

Texte : Wouter Wissink – Technologisch adviseur

Version : 12/2023 – Mise à jour 01/2026

L'influence de l'électronique sur la qualité de l'éclairage

Depuis l'émergence de l'éclairage LED, l'électronique a eu des répercussions révolutionnaires sur le monde de l'éclairage. Si le LED offre des avantages indéniables, comme l'efficacité énergétique et les options de spectre variable, il implique également des défis ayant une influence sur la qualité de la lumière produite.

Le LED offre énormément d'avantages, à commencer par l'efficacité énergétique. Une autre propriété notable du LED est sa capacité à faire varier l'output en lumen et le spectre de lumière en une fraction de nanoseconde. Cela peut être un avantage dans certains cas, songez au LiFi (Light Fidelity) qui permet de transmettre des données par la lumière à des vitesses allant jusqu'à 10 Gbps. Mais cela peut aussi être un inconvénient, car toute interférence sera visible dans l'output lumineux. Dès qu'il s'agit d'un effet indésirable, on parle alors de **TLA**, ou « **Temporal Light Artefacts** ». On en distingue deux principaux : le **papillotement** et l'**effet stroboscopique**.

Que dit la législation ?

La directive européenne sur l'écoconception (UE) 2019/2020 établit les critères de performance que les produits et les équipements électriques, y compris les sources lumineuses LED, doivent respecter pour être mises sur le marché légalement. Cela englobe aussi les exigences fonctionnelles des sources lumineuses liées au papillotement et aux effets stroboscopiques. La nouvelle version de la norme NBN EN 12464-1 introduit deux nouveaux paramètres pour ces effets : le « Short-term flicker indicator » (PstLM) et la « Stroboscopic Visibility Measure » (SVM).

1. Papillotement

Le papillotement est une variation périodique indésirable de l'intensité de la lumière, généralement observée sous la forme d'une fluctuation rapide et rythmique. Elle peut être causée par des variations de la tension d'alimentation, un mauvais réglage des variateurs ou le fonctionnement de certains types d'ampoules.

Le papillotement peut être source d'inconfort, induire une fatigue visuelle et même causer des problèmes de santé chez les personnes sensibles. C'est pourquoi des normes et lignes directrices ont été établies pour déterminer les niveaux acceptables de papillotement dans différentes applications. La directive sur l'écoconception impose les critères suivants pour le papillotement : papillotement (Pst value) $PstLM \leq 1$

2. Effet stroboscopique

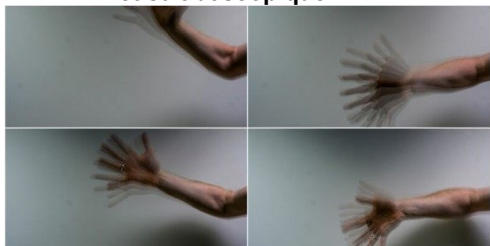


Fig.1 : effet stroboscopique

L'effet stroboscopique se produit lorsque des mouvements rapides ou des changements dans l'environnement sont observés en raison de la périodicité de la source lumineuse. Par exemple, lorsqu'un objet se déplaçant rapidement est éclairé par une source lumineuse périodique, l'objet peut sembler stationnaire ou se déplacer lentement, en fonction de la synchronisation entre le mouvement et les impulsions lumineuses.

Les effets secondaires sont les suivants : maux de tête et perte de concentration. Il peut perturber l'expérience visuelle et réduire la qualité de l'éclairage. En vertu de la directive sur l'écoconception, voici ce qui s'applique concernant l'effet stroboscopique, SVM : SVM obligatoire de $\leq 0,4$:

L'influence de l'électronique sur les TLA

Il est donc crucial que l'électronique utilisée pour commander les LED soit de bonne qualité et ne provoque pas d'interférences visibles dans le rendement lumineux. L'un des composants les plus importants de la commande des LED, qui est souvent à

l'origine du papillotement ou des défaillances stroboscopiques, est l'alimentation à découpage, dont le diagramme fonctionnel est illustré à la figure 2.

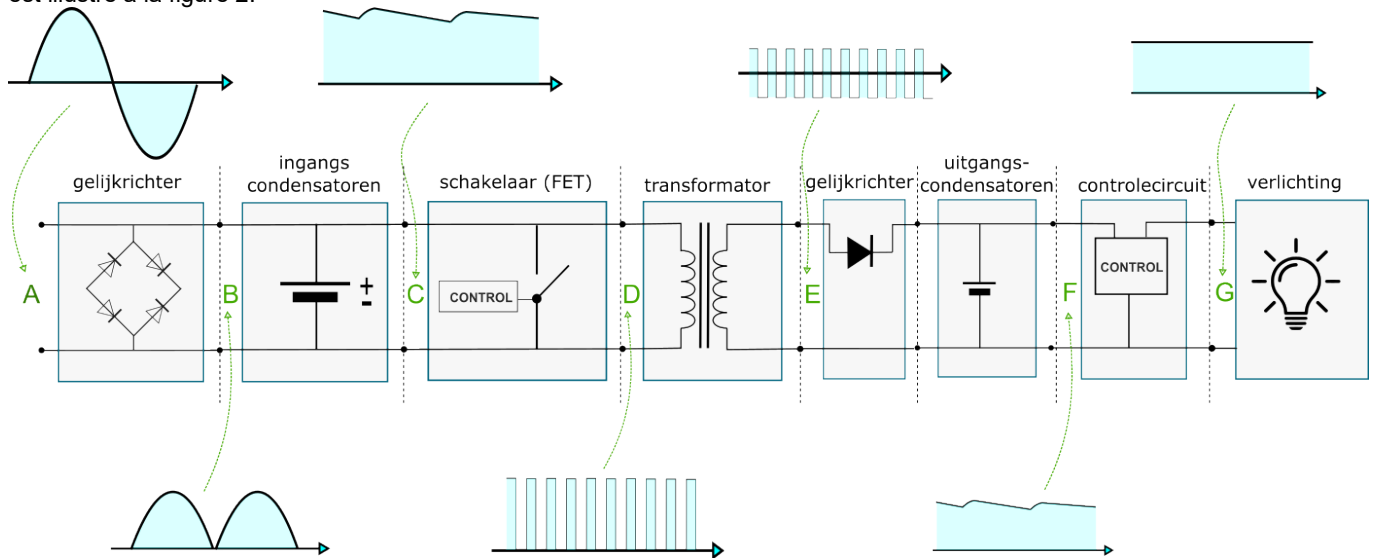
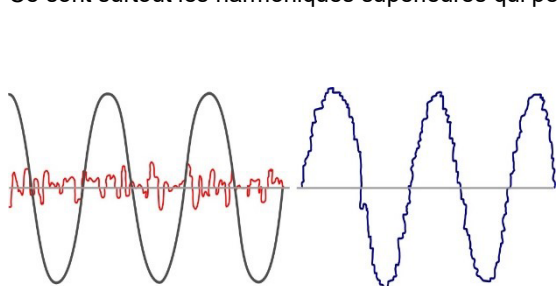


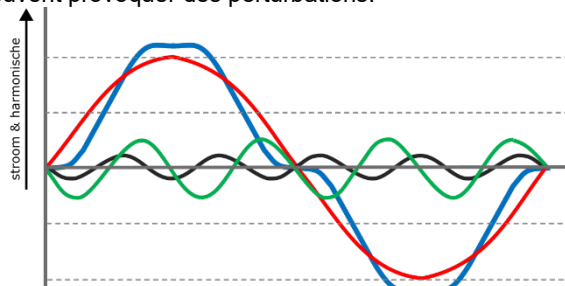
Fig.2 : diagramme fonctionnel de l'alimentation à découpage

Quelles perturbations en sont à l'origine, et comment en tenir compte ? Examinons de plus près le diagramme fonctionnel de la figure 2 et les différentes formes d'ondes dans les stades de l'alimentation à découpage : **Schéma point A fig.2 : perturbations et fluctuations dans la tension de réseau de 230VAC**

Il est ici question de contamination harmonique sur le réseau AC. C'est l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre, car les interférences peuvent provenir de n'importe où. Ces formes d'ondes contaminées peuvent se produire à la fois dans le courant (fig.3) et dans la tension (fig.4). La figure 3 montre qu'un courant non sinusoïdal (bleu) se traduit dans le domaine fréquentiel par une onde sinusoïdale pure de même fréquence (1^{re} harmonique) et plusieurs harmoniques supérieures (vertes et noires). Ce sont surtout les harmoniques supérieures qui peuvent provoquer des perturbations.



zuiver 50Hz signaal + stoorsignaal = gestoord 50Hz signaal
Fig.3 : courant de secteur non sinusoïdal



netstroom, niet sinusvormig — 1e harmonische — 2e en 3e harmonische
Fig.4 : perturbation sur la tension du secteur 50Hz

Le gestionnaire de réseau est responsable de la fourniture d'une tension de qualité suffisante. Celle-ci peut être affectée par un réseau faible ou par l'influence du client. La qualité doit être conforme au Code du réseau, qui est dérivé de la norme européenne EN50160.

On peut choisir d'appliquer un filtre dynamique actif (ADF). La forme sinusoïdale est alors balayée à haute fréquence. Si des déviations par rapport à la forme sinusoïdale idéale sont détectées, le filtre actif réagit. Malheureusement, ces filtres sont souvent très coûteux et la question reste ouverte : qu'est-ce qui est à l'origine de l'interférence ?

Diagramme fonctionnel B-C : condensateurs d'entrée

Les capacités des condensateurs d'entrée doivent assurer l'aplanissement de la tension redressée. On obtient ainsi une tension de 325V DC (230VxÖ2). Si les condensateurs ne sont pas correctement dimensionnés, par exemple si leur valeur est trop faible, la tension de 325 V tombe trop rapidement avant le pic suivant, qui survient après 10 ms. C'est surtout si l'alimentation doit fournir sa puissance maximale que cette tension peut s'effondrer. Ce phénomène se reproduit à la sortie, et donc sur le rendement lumineux sous la forme d'un papillotement irritant de 100 Hz.

Influence de la température sur les condensateurs électrolytiques : les pertes d'électrolyte, causées par l'autoréparation électrochimique et le dessèchement, réduisent la durée de vie des condensateurs électrolytiques. La qualité des condensateurs électrolytiques et donc de l'éclairage se détériore considérablement sous l'influence de températures élevées ! Sachez que **chaque augmentation de 10 °C de la température réduit de moitié environ leur durée de vie** ! Les alimentations doivent donc être placées dans un espace où elles disposent d'une convection suffisante et ne pas être entourées de matériaux isolants.

Diagramme fonctionnel C-D : interrupteur

Pour que le transformateur de l'alimentation soit aussi compact que possible, la fréquence est portée de 50 Hz à 1 kHz ou plus. La tension redressée est convertie en tension carrée par le commutateur interne, généralement un FET ou un MOSFET. Le temps d'activation et de désactivation de cette onde carrée détermine la puissance transférée à la charge, la lampe LED dans ce cas. C'est souvent la charge minimale qui peut poser des problèmes dans ce cas, car le temps d'activation de l'interrupteur est très court. Certaines alimentations à découpage ont besoin d'une charge minimale pour fonctionner correctement et peuvent entrer dans une sorte de mode hoquet qui fait clignoter la LED de manière irritante.

Les bords abrupts et les hautes fréquences utilisés pour la commutation peuvent générer des interférences électromagnétiques, qui peuvent perturber d'autres équipements électroniques environnants ou l'éclairage LED et également provoquer un papillotement. Une protection et un filtrage adéquats sont donc nécessaires pour atténuer ce phénomène. Toute alimentation doit être conforme aux normes nécessaires pour le limiter, telles que la norme CEI 61000-3-2 (limitation des courants harmoniques générés par des équipements connectés à des systèmes publics d'alimentation électrique à basse tension) et la norme CEI 61000-3-3 : Norme pour la limitation des variations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension.

Diagramme fonctionnel E-G : redresseur – capacité de sortie – circuit de contrôle

Du côté secondaire, nous nous trouvons dans une situation similaire à celle du côté primaire, étant donné qu'il est question de tensions plus faibles. La tension doit être redressée et aplanie par les capacités de sortie. Là encore, le même raisonnement s'applique.

Le circuit de commande des alimentations à découpage joue un rôle important dans le réglage de la tension de sortie et le maintien de la fonctionnalité souhaitée. Cependant, il peut également contribuer aux interférences électromagnétiques (EMI) si la conception n'est pas gérée correctement. Le circuit de commande régule la fréquence de commutation de l'alimentation à découpage. Des fréquences de commutation élevées peuvent générer des harmoniques qui s'étendent dans le spectre des fréquences radio, ce qui peut provoquer des interférences dans d'autres appareils électroniques. Le circuit de commande affecte la stabilité de la tension de sortie. Si la régulation n'est pas optimale, cette situation peut entraîner une ondulation du courant sur la sortie, provoquant un bruit électrique, contribuant à des EMI et pouvant causer un papillotement ou des effets stroboscopiques.

Une planification correcte et la disposition des circuits imprimés peuvent contribuer à minimiser les courants de boucle et à réduire les émissions électromagnétiques.

Problèmes en cas de variateurs avec découpage de phase :

Les variateurs à découpage de phase sont souvent utilisés pour régler la luminosité des lampes à incandescence, halogènes et LED. Ces variateurs fonctionnent en découpant une partie de l'onde sinusoïdale du courant alternatif, réduisant ainsi l'alimentation vers la charge et ajustant par conséquent la luminosité des lampes. Bien que ces variateurs soient efficaces pour contrôler la luminosité, ils peuvent également provoquer des dysfonctionnements dans l'éclairage et d'autres appareils électroniques.

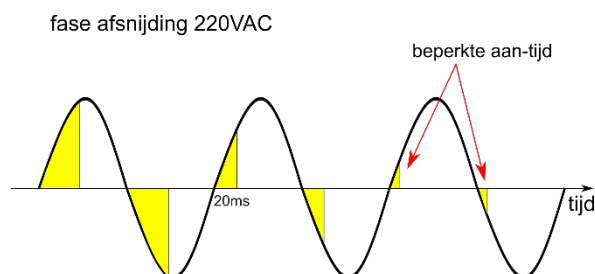


Fig.5 : variateur avec découpage de phase

Charge minimale

Un problème récurrent avec ce type de variateur est la charge minimale si l'on veut revenir à un niveau de luminosité très bas. Entre chaque découpage de l'onde de tension positive et négative (10 ms), il faut passer par une période pendant laquelle l'ampoule n'est pas alimentée (temps entre les carrés jaunes). Plus on diminue l'intensité lumineuse, plus ce temps de transition est élevé. Dans le cas d'une lampe à incandescence, ce n'est pas un problème parce qu'il est question de postluminescence, mais une LED y réagit directement ! Le circuit électronique, qui occupe souvent un espace limité dans le socle de la lampe, détermine la qualité de la variation. La plupart des lampes LED résolvent ce problème en s'éteignant d'elles-mêmes. Les meilleurs variateurs disposent également d'un circuit de contrôle que l'on peut régler à l'aide d'un tournevis pour ajuster la plage de gradation de manière à ce qu'elle ne se retrouve jamais dans ce « mode de papillotement ».

Longs câbles et PWM

Des longs câbles entre le variateur et l'éclairage peuvent augmenter le risque d'interférences. Les harmoniques générées par les variateurs avec découpage de phase peuvent se propager plus facilement et provoquer des interférences dans d'autres parties du système électrique. Il est donc préférable d'éviter le parasitage inductif entre les câbles situés à proximité les uns des autres.

Ceci s'applique également à la gradation des LED avec PWM (Pulse Width Modulation), où l'alimentation de la LED est contrôlée par la commutation du courant vers la charge (la lampe) avec un certain rapport cyclique. Dans ce cas, le câble peut agir comme une antenne et interférer avec les équipements électroniques environnants. La protection et la mise à la terre de la gaine du câble d'un côté peuvent permettre de remédier au problème. On peut également choisir de contrôler les LED par le biais d'une gradation à courant continu, ce qui ne provoque pas d'interférences avec l'environnement et constitue la meilleure solution si l'on veut éviter les interférences.

Compatibilité avec les lampes LED

Toutes les lampes LED ne sont pas compatibles avec les variateurs à coupure en début et fin de phase. Certaines lampes LED peuvent générer un papillotement, un bourdonnement ou présenter un comportement irrégulier lorsqu'elles sont utilisées avec un variateur à coupure de phase. Cela peut être gênant. Vérifiez que le variateur est compatible avec les lampes utilisées. Certaines lampes LED nécessitent des variateurs spécifiques pour fournir une performance optimale.

Utilisation de variateurs électroniques

Les variateurs électroniques peuvent constituer une alternative aux variateurs à découpage de phase et causer moins d'interférences.

Conclusion

En conclusion, il est essentiel de prêter attention aux composants électroniques et aux mécanismes de contrôle de l'éclairage LED pour garantir une qualité de lumière optimale. Les normes, lignes directrices et technologies avancées jouent un rôle essentiel dans la réduction des effets indésirables et la promotion d'une expérience d'éclairage confortable et saine.

L'information dans cet article est exacte au moment de la publication et est basée sur les lois et l'état de la technologie à ce moment-là.
