

Vitamines pour LED



Circuits de pilotage pour LED haute puissance

Eberhard Haug

Les LED ne « brillent » vraiment que depuis quelques années : la nouvelle Audi R8 est équipée de feux diurnes comportant des « Advanced Power TopLED » d'Osram (photo : Audi AG).

L'abréviation LED qui signifie « Light Emitting Diode » date des années 60, mais ces diodes n'ont vraiment mérité leur nom que bien plus tard. Les LED haute puissance ont besoin de pilotes leur permettant de « briller » dans les conditions les plus diverses. Voici donc un aperçu des concepts simples ou complexes nécessaires.

On ne le répétera jamais assez : la LED ne vit pas que de courant ! Cela tient au fait que sa caractéristique tension/courant non linéaire présente une « cassure » distincte à une valeur de la tension en sens direct dépendant de la couleur et de la technologie. Pour couronner le tout, cette « cassure », ou tension de seuil, dépend aussi de l'exemplaire utilisé et de la température. La **figure 1** représente 3 caractéristiques U/I de diodes blanches à haute puissance (aussi dénommées LED *High-Brightness* ou HB) de différents fabricants. Cela représenterait tout aussi bien les caractéristiques de différents exemplaires du même type ou d'un seul exemplaire à des températures différentes. Une faible variation de tension provoque déjà une variation importante du courant de la LED, donc de sa luminosité. Une faible variation de courant (dans la région de fonctionnement normal) ne cause par contre qu'une variation insignifiante de luminosité.

Pilote linéaire de LED

La LED devrait donc être alimentée par une source de courant robuste. On n'aura recours à une source de tension et une résistance en série avec la LED limitant le courant à une valeur acceptable ou désirée que dans

deux cas : lorsque la tension d'alimentation reste plus ou moins constante ou pour limiter les frais.

Un régulateur linéaire de tension auquel on applique une résistance ohmique de valeur adéquate comme charge suffit souvent à fournir une « bonne » source de courant pour LED (pilote LED). Un pilote LED linéaire permettant d'alimenter 3 LED HB à $U_B = 12 \text{ V}$ est reproduit dans la **figure 2**. Contrairement au régulateur linéaire standard à 3 broches (comme le LM317T), le MIC29152 [1] possède aussi une entrée « Enable ». Elle ne sert pas qu'à allumer et à éteindre, mais se prête étonnamment bien à une atténuation par PWM de quelques centaines de hertz. La résistance de charge R2 n'est nécessaire que lorsque EN est commandée par contact ou un signal collecteur ouvert. On peut tout aussi bien recourir à un signal logique TTL/CMOS. R2 disparaît bien entendu ou migre de $+U_B$ à l'alimentation de la logique.

Avec une tension d'alimentation de 12 V et 3 LED, le composant gère 350 mA sans peine ni refroidissement. Le courant des LED est donné par $I_{LED} = U1/R1 = 1,24 \text{ V}/3,9 \Omega = 318 \text{ mA}$ (le « véritable » courant de 350 mA des LED est obtenu avec 39 ohms (série E12) en parallèle sur R1). Les pertes linéaires se répartissent entre la résistance détectrice de courant R1 (environ 0,5 W) et

le LDO (régulateur **Low Drop-Out**).

La faible chute de tension (c'est-à-dire la tension minimale entre l'entrée et la sortie du LDO requise pour un fonctionnement stable avec un courant spécifique) permet aussi de faire fonctionner une seule LED HB à $+U_B = 5\text{ V}$. Ce circuit permet d'autre part de faire fonctionner jusqu'à 7 LED en série. Il faut alors augmenter la tension d'alimentation U_B jusqu'à la valeur maximale permise de 26 V. Adapter la tension de claquage du condensateur !

Rendement

Un pilote LED linéaire doit répondre à une condition fondamentale pour fonctionner : sa tension d'alimentation doit être plus élevée que la tension en sens direct de la LED. Dans le cas du pilote linéaire LED, la différence de tension fois le courant de la LED fournit approximativement la puissance électrique « claquée ». On n'a pas tenu compte des pertes dans le circuit intégré de commande et l'électronique en parallèle, mais de celles de la résistance détectrice de courant en série avec la LED. On peut dériver une relation simple pour le rendement : $\eta = U_{LED}/U_B$. Elle signifie qu'une tension d'alimentation relativement élevée est synonyme de mauvais rendement. Si la différence de tension est faible, on peut toutefois atteindre facilement un meilleur rendement qu'avec un pilote de LED à découpage plus complexe. Il faut utiliser une exécution LDO qui ne nécessite qu'une marge de tension étroite pour la régulation du courant des LED (la tension de *drop-out* est généralement loin d'atteindre un volt). La chute de tension, quand le pilote est relié à la résistance détectrice de courant généralement présente, doit être d'autre part aussi faible que possible (de l'ordre de 0,5 V jusqu'à moins de 0,1 V).

Une règle empirique : en-dessous d'une marge de tension de 10% (« Head Room » ou chute de tension LDO), un pilote LED linéaire constitue une solution intéressante. Il offre un rendement avoisinant celui d'un pilote de LED à découpage tout en étant plus simple, moins coûteux et parfois même plus performant. Notons que les pilotes linéaires de LED ne causent pas de perturbations électriques ou électromagnétiques tant qu'ils ne sont pas atténués par PWM.

Contrôle LED

Le circuit de la figure 3 est similaire à celui de la figure 2. Le MIC5190, un contrôleur LDO, ne fournit pas directement le courant de sortie, mais alimente une diode lumineuse par un MOSFET de puissance T1. Il joue donc le rôle de contrôleur LED. Le courant disponible pour alimenter la LED devient pratiquement illimité ; la chute de tension causée par le MOSFET est presque négligeable. Il est en outre possible de raccorder la LED HB à l'alimentation positive, ce qui permet d'utiliser des LED RGB à anode commune.

Le transfert de la LED dans la ligne de drain du MOSFET constitue encore une différence. Le MOSFET canal N dispose donc d'une tension grille-source suffisante. La tension de détection de courant LED n'est que de 0,5 V. Le courant de la LED est donc donné par $I_{LED1} = 0,5\text{ V}/R1$. Faut-il ou non refroidir le MOSFET ? Cela dépend du courant de la LED.

Dans cet exemple, on esquisse aussi une solution basée sur un pilote LED à 3 canaux (par exemple pour LED RGB haute puissance). Dans un souci de clarté, la commande du deuxième et du troisième canal par deux autres contrôleurs LDO n'est pas représentée. Le courant des LED

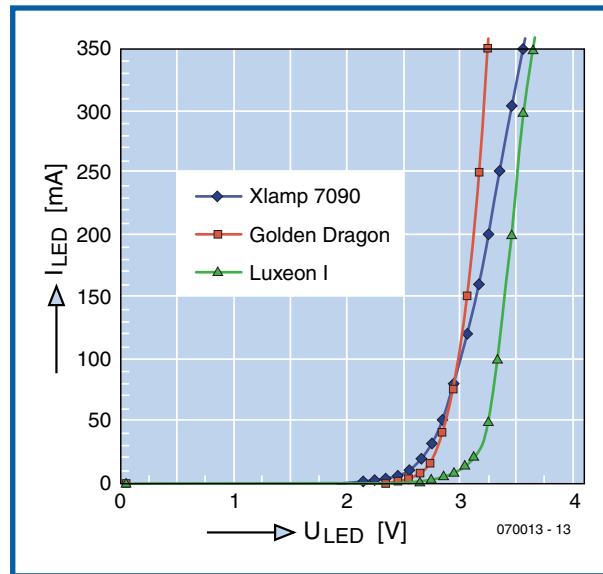


Figure 1. Trois caractéristiques, trois fabricants : caractéristique U/I de diodes blanches haute puissance. Une faible variation de tension provoque une variation importante du courant de la LED (donc de sa luminosité). Une variation de courant n'a par contre presque aucun effet.

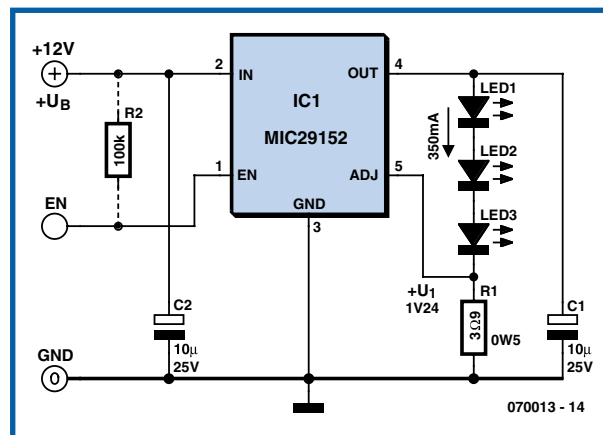


Figure 2. Un pilote de LED linéaire permettant d'alimenter 3 LED haute puissance à 12 V (maximum de la somme des tensions en sens direct : 10,5 V). L'entrée « Enable » se prête même à une atténuation par PWM de quelques centaines de hertz.

peut être dimensionné individuellement par R1, R2 et R3 pour que des LED RGB atteignent par exemple une couleur blanche optimale.

Ici aussi, l'atténuation par PWM (le réglage des couleurs dans le cas des LED RGB), est effectuée par l'entrée « Enable ». La résistance de charge (R5) est ici aussi inutile si la broche EN1 est commandée par un niveau logique. Ce contrôleur LED se passe de condensateurs à la sortie. Le temps de réaction rapide permet donc d'utiliser des fréquences d'atténuation par PWM relativement élevées.

Le circuit de la **figure 3** est conçu pour les systèmes 5 V alimentant une seule LED. Pour placer plusieurs LED en série (les LED RGB à anode commune ne peuvent bien entendu plus être utilisées), il suffit de raccorder l'anode la plus positive à une tension d'alimentation plus élevée. Si on ne dispose pas de MOSFET « niveau logique », il faut utiliser une alimentation séparée pour VCC2 (voir la fiche technique du MIC5190 [2]).

Pilotes de LED à découpage

Les pilotes de LED à découpage sont presque indispensables dans deux cas. Tout d'abord quand la tension d'alimentation et la tension totale en sens direct de la LED sont très différentes et quand le courant de la LED est élevé. Et deuxièmement, si la tension totale en sens direct

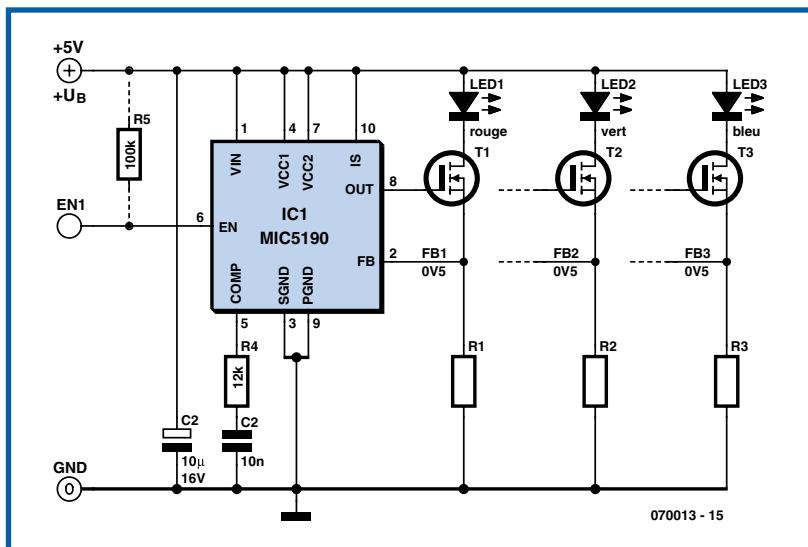


Figure 3. Le contrôleur LDO utilisé ici ne fournit pas directement le courant de sortie, mais commande une diode lumineuse par un MOSFET de puissance.

de la LED est plus élevée que la tension d'alimentation disponible. Il faut un pilote de LED dévolteur dans le premier cas et un pilote de LED survolteur dans le second – comme c'est étrange ! Mais ce n'est pas tout.

Contrairement à un convertisseur de tension dévolteur (*step-down converter* ou *buck converter*), un pilote LED abaisseur n'est pas une source de tension à découpage mais une source de courant à découpage. Toutefois, comme pour le pilote linéaire de LED, la conversion en une source de courant est relativement simple. Il suffit de produire le courant de la LED à partir de la tension de référence U_{REF} de l'ordre de 1,2 V au moyen de la résistance détectrice de courant R_S . Le courant de la LED est alors donné par $I_{LED} = U_{REF}/R_S$.

Ici aussi, toutefois, la valeur relativement élevée de la tension de référence pénalise le rendement total malgré la source de courant à découpage. On y remédie en amplifiant une tension de détection de courant nettement plus faible en l'amenant au niveau de la tension de référence disponible ou en optant simplement pour une tension de référence plus faible. Dans ce dernier cas, on

trouvera assez rapidement ce qu'on cherche parmi le nombre croissant de convertisseurs dévolteurs pour tension de sortie inférieure à 1 V.

Le pilote de LED HB MIC4682, extrêmement simple et élégant (figure 4), peut alimenter jusqu'à 3 LED HB en série à partir d'une source de 24 V (typique dans les installations industrielles). Un niveau logique peut aussi remplacer le signal 24 V ou le contact commandant le cas échéant l'entrée « Enable ». R5 disparaît ou migre de + U_B à l'alimentation de la logique.

L'utilisation de l'atténuation par PWM influence le dimensionnement de C1. La valeur de 220 μ F proposée sert à limiter au maximum l'ondulation du courant de la LED quand l'atténuation n'est pas utilisée. Avec l'atténuation par PWM, on choisit au contraire C1 = 10 μ F (tantale ou électrolytique) pour qu'il puisse se décharger aussi rapidement que possible. La diminution de la valeur de C1 ne réduit pas la stabilité du circuit. L'ondulation du courant est toutefois un peu plus élevée (mesuré avec un rapport cyclique d'atténuation par PWM de 100 %).

Le diviseur R3/R4 à la sortie est dimensionné pour limiter la tension à environ 14 V en cas de coupure d'une LED (Prudence donc en raccordant des LED après la mise sous tension !). R1 détermine le courant des LED et a été

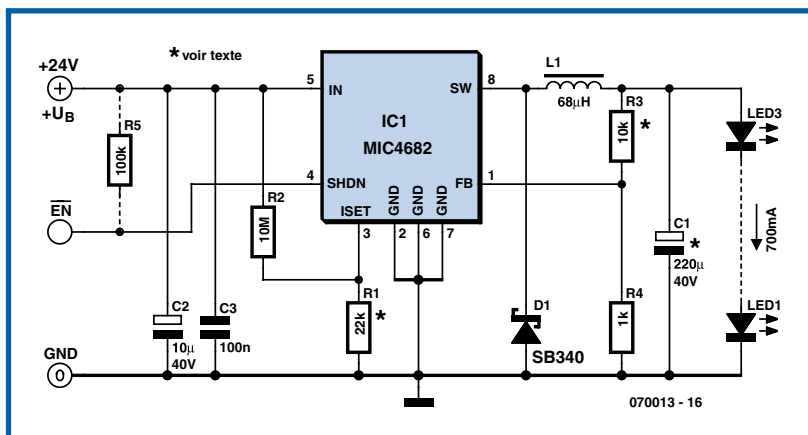


Figure 4. Ce pilote LED dévolteur peut alimenter jusqu'à 3 LED haute puissance en série à partir d'une tension d'alimentation de 24 V.

reprise d'un diagramme de la fiche technique [3] du MIC4682. Le courant des LED atteint environ 700 mA pour $R1 = 22 \text{ k}\Omega$.

La fréquence de commutation (de quelques hertz à plusieurs MHz) constitue un critère de sélection du pilote LED à découpage : elle exerce une influence déterminante sur la taille de l'enroulement, mais aussi sur l'ondulation du courant de la LED. D'autre part, les pertes dynamiques peuvent fortement augmenter aux hautes fréquences selon la conception et réduire le rendement.

Les LED et le secteur

L'utilisation de la tension du secteur constitue un cas extrême d'abaissement dans une solution LED. Pour obtenir le courant relativement élevé requis par la LED, il faut partir d'une tension très élevée et peu stable pour aboutir à la tension très faible de la LED. L'importance du défi posé par la valeur extrême du rapport cyclique PWM

dépend de la tension en sens direct de la LED et de la tension d'alimentation réelle (généralement la tension du secteur redressée).

Avec une seule LED blanche et une tension secteur de 230 V pouvant présenter une surtension de 15%, le rapport cyclique atteint 1% dans des cas extrêmes. Les convertisseurs appropriés ne se pressent pas précisément au portillon.

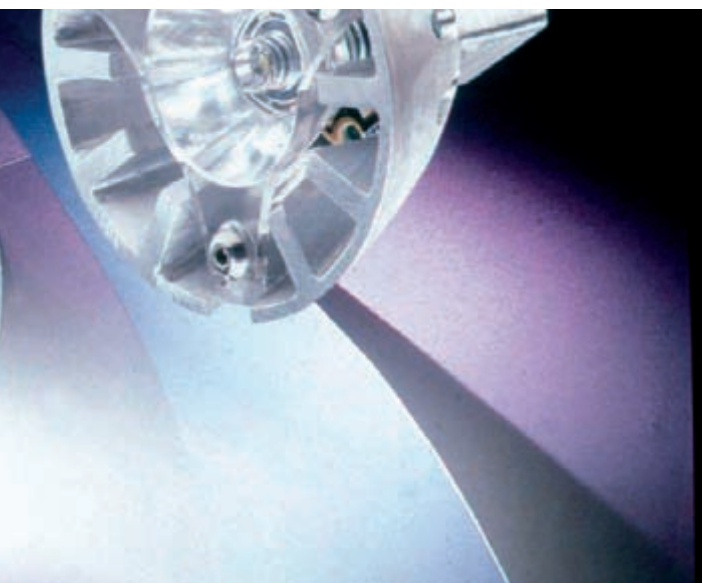
Un abaisseur permettant de faire fonctionner des LED sur le secteur a déjà fait l'objet d'une suggestion dans Elektor sous le titre « Une commande ReLED imbattable » [4]. Le concept de commande par courant de pointe a été développé jusqu'au point où quelques circuits intégrés sont déjà offerts par divers fabricants de semi-conducteurs. Ils fonctionnent selon ce principe ou une de ses variantes et peuvent aussi traiter des tensions d'alimentation plus basses.

Mieux encore : des LED peuvent fonctionner directement à la tension alternative du secteur sans pilote particulier ! La présentation par Seoul Semiconductor des LED « Acriche » a causé une certaine sensation au salon Electronica 2006 (voir la **figure 5**). Quelques autres entreprises, comme Lynk Labs, sont aussi actives dans ce domaine.



Figure 5. Les modules LED Acriche de Seoul Semiconductor peuvent être alimentés sans transformateur, directement à partir d'une prise de courant. Une LED unique de 2 watts. Le fabricant s'est donné pour but d'augmenter la luminosité des 48 lm/W actuels à 80 lm/W au cours du premier trimestre 2007 et à 120 lm/W en 2008.

véritable défi au réalisateur. En effet, les pointes de courant nécessaires (dans le MOSFET de commutation et dans l'enroulement du convertisseur) sont d'autant plus élevées que la tension fournie par des piles est faible. C'est pourquoi la tension minimale utilisable par de tels convertisseurs est normalement supérieure à 2 V. Ils fonctionneront donc encore normalement avec 2 piles ou accus presque déchargés. Des pilotes survoltés pour LED haute puissance pouvant fonctionner avec une seule



Fabricants

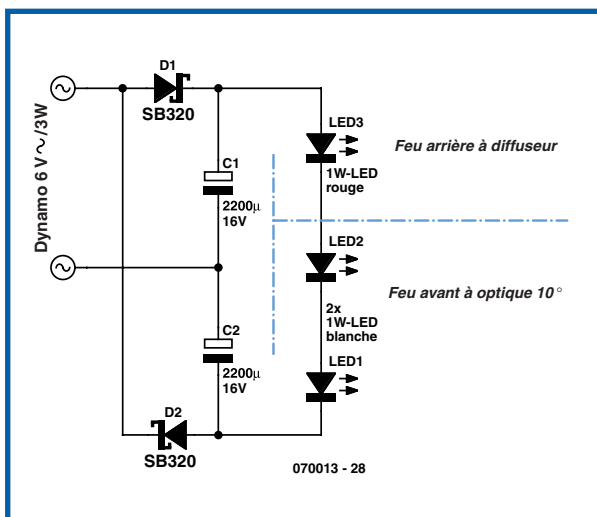
Fabricants de pilotes de LED
(liste non exhaustive) :

www.allegromicro.com	www.monolithicpower.com
www.analog.com	www.national.com
www.austriamicrosystems.com	www.nxp.com
www.catsemi.com/	www.onsemi.com
www.fairchildsemi.com	www.ricoh.com/LSI/
www.infineon.com	www.rohm.com
www.intersil.com	www.semtech.com
www.ixys.com	www.sipex.com
www.linear.com	www.st.com
www.maxim-ic.com	www.supertex.com
www.melexis.com	www.ti.com
www.micrel.com	www.zetex.com
www.microchip.com	

Pilotes de LED éleveurs

À l'autre extrême du spectre se trouve le cas où la tension d'alimentation est extrêmement basse, par exemple celle de piles ou d'accumulateurs. On n'échappe pas à un pilote de LED survolteur (*step-up controller* ou *boost controller*). Le nombre de LED à alimenter en série varie entre 1 et 10 ou plus. La tension totale en sens direct des LED peut donc dépasser 30 V !

Un pilote de LED survolteur de ce genre équipé du « Boost Controller » MIC2196 [5] et d'un MOSFET canal N alimente sans peine un éclairage 6 puces LED OSTAR à une puissance nominale de 24 W. Attention, avec la topologie *boost* utilisée, la tension d'entrée doit se trouver au-dessous de la tension en sens direct de la ou des LED ! La documentation d'une carte d'évaluation Micrel [6] contient la description de ce circuit polyvalent. Dans ce cas, ce n'est pas le rapport de tension mais la puissance nécessaire pour alimenter les LED qui pose un



L'entrée triomphale des LED haute puissance est encore en projet. Une suggestion de l'auteur pour l'éclairage LED d'un vélo alimenté par dynamo [7].

pile ou un seul élément d'accumulateur (nominal 1,2 V - 1,5 V) sont techniquement réalisables mais ne sont pas nécessairement rentables.

L'atténuation par PWM est un autre point faible des pilotes de LED survolteurs. On a écrit de véritables traités sur le pour et le contre de l'atténuation par PWM. Nous nous concentrerons sur l'essentiel. La fréquence de commutation d'un pilote LED survolteur est relativement élevée et le temps de régulation doit être relativement court pour obtenir une plage d'atténuation étendue, idéalement 0 - 100 %.

Les convertisseurs survolteurs doivent maîtriser une situation critique, la marche à vide. La défaillance d'une LED provoque habituellement une coupure, rarement un court-circuit. Plusieurs solutions permettent de maîtriser la marche à vide. La plus simple consiste à utiliser une diode zener possédant une tension de claquage plus élevée que le maximum de la tension totale en sens direct des LED.

Mais il y a un mais : la diode zener doit reprendre le courant de la ou des LED en cas de marche à vide. La puissance dissipée ($U_Z \cdot I_{LED}$) est toujours supérieure à la puissance totale dissipée par les LED. Il est beaucoup plus élégant de réaliser une limitation comme dans un régulateur de tension. Il faut alors compter avec une broche d'entrée supplémentaire du circuit intégré.

On peut aussi raccorder directement la diode zener à l'entrée de rétroaction du détecteur de courant et dériver la tension du détecteur de courant aux bornes d'une résistance où, normalement, ne passe qu'un faible courant. La coupure d'une LED provoque un dépassement simulé de la valeur nominale dans la boucle de régulation. On s'épargne ainsi des pertes de marche à vide inutiles à la sortie ainsi que l'utilisation d'une broche supplémentaire. Le schéma du pilote de LED survolteur basé sur le MIC2196 comporte ces astuces (Cf. la **figure 6**).

Fonctionnement mixte

Outre les pilotes de LED dévolteurs et survolteurs, il existe aussi des exécutions pour fonctionnement mixte. Ces pilotes de LED sont utilisés entre autres quand la tension à pleine charge de la pile dépasse la tension en sens direct

de la LED mais tombe au-dessous de celle-ci après une certaine période de fonctionnement. Ces pilotes de LED sont généralement basés sur les topologies Sepic, CUK, Buck/Boost et Buck/Boost inverseur.

Ces mêmes topologies sont aussi utilisées dans les pilotes de LED quand la tension d'alimentation est constante (par exemple dans une voiture) mais quand le nombre de LED varie. Une solution *Step-Up/Step-Down* de ce genre, flexible mais complexe, permet de réaliser un pilote universel de LED.

Un autre type de circuits survolteurs sont les pilotes de LED type pompe de charge qui, contrairement aux pilotes de LED à découpage précédemment décrits, utilisent des condensateurs au lieu d'enroulements. Une « pompe de charge » (*Charge Pump*), en simplifiant un peu les choses, transfère la charge emmagasinée dans les condensateurs à la tension de sortie par la commutation habile de circuits MOSFET. Il n'est généralement possible d'obtenir que des multiples de la tension d'entrée, ce qui réduit l'intérêt de ces circuits, même s'ils se distinguent par leur encombrement réduit. Car la tension en sens direct des LED n'est, hélas, pas un multiple de la tension d'entrée. Il faut donc généralement raccorder un pilote linéaire de LED à leur sortie pour assurer la régulation de courant. Le rendement dépend de nouveau (indirectement) de la tension d'entrée. Il est toutefois relativement satisfaisant lorsque la tension en sens direct des LED est légèrement plus basse qu'un multiple de la tension d'entrée. Les pilotes de LED modernes à pompe de charge commutent même automatiquement le facteur multiplicatif, ce que l'on reconnaît distinctement à la courbe en escalier du rendement.

(070013-1)

Liens Internet

- [1] www.micrel.com/_PDF/mic29150.pdf
- [2] www.micrel.com/_PDF/mic5190.pdf
- [3] www.micrel.com/_PDF/mic4682.pdf
- [4] Elektor 1/2004
- [5] www.micrel.com/_PDF/mic2196.pdf
- [6] www.micrel.com/_PDF/Eval-Board/mic2196_led_eb.pdf
- [7] www.led-treiber.de

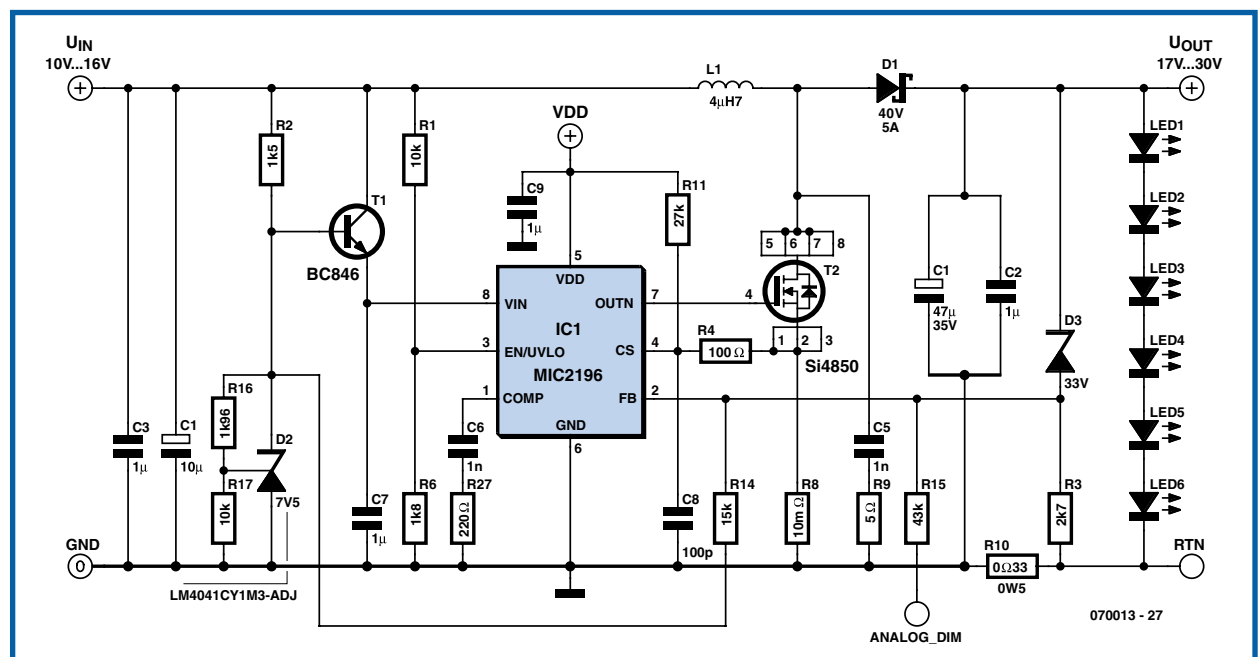


Figure 6. Schéma d'un pilote de LED survolteur. La Diode zener D3 sert de protection contre la marche à vide (voir texte).