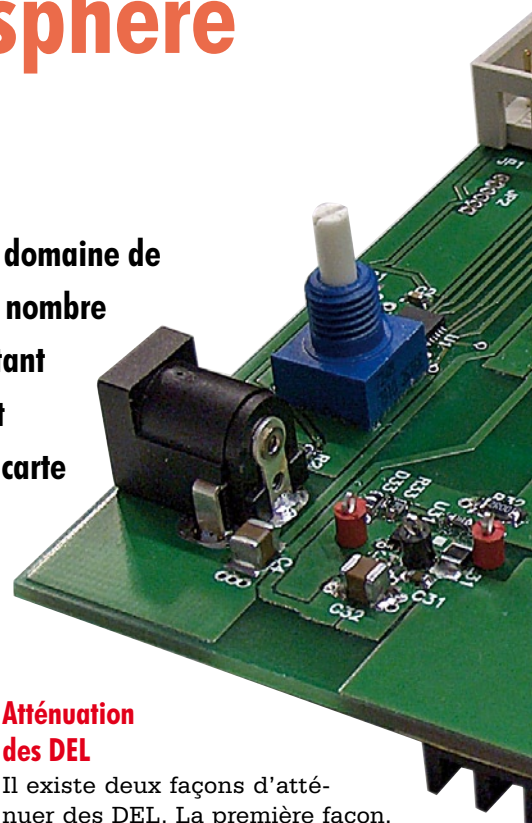


# Lumière d'ambiance

## MSP430 réchauffe l'atmosphère

Dirk Gehrke et Christian Hernitschek

Les **DEL High-Brightness** apparaissent toujours plus fréquemment dans le domaine de l'éclairage. Nous présentons ici un luminaire d'ambiance reposant sur un nombre restreint de composants. Chacune des 3 DEL est alimentée à courant constant par un régulateur à découpage. Un microcontrôleur MSP430, fonctionnant comme un générateur triple de signal PWM, commande la luminosité. La carte peut être montée par exemple dans une lampe de table avec volume en verre dépoli ou comme lampe projecteur à DEL pour l'éclairage indirect.



Les DEL actuelles sont généralement alimentées à courant constant, quelle que soit leur puissance. La raison en est que l'efficacité lumineuse (mesuré en lumens) est proportionnelle au flux de courant. Tous les fabricants de DEL spécifient donc les paramètres comme l'efficacité lumineuse (désigné aussi par « rendement lumineux »), l'angle de rayonnement et la longueur d'onde en fonction du courant à l'état passant  $I_F$  et non, comme on pourrait le penser, de la tension directe  $V_F$ . Ce projet est donc aussi basé sur des régulateurs à courant constant qui répondent à cette condition.

### Courant constant pour DEL à haute puissance

La plupart des convertisseurs à découpage répandus sur le marché n'assurent pas une alimentation à courant constant mais à tension constante. Une modification très simple du circuit permet de transformer un convertisseur de ce genre en source de courant constant. Il suffit que le diviseur de tension généralement utilisé qui fixe la tension de sortie fasse place à une résistance de mesure du courant. La chute de tension de cette dernière détermine le flux du courant. La **figure 1** illustre une forme simplifiée du circuit.

### Atténuation des DEL

Il existe deux façons d'atténuer des DEL. La première façon, et aussi la plus simple, est la régulation analogique qui permet de varier le flux de courant passant par la DEL : une baisse de courant entraîne une baisse de la luminosité. Cette approche souffre malheureusement de deux inconvénients majeurs. Premièrement : la luminosité de la DEL n'est pas proportionnelle au courant la traversant. Deuxièmement : la longueur d'onde de la lumière émise par la DEL, donc sa couleur, varie selon la diminution du flux de courant (par rapport au cou-

### Attention aux DEL brillantes !

**Ne jamais regarder directement/fixer les LED !** Le rayonnement très brillant des LED n'est pas seulement désagréable, il est aussi dangereux pour les yeux car il peut endommager la rétine. C'est pourquoi nous recommandons de n'utiliser la carte avec les DEL que dirigée vers une paroi blanche pour effectuer un éclairage indirect.

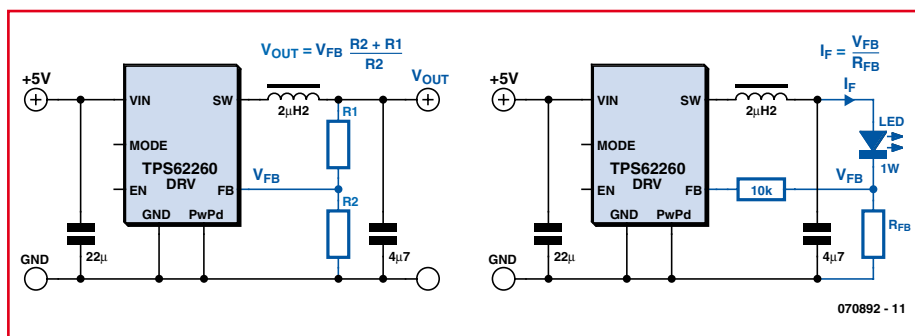
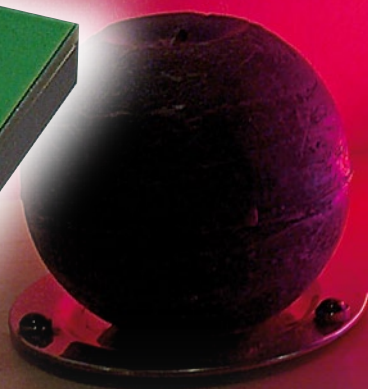
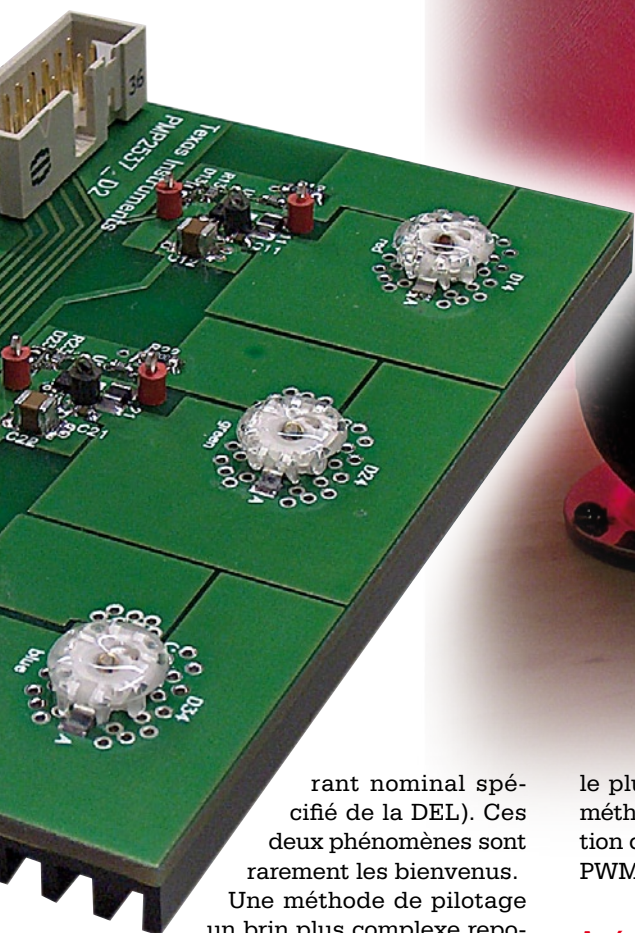


Figure 1. Convertisseur à découpage configuré comme source de tension ou de courant.

# par DEL RGB



rant nominal spécifié de la DEL). Ces deux phénomènes sont rarement les bienvenus.

Une méthode de pilotage un brin plus complexe repose sur une source de courant constant qui excite la DEL à la valeur du courant nominal spécifié. Un circuit supplémentaire permet d'atteindre le but visé en allumant et éteignant rapidement la DEL avec le rapport cyclique approprié. Moins de lumière en moyenne = sensation optique d'une diminution de la luminosité. La modification du rapport cyclique permet d'ajuster la luminosité de la DEL

le plus simplement du monde. Cette méthode est connue comme « modulation d'impulsions en largeur » (anglais PWM = *Pulse Width Modulation*).

## Atténuation par PWM

Les différentes possibilités d'implémentation de la technique PWM sont illustrées en se basant sur le régulateur à découpage TPS62260. Le TPS62260 est un convertisseur dévolteur synchrone intégrant des éléments de commutation et fonctionnant à une fréquence de commutation de 2,25MHz. Le signal PWM, relié à la broche EN (Enable) dans le circuit en noir de la

**figure 2**, active ou désactive complètement le convertisseur à découpage au rythme du rapport cyclique. Cette technique permet d'engendrer une fréquence d'atténuation de 100 Hz dans des conditions de laboratoire. Ce mode de pilotage présente l'avantage de ne nécessiter qu'un nombre minimum de composants supplémentaires pour la fonction d'atténuation. C'est aussi l'implémentation présentant le meilleur rendement énergétique car le convertisseur à découpage ne consomme presque pas de courant propre pendant les pauses de commutation. Il est seulement regrettable que la DEL réagisse avec léthargie lorsqu'une tension est appliquée à la broche Enable. Ce léger délai est dû à la fonction de démarrage progressif du régulateur à découpage.

Le courant de sortie qui suit le démarrage augmente selon une rampe pour atteindre finalement la valeur nominale du courant de la DEL. Cette augmentation peut causer des problèmes dans de nombreuses applications. Si le courant augmente lentement de la valeur minimale à la valeur nominale, la longueur d'onde de la lumière émise par la DEL variera aussi. Cela pourrait causer des problèmes d'excitation de

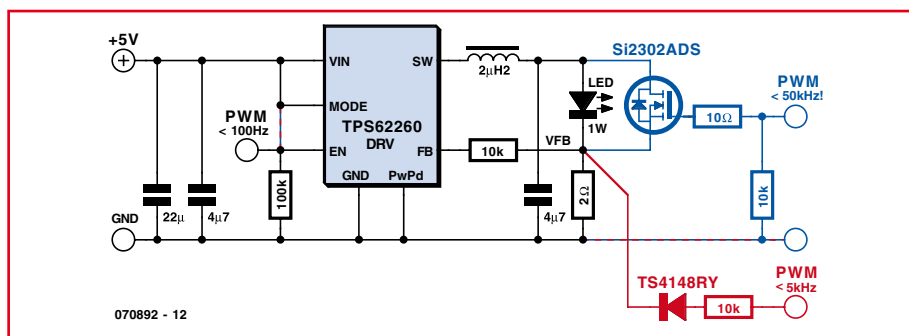
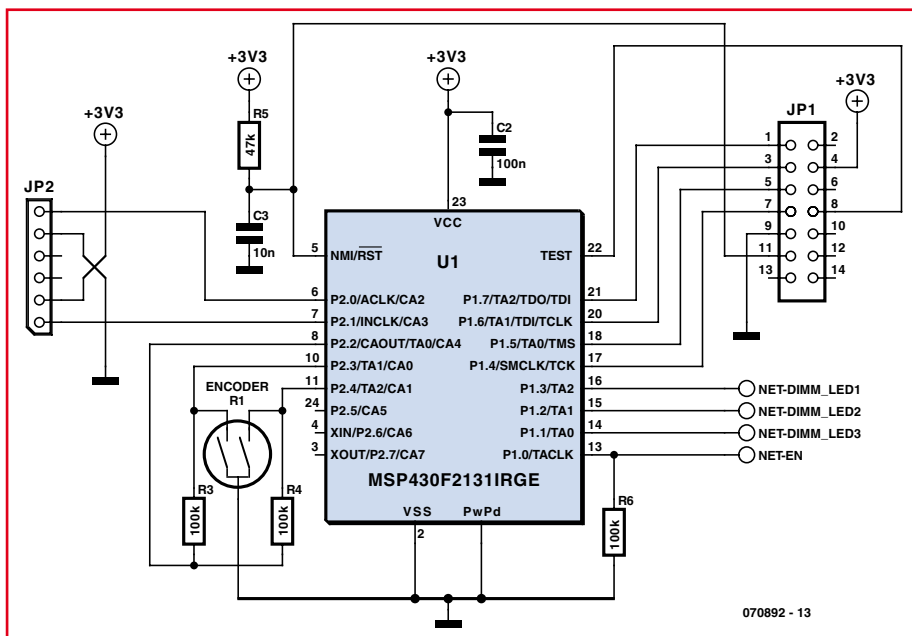


Figure 2. Trois possibilités d'implémentation de la fonction d'atténuation.



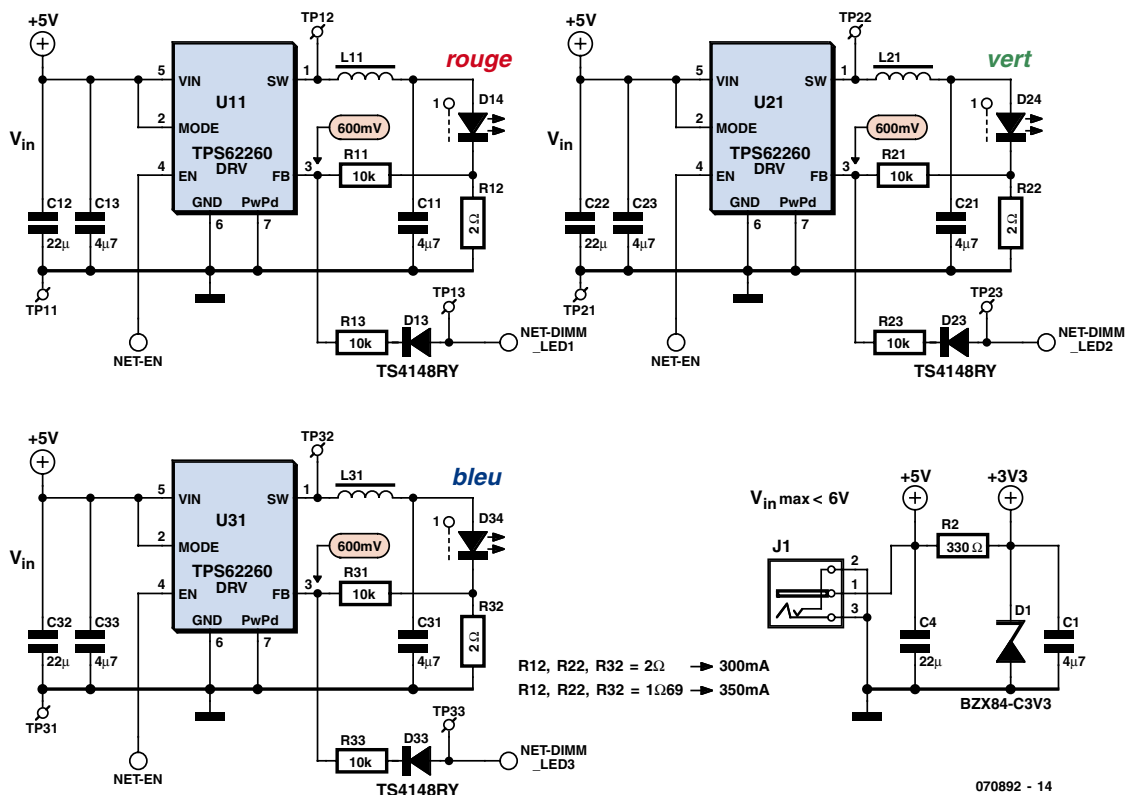
**Figure 3 :** Circuit de la partie de commande comprenant le microcontrôleur MSP430 et la connexion JTAC (JP1), la connexion EZ430 (JP2) et le codeur incrémental (R1).

DEL dans un projecteur à traitement numérique de la lumière (DLP) ou de rétroéclairage DEL dans une télé LCD. Cet effet n'est par contre presque pas perceptible optiquement avec le circuit

de démonstration réalisé ici. Dans la seconde variante (partie en rouge de la figure 2), le circuit PWM est découplé par une diode à faible signal et raccordé à l'entrée de l'amplifi-

cateur d'erreur du TPS62260. Dans cette implémentation, l'application d'une tension positive de 600 mV ou plus à l'entrée de l'amplificateur d'erreur peut saturer celle-ci et donc éteindre la DEL. Ce circuit d'atténuation élimine le délai de commutation de l'entrée « Enable » et le démarrage « en douceur » : la DEL peut être très rapidement activée et désactivée. La variation de la longueur d'onde mentionnée plus haut, due à l'augmentation lente du courant, est presque complètement éliminée par ce circuit. En outre, il a été possible d'augmenter la fréquence d'atténuation jusqu'à 5 kHz dans des conditions de laboratoire.

Il existe une troisième possibilité indiquée en bleu dans la figure 2. Le signal PWM est appliqué à un MOSFET raccordé en parallèle sur la DEL. Ce MOSFET court-circuite la DEL et permet de la commuter encore plus rapidement. Dans ce cas en effet, le régulateur demeure en régime à courant constant, celui-ci passant soit par la DEL soit par le MOSFET. Cette solution présente deux inconvénients : le coût supplémentaire du MOSFET et la perte de rendement due à la puissance de 180 mW dissipée constamment dans la résistance  $2\ \Omega$  de mesure de cou-



**Figure 4.** Partie du circuit avec les 3 régulateurs à découpage comme source de courant constant et la stabilisation 3,3 V en composants discrets.



## Petite histoire de la DEL

L'histoire de la « Light Emitting Diode » (LED), c'est-à-dire diode électroluminescente (DEL), lumineuse ou simplement lumineuse commence en 1962 chez General Electric (GE). C'est là que la première DEL rouge a vu le jour et a été commercialisée. Les clients devaient toutefois se contenter d'une bien maigre efficacité lumineuse. Une DEL n'avait alors qu'une efficacité lumineuse de 0,1 lm/W, soit un rendement de 0,1% seulement. Ces DEL étaient faites d'une solution solide d'arséniure de gallium et de phosphure de gallium. Le marché des DEL a bien évolué depuis. De nombreux fabricants ont commencé à « pousser » la technique des DEL et à accroître la luminosité sans augmenter la consommation.

Pour que l'emploi de la DEL comme source lumineuse se généralise, il a fallu augmenter encore l'efficacité ainsi que la puissance de dissipation électrique et thermique. La baisse marquée subie d'autre part par le prix des diodes lumineuses a permis de généraliser leur emploi. La recherche et le développement se sont poursuivis dans cette direc-

tion pendant plus de 40 ans.

Le résultat ? Des diodes très lumineuses fabriquées par (entre autres) – Osram Opto Semiconductors (ex-Infineon) sous le nom Golden Dragon, Lumiled (Philips Semiconductors) sous le nom de Rebel LED et Cree sous le nom de X-Lamp, toutes à des prix modérés et offrant une efficacité lumineuse respectable. Il existe bien entendu un grand nombre d'autres fabricants de « High-Brightness LEDs », mais il a été impossible de tester à temps leurs produits pour cette contribution.

L'efficacité lumineuse des DEL actuellement disponibles dans le commerce a atteint 20 lm/W (parfois même 40 lm/W). Cela correspond à un rendement de 5% ou 10%. Ce rendement est sensiblement plus élevé que celui d'une lampe à incandescence du commerce type Edison. L'efficacité lumineuse de celle-ci n'est que de 10 lm/W, ce qui correspond à un rendement de 2% seulement. Les DEL très brillantes actuelles ont déjà dépassé les lampes halogènes (environ 25 lm/W) et talonnent actuellement les lampes économiques (environ 60 lm/W).

rant. La vitesse de commutation élevée constitue par contre un avantage. Une fréquence d'atténuation de 50 kHz (!) a pu être atteinte avec le TPS62260 dans des conditions de laboratoire.

### Le circuit en pratique

Un microcontrôleur MSP430F2131 constitue le cœur du circuit (**figure 3** et **figure 4**). Il est programmé comme un générateur triple PWM et évalue

le codeur incrémental (R1). Le codeur incrémental sert à choisir dans un tableau les rapports cycliques des DEL pour le rouge, le vert et le bleu. Les signaux PWM définis de cette façon sont disponibles aux sorties TA0, TA1 et TA2 et sont produits à la fréquence de commutation d'environ 122 Hz. On évite ainsi que la lumière des DEL soit perçue comme vacillante car notre œil effectue la moyenne des impulsions individuelles.

On a finalement opté pour la variante en rouge de la figure 2 pour effectuer la commande PWM. C'est un bon compromis entre quantité de matériel et performances. Chaque DEL (rouge/D14, verte/D24 et bleue/D34) est excitée en courant constant par son propre convertisseur DC/DC TPS62260. La résistance de 2 Ω détermine le courant nominal de 300 mA passant par DEL. Il est possible d'utiliser aussi un courant plus élevé pouvant atteindre 1 A.

## Génération de la fréquence d'horloge

Les microcontrôleurs MSP430 possèdent plusieurs sources de fréquence intégrées. Le logiciel du MSP430 permet donc de choisir entre des oscillateurs à quartz externe et des oscillateurs RC complètement intégrés. Dans un souci d'économie, on a renoncé à des composants externes et utilisé l'oscillateur RC intégré et calibré. « Calibré » signifie

que des paramètres de calibrage contenus dans la « mémoire d'information » (mémoire flash) du MSP430 sont simplement copiés dans les registres de contrôle du module horloge prévus à cet effet. Ces paramètres de calibrage permettent à l'oscillateur RC d'atteindre une précision de fréquence de  $\pm 2,5\%$  dans une plage de température de 0°C à 85°C. L'oscillateur RC peut fonctionner dans la plage de fréquence de 7,8 MHz à 8,2 MHz. La fréquence choisie sert d'horloge du CPU et du compteur du module Timer\_A.

## Réalisation du générateur triple PWM

Le module Timer\_A du MSP430 est constitué d'un bloc de comptage et de divers blocs « Capture&Compare ». La fréquence des signaux PWM est définie par le dépassement de capacité du compteur. Comme le compteur Timer\_A comporte 16 bits, la fréquence PWM est donnée par :

$$f_{PWM} = \frac{f_{input}}{2^{16}} = \frac{8\text{ MHz}}{65536} = 122,07\text{ Hz}$$

$f_{PWM}$  : PWM – fréquence signal

$f_{input}$  : fréquence Timer\_A – cadence entrée

En répétant ce calcul avec les limites de fréquence indiquées plus haut (7,8 MHz/8,2 MHz), on obtient l'écart maximum de la fréquence PWM.

$$119\text{ Hz} < f_{PWM} < 125\text{ Hz}$$

La génération du signal PWM est assurée par les unités de sortie (Output Units) disponibles dans chaque bloc « Capture&Compare ». Dans le cas du MSP430F2131, le module Timer\_A possède en tout 3 blocs « Capture&Compare » et donc aussi 3 « Output Units ». Chaque bloc « Capture&Compare » est constitué d'un comparateur numérique qui compare une valeur pouvant être définie pour chaque bloc (TACCR0, TACCR1 et TACCR2) au contenu du compteur. Si les valeurs sont identiques, la sortie du comparateur déclenche l'unité de sortie, ce qui se traduit par l'activation (« 1 ») de la sortie PWM correspondante. La remise à zéro de toutes les sorties PWM est effectuée par logiciel. Un dépassement du compteur 16 bits provoque une interruption. Le sous-programme d'interruption remet successivement toutes les sorties PWM à « 0 ».

Comme la réinitialisation de tous les signaux de sortie PWM est effectuée par logiciel, la plage utilisable du rapport cyclique est soumise à une contrainte. L'exécution du sous-programme Timer\_A nécessite environ 100 cycles. C'est pourquoi les valeurs utilisées dans les 3 tableaux des tables de couleurs sont comprises entre 100 et 65 535.

Codeur incrémental

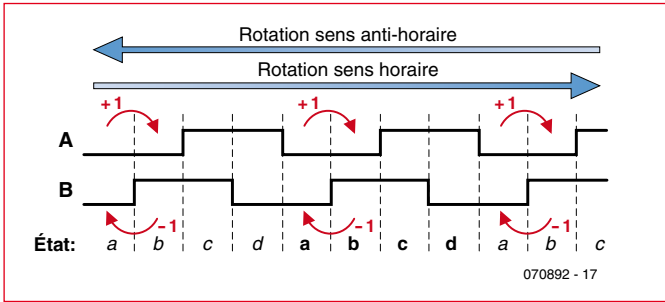
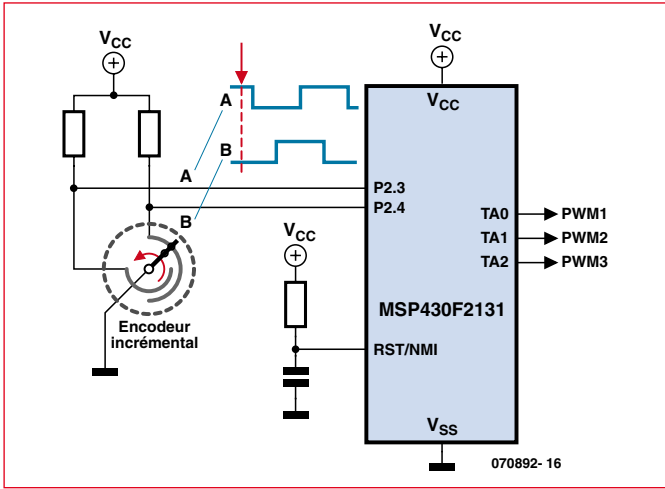
L'ajustement manuel du rapport cyclique de la PWM est effectué avec un codeur incrémental (générateur rotatif d'impulsions) ressemblant à un potentiomètre. La piste résistante est toutefois remplacée par 2 contacts fournissant un code Gray numérique de 2 bits lors d'une rotation de l'axe. La structure du codeur incrémental est très simple. Un curseur muni de deux contacts frotteurs est positionné sur 2 anneaux conducteurs mais isolés l'un de l'autre. Les 2 anneaux sont partiellement recouverts d'un matériau isolant. Celui-ci agit comme un commutateur lors de la rotation continue du curseur. Ce dernier engendre un code Gray de 2 bits aux deux broches de sortie.

La figure supérieure montre le schéma de principe du raccordement du générateur rotatif d'impulsions au microcontrôleur. La figure inférieure représente le signal de sortie lors d'une rotation continue du codeur incrémental.

Les 2 signaux A et B permettent de détecter un mouvement de rotation ainsi que sa direction. Les états récurrents a, b, c et d sont indiqués dans le diagramme impulsionnel. Le pointeur de la table des couleurs LEDptr (LEDptr = LED Pointer) est incrémenté si le logiciel détecte une transition de a à b dans le logiciel MSP430. Une transition de b à a cause un décrémentation du pointeur LEDptr.

Un aller-retour perpétuel entre les états a et b provoquerait plusieurs incréments et décréments se traduisant par un scintillement des DEL dû à la modification des réglages. Pour cette raison, ainsi que pour adapter la résolution du codeur incrémental, le pointeur LEDptr est divisé par 4 lors de la lecture du tableau (de la table des couleurs).

Pour terminer, encore un conseil sur le montage du codeur incrémental : Dans le schéma de la figure 3, les résistances de charge aux contacts ne sont pas raccordées à Vcc, mais à P2.2 (broche 8) du MSP430. Il n'y a aucune contradiction car P2.2 est commutée par le logiciel comme sortie à niveau haut et se trouve donc à 3,3 V (Vcc). Il va sans dire qu'on pourrait aussi raccorder directement les résistances de charge à Vcc (3,3 V). P2.2 serait alors disponible pour d'autres fonctions.



Liste des composants

Résistances :

(CMS 0603, sauf mention contraire)  
R2 = 330 Ω  
R3,R4,R6 = 100 kΩ  
R5 = 47 kΩ  
R11,R13,R21,R23,R31,R33 = 10 kΩ  
R12,R22,R32 = 2 Ω (CMS 1206)

Condensateurs :

C1,C11,C13,C21,C23,C31,C33 = 4μF/6,3  
forme X5R CMS 0603  
C2 = 100 nF CMS 0603  
C3 = 10 nF CMS 0603  
C4,C12,C22,C32 = 22 μF CMS 1210

Semi-conducteurs :

D1 = BZX84-C3V3 CMS SOT23

D13,D23,D33 = TS4148 RY CMS 0805  
D14 = LED 1 W Golden Dragon rouge (Osram)\*  
D23 = LED 1 W Golden Dragon verte (Osram)\*  
D33 = LED 1 W Golden Dragon bleue (Osram)\*  
U1 = MSP430F2131RGB (TI)  
U11,U21,U31 = TPS62260DRV CMS SON-6 (TI)

Selfs :

L11,L21,L31 = 2μH/2/1,1 A, 110 mΩ, CMS 2 x2,5 mm (MIPSA2520D2R2 de FDK)

Divers :

R1 = encodeur rotatif (Bourns 3315-001)  
JP1 = embase à 2 rangées de 7 contacts avec détrompeur

JP2 = embase à 6 contacts (Samtec : TMS-106-XX-X-S-RA)  
TP11 à TP13,TP21 à TP23,TP31 à TP33 = picot de test tel que, par exemple, Keystone 5001  
radiateur SK477-100 (Fischer)  
film autocollant thermocouple WLFT404-R25 (Fischer)  
platine 070892-2\*\*

\*Autres LED possibles :

LED REBEL (Lumiled ) en association avec la platine 070892-1\*\*  
LED XLAMP (CREE ) en association avec la platine 070892-3\*\*  
\*\*Dessin des pistes et possibilités de commande via [www.elektor.fr](http://www.elektor.fr)

Table des couleurs

La table des couleurs est mémorisée sous forme de tableau dans MSP430 (LookUpTable). La structure de la table permet de lui ajouter à tout moment des valeurs de modulation d'impulsions en largeur pour les DEL des 3 couleurs rouge, vert et bleu. Lors de chaque rotation du codeur, les valeurs pour rouge, vert, bleu placées dans leurs espaces réservés sont lues et utilisées pour la génération des 3 signaux de sortie PWM. Le nombre actuel de valeurs mémorisées est de 252, mais il

peut être modifié selon besoins. Une valeur décimale de 100 éteint la DEL et une valeur de 65 535 lui fournit la valeur maximale correspondant à un rapport d'impulsion de 100%.

Le MSP430 se met en mode de démonstration lorsque la tension de fonctionnement de 5 V est appliquée. Une boucle sans fin lit et envoie consécutivement à la sortie toutes les valeurs du tableau. La rotation du codeur incrémental du circuit permet de choisir un mélange particulier de couleurs qui sera alors reproduit en régime continu.

On fait appel au TPS62290, le « grand frère » du TPS62260. Le boîtier est identique.

Le signal PWM est découplé par une diode à faible signal (D13, D23, D33). Son flanc positif dépasse les 600 mV du seuil de l'entrée de l'amplificateur d'erreur du régulateur à découpage correspondant. Le niveau haut écrase la valeur d'entrée de l'amplificateur d'erreur et la DEL s'éteint. Le flanc descendant du signal PWM fait repartir le convertisseur et la DEL avec lui.

Le circuit complet est alimenté en tension continue par un bloc d'alimentation secteur 5 V/1 A. Une stabilisation de tension composée simplement d'une résistance et d'une diode Z réduit de 5 V à 3,3 V la tension destinée au fonctionnement du microcontrôleur MSP430.

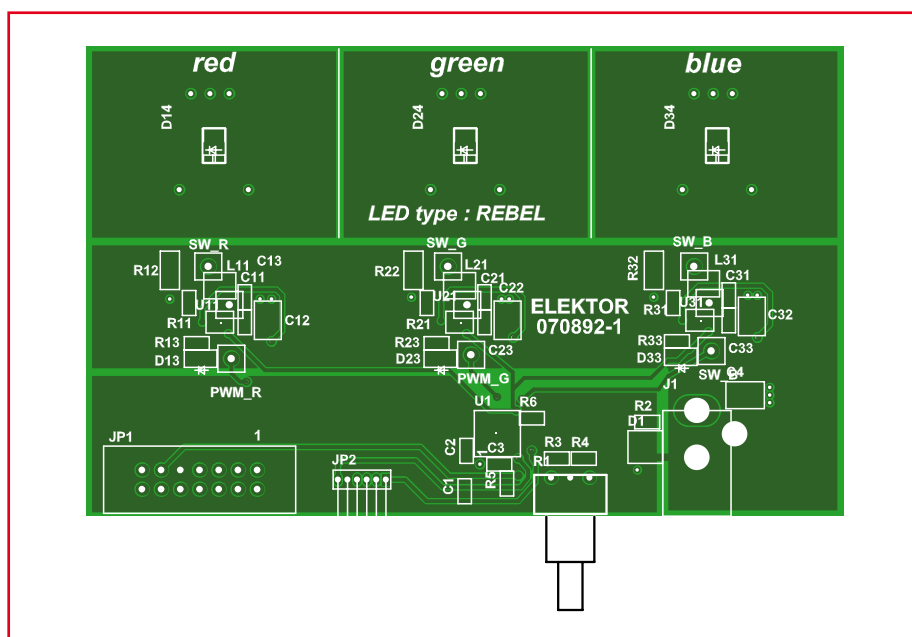
Le circuit est monté sur la carte de la **figure 5**. Il en existe 3 exécutions. Elles ne diffèrent que par le schéma de raccordement (empreinte des plots) des différents modèle de DEL. Les options d'assemblage des DEL sont indiquées dans la liste de pièces.

## Images thermiques

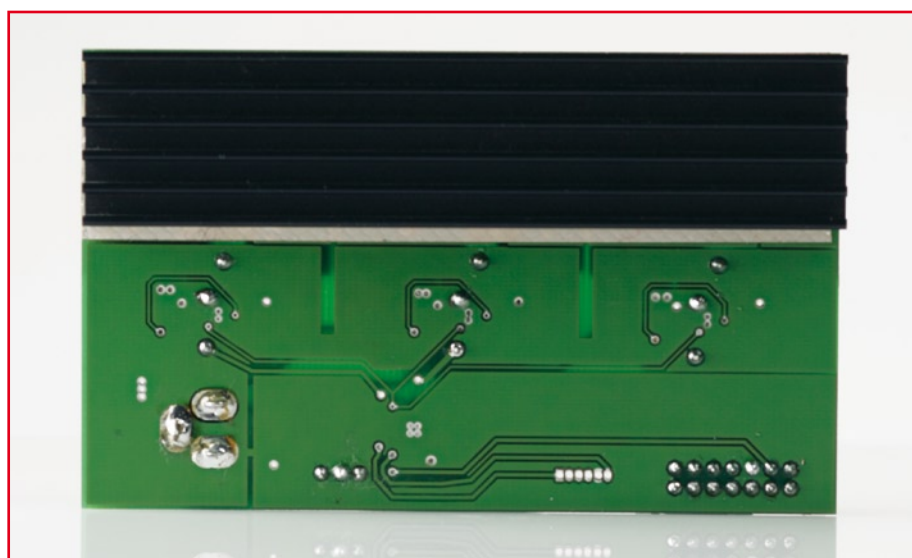
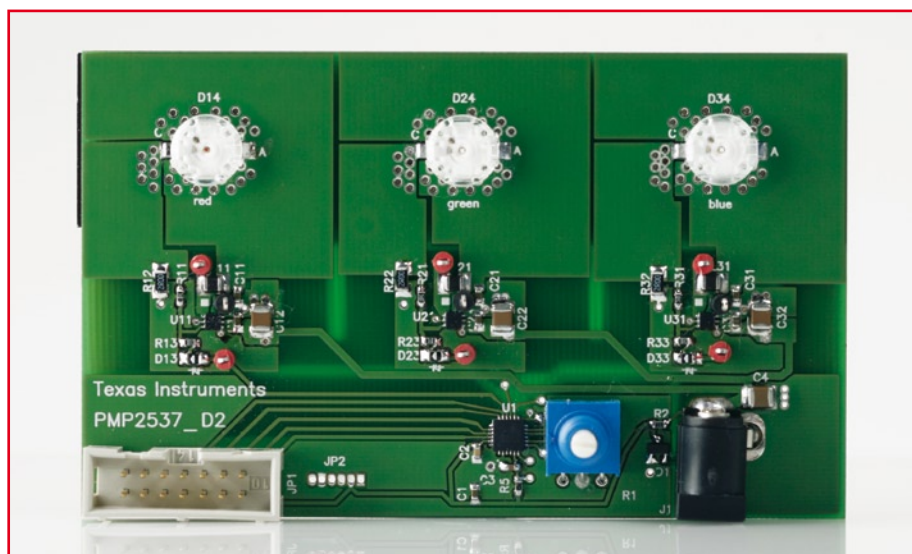
La température de fonctionnement des DEL à haut rendement est un facteur très important. Elle influence très fortement leur longévité, la tension directe, la longueur d'onde du rayonnement et leur luminosité. Plus la température de fonctionnement des DEL est élevée et plus leur durée de vie moyenne s'en ressent. C'est pourquoi les dimensions de la carte expérimentale sont telles qu'elles permettent de coller un dissipateur thermique type SK477100 (Fischer) sur l'autre face. La feuille adhésive sur les deux faces assure le transfert de chaleur. La température lors de l'excitation maximale de toutes les 3 DEL est réduite de 61 °C sans dissipateur thermique à 54 °C avec dissipateur thermique. La présence du dissipateur thermique améliore aussi fortement la distribution de chaleur sur la carte. L'image thermique donnée comme exemple a été obtenue avec la carte équipée de DEL CREE. La **figure 6** montre très concrètement le « degré » d'échauffement des DEL sans dissipateur thermique (moitié gauche) et avec dissipateur thermique (moitié droite).

## Logiciel

Le code source du logiciel pour cette application du MSP430 peut être téléchargé à partir du site Web d'Elektor.



**Figure 5 :** La carte permettant de réaliser les circuits des figures 3 et 4. Il existe 3 versions différentes à télécharger permettant d'utiliser 3 modèles différents de diodes DEL.





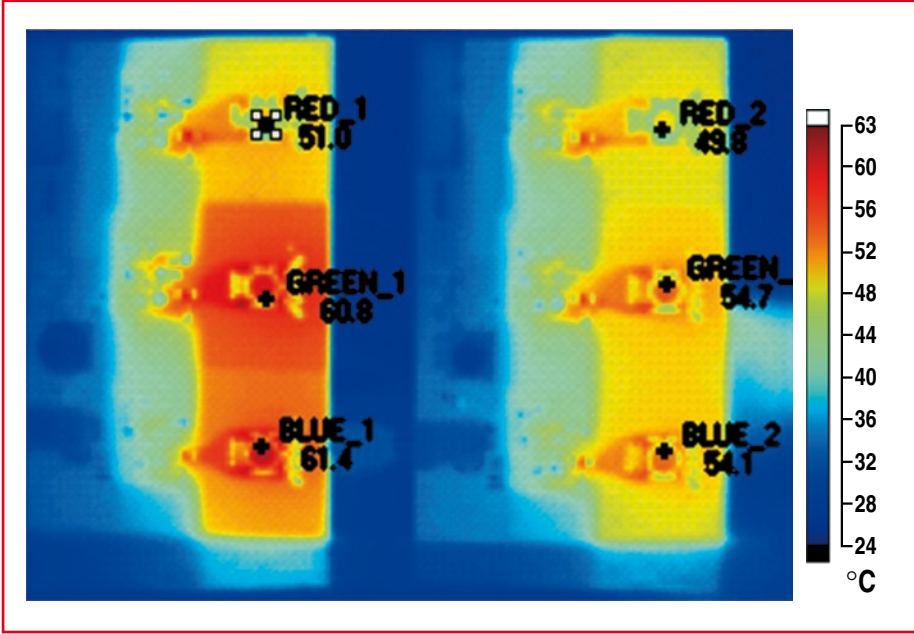


Figure 6. Image thermique de la carte équipée des DEL de CREE. À gauche sans refroidissement et à droite avec dissipateur thermique collé.

Le fichier « MSP430F21x2.h » est inclus au début du fichier. Il contient les noms de tous les registres de contrôle ainsi que ceux de leurs bits de contrôle selon

la description du MSP430. La longueur de la table des couleurs est indiquée ensuite. Attention ! LED\_TabLength doit être défini comme 4x la longueur

de la table. La table des couleurs suit immédiatement après. Chaque DEL possède son propre tableau (array). Le pointeur LEDptr sert à lire la valeur du rapport cyclique PWM pour toutes les 3 sorties à partir de la représentation des tableaux de la table des couleurs (voir aussi l'encadré « Table des couleurs »). Le microcontrôleur est initialisé au début du programme principal « main ». Le minuteur de surveillance (watchdog timer) est désactivé ; les valeurs de calibrage de l'horloge du système sont chargées ; le module Timer\_A est configuré et les E/S numériques multiplexées sont initialisées. La boucle principale est constituée de 2 boucles « while ». Le pointeur LEDptr de la table des couleurs est incrémenté dans la première boucle « while », provoquant un changement continu du rapport cyclique PWM, donc de la couleur sélectionnée. L'ajustement temporel des modifications du rapport cyclique est effectué dans 2 boucles « for » imbriquées. La première boucle « while » est parcourue jusqu'à ce que le codeur incrémental provoque un changement à une de ses sorties. La deuxième boucle « while » définie comme une boucle sans fin est alors traitée. Le pointeur de la table des couleurs est incrémenté ou décrémenté selon la rotation du codeur incrémental.

Les auteurs

**L'Ingénieur Diplômé (I.U.T.) Dirk Gehrke**  
Dirk Gehrke, né à Münster (Westphalie), a étudié les télécommunications à l'I.U.T. de Dortmund. Il est entré chez Texas Instruments en 1998 et a été FAE (Field Application Engineer) en Angleterre, en France et aux USA. À partir de 2000, il a été FAE dans le domaine des produits de « Power Management » à Freising. Il est responsable depuis janvier 2006 des produits analogiques en tant que Business Development Manager EMEA (Europe, Middle East and Africa). Contact : [www.ti.com/europe/csc](http://www.ti.com/europe/csc)



**L'Ingénieur Diplômé (I.U.T.) Christian Hernitscheck**  
Christian Hernitscheck a étudié l'électronique avec spécialisation microélectronique à l'I.U.T. de Landshut. Il est FAE pour toute l'Europe chez Texas Instruments depuis 1998, en particulier pour la gamme de produits basée sur le microcontrôleur MSP430. Contact : [www.ti.com/europe/csc](http://www.ti.com/europe/csc)

Perspectives

La carte permet d'implémenter des fonctions supplémentaires. On a prévu par exemple un connecteur pour le module hertzien du eZ430-RF2500 de Texas Instruments. Le kit eZ430-RF2500 est fourni avec 2 modules hertiens. On peut équiper un de ces modules d'un codeur incrémental (on peut utiliser les broches de test du microcontrôleur du module hertzien) et établir ainsi une liaison sans fil avec la carte des DEL. La carte présentée ici doit être considérée en premier lieu comme une carte expérimentale et d'évaluation. Comme le code source du MSP430 est disponible, il est aussi possible de s'en servir pour d'autres projets. On peut aussi récupérer les convertisseurs à découpage utilisés ici pour d'autres applications. Bon bricolage !

(070892-1)