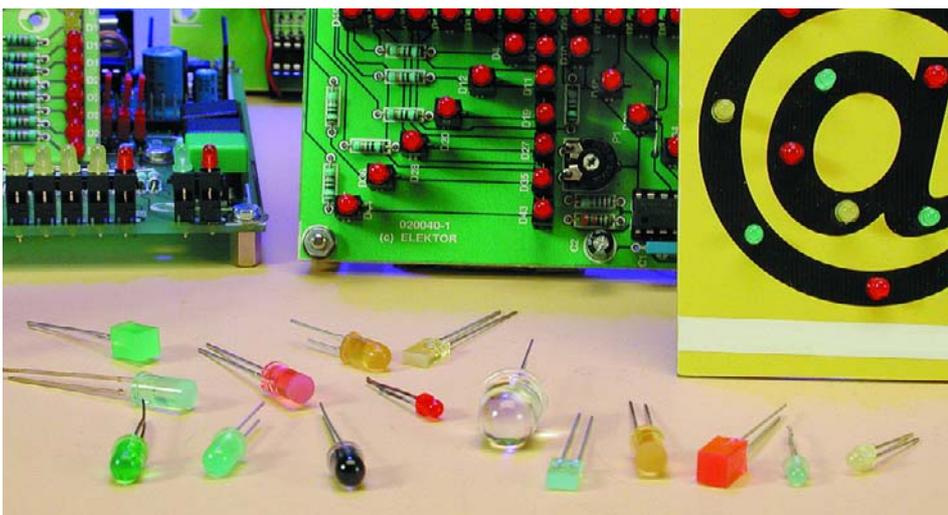


LED en formation

Éclairage par LED interconnectées

Klaus-Jürgen Thiesler

Une poignée de LED à forte intensité lumineuse donne une nouvelle vie à l'éclairage des locaux. Elles consomment moins d'énergie dans les feux de la circulation et leur longévité réduit fortement les coûts de l'entretien de routine.



L'intensité lumineuse des LED a atteint le niveau où il est possible de les utiliser à des fins d'éclairage, même si leur prix reste assez élevé. Mais elles possèdent des avantages de poids par rapport aux autres sources lumineuses. Leur durée de vie atteint 100 000 heures ce qui est énorme (plus de 11 ans de fonctionnement continu). L'optique qui focalise la lumière émise de la manière désirée est déjà intégrée au boîtier. Les LED présentent aussi l'avantage d'avoir un temps de réponse court. Pour ne mentionner qu'un exemple, leur réaction comme feu de stop d'un véhicule est considérablement plus rapide que celle de lampes à incandescence ordinaires. Alors qu'une LED réagit en l'espace de 100 ns, les lampes à incandescence, qui sont des résistances à coefficient de température positif, doivent être préchauffées pendant 100 à 300 ms. Pour couronner le tout, elles peuvent tirer

pendant ce temps des pointes de courant atteignant parfois 50 fois la valeur nominale.

Mais ne taisons pas les inconvénients : les lampes à incandescence sont de vrais émetteurs de rayons infrarouges, aussi la température ambiante n'a-t-elle que peu d'influence sur elles. Les LED, par contre, sont des semi-conducteurs passifs avec un spectre de température correspondant. Avec leur densité de puissance élevée, ces puces atteignent déjà leur température maximale de 125 °C lorsque la température ambiante dépasse 85 °C. L'été permet au troisième feu de stop à l'arrière d'une voiture d'atteindre sans peine cette valeur maximale. Lorsque la LED dépasse la tempéra-

ture de 125 °C, elle cesse de fonctionner dès qu'elle s'allume. Cela se produit dans la plupart des cas à la valeur maximale admissible du courant direct, ce qui fait encore augmenter la température de la puce. Étant donné que la puissance de dissipation d'un semi-conducteur est inversement proportionnelle à la température ambiante, la pire éventualité se produit rapidement si le circuit ne comporte pas de compensation. La LED surchargée s'éteint et ouvre le circuit.

La dispersion des caractéristiques électriques des diodes lumineuses

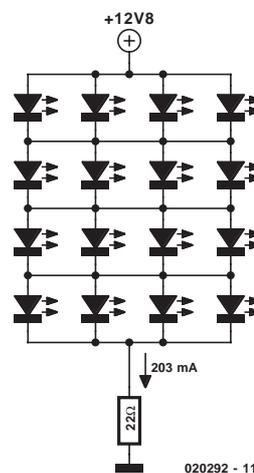


Figure 1. Matrice de LED ne comportant qu'une seule résistance de protection.

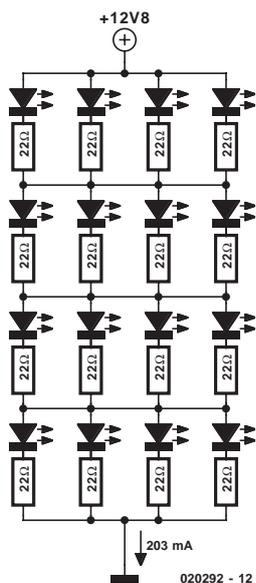


Figure 2. À chaque LED sa résistance de protection.

centes lors de la fabrication est si élevée qu'on les classe par groupes de caractéristiques proches et partant de tolérance plus serrée. Ces déviations sont sans le moindre impact dans le cas d'une unique LED de contrôle ; elles ne se manifestent que lorsque plusieurs LED sont groupées en matrices et sont suffisamment proches l'une de l'autre pour que leurs différences d'intensité lumineuse se remarquent. Les diodes lumineuses des réseaux sont groupées électriquement, ce qui est aussi une source de conflits. Il est tout à fait courant que

les marges de tolérance de la tension directe atteignent 150 mV. Une classification plus stricte n'aurait aucun sens tant du point de vue logistique qu'économique. Si les tolérances optiques sont déterminantes –comme pour les matrices de panneaux lumineux et les affichages LED à plusieurs chiffres– il faut choisir les LED à l'œil nu ou avec un appareillage optique selon leur intensité lumineuse. Tous ces efforts sont superflus pour de simples applications d'éclairage.

Tolérances du courant

Il existe 3 façons d'interconnecter une poignée de LED de façon à engendrer un champ lumineux.

Dans la **figure 1**, le réseau de LED est pourvu d'une résistance de limitation commune. Cette méthode est parfaitement utilisable, même au cas où certaines LED présenteraient des tolérances les unes par rapport aux autres : la différence de caractéristique de tension directe entre les LED de la matrice ne doit partant pas dépasser $\pm 0,150$ V, car la tension directe augmente légèrement lorsque le courant direct augmente. Quelques LED de cette matrice dont la limite de tension atteint le maximum brillent moins que celles qui se trouvent au minimum. Si ce circuit expérimental a été conçu pour un courant direct nominal de 50 mA par LED, le courant de chaque LED varie entre 40 mA (LED dont la valeur de tension est la plus élevée) et 62 mA (LED dont la valeur est la plus basse).

Avantages et inconvénients du circuit de la figure 1 :

- Si une LED rend l'âme, toutes les autres continuent à fonctionner, quoique le risque de défaillance de certaines d'entre elles augmente.
- Concept simple ne nécessitant qu'une résistance en série. Les LED sont en parallèle et en série, ce qui simplifie la disposition et le montage.
- Une défaillance n'est détectée qu'en cas de MCA (*Maximum Conceivable Accident*, accident maximal prévisible), en d'autres termes lorsque le circuit tout entier cesse de fonctionner. La détection

des défaillances des clignotants d'un véhicule prescrite par la législation est irréalizable ici car la résistance de protection ne peut pas servir de capteur.

La **figure 2** montre une autre matrice dans laquelle chaque LED possède sa propre résistance de protection. Le montage se complique évidemment en proportion. Comme chaque diode lumineuse possède sa propre résistance de protection, les tolérances de ses voisines ne jouent plus aucun rôle. Les résultats de mesure témoignent en effet d'une amélioration considérable des valeurs du courant. Celui-ci ne varie en effet plus que de 46 mA à 53 mA par rapport à la valeur idéale de 50 mA. Les résistances de protection permettent d'ajuster avec précision le courant de chaque LED. Ce circuit est le plus adéquat pour l'éclairage de locaux car il permet de suivre les défaillances des LED et d'évaluer subjectivement la nécessité d'un remplacement.

Avantages et inconvénients du circuit de la figure 2 :

- Si une LED rend l'âme, toutes les autres continuent à fonctionner avec un risque de défaillance moins élevé vu que le courant diminue un tout petit peu ce qui se traduit normalement par une espérance de durée de vie plus importante. La luminosité ne diminue qu'imperceptiblement.
- Une défaillance peut être identifiée par la mesure courant/tension du commutateur de puissance ; la détection des défaillances individuelles des LED serait bien trop élaborée.

La **figure 3** représente un couplage en série avec une résistance de protection pour chaque rangée de LED. Les points nodaux imposant une tension définie à chaque rangée de LED ont disparu. Les 4 colonnes de LED fonctionnent indépendamment les unes des autres. Comme les différences entre les tensions directes sont proportionnellement plus petites lorsque courant direct est le même que les différences entre les courants directs lorsque la tension directe est la même, les résultats de mesure se rapprochent de ceux du circuit matriciel comportant une résistance de protection pour chaque LED. Le circuit est considérablement plus simple et plus économique à réaliser que celui de la figure 2. Le couplage en série à plusieurs branches présente toutefois un inconvénient qui est décrit ci-dessous. Le courant mesuré sur un prototype est de 47 mA au minimum et de 53 mA au maximum.

Le circuit multibranche ne comporte pas de

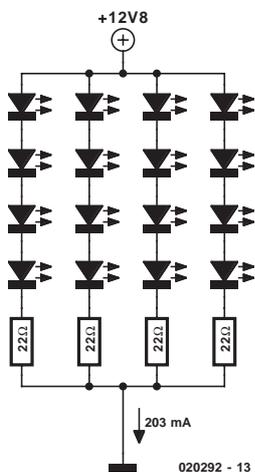


Figure 3. Quatre branches indépendantes munies chacune d'une résistance de protection.

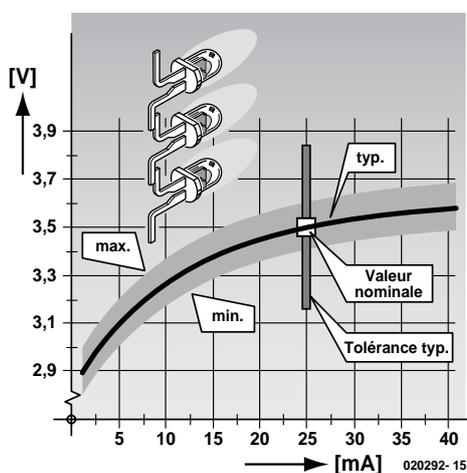
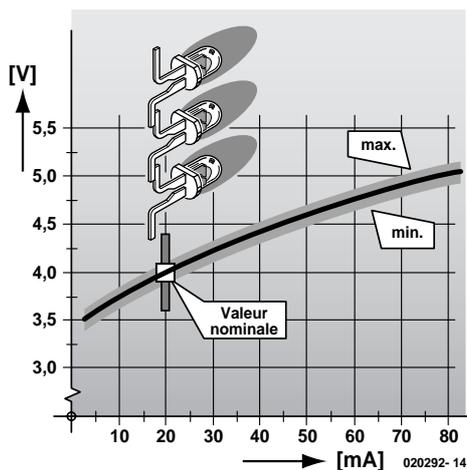


Figure 4. Caractéristiques des LED blanches et bleues.

nœuds de LED en parallèle ; il ne présente donc aucune possibilité de dérivation. Une LED cesse de fonctionner... et toute la branche s'éteint, ce qui n'est pas une situation brillante pour l'éclairage des locaux. Et il serait absolument fou de remplacer un réseau composé de centaines de LED par la faute d'une d'entre elles. Les choses se présentent autrement lorsqu'il s'agit d'un véhicule. La défaillance d'une colonne de LED n'est pas particulièrement grave, même si l'intensité lumineuse diminue, car la fonctionnalité du dispositif avertisseur est encore suffisante. La défaillance d'une branche de LED n'a pas d'influence sur la durée de vie des colonnes restantes. La détection des défaillances peut donc simplement reposer sur le courant passant par les résistances de protection.

– Si une LED rend l'âme, elle emporte toute la branche avec elle, mais les branches restantes continuent à fonctionner indépendamment. Le risque de défaillance des LED encore allumées reste inchangé.

Tableau 1				
LED bleue TLHB4401	Valeur maximum			
Tension inverse		UR	5	V
Courant de polarisation CC	à $U_F = 4,0$ V	IF	20	mA
Courant de polarisation ED 10%, $t_p < 10 \mu s$	à $U_F = 5,2$ V, $T_A < 60$ °C	IFSM	100	mA
Dissipation		PV	100	mW
Température de service		TA	-40 à +100	°C
Résistance thermique		RthJA	400	K/W
LED bleue TLHB4401	Valeur nominale			
Puissance lumineuse		IV	32	mcd
Cône lumineux	à $I_V = 100$ %	φ	± 10	°
	à $I_V = 50$ %	φ	± 30	°
Longueur d'onde	à I_V maximum	λ	430	nm

– La détection des défaillances de clignotants, feux de stop et feux arrières peut être réalisée sans peine en utilisant les quelques résistances de protection comme détecteurs.

En résumé : dans tous les concepts utilisés, il est important de savoir ce qui se passe en cas de défaillance d'une LED. Une surcharge de courant provoquant le dépassement de la limite de température permise de la LED détruit celle-ci et interrompt le circuit. Les conséquences sont tragiques dans le cas des circuits matriciels des figures 1 et 2, car les conditions de travail des LED voisines s'en ressentent fortement. Les LED en parallèle avec la LED défaillante se partagent le courant de celle-ci. Le courant augmentera d'autant plus dans les chemins de dérivation de la matrice LED que leur nombre est petit. Cette augmentation reste acceptable lorsque les LED fonctionnent suffisamment au-dessous du courant maximum pour que la probabilité d'une défaillance soit peu élevée. Il se peut aussi que le nombre de colonnes de LED soit si élevé que le courant dérivé ne chargera guère plus chaque LED que ne le font les tolérances ± 150 mV.

Augmentation de la luminosité

Le **tableau 1**, qui donne les caractéristiques d'une LED bleue, permet de déduire indirectement que l'in-

tensité lumineuse atteint 100 % pour un courant permanent de 20 mA et qu'elle peut dépasser ce seuil à condition que le courant augmente d'une façon bien précise. On fait entre autre usage de cette possibilité dans les télécommandes IR pour en augmenter la portée. Mais on aura vite raison de la LED si l'on se contente d'augmenter le courant continu de polarisation. La LED doit être utilisée en mode pulsé pour augmenter son intensité lumineuse. L'œil humain est bien plus sensible aux éclairs lumineux qu'un récepteur IR. Commutons la LED au moyen d'impulsions d'amplitude maximale d'une durée de 10 μs à la fréquence de 1 kHz et à un courant direct de 100 mA et calculons la température de fonctionnement (qui ne doit pas dépasser +60 °C). Il est facile d'augmenter l'intensité lumineuse subjective d'au moins 10 fois. Une monture métallique dissipe efficacement la chaleur de la LED tout en concentrant vers l'avant la lumière diffusée. La durée de commutation peut atteindre 100 % si le courant direct est proche de sa valeur nominale de 20 mA, mais elle doit être très courte si le courant de la diode est beaucoup plus élevé. Il faut en effet que la LED puisse se refroidir. Quelques-uns des circuits intégrés de conversion DC mentionnés ci-dessous en fin d'article, disposent d'une entrée de mise hors-circuit (*Shutdown*) qui peut servir à la régulation de la luminosité par un signal modulé en largeur d'impulsion (PWM = *Pulse Width Modula-*

tion). Il est important de ne dépasser ni le maximum de température ambiante ni celui de la puissance dissipée par la LED. La fiche de données indique +100 °C comme température de fonctionnement. Il s'agit toutefois d'une valeur électrophysique ; la température de fonctionnement de +60 °C est plus importante pour un fonctionnement dans l'aire de sécurité (SOA, *Safe Operating Area*). À +100 °C, l'intensité lumineuse de la LED n'est déjà plus ce qu'elle devrait être.

Tolérances

La tension directe des LED blanches est de l'ordre de 3,5 V \pm 10 %. Elle est indiquée comme valeur nominale dans les fiches de données. La **figure 4** représente le domaine de variation : la tension à l'état passant peut atteindre de 3,15 à 3,85 V pour un courant de polarisation (courant direct) de 20 mA. la plage de variation du courant de polarisation est plus étendue si la LED blanche est alimentée par une tension régulée non calibrée en mode détecteur

de tension. Cette variation de la tension directe cause une variation assez considérable de l'intensité lumineuse de chaque LED.

L'alimentation d'une ou de plusieurs LED blanches peut être assurée par des circuits intégrés modernes de régulation à découpage comme LM2791/2, MAX1698, MAX1848, MAX1912, LT1618, LT1932, LTC3200, LTC3400, ou LM2585T-ADJ déjà utilisé dans Elektor 7-8/2000 (page 57) comme régulateur survolteur pour un réseau de 10 LED. Le LT1618 de Linear Technology est digne d'une mention spéciale : il possède à la fois une réaction en courant et en tension, une entrée de mise hors-circuit et une entrée PWM pour la régulation de la luminosité. Le LT1618 est contenu en outre dans un boîtier compact MSOP-10 et commute jusqu'à 1,5 MHz, ce qui réduit considérablement le volume des composants (contrairement au circuit du vénérable LM2585T-ADJ).

Un grand nombre de ces régulateurs à découpage peuvent être utilisés en mode détecteur de courant, ce qui a une influence favorable sur l'unifor-

mité de l'intensité lumineuse. En effet, la régulation du courant de polarisation est plus fine et tient compte de la tension spécifique à l'état passant de chaque LED, qu'elle soit de 3,15 V ou de 3,85 V.

Les caractéristiques des courants de polarisation ne tiennent pas compte de la puissance de dissipation maximale des diodes luminescentes. Le courant direct ne peut dépasser la valeur nominale de 25 mA qu'en régime impulsif ; dans ce cas, les valeurs maximales atteignent 100 mA ou 50 mA (fréquence de commutation de 1 kHz, un rapport cyclique 1:10 de la durée d'activation et une température ambiante de 25 °C).

Quelques distributeurs composent les lots de LED à haute luminosité destinés aux systèmes de gestion du trafic en fonction de leur intensité lumineuse qui doit répondre aux limites de tolérance \pm 1,6 mcd. Les diodes particulièrement lumineuses sont sciemment rejetées pour éviter l'éblouissement. Les LED au nitrure d'indium-gallium utilisées dans les installations de signalisation ont une intensité lumineuse de 180 mcd. Des LED comme la L5-W54S-BS dont l'intensité lumineuse atteint 9 000 mcd (!) sont par contre préférables pour l'éclairage de locaux et les lampes de poche.

(020292)