état intermédiaire entre l'état passant et l'état bloqué, donc une dissipation de puissance destructive au niveau de l'espace drain-source.

Si l'on tient compte des pertes du régulateur *boost* et d'une réserve de puissance par rapport à certains watts taiwanais affichés, c'est une alimentation de 100 W sous 12 V qu'il nous faut. Cela peut sembler beaucoup, mais encore une fois, le monde du PC vient à notre rescousse. Une alimentation PC ATX fait largement l'affaire, couramment capable de délivrer 10 A sous 12 V. Coup double : elle fournit également la tension de 5 V exigée par le module Peltier.

Seule précaution à prendre : l'isoler des pics de courant prélevés par le convertisseur *boost*, ce que nous faisons au moyen d'un filtre LC. L1 est une inductance de déparasitage quelconque trouvée dans un fonds de tiroir, tandis que C1 est un condensateur à faible résistance série qui convient aux applications DC/DC.

Rappelez-vous que tous les composants qui véhiculent des courants variables d'intensité élevée doivent être

sélectionnés avec soin. Les FETMOS sont des IRFZ48V. Les bobines L2 et L3 du convertisseur *boost* proviennent d'une carte-mère pour Pentium 4. Les diodes D2 et D3 du convertisseur *boost* sont des CTG24S *ultrafast recovery* de marque Sanken en boîtier TO-220, donc faciles à refroidir au moyen d'un bout de tôle. Pour ces diodes, on peut aussi essayer des Schottky.

En ce qui concerne les FETMOS, il est conseillé de les munir d'un petit refroidisseur, et de veiller à l'isolation galvanique de leurs drains.

Les résultats

Selon l'auteur, une telle conversion est viable et fonctionnelle.

Moyennant une mise de fonds modeste via un projecteur acheté d'occasion et un peu de travail, on arrive à un projecteur dont la durée de vie est de l'ordre de 50 000 h.

L'image est cependant moins lumineuse qu'un projecteur non modifié, ce qui fait qu'il doit être utilisé en salle obscure, comme c'est toujours le cas au cinéma, ne l'oublions pas.

Peut-il être amélioré ? Nous n'en doutons pas, étant donné les progrès constants dans le rendement des LED de puissance.

L'unité de condensation optique (le tunnel noir) gagnerait à être améliorée. Pour l'instant, on ne peut pas dire que toute la lumière soit parfaitement condensée vers la puce DLP sans qu'aucune lumière ne soit perdue sur les cotés. Or, durant les réglages, nous avons remarqué qu'un supplément de luminosité pouvait être obtenu en resserrant la focalisation du faisceau, mais cela se traduisait par un manque d'uniformité de l'image ou par des taches colorées. Il semble que des modifications de cet ordre se révèlent difficiles et onéreuses. Les systèmes optiques ne sont pas spécialement bon marché et disponibles, comme le sont les composants électroniques.

En ce qui concerne le progiciel (*firmware*) du microcontrôleur, il est disponible au téléchargement sur le site Elektor et sur celui de l'auteur.

Il reste possible d'y faire des adaptations au besoin, par exemple d'autres fréquences ou d'autres types de roues colorées.

(070690-1)

Liens Internet :

www.elektor.fr

<http://meuk.spriteserver.nl/projects/dlpbeamer>