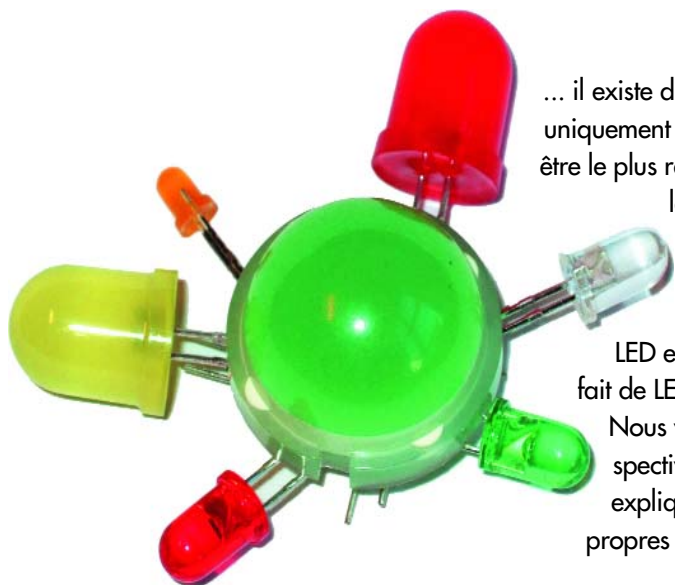


Les LED et le secteur

Si tous les chemins mènent à Rome...



... il existe différentes manières de connecter des LED au secteur. Ce n'est pas uniquement pour les philosophes que le chemin le plus court n'est pas garanti être le plus rapide, il ne va de même pour l'amateur d'électronique pour lequel les circuits les plus simples ne sont pas nécessairement et souvent bien au contraire, les meilleurs. Il existe tant de possibilités d'erreur : une résistance au dimensionnement trop faible réduisent à néant la durée de vie légendaire ces petites merveilles de lumière que sont les LED et un avarice mal placé au niveau du nombre de composants utilisés fait de LED très effaces des chaufferettes au rendement misérable. Nous vous proposons ci-après un quarteron de schémas ouvrant des perspectives intéressantes pour le branchement des LED au secteur en vous expliquant le quoi du pourquoi. Vous pourrez vous en inspirer pour vos propres réalisations (qui iront peut être encore plus loin...).

Mini-chauffage gratuit

Dr rer. nat. Thomas Scherer

L'alimentation d'une LED par un bloc secteur manque d'élégance. Pire encore, la présence d'un transformateur constitue un pur gaspillage. Lorsqu'une séparation galvanique du réseau et de la LED n'est pas indispensable et en l'absence de basse tension continue, on peut recourir à une solution ne nécessitant pas de bloc secteur.

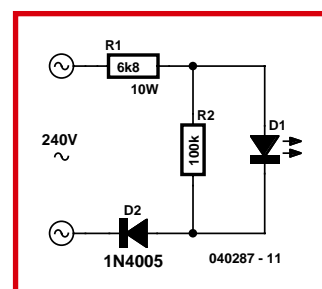
Une résistance série permet bien entendu de raccorder directement la LED au secteur. Comme la tension inverse maximale d'une LED est de l'ordre de 5 V, il faut placer une diode redresseuse en série. Pour plus de sécurité, on branchera une résistance de 100 kΩ en parallèle sur la LED. Elle empêchera l'apparition d'une tension inverse trop élevée aux bornes de la LED. Elle ne contri-

bue pour ainsi dire pas au bilan énergétique. Le circuit le plus simple comporte donc 4 composants, y compris la LED.

Nous supposons, en raison des tolérances admises, que la tension du secteur est de 240 V. Pour un courant de 20 mA passant par la LED, la résistance série est donnée par 240 V divisé par (2 fois 20 mA) = 6 kΩ (le facteur 2 s'explique par le fait que seule une demi-onde de la tension alternative est utilisée). La puissance dissipée totale vaut donc 4,8 W. Cette puissance est presque entièrement « claquée » par la résistance série. Le pourcentage dont dispose la LED n'atteint pas 1 %. Si cette méthode évoque davantage le chauffage que l'éclairage, du moins a-t-elle le mérite de fonctionner.

On tirera un certain réconfort de ce que le bloc d'alimentation sec-

teur n'est pas non plus un modèle d'économie en énergie. Effectuons un petit calcul approché : Le secondaire des petits transformateurs de modèle courant (par exemple de chez Schaffer) fournit au minimum 0,5 VA et 6 V. Si sa charge est trop faible, la tension atteindra plutôt 7,5 V. La tension continue fournie par le secondaire après redressement en pont et filtrage vaut donc environ 9,5 V. Si la LED consomme 20 mA et si la chute de tension à ses bornes vaut environ 2 V, la résistance série doit « éliminer » cette fois 7,5 V. La puissance dissipée au secondaire du bloc d'alimentation secteur vaut donc environ 210 mW en tenant compte des pertes causées par le redresseur. La LED ne dispose donc que de 2 V fois 20 mA, donc de 40 mW. Mais il y a pire : le rendement typique d'un



petit transformateur de ce genre n'atteint que 55 % environ à pleine charge. La situation dans la plage de charge partielle est encore pire : le rendement tombe à 45 %. Les 210 mW du secondaire sont donc fournis par 467 mW au primaire. En résumé, 427 mW, donc 91 % de la puissance d'entrée, se dissipent inutilement en chaleur !

(040287-1)

Condensateur série

Dr rer. nat. Thomas Scherer

Une résistance série permet bien entendu de raccorder directement une LED au secteur. Cela signifie toutefois un gaspillage de puissance de 99 %. Pourquoi ne pas

faire appel à la résistance capacitive d'un condensateur ?

La résistance requise pour un courant de 20 mA passant par la LED est donnée par 240 V divisé par (2 x 20 mA) = 6 kΩ (le facteur 2 s'explique par le fait que

seule une demi-onde de la tension alternative est utilisée). La résistance capacitive du condensateur série C1 doit donc fournir une impédance de 6 kΩ. La résolution de la formule pour la fréquence limite d'un élément RC à 50 Hz

nous donne une valeur de 530 nF pour C1. Pour ne pas surcharger la LED, choisissons la valeur immédiatement supérieure de la série E3, soit 470 nF. Le courant effectif de la demi-onde passant par la LED vaut environ

15 mA en tenant compte de la résistance de protection R1. La LED s'illumine dans les règles. Mais à quoi sert donc R1 ?

Supposons que le circuit sans R1 se ferme par hasard à l'instant précis où la tension du réseau atteint la valeur de crête. Un ultime éclair lumineux et la LED se métamorphose en un bout de conducteur ou en son sans lumière – sa fin lui est parvenue sous forme d'une pointe de courant de charge trop élevée passant par C1. Les LED modernes ne supportent malheureusement que 0,5 A pendant quelques microsecondes au plus. On ne devrait dépasser cette valeur sous aucun prétexte, sous peine de raccourcir l'espérance de vie de la LED et de réduire à néant l'avantage de son fonctionnement fiable et de longue durée par rapport à une lampe à incandescence. Comme la pointe de courant initial peut se manifester à chaque enclenchement il faut, pour plus de sûreté, ne laisser passer que la moitié au plus de cette valeur limite. Voilà pourquoi

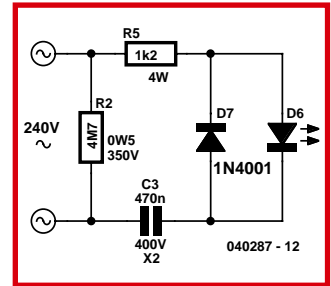
une résistance en série avec C1 doit réduire la pointe de courant initial à environ 250 mA. La valeur de crête de la tension alternative du secteur se situe aux alentours de 340 V ; une résistance de 1360 Ω fera l'affaire. La valeur 1,2 kΩ de la série E12 pour R1 est suffisamment précise. Cette valeur sautera aux yeux des experts des circuits de ce genre comme étant plus élevée que la « normale » (330 Ω semble récolter les faveurs). Il est facile de se persuader qu'une LED ainsi traitée dépassera souvent les valeurs de son cahier des charges.

La diode redresseuse D1 se trouve logiquement en parallèle avec la LED. Comme la tension inverse aux bornes de D1 ne dépasse pas 2 V environ, il suffit de faire appel à une version basse tension, par exemple une 1N4001. Il ne reste plus qu'à estimer le bilan énergétique. Le courant passant par R1 est le double du courant de la LED. La tension aux bornes de R1 atteint par conséquent 36 V. R1 dissipe donc presque 1,1 W, donc plus

de 97 % de la puissance totale du circuit. Ce bilan jetterait plutôt un froid !

C'est d'ailleurs pourquoi la valeur de R1 choisie est souvent insuffisante. On réduirait les pertes presque au quart de leur valeur en choisissant 330 Ω, mais la LED sortirait alors de ses spécifications. Cette valeur réduirait donc la fiabilité : la probabilité d'une défaillance est plus élevée et la durée de vie est raccourcie. En choisissant 680 Ω pour R1, on se trouve à la limite calculée, sans grande marge de sécurité. Dans ce cas, la puissance dissipée atteint 0,5 W.

R1 ne devrait par ailleurs jamais être une résistance à couche métallique. Avec une valeur de 1,2 kΩ, des pointes de puissance de l'ordre de 100 W se produisent pendant quelques centaines de microsecondes. Les résistances à couche de carbone ne grillent pas si facilement. Les résistances ordinaires bobinées enrobées de ciment sont les plus « résistantes ». Une version 4 W suffira. Une exécution 4 W enrobée de



ciment est aussi recommandée lorsque R1 vaut 680 Ω (les résistances dissipant moins de 0,5 W ne supportent généralement pas une tension assez élevée). Pourquoi donc ne pas se tourner vers une LED à faible courant ? La sensibilité aux courants de pointe s'applique malheureusement toujours. Il est donc impossible de choisir une valeur plus basse de R1 ! Il faut par contre choisir la capacité de C1 en fonction du besoin en courant de la LED. Une LED à faible courant se contente de 5 mA environ. Le condensateur C1 serait correctement dimensionné avec 100 nF.

(040287-2)

Pas de scintillement

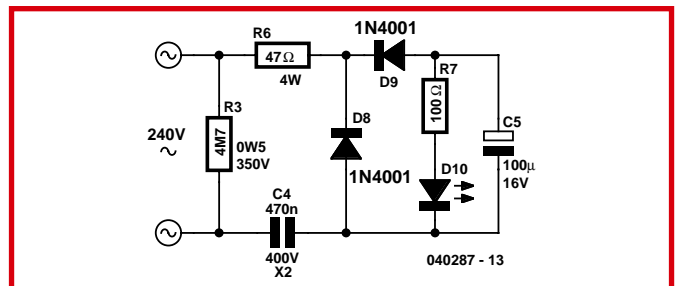
Dr rer. nat. Thomas Scherer

Une résistance série permet bien entendu de raccorder directement une LED au secteur. Cela signifie toutefois un gaspillage de puissance de 99 %. Un condensateur en série (C1, voir notre contribution « Condensateur série » sous « Secrets du concepteur ») n'améliore qu'à peine le rendement. Comme il faut en outre placer une diode redresseuse en série (la LED ne résiste qu'à une tension inverse d'environ 5 V), on crée dans les 2 cas un autre problème qui peut devenir un inconvénient majeur pour certaines applications : la LED n'est en effet traversée que par une demi-onde sinusoïdale. La lumière n'est pas un miracle de stabilité. La LED ne dispose pas de l'inertie thermique d'une lampe à incandescence. Son scintillement à 50 Hz est visible pour la majorité des personnes. C'est loin d'être idéal pour une lampe de chevet à LED blanches.

Attaquons-nous tout d'abord au problème du mauvais rende-

ment : le circuit présenté ici limite le courant impulsionnel maximum à l'aide d'un condensateur branché en parallèle sur la LED. Il est logiquement nécessaire d'ajouter une diode (D2). On peut maintenant réduire la valeur de la résistance de protection R1. L'idéal consiste à choisir une valeur si basse qu'elle frôle la limite de tolérance des autres éléments du circuit. Il faut considérer en priorité l'immunité aux impulsions des 2 diodes. Les diodes redresseuses illustrées par la série 1N4000 tolèrent des impulsions demi-onde périodiques de 30 A. Il est préférable de ne pas dépasser 10 A pour ne pas mettre les pistes, les fusibles (si présents) et l'interrupteur à trop rude épreuve. Avec 47 Ω pour R1, on obtient un courant de crête d'environ 7 A.

Cette valeur ne constitue un problème ni pour les diodes ni pour C2. R1 ne dissipe plus que 50 mW de puissance active. La puissance de pointe dépasse maintenant 1 kW (!) pendant 1 μs. Il vaut vraiment mieux faire appel à une résistance bobinée enrobée de ciment. Une résis-



tance à couche de carbone pouvant dissiper par exemple 0,5 W se contentera de signaler de façon audible son passage au stade non-conducteur.

Passons au scintillement : la valeur choisie pour le condensateur peut être suffisamment élevée pour que la tension fournie soit plus ou moins continue. La résistance R2 linéarise la résistance de la LED, contribuant ainsi à stabiliser encore davantage le courant de la LED. La résistance dynamique d'une LED n'est que de quelques ohms, donc assez basse. Il suffit donc d'une R2 de 100 Ω pour que le courant soit constant. Le dimensionnement de C2 appelle les remarques suivant-

tes : pour limiter le courant de pointe passant par la LED à 250 mA par exemple il suffirait, à vue de nez, d'augmenter d'environ 20 fois la capacité de C1. Si celle-ci est de 470 nF (voir notre contribution « Condensateur série »), 10 μF devraient suffire pour C2. Pour le lissage d'un redressement demi-onde, par contre, on peut utiliser sans inconvénient une valeur plus élevée. Au pifomètre : on prend au moins 2 μF par mA. Le calcul donnerait donc 33 μF et le choix (avec de la réserve !) se fixerait sur 100 μF, une valeur typique des condensateurs électrolytiques de la série E3. (Une remarque :

une LED à faible courant se contente de 5 mA environ. Le condensateur C1 serait correctement dimensionné avec 100 nF. Il faudrait augmenter R2 jusqu'à 270 Ω.)

Mais toute chose a son prix : R2 convertira aussi l'énergie électrique en chaleur superflue. Avec

une chute de tension d'environ 1,65 V et un courant moyen d'environ 16,5 mA, une puissance supplémentaire de 27 mW sera sacrifiée sur l'autel de l'illumination continue. N'ayons garde d'oublier les pertes des 2 diodes qui, avec 0,75 V à 16,5 mA chacune, sont de l'ordre de 25 mW.

Le circuit consomme donc approximativement 134 mW de puissance active dont 33 mW assurent le fonctionnement de la LED. Toutefois, avec seulement 75 % contribuant au réchauffement superflu de l'atmosphère, les choses prennent déjà une meilleure tournure qu'en plaçant

simplement une résistance ou un condensateur en série. Cette victoire son prix : le nombre de composants atteint maintenant 6. Si cette solution s'avère être un peu plus coûteuse, elle ne chauffe pas autant et fournit un éclairage constant.

(040287-3)

La LED 100 Hertz

Dr rer. nat. Thomas Scherer

« Pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ? » Telle est l'impression que donne un premier aperçu de ce circuit. Une résistance série permet bien entendu de raccorder directement la LED au secteur. Mais un tel circuit, s'il a le mérite de la simplicité, présente aussi de graves désavantages : entre autres, le rendement, qui est loin d'être excellent et la lumière, qui présente un scintillement marqué (voir nos 3 « Secrets du concepteur » précédents). Ce concept présente une amélioration décisive par rapport à la contribution « Pas de scintillement » sous « Secrets du concepteur ». La diode luminescente est maintenant alimentée au moyen d'un redresseur pleine-onde.

La tension fournie par ce circuit alimente la LED avec des impulsions de 100 Hz. Le scintillement ne sera pratiquement plus perçu par l'œil humain. La fréquence de 100 Hz permettrait aussi de diminuer de moitié la valeur du condensateur de filtrage C2. Mais une autre possibilité est encore préférable : ne touchons pas à C2 qui reste à 100 µF mais réduisons la valeur de la résistance R2 à 47 Ω, soit de moitié.

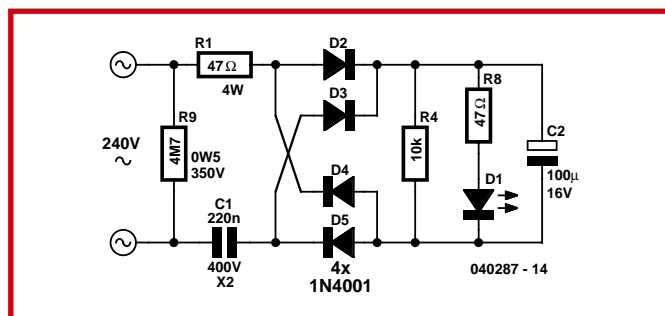
La résistance série et la capacité de C1 doivent aussi être réduites de moitié à cause du meilleur redressement dû à l'utilisation des 2 demi-ondes. Nous choisirons un condensateur de 220 nF, plus facile à obtenir à la tension de claquage nécessaire que le condensateur de 270 nF exigé par le calcul (dans « Condensateur série » sous « Secrets du concepteur », nous avons obtenu la valeur de 530 nF pour un courant de 20 mA de la LED). Le courant de la LED – déterminé par la plus faible valeur de R1 – reste

malgré tout égal à 16,5 mA environ. (Une remarque : une LED à faible courant se contente de 5 mA environ. Une valeur de 47 nF pour C1 serait donc adéquate. Il faudrait aussi augmenter R2 jusqu'à 150 Ω.)

R2 ne dissipe plus que 13 mW. L'ensemble des diodes possède une tension directe d'environ 1,5 V ; la chute de puissance totale à 16,5 mA est donc d'environ 25 mW. La résistance 47 Ω R1 ne dissipe plus que 13 mW environ. La LED elle-même obtient 33 mW. On constate que le rendement total s'améliore de telle sorte que la puissance de 51 mW dissipée en chaleur ne représente plus que 60 % de la puissance active totale.

Mais rôle R3 et R4 jouent-elles donc dans le circuit ? R3 permet à C1 de se décharger. Cela permet d'éviter par exemple que les broches de la fiche retirée fournissent assez d'énergie pour causer une décharge douloureuse dans des doigts imprudents. Une valeur de 4,7 MΩ pour R3 permet de décharger C1 aux 2/3 en une seconde. R4 permet contre de décharger C2, de sorte qu'il puisse jouer pleinement son rôle de limiteur de courant pour la LED lors de chaque mise sous tension. La puissance dissipée, qui n'atteint pas 1 mW, peut être négligée. On peut bien entendu remplacer D1 à D4 par un petit redresseur de type courant scellé et circulaire (comme le B40C1000).

Ce circuit se prête par ailleurs parfaitement à la réalisation d'un éclairage nocturne à faible consommation et ne scintillant pas pour chambre d'enfant(s). LED1 est remplacée par 3 LED blanches à haut rendement raccordées en série. La tension aux bornes de chaque LED vaut environ 3,6 volts. Le meilleur rende-



ment lumineux est atteint à 25 mA. La capacité de C1 passe donc à 330 nF environ. Il est plus facile de se procurer des valeurs E3 ; on peut donc placer 220 nF et 100 nF en parallèle.

La tension de claquage de C2 est suffisamment élevée, mais il est préférable de monter jusqu'à 25 V pour des raisons de stabilité. Les 3 LED disposent en tout de 11 V fois 24 mA, donc d'environ 260 mW. Cela suffit amplement pour une chambre de 25 mètres carrés. Coup d'œil au bilan énergétique : R1 et R2 gaspillent environ 52 mW en commun. Ajoutons les 12 mW de

la résistance de décharge R3 et ce sont 64 mW qui partent en chaleur. La puissance active consommée vaut 324 mW au total. La puissance inutilement dissipée n'atteint donc même pas 20 %. La consommation annuelle n'est par conséquent que de 2,85 kWh. Le coût du courant consommé est si bas (moins d'un euro par an) qu'on peut laisser ce circuit si parcimonieux branché en permanence. Une remarque évidente pour terminer : l'électronique pour chambres d'enfants devrait répondre aux normes de sécurité pour ces derniers !

(040287-4)

