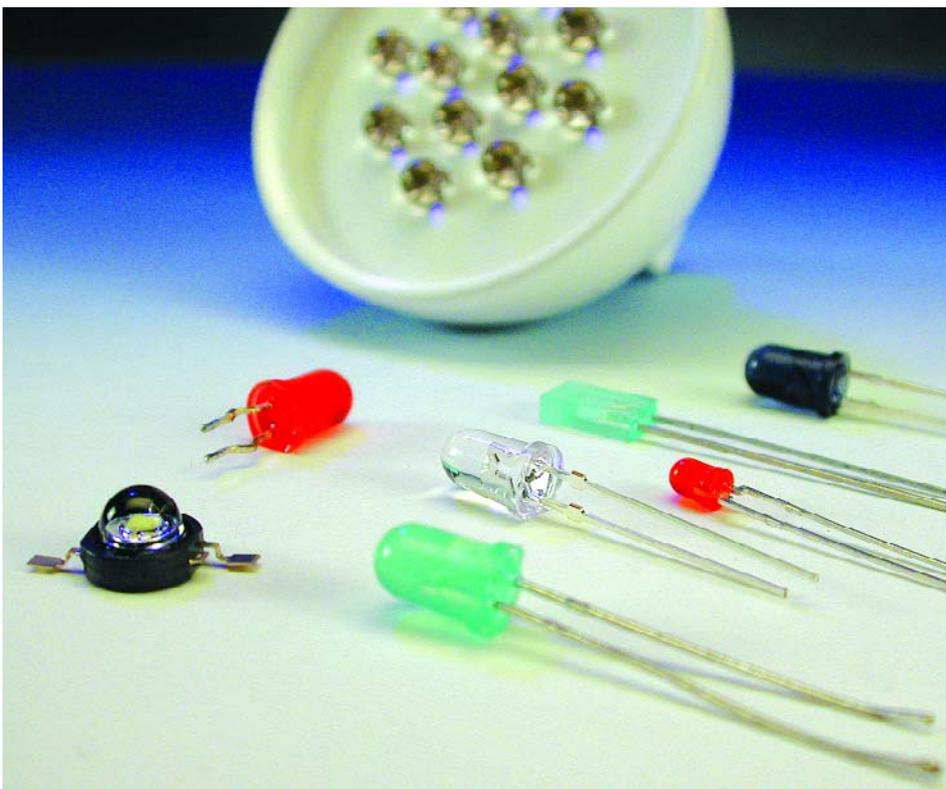


Plus de lumière !

Les LED haute puissance dans la pratique

Dr. Ing. Martin Ossmann

Au cours des dernières années, les sources lumineuses à LED ont supplanté les lampes à incandescence classiques dans de nombreuses applications. Leur longévité, en particulier, explique cette tendance dans de nombreuses applications.



Les meilleures LED sont aussi devenues disponibles pour les particuliers. La maison Conrad Electronic nous a aimablement fourni les échantillons décrits dans cet article. Les électrotechniciens ne sont pas forcément des spécialistes de l'éclairage. Cet article a donc pour but d'introduire quelques éléments de la technique de l'éclairage et de présenter 2

circuits simples permettant d'utiliser des LED de 1 W haute puissance.

Lumens ou watts ?

Les électrotechniciens font normalement appel au watt comme unité de puissance électrique. La puissance

des émetteurs ou des diodes laser à infrarouge pour le transfert optique des données est, elle aussi, exprimée normalement en watt. Par contre, la « puissance » d'une source lumineuse à des fins d'éclairage s'exprime habituellement en lumens. Le lumen (lm) est l'unité photométrique du flux d'une source lumineuse. Les unités photométriques entrent en jeu lorsqu'il faut tenir compte de la sensibilité spectrale de l'œil. La sensation de luminosité donnée par une source lumineuse monochromatique de 1 W dépend en effet de sa longueur d'onde. Une source UV ou IR, par exemple, brillera plutôt par son absence ! La **figure 1** nous montre la courbe de sensibilité de l'œil (pour la vision diurne).

Le maximum de la sensibilité visuelle se situe à la longueur d'onde de 555 nm. Une puissance de 1 W à 555 nm (monochromatique) correspond à un flux lumineux de 683 lumens. Le flux lumineux englobe toute la lumière émise par la source sans tenir compte de sa destination. Un rayonnement de 1 watt à 650 nm ne correspond plus qu'à $683 \cdot 0,107 = 73$ lumens car la sensibilité spectrale à 650 nm (lumière rouge) n'est déjà plus que de 0,107. Dans le cas des ampoules, on indique souvent le rendement lumineux. Il indique le nombre de lumens

obtenus pour la puissance électrique fournie, il est donc exprimé en lm/W. Dans le cas des lampes formant un tout avec un bloc d'alimentation électronique, on indique généralement la puissance électrique consommée par le système. Le rendement lumineux du système dépend donc de celui du bloc d'alimentation. Le **tableau 1** contient les données de quelques types de sources lumineuses usuelles. On remarquera la variation très étendue des valeurs numériques. La lampe au sodium basse pression remporte la palme des lumens/watt, mais sa lumière jaune est loin d'être idéale pour percevoir les couleurs. Le rendement de la production de lumière blanche est bien moins élevé.

Candelas

Les données techniques des LED sont d'ordinaire muettes sur le flux lumineux, remplacé par des candelas (cd). Quelle en est la raison ? Dans le cas des candelas, la puissance lumineuse est indiquée pour un flux lumineux (partiel) dans un (petit) angle spatial (ce que les mathématiciens nomment « angle solide »). Une puissance lumineuse de 1 cd correspond au flux lumineux de 1 lumen rayonné dans un angle (spatial) ayant une ouverture de 360 degrés. On a donc :

$$\text{Puissance lumineuse} = \text{Flux lumineux par unité d'angle spatial}$$

Les indications concernant la puis-

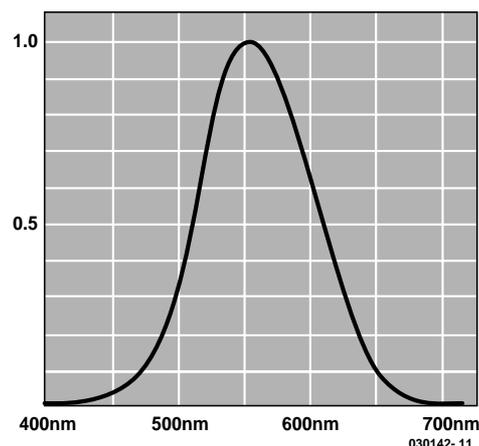


Figure 1. Courbe de sensibilité CIE.

Tableau 1. Caractéristiques des sources de lumière les plus courantes.

Source de lumière	Puissance électrique en watts	Flux lumineux en lumens	Puissance lumineuse en candelas	Rendement lumineux en lm/W
Ampoule à incandescence	75	900	–	12
Tube fluorescent	58	5400	–	90
Ampoule au sodium - faible pression	130	26000	–	200
Ampoule au mercure –haute pression	1000	58000	–	58
Halogène - 12 volts	65	1700	–	26
Halogène - réflecteur 10 degrés	50	–	12500	–
Halogène - réflecteur 60 degrés	50	–	1100	–
LED LUXEON	1	18	–	18
LED NICHIA 20 degrés	0,08	–	6,4	

Tableau 2. Conversion angle d'ouverture en angle spatial.

Angle d'ouverture (degrés)	Angle spatial (steradian)
360,0	12,566 (4·π)
180,0	6,283 (2·π)
60,0	0,842
40,0	0,379
38,0	0,342
35,0	0,291
30,0	0,214
25,0	0,149
24,0	0,137
20,0	0,095
15,0	0,054
10,0	0,024



Figure 2. Différents modèles de LED 1 W de LumiLED.

Tableau 3. Caractéristiques de l'ampoule à réflecteur Osram Dekostar 51.

Angle d'ouverture (degrés)	Puissance lumineuse (cd)	Flux lumineux (lm, calculé)	Rendement lumineux (lm/W, calculé)
10,0	9100,00	217,576	6,22
24,0	3100,00	425,638	12,16
38,0	1500,00	513,475	14,67
60,0	700,00	589,251	16,84

Tableau 4. Caractéristiques des LED blanches de Nichia.

Angle d'ouverture (degrés)	Puissance lumineuse (cd)	Flux lumineux (lm, calculé)	Rendement lumineux (lm/W, calculé)
20,0	6,40	0,611	7,64
50,0	1,80	1,060	13,25
70,0	0,48	0,545	6,82

sance lumineuse sont normalement jointes aux sources lumineuses focalisées telles que les lampes halogènes à réflecteur et souvent aussi aux LED. La mention de la puissance lumineuse s'accompagne souvent de celle de l'angle d'ouverture du cône lumineux au bord duquel la puissance lumineuse a diminué de moitié. Si les lasers atteignent une telle puissance lumineuse, c'est que l'angle d'ouverture du rayon lumineux qu'ils émettent est très petit. Le **tableau 2** indique comment convertir l'angle d'ouverture en angle spatial. En résumé, la comparaison entre sources lumineuses n'est pas facilitée par l'utilisation du flux lumineux ou de la puissance lumineuse sans parler de ce qu'il faut parfois tenir compte de la couleur de la lumière. C'est pourquoi nous allons présenter quelques exemples qui, nous l'espérons,

contribueront à vous familiariser avec ces quantités.

Premier exemple : ampoule du feu d'une bicyclette

L'ampoule consomme 3 W et fournit un flux lumineux d'environ 30 lm. Le rendement lumineux atteint donc environ 10 lm/W. En se basant sur un rayonnement isotrope (angle d'ouverture 360 degrés, angle spatial 4 π), on obtient une puissance lumineuse d'environ 2,4 candelas. On atteint environ 250 candelas au centre du faisceau avec une focalisation par réflecteur !

Deuxième exemple : ampoule halogène basse tension

Une ampoule Osram Halostar (isotrope, sans réflecteur, type 64432 IRC) consomme 35 W et fournit un flux lumineux de 900 lumens. Le rendement de 26 lm/W est environ celui des lampes halogènes de bonne qualité.

Troisième exemple : ampoule halogène basse tension à réflecteur

La puissance lumineuse et l'angle d'ouverture des ampoules à réflecteur sont usuellement indiqués. Cela est logique puisque elles sont desti-

nées à fournir un éclairage ponctuel. On peut souvent se procurer des ampoules de même puissance (watts) mais avec différents angles d'ouverture. L'ampoule à réflecteur Osram Dekostar 51 (diamètre du réflecteur 51 mm) fournit les valeurs indiquées dans le **tableau 3** à 35 W, 12 V.

Le calcul du flux lumineux et du rendement lumineux est basé sur l'angle d'ouverture. Si nous partons du principe que les lampes possèdent le même filament et fournissent donc toutes autant de lumière, la diminution du rendement lorsque l'angle d'ouverture est petit permet de conclure qu'il est difficile de focaliser efficacement la lumière. La puissance lumineuse sans indication d'angle d'ouverture ne permet pas de comparer les ampoules.

Quatrième exemple : LED de Nichia

L'entreprise Nichia fabrique actuellement les meilleures LED blanches. Les données de quelques types sont rassemblées dans le **tableau 4** (dans chaque cas, consommation 20 mA à environ 4 V, diamètre 5 mm). Le flux lumineux et le rendement lumineux ont été calculés ici aussi.

Si les valeurs des candelas sont très basses par rapport aux ampoules halogènes, c'est parce que la puissance électrique l'est aussi ! En effet, une LED ne consomme que $20 \text{ mA} \cdot 4 \text{ V} = 80 \text{ mW}$. Le rendement lumineux de 13 lm/W n'a pas à rougir de la comparaison avec les lampes halogènes.

Cinquième exemple : LED Luxeon

Les Luxeon (**figure 2**) introduites récemment par LumiLED consomment 1 W (330 mA à environ 3,4 V pour une LED blanche). Les valeurs de la caractéristique *lambertienne* de rayonnement sont indiquées dans le **tableau 5**.

Cette fois c'est fait ! La valeur d'une LED blanche dépasse celle d'une ampoule halogène à réflecteur. Les valeurs des diodes colorées ne sont pas négligeables non plus. Le rayonnement maximum de la couleur *Royal Blue* se situe vers 450 nm. L'œil est déjà si peu sensible à cette longueur d'onde que la puissance rayonnée est donnée en milliwatts. Cette valeur est une première indication de l'efficacité de ces LED. En

Tableau 5. Flux lumineux de LED Luxeon de différentes couleurs.

Couleur	Flux lumineux typique (lm)
WHITE	18
GREEN	25
CYAN	30
BLUE	5
ROYAL BLUE	100 mW
RED	44
AMBER	36

Tableau 6. Caractéristiques d'un spot LED 12 V.

Angle d'ouverture (degrés)	Puissance lumineuse (cd)	Flux lumineux (lm, calculé)	Rendement lumineux (lm/W, calculé)
50,0	30	17,7	14,7



Figure 3. Spot LED 12 V.

effet, 10 % de la puissance électrique (1 W) sont convertis en lumière rayonnée (**figure 3**).

Sixième exemple : spot LED 12 V 50 mm

L'entreprise Signal-Construct offre (chez Conrad, RFA) des spots LED qu'on peut alimenter par un transfo 12 V pour lampe halogène. Consommation 1,2 W. L'angle d'ouverture de 50 degrés et la puissance lumineuse de 30 cd sont repris de la fiche de données.

Le rendement lumineux atteint les valeurs habituelles des LED (par

exemple LED Nichia 50 degrés). Le spot proprement dit est composé de 12 LED. Un courant de fonctionnement d'environ 20 mA à 4 V par LED nous donne une puissance totale de 0,96 W. La différence $1,2 \text{ W} - 0,96 \text{ W} = 0,24 \text{ W}$ est vraisemblablement perdue dans le redresseur et le régulateur de courant.

Des LED vraiment froides ?

On lit souvent que les LED sont bien plus efficaces que les ampoules halogènes parce qu'elles ne rayonnent

aucune chaleur. Qu'en est-il vraiment ? Consultons le tableau 1. Les valeurs du rendement lumineux des lampes halogènes et des LED indiquent clairement que seule une très faible partie de la puissance électrique de ces 2 sources lumineuses est convertie en lumière visible. Où est passé le reste ? Le filament à température extrêmement élevée de l'ampoule à incandescence rayonne une bonne partie de la puissance sous forme d'infrarouge (le filament est pour ainsi dire refroidi par rayonnement). Une autre partie de la chaleur du filament est éliminée par convection dans l'ampoule elle-même.

Il est d'autre part impossible de faire fonctionner des diodes lumineuses à quelques milliers de degrés Kelvin dans le but de les refroidir par rayonnement. Nous devons éviter que le semi-conducteur dépasse de beaucoup $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Le refroidissement par rayonnement à $120 \text{ }^\circ\text{C}$ manque encore terriblement d'efficacité et seule une faible partie de l'énergie est dégagée sous forme d'infrarouges. Seul un dissipateur thermique offrant une surface considérable peut assurer le refroidissement. Il rayonne une partie de l'énergie par infrarouges, mais élimine la plus grande partie de la chaleur dans l'air ambiant par convection. Lorsqu'on essaie de monter des lampes à LED fournissant le flux lumineux d'une ampoule halogène de 35 W, on constate tôt ou (parfois) tard que le refroidissement constitue un problème crucial qu'il faut bien résoudre d'une façon ou d'une autre. Voilà pourquoi LumiLED, par exemple, fournit une série de LED haute puissance dont les supports sont déjà prévus pour le montage d'un dissipateur thermique. Pour dimensionner le dissipateur thermique, on part du principe que l'intégralité de la puissance électrique est convertie en chaleur. Le rendement électrique des LED (watts optiques par watt électrique), même des tout derniers modèles, n'étant toujours pas miraculeux, on peut continuer tranquillement à ignorer la puissance rayonnée sous forme lumineuse.

LED Luxeon

Les LED les plus puissantes actuellement disponibles sur le marché sont les Luxeon (**figure 4**) de LumiLED, une entreprise commune de Agilent et Philips. Les types actuellement disponibles consomment 1 W. La LED blanche, par exemple, a une tension de 3,4 V, ce qui signifie qu'elle doit être utilisée avec un courant de l'ordre de 300 mA au plus. La caractéristique de cette diode est si raide qu'il est impossible de la brancher directement à une source de tension sans limitation, ou mieux, régulation de courant.

Le refroidissement de cette LED est assuré



Figure 4. Une LED Luxeon.

par une surface de contact métallique à l'arrière. On en aura bien besoin, étant donné que le watt converti presque intégralement en chaleur doit être éliminé du boîtier de faible taille d'une façon ou d'une autre. Que disent les fiches de données à ce sujet ? Lorsque la température devient trop élevée, il faut cesser de fournir le courant maximum à la LED, autrement dit, il faut la déclasser (*derating*). Un petit dissipateur thermique devrait toutefois permettre un fonctionnement continu à courant maximum.

Encore une remarque, cette fois sur la durée de vie. La durée de vie est indiquée par « jusqu'à 100 000 heures », ce qui fait tout de même plus de 10 ans en régime continu. Mais en fait le flux lumineux décroît continuellement avec l'espérance de vie de la LED. Le réduction du flux lumineux d'une LED blanche peut atteindre 20 % après environ 10 000 heures. Une décroissance de 20 % a encore lieu après 40 000 heures supplémentaires. Mais ne nous y trompons pas, ces sources LED font preuve d'une très grande longévité. En comparaison, une voiture « tient » 200 000 km (jusqu'à ce que le contrôle technique mette le frein...). Une vitesse moyenne de 100 km/h ne nous accorde que 2 000 heures de fonctionnement ! La durée de vie d'une source lumineuse à LED dépasse donc sans conteste celle d'une voiture. Il n'y a en principe pas lieu de prévoir leur remplacement. Les LED constituent par conséquent une alternative intéressante là où le remplacement de la source d'éclairage est difficile et coûteux.

On trouve sur Internet une foule de renseignements sur les LED Luxeon : conseils sur l'aspect électrique et thermique du fonctionnement, diagrammes de rayonnement, etc. Les 2 circuits que nous allons présenter sont basés sur ces informations. Ils vous permettront de vous familiariser avec cet intéressant domaine.

LED Luxeon sur accumulateurs 4,8 V NiMH

La **figure 5** représente un circuit simple permettant d'alimenter les nouvelles LED 1 W à partir d'une tension de 4 à 6 V. Quatre éléments NiMH feront parfaitement l'affaire. IC1 est une source dont le courant dépend de la tension aux bornes des résistances R1 (0,2 Ω) et R2. La valeur nominale entre ADJ et V- est d'environ 65 mV. Le courant résultant de la LED atteint environ 250 mA. Attention, la tension de référence de 65 mV est proportionnelle à la température absolue ! Une élévation de la température ambiante de 25 °C à 40 °C fait donc augmenter le courant jusqu'à environ

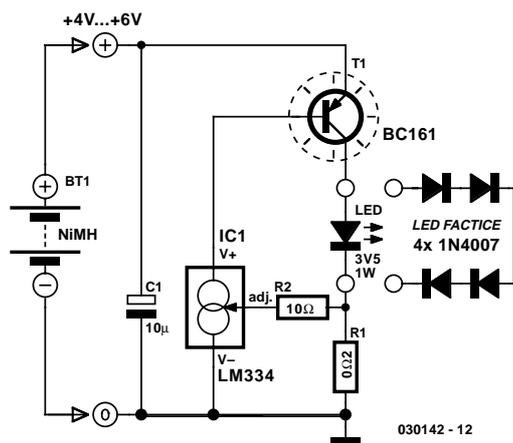


Figure 5. Régulateur linéaire pour LED 1 W.

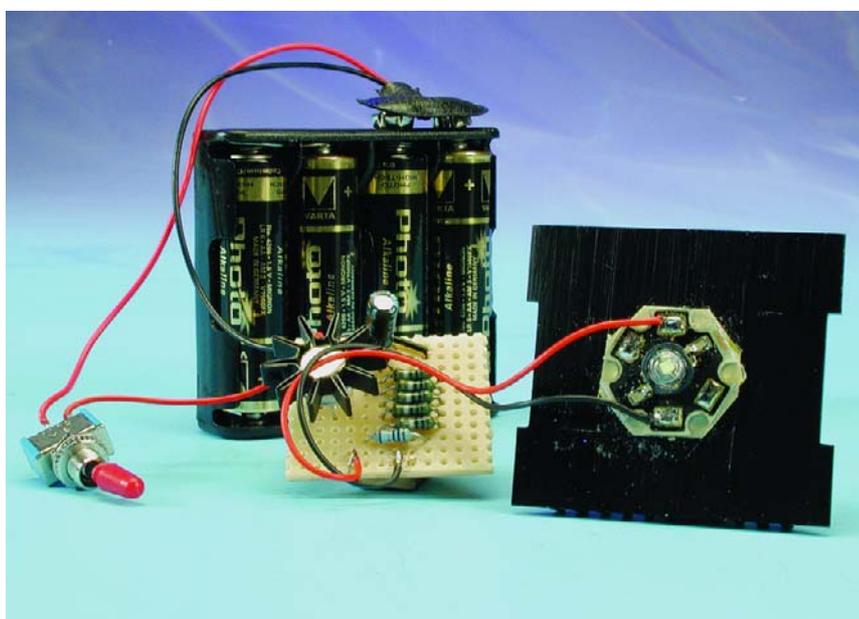


Figure 6. Régulateur de courant à basse différence de tension sur petite platine perforée pour montage expérimental.

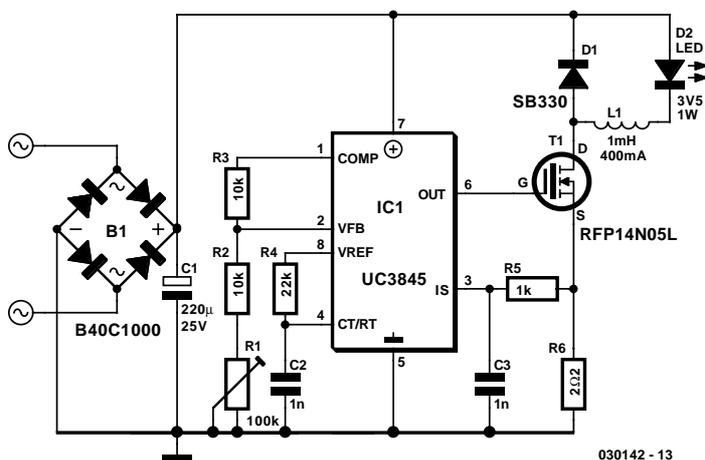


Figure 7. Régulateur à découpage simple avec un rendement de 70 %.

$$250 \text{ mA} \frac{273 + 40}{273 + 25} = 260 \text{ mA}$$

Si un grand nombre d'applications n'en souffrent aucunement, on devrait toutefois veiller à ce que IC1 ne subisse pas un échauffement dû au dégagement de chaleur de T1 ou de LED D1 ! Ce circuit simple présente l'avantage de se contenter d'une tension très faible aux bornes de la résistance détectrice R1. Il s'agit donc d'un régulateur de courant à basse différence de tension. La tension d'entrée maximale devrait être limitée à 6 V sous peine de dépasser la puissance dissipée admissible de T1 lorsque le courant collecteur atteint 250 mA !

Une LED de 1 W coûte environ 10 €. Il ne s'agit donc pas exactement d'un composant bon marché. Bref, prudence et circonspection lors de la mise en service du circuit. Pour que la LED ne finisse pas au Walhalla des diodes valeureuses pour une simple petite erreur, on devrait, comme l'indique la figure 5, tester le circuit avec une LED « bidon » formée de 4 diodes 1N4007 en série.

Augmenter, lentement, la tension fournie par un bloc secteur réglable. Le courant doit atteindre sa valeur finale de 250 mA à partir d'environ 3 V. Une fois cette valeur atteinte, un accroissement de la tension jusqu'à 6 V ne devrait plus provoquer d'augmentation de courant. Le test a-t-il réussi ? Rien ne s'oppose plus alors à la mise en service de la véritable LED. La **figure 6** montre un prototype réalisé sur une petite platine perforée pour montage expérimental et la LED 1 W type Luxeon Star.

Alimentation 12 V pour LED

Le rendement d'un régulateur linéaire comme celui de la **figure 6** est trop faible pour alimenter une seule LED à une tension de 12 V ; en effet, la majeure partie de l'énergie y est dissipée en chaleur et se perd donc dans la nature. Un simple régulateur à découpage comme celui de la **figure 7** offre une autre possibilité d'alimenter des LED 1 W par basse tension 12 V à partir du réseau (courant alternatif) ou par un d'accumu-

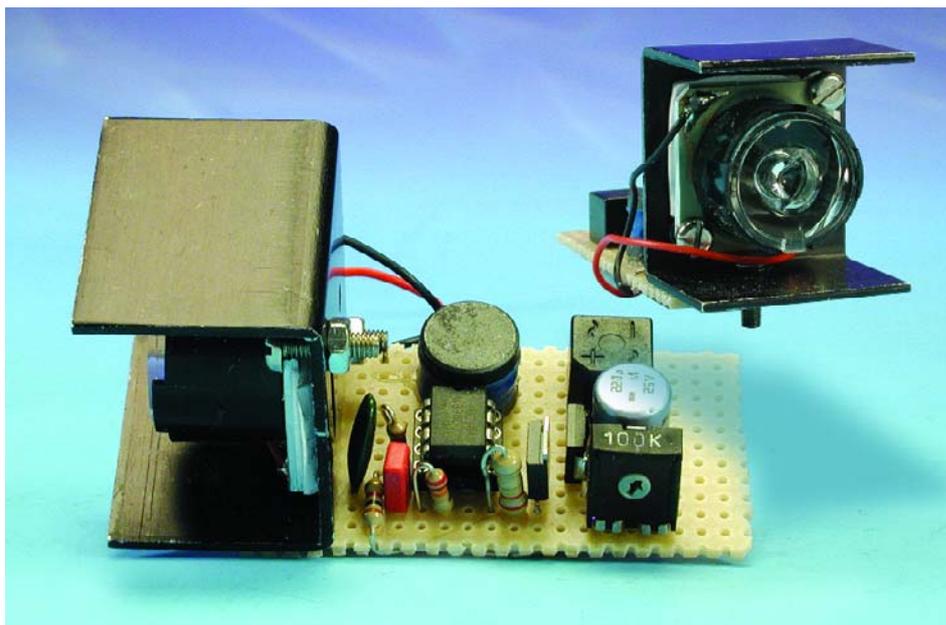


Figure 8. LED avec optique, dissipateur thermique et alimentation secteur 12 V.

lateur de voiture 12 V. Le régulateur à découpage ne comporte que des composants ordinaires. Son rendement atteint 70 %. On a vu mieux mais, d'autre part, le circuit ne requiert pas de miracles de la part des composants.

Un circuit intégré conventionnel de modulation en largeur d'impulsion UC3845 est utilisé en mode de courant. L'élément RC R4/C2 détermine la fréquence de commutation. R2/R1 ajustent le courant. L'inductance L1 relativement élevée maintient le courant d'ondulation parasite dans des limites acceptables. Le courant de la LED ne fait pas l'objet d'une régulation mais d'une simple commande basée sur le courant de pointe ajusté par L1. On s'épargne ainsi les complications dues à la mesure du courant dans la boucle de la LED. Utiliser ici aussi une LED factice lors de la mise en service préliminaire (voir plus haut).

Le circuit est amorcé lorsque la tension d'entrée (tension continue pour les tests) dépasse 10 V. R1 ajuste le courant de la LED à environ 250 mA. La consommation est d'environ 120 mA pour une tension continue de 12 V. Le courant de la LED ne doit pas (trop) dépendre de la tension d'entrée. Test réussi ? Raccordons sans crainte une LED 1 W et appliquons 12 V_{eff} à l'entrée. On peut ainsi rehausser un système clas-

sique halogène 12 V d'une touche futuriste. La LED utilisée dans ce circuit (**figure 8**) possède une optique intégrée (Luxeon STAR/O). Il est nécessaire de prévoir un petit dissipateur thermique supplémentaire pour le fonctionnement continu. La LED est montée sur le dissipateur thermique avec une feuille élastique isolante conductrice de chaleur.

Conclusion

Le futur nous réserverait-il quelques surprises que cela ne m'étonnerait pas. En attendant, voilà déjà des LED fonctionnant sous 700 mA. Il existe des projets visant à assurer l'éclairage des écrans LCD par LED. Certaines voitures de série sont équipées de feux arrière à LED, il existe des feux de circulation à LED ; il n'y a pas si longtemps, ce genre d'application faisait encore partie du domaine de la science-fiction.

(030142)

Adresses Internet:

www.lumileds.com
www.luxeon.com
www.nichia.com
www.conrad.de
www.osram.de
www.vs-optoelectronic.com/ger/