

L³V : Lumière LED de

Plus de lumière – et jamais plus d'ampoule à remplacer

Thomas Scherer

On vient de s'offrir un nouveau deux roues– la classe, avec dynamo-moyeu et tutti quanti – et on avale joyeusement les premiers kilomètres. Mais : moins de 2 heures plus tard, l'ampoule avant déclare forfait ! C'en est trop pour l'auteur qui pose alors l'équation suivante : LED de puissance = plus jamais d'ampoule à remplacer.

En fait, ce destin m'a frappé dès la première semaine qui a suivi l'acquisition de ma nouvelle bécane. Un homo electronicus ne remplace pas simplement l'ampoule. Il ne se contente jamais de l'explication la plus simple. Un tel incident lui donne l'occasion d'aller au fond des choses – et de les démonter si possible...

Diagnostic

La résolution d'un problème électronique passe aujourd'hui par le processus version 2.0 :

Googler avant de mesurer !

Cette méthode a permis de constater qu'Andreas Oehler du magazine en ligne « Fahrrad Zukunft » s'était déjà penché sur les entrailles de la dynamo-moyeu [1].

Internet ne remplace pas complètement le dépannage conventionnel des dérangements. La **figure 1** indique qu'un semi-conducteur est branché en parallèle sur l'ampoule. Ce « *Transient Voltage Suppressor* » type P6KE7.5CA [2] est une sorte de diode zener anti-série prévenant les surtensions.

Les constatations exposées dans [1] permettent d'effectuer une reconstitution : une dynamo-moyeu fournit plus de 6 V pour un nombre de tours normal. La limitation de tension est destinée à protéger l'ampoule. La diode supporte une charge de 5 W. Elle commence à conduire à partir de 6,5 V. La diode est soumise à une tension d'environ 7,5 V à 0,5 A. Une dynamo-moyeu se comporte plutôt comme une source de courant. Sans cette protection, l'ampoule serait souvent soumise à des pointes de 8 à 10 V. Dans mon cas, 7,5 V était déjà trop. La



Figure 1. Une diode de suppression était montée en parallèle sur l'ampoule du phare.

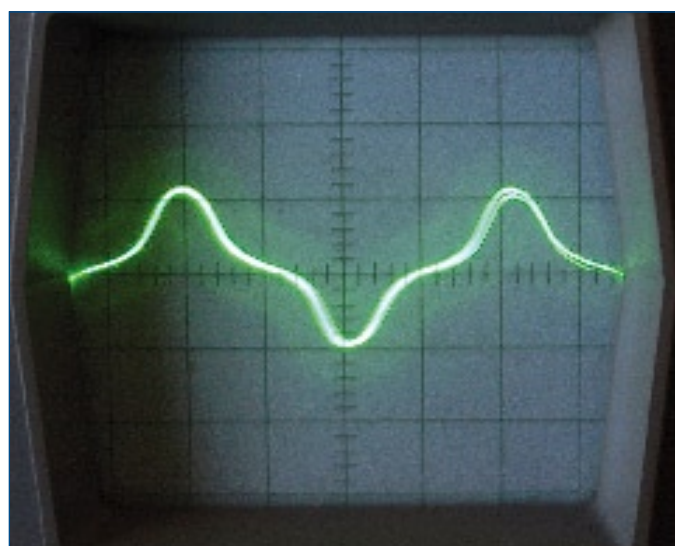


Figure 2. La forme de la courbe de tension de la dynamo-moyeu n'est pas sinusoïdale.

Luxe pour Vélo



courbe de tension de la dynamo (voir la **figure 2**) n'a par ailleurs rien d'un sinus.

Il m'a suffi de m'adresser au bon endroit dans un centre urbain. La filiale d'une entreprise de vente technique par correspondance a confirmé que je n'étais pas le seul à souffrir de ce problème : la vente des ampoules à incandescence 6 V battait tous les records. Mon feu arrière n'a pas subi le même sort : il est déjà équipé de LED. La puissance d'une LED avec résistance de protection croît linéairement et non

pas comme le carré de la tension. Elle résiste donc plus longtemps qu'une ampoule aux assauts de la surtension.

Ouverture

J'ai déjà eu l'occasion d'expérimenter les LED blanches de puissance destinées aux vélos. Les seules exécutions disponibles étaient celles de 1 W qui n'étaient pas assez lumineuses lorsque alimentées par une dynamo à roue de friction. Une LED 1 W n'atteint pas

la luminosité d'une ampoule 2,4 W malgré son meilleur rendement. Une meilleure visibilité due à la lumière blanche et une plus longue durée de vie étaient les seuls avantages.

Premier acte : LED de puissance

Entre-temps, des LED 3 W pas trop coûteuses sont apparues. Leur rendement de plus de 110 lumens/watt dépasse celui des lampes fluorescentes. Elles offrent donc a priori des conditions idéales. Un circuit simple avec LED 3 W est reproduit dans la **figure 3**. Ce circuit offre environ la même luminosité qu'une ampoule halogène – mais pas beaucoup plus. Les caractéristiques d'une dynamo-moyeu comme source de courant permettent à peine de dépasser 0,5 A. Une LED typique de 3 W avec $U_F = 3,3$ V ne dispose donc que d'une puissance électrique de 1,6 W environ. Avec une puissance aussi faible, la LED atteint à peine la luminosité d'une ampoule de 2,4 W.

Intermède

Comment atteindre la luminosité maximale d'une LED ? Il faudrait convertir sans pertes excessives les 6 V de la dynamo en 3,3 à 3,8 V et (pouvoir) augmenter simultanément le courant jusqu'à 700 mA.

Le rendement d'un convertisseur dévolteur à ces tensions peu élevées atteint les 80 %. N'oublions pas le redressement : même des diodes Schottky en pont (chute de tension $2 \times 0,4$ V) causent une perte supplémentaire de 0,4 W à 0,5 A. Il reste 80 % de 2,5 W

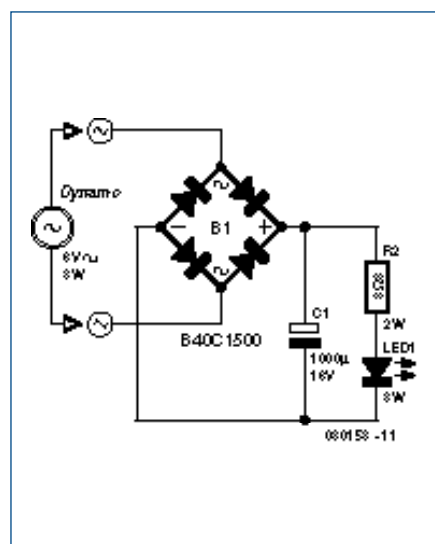


Figure 3. Circuit de la première tentative d'utiliser une LED 3 W comme éclairage de bicyclette.

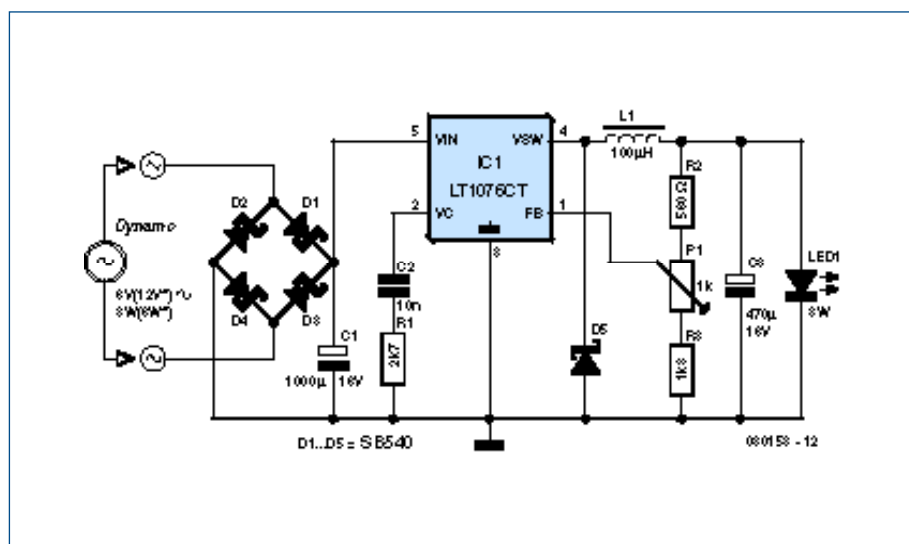


Figure 4. Circuit complet de l'éclairage de puissance d'une bicyclette. LED d'un rendement lumineux total de 3 W.



Figure 5. Des fichiers Eagle pour la carte sont aussi disponibles par téléchargement.

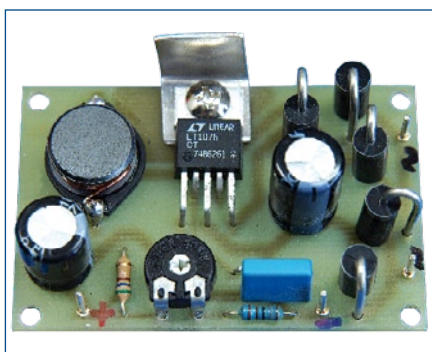


Figure 6. Prototype du régulateur à découpage. Il se distingue par sa grande compacité.

après soustraction de 0,1 W du feu arrière LED, soit 2 W. Un maigre gain atteignant à peine 0,4 W par rapport au circuit de la **figure 3**.

Mais, comme dit Méphisto dans Faust, « toute théorie est sèche » : selon [1], une dynamo-moyeu fournit en effet jusqu'à 12 V. On atteint jusqu'à 6 W à 0,5 A ! Mais point trop n'en faut. On obtient la valeur d'entrée nécessaire, soit 3,6 W, en divisant les 3 W de la LED par le rendement du régulateur à découpage.



Figure 7. Module constitué par la LED sur la platine de support et l'optique vissées sur une cornière alu. La LED, isolée par des « rondelles » en plastique en U, est fixée par des écrous M3.

Liste des composants

Résistances :

R1 = 2k Ω
R2 = 560 Ω
R3 = 1k Ω
P1 = ajustable miniature 1 k Ω couché

Condensateurs :

C1 = 1 000 μ F/35 V radial RM 5 mm
C2 = 10 nF
C3 = 100 μ F/16 V radial RM 5 mm

Semi-conducteurs :

D1 à D5 = SB540 (Schottky)*

LED1 = LED de puissance 3 W blanche*

Divers :

L1 = 100 μ H/1 A
(tel que EPCOS 975-2102, Farnell)
optique pour LED de puissance (type 20 °)*
platine 080153-1 (pour téléchargement
dessin des pistes y compris fichiers Eagle
Cf. page de projet sur www.elektor.fr)

* Cf. texte

Cela correspond à une tension de 7,2 V à 0,5 A. On atteint 8 V en ajoutant les 0,8 V du redresseur Schottky, ce qu'une dynamo-moyeu fournit sans peine. Problème résolu. Le régulateur à découpage présente un avantage supplémentaire : il protège la LED d'une surcharge de courant et offre une luminosité très constante à partir d'un certain nombre de tours.

Deuxième acte : le circuit

La **figure 4** représente un convertisseur dévolteur basé sur le LT1076 [3]. Ce circuit intégré, facile à utiliser, ne nécessite que 8,5 mA, fonctionne à 100 kHz, se contente d'une tension minimale de 3,5 V et fournit jusqu'à 2 A.

D1 à D4 forment le redresseur en pont. D5 joue le rôle de diode de roue libre. Les 5 A de puissance de dissipation d'une diode SB540 constituent un exemple de surdimensionnement. Mais la chute de tension n'est que de 0,33 V à 0,5 A. Rien ne s'oppose à utiliser des diodes Schottky 1 A pour D1 à D5, par exemple le type SB140. Le rendement total baisse alors d'environ 2%.

L'élément RC comportant R1 et C2 à la broche 2 d'IC1 assure la compensation de fréquence. La tension de sortie est stabilisée en comparant la tension de la broche 1 à la référence interne (2,21 V). Le diviseur ajustable constitué par R2, P1 et R3 permet d'ajuster les tensions dans la plage de 2,7 à 4 V.

L1 est une inductance fixe de 100 μ H prévue pour 100 kHz et 1 A. Une résistance ohmique peu élevée améliore le rendement. Ce n'est toutefois pas critique : même un enroulement toroidal antiparasite de 100 μ H a fourni un rendement de plus de 75%.

Troisième acte : montage & test

Le montage devient un jeu d'enfant si on choisit la bonne carte (**figure 5**). La

topologie de la carte a été engendrée avec Eagle. Les fichiers de la carte et un fichier .pdf de la topologie peuvent être téléchargés à partir du site Web d'Elektor (www.elektor.fr/). Plier les pattes avec précision pour effectuer le montage couché de IC1. Un petit dissipateur thermique (cornière alu comme dans la **figure 6**) fait déjà l'affaire. IC1 dissipe 0,5 W au plus. On peut donc se contenter de souder les écrous de fixation (M3) à la surface de cuivre de la face arrière.

L'enroulement indiqué dans la nomenclature est une exécution CMS. Il est possible de le monter facilement en soudant deux bouts de fil. La carte comporte aussi des connexions pour d'autres modèles.

Le montage est terminé, son contrôle effectué. Voici le moment venu de raccorder le circuit à une alimentation de labo (ou à un bloc d'alimentation secteur) 9 à 12 V (min. 0,5 A) et de charger la sortie avec une résistance de 4,7 Ω /4 W. La tension de sortie doit se trouver dans les limites mentionnées. IC1 ne doit chauffer que modérément.

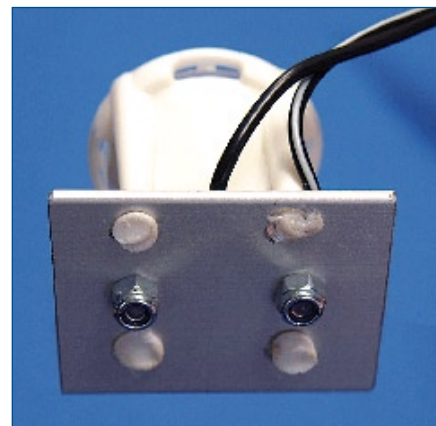


Figure 8. Vue arrière du module LED : les 4 taquets en plastique de l'optique sont fixés par refusion.

Le rendement total pour 10 V d'entrée et 3,75 V à la résistance de 4,7 Ω atteint environ 75% : Le circuit consomme donc 4 W et en fournit 3.

Attention : la mise hors tension doit être précédée d'une remise à la tension de sortie minimale par P1 afin d'éviter que la LED soit surchargée lors de sa première mise sous tension.

Avant de raccorder la LED de puissance, il faut la visser sur une cornière alu avec sa platine de support (Ne pas oublier la pâte thermique !). C'est à ce stade qu'il est préférable de fixer aussi l'optique sur la cornière. On obtient un module d'éclairage compact (voir les figures 7 et 8) et on évite de se brûler la rétine en fixant par mégarde la source lumineuse. Le module est monté dans un boîtier de lampe. Éliminer bien entendu la diode de suppression de la lampe. Un petit travail de fraisage a permis de coller l'optique de l'intérieur sur le verre du phare. L'électronique est placée dans un petit boîtier plastique hors de la lampe.

Finale : Ajuster...

Comme le signale l'encadré, il faut adapter la tension à la LED de puissance utilisée pour obtenir la valeur admise du courant (environ 0,7 A). Il faut éviter de dépasser cette valeur si

LED obtient environ 3 W. On choisira 330 mA avec une alimentation secteur 12 V. La tension U_F décroît avec l'élévation de température, ce qui fait croître le courant de la LED. Il faut réajuster P1 à plusieurs reprises pour en tenir

compte. Le courant devrait rester stable après environ 5 minutes. Fin de l'ajustement. Attention :

ne jamais regarder fixement la LED allumée !

Ah oui : la LED est chaude !

Ne jamais regarder fixement la LED de puissance allumée !

l'on veut prolonger la durée de vie de la LED au-delà de 20 000 heures. Plusieurs types s'accommodent toutefois d'un courant atteignant 1 A avec un refroidissement efficace.

L'ajustement est la simplicité même : on ne mesure pas le courant de sortie. La résistance interne d'un multimètre en série avec la LED fausserait les résultats. On branche directement le module LED à la sortie et on mesure le courant d'entrée. On commence par de faibles valeurs (P1 à gauche). Puis on ajuste P1 de façon à obtenir un courant d'entrée de 0,4 A pour une tension de 10 V (ce qui donne 4 W). Le rendement total du circuit étant de 75%, la

Coda

Une dynamo-moyeu fournit à faible vitesse un courant alternatif basse fréquence. La lumière est pulsée à moins de 5 km/h. Elle est constante à partir de 10 km/h environ. Le comportement du circuit avec une dynamo à roue de friction ou similaire n'a pas été testé. Avec une dynamo-moyeu sans diode de suppression, la tension peut atteindre 12 V à une allure soutenue (>30 km/h). Cela ne constitue pas un

Design your own Embedded Linux Control Centre on a PC

NOUVEAU

Ce livre est
intégralement
en anglais

elektor
CHOPPE



Grâce à l'évolution récente des techniques de commande et de régulation qui permet une grande efficacité à partir de moyens techniques bien moins coûteux qu'il y a encore quelques années, la domotique est aujourd'hui un sujet encore plus passionnant pour les électroniciens. Ce nouveau livre en anglais ne traite ni de ZigBee, ni de Z-wave ni de X10 ni d'aucun autre protocole commercial, mais propose un système fait à la maison, à partir d'éléments récupérés. Le système de commande tourne sous Linux sur un « vieux » PC, il utilise une webcam USB, attaque les entrées-sorties par les interfaces standard et envoie ses ordres par courants porteurs sur le réseau électrique de la maison. Le livre détaille bien tout ce qui a trait à la communication, notamment par le réseau ethernet et le cube. Le logiciel correspondant est disponible sur le site d'Elektor.

234 pages • 17 x 23,5 cm • ISBN 978-0-915705-72-1 • 32,50 €

Elektor / Publitrone SARL
1, rue de la Haye
BP 12910
95731 Roissy CDG Cedex
Tél. : +33 (0)1.49.19.26.19
Fax : +33 (0)1.49.19.22.37
E-mail : ventes@elektor.fr

Informations complémentaires et catalogue complet sur
www.elektor.fr/e-choppe

problème pour la LED qui est protégée par le circuit. Une lampe à incandescence usuelle 6 V et 0,6 W ne fera par contre pas long feu comme éclairage arrière. Donc, pas de LED avant sans feu arrière à LED (que l'on trouve, dans le commerce, tout fait et à un prix défiant toute concurrence). Malgré les avantages que présente une lumière bien visible et fiable, les instances législatives de divers pays européens ne considèrent pas d'un très bon œil ce genre d'initiative privée (on consultera avec profit la réglementation ayant trait à la circulation rou-

tière de son pays de résidence [4]). Et pourtant, une lumière « maison » vaut mieux qu'une solution standard imposée par décret et bien mieux qu'une lampe dont l'ampoule a rendu l'âme...

(080153-1)

Liens & Bibliographie

[1] Test de dynamos de moyeu : www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm (allemand)

www.fubicy.org/article.php3?id_article=180 (français)

[2] Fiche de caractéristiques du P6KE7.5CA :

www.fairchildsemi.com/ds/P6%2FP6KE7V5CA.pdf

[3] Fiche de caractéristiques du LT1076 :

www.linear.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C1,C1003,C1042,C1033,P1007,D2659

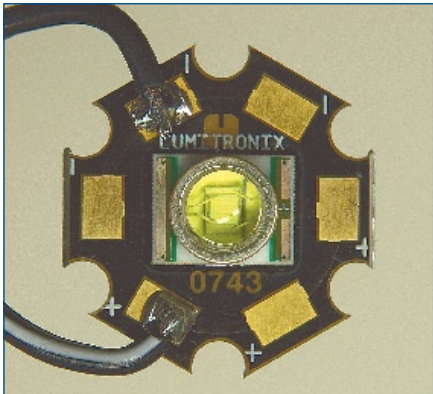
[4] Réglementation :

www.tousavelo.com/Reglementation/0176.html
www.legifrance.gouv.fr/rechSarde.do?reprise=true&page=1&lettre= (entrer bicyclette par exemple)

Jeu de lumière

La LED de puissance est le composant le plus important. Les photos reproduisent les meilleurs exemplaires de trois fabricants. Dans chaque cas, le rendement est situé dans la plage de 90 à 110 lm/W, donc au même niveau que des lampes fluorescentes de bonne qualité. On trouve hélas aussi des LED 3 W moins coûteuses mais de qualité douteuse. De telles économies de bouts de chandelles n'en sont pas, au contraire. La version « blanc chaud » est exclue à cause de son faible rendement. Le fabricant livre les exemplaires représentés sur des platines de petite taille avec un noyau alu, ce qui simplifie la dissipation de chaleur. À

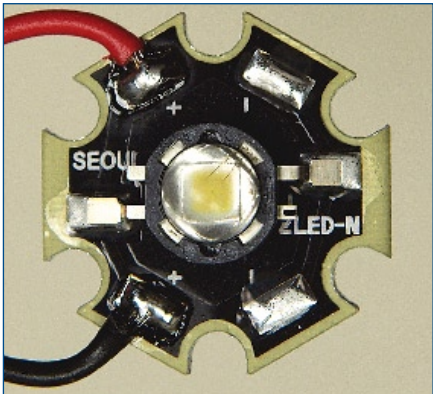
0,75 A sont extrêmement basses. Cela n'est pas sans conséquences : il existe d'excellentes raisons pour utiliser les LED à un courant défini plutôt qu'à une tension définie. La faute en est à la faible résistance interne différentielle. Dans le cas des LED examinées, un ΔR typique de 0,2 Ω pour une augmentation de tension de 20 mV conduirait à une augmentation de 0,1 A du courant. Et la valeur de 20 mV est vite atteinte. U_f dépend en effet fortement de la température et 10 °C produisent rapidement plus de 0,1 A. Il est donc dommage que les circuits intégrés de régulation à découpage soient usuellement conçus pour des tensions et pas pour des courants de sortie constants. La tension interne de référence du circuit intégré utilisé vaut 2,21 V. C'est trop pour per-



La LED de puissance 3 W de Cree avec dissipateur thermique est aussi un composant électronique très esthétique.

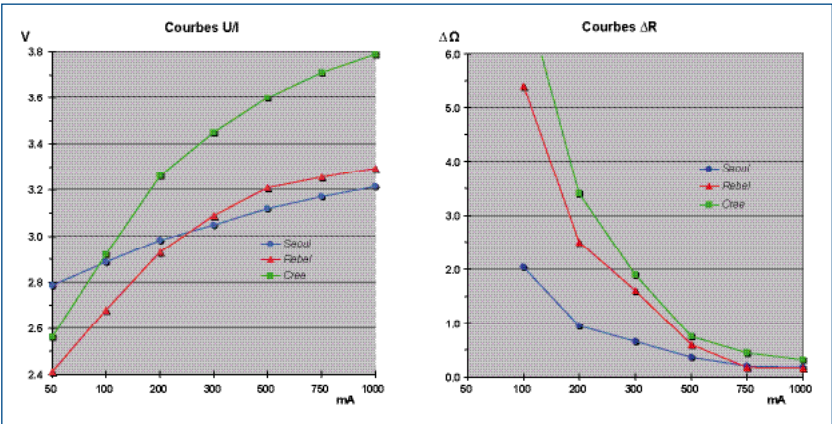


Le « Rebel » de Luxeon est particulièrement petit et est équipé d'un support céramique.



La Z-LED de Seoul n'est pas en matière plastique dure mais en matériau malléable à base de silicone pour éviter l'obscurcissement à long terme.

3 W, il faut compter avec 2 W dissipés en chaleur et l'existence des LED de puissance non refroidies tend à être brève. Pour mieux illustrer la différence entre ces différentes LED, un exemplaire de chacune d'entre elles a été testé pour obtenir les caractéristiques de la figure 12. On voit que les tensions sont très différentes et que les résistances différentielles des LED dans la plage de courant significative autour de



Caractéristiques des LED : Tension (à gauche) et résistance différentielle (à droite) pour différents courants.

mettre d'utiliser le circuit intégré comme source de courant en mesurant la chute de tension causée par une résistance série. Les pertes de l'ordre de 1,6 W à 0,75 A seraient inacceptables. Le seul moyen : ajuster la tension de sortie au moyen de P1 pour obtenir exactement le courant destiné à la LED utilisée. C'est tout à fait possible quand ΔR est de l'ordre de 0,2 Ω .