

Éclairages LED & harmoniques

Introduction

On estime que l'éclairage compte 20% de la demande d'électricité à l'échelle mondiale. La lampe à incandescence a été la principale source d'industrie de l'éclairage depuis plus de 100 ans.

Cependant, la lampe à incandescence produit des lumens insuffisants et génère une chaleur élevée. Par conséquent, pour promouvoir l'Économie d'Énergie, de nombreux pays ont déjà interdit ces sources d'éclairage inefficaces en les remplaçant par d'autres technologies comme les lampes à diode électroluminescente (LED) et Lampe Fluorescente Compacte (LFC).

Avec le progrès technologique dans les semi-conducteurs, les LEDs ont évolué dans l'industrie de l'éclairage en raison de leurs caractéristiques spécifiques telles que l'économie d'énergie, la convivialité environnementale, leur fonction à varier instantanément et à émettre une large gamme de couleur et de chaleur.

Cependant, une seule LED n'est pas suffisante pour émettre de la lumière comme les ampoules incandescentes en raison de la nature spécifique de concentration lumineuse. Par conséquent, un système multi LEDs est nécessaire où plusieurs LEDs sont connectés en série, parallèles ou série-parallèles pour produire une lumière diffuse comme dans les ampoules conventionnelles.

De plus, un contrôle de gradation est nécessaire pour réguler le niveau d'éclairage pour un confort visuel optimal ainsi que pour une meilleure efficacité énergétique.

En outre, pour les systèmes d'éclairage architecturaux, la variation est essentielle pour répondre aux exigences esthétiques d'un espace. Une analyse effectuée par le centre de recherche sur l'éclairage montre que 6% d'énergie peut être économisée individuellement grâce au variateurs individuels. De plus une optimisation de l'utilisation de la lumière du jour par des capteurs de luminosité et la gradation de la lumière peuvent épargner 30-40% d'énergie par rapport à un éclairage conventionnel.

Mais le développement rapide de la technologie des semi-conducteurs et des LEDs montre

des signes prometteurs pour l'avenir. Principalement tous les systèmes domestiques de luminosité à LED, coupés en phase (triac, gradateur) utilisent la technique de contrôle pour laquelle le courant ne passe que pendant une certaine période. Dans la plupart des schémas des gradateurs la modulation d'amplitude (AM) ou la modulation de largeur d'impulsion (PWM) sont utilisés.

Dans la méthode AM, la réduction du courant peut provoquer une dégradation de l'éclairage. D'autre part, la solution PWM permet de contrôler le rendement lumineux en modifiant le cycle. Cependant, la solution PWM connectée en série avec chaque chaîne LED peut augmenter la complexité du circuit et réduire la durée de vie de la LED. En raison de la réponse rapide des LEDs et de leurs conducteurs, la plupart des lampes à LED ne peuvent pas fonctionner correctement avec des gradateurs Triac. Pour contourner cet inconvénient, beaucoup de chercheurs conçoivent des pilotes spéciaux compatibles avec les variateurs de type Triac.

Le schéma actuel des ballasts Dimmables peut créer une distorsion harmonique sur les sources ; L'écart de forme d'onde par une sinusoïde parfaite est habituellement exprimée en termes de distorsion harmonique du courant et formes d'onde de tension.

Malheureusement les travaux de recherche se concentrent sur les émissions harmoniques des lampes à LED classiques et rien ou presque n'est fait sur les gradateurs.

Cet article présente une analyse de la génération d'Harmoniques à partir de lampes à LED fixes, dimmables et lampes fluocompactes.

Principe de fonctionnement des éclairages LED

Les LEDs nécessitent une source de courant constante à partir d'une source de tension CC faible, obtenue à partir du réseau secteur, par conséquent il est nécessaire d'utiliser un convertisseur pour réguler la tension et contrôler le courant appliqué aux LEDs. Les convertisseurs de buck, boost, flyback et résonants sont bien connus dans la littérature comme source d'alimentation des LEDs.

Ballast LED avec contrôle de gradation.

Il comprend la tension d'entrée de ligne AC, typiquement 220-240 VAC 50/60 Hz, un filtre EMI pour bloquer le bruit de commutation généré par circuit, un circuit de commande graduable, un redresseur avec condensateur de lissage, un convertisseur de source de courant constant contrôlé pour une conversion DC vers DC.

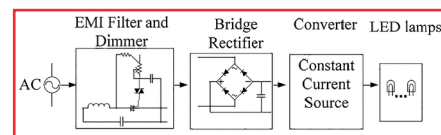


Fig. 1 Schéma fonctionnel de faible puissance typique

De plus, le courant d'entrée peut être modifié par le circuit gradateur pour varier la sortie. Étant donné que les puissances nominales de charge sont faibles dans les lampes à LED, les directives régissant l'injection d'harmoniques ne sont pas particulièrement strictes et par conséquent, les circuits de contrôle du facteur de puissance peuvent ou non être intégrés dans les gradateurs LED à faible puissance. Cependant, pour réduire les harmoniques générées et pour améliorer le facteur de puissance, il est possible d'introduire un filtre passif ou actif d'entrée.

Aspect normatif

Semblable à tout autre appareil, les lampes à LED doivent également être conformes à plusieurs directives applicables au produit.

La norme IEC 61000-3-2 évalue et définit la limite pour l'équipement qui génère un courant d'entrée $\leq 16A$ par phase. Les limites d'émission harmonique pour les lampes sont subdivisées en fonction de leur puissance active jusqu'à 25W. Les lampes ayant une puissance d'entrée active inférieure ou égale à 25 W doivent satisfaire au moins à un des deux critères suivants.

L'un des critères est que le courant de troisième harmonique ne doit pas dépasser 86% du courant fondamental et le courant de cinquième harmonique ne doit pas dépasser 61%. Cela donne la valeur du THD actuel d'environ 105%. La limite de distorsion de tension recommandée pour l'équipement de classe C est de 3% et 5% pour les harmoniques individuelles, la distorsion harmonique totale (THDV) respectivement.

Harmoniques [n]	Classe C
	[% du fondamental]
3	30 x PF
5	10
7	7
9	5
11	3
13	3
15 ≤ n ≤ 39	

Fig. 2 Limites pour les équipements de classe C (< 25 W)

Analyse comparative

Eclairage LED

Afin de comprendre les schémas harmoniques de lampes LED à gradation, nous considérons dans cette étude une ampoule LED de 10 W dimmable.

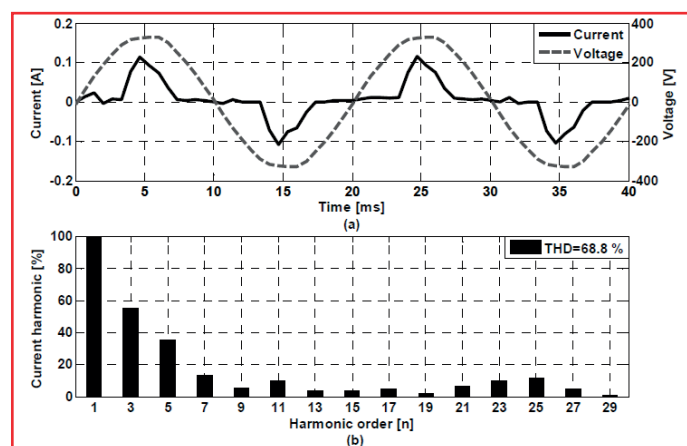


Fig. 3 Exemple de mesure réalisée sur un éclairage LED dimmable de puissance 10W

La forme de l'onde de courant et de tension est montrée à la figure en haut pour un angle de variation de 0°.

A partir de la figure on peut noter que la forme d'onde actuelle n'est pas sinusoïdale même à pleine luminosité où le gradateur n'est pas encore activé. Cela signifie que cette ampoule crée et injecte des harmoniques dans le système d'alimentation. Cependant, il est clair, selon la Figure. 4.1, que la forme de l'onde de tension est purement sinusoïdale. Par conséquent seule l'onde de courant est déformée.

Afin d'observer l'effet de la réduction de la luminosité sur les harmoniques de courant, l'angle de variation augmente de 0° à 45°, 90° et 135° respectivement. Comme le montre la figure en bas, nous constatons que pour une augmentation de l'angle du gradateur, le courant consommé par la lampe est plus haché et s'éloigne du schéma sinusoïdal bien que la grandeur du courant diminue.

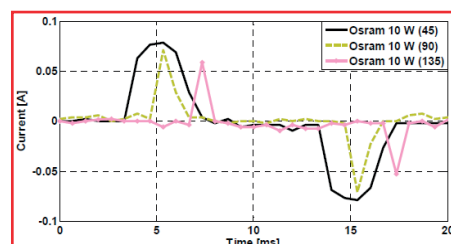


Fig. 4 Forme d'onde mesurée sur une lampe à LED 10W à différentes valeurs de variation

En conséquence, le niveau harmonique est augmenté tel que représenté sur la Fig. 4. La lampe à LED testée crée une valeur THDI de 65% à 70% pour un angle de variation de 0° (luminosité totale) alors qu'elle devient 76% – 80% et 230% – 235% à 45° et 90° respectivement. Cette augmentation de THDI peut être due à l'interrupteur de contrôle de gradation qui contribue à créer des harmoniques supplémentaires.

Le troisième test étudie l'effet de l'harmonique caractéristique des lampes à LED fixes et modulables ayant les mêmes valeurs de puissance, soit une lampe à LED de 10 Watt normale et une lampe à LED de 10 Watt dimmable.

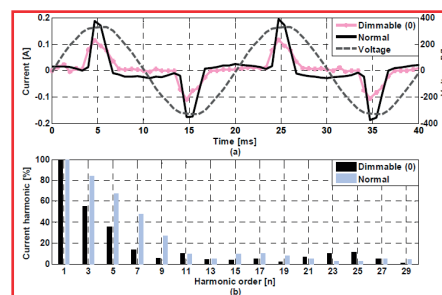


Fig. 5 Mesures réalisées sur un éclairage de marque 10W Dimmable et fixe.

La figure 5 montre les formes d'onde actuelles avec leurs niveaux d'harmoniques pour ces deux lampes à pleine puissance. Les mesures démontrent que le niveau de distorsion des LEDs à gradation est plus faible que la lampe à LED normale à pleine luminosité. Cependant, pour l'ampoule dimmable, les niveaux de distorsion augmentent rapidement avec la réduction de la luminosité.

En conséquence, les lampes à LED dimmables à faible luminosité sont plus polluées que les ampoules LED non variables.

Eclairage Fluorescent Compact

Étant donné que les LFC (lampes fluo-compactes) sont actuellement les lampes économes en énergie les plus couramment utilisées, il est important de comparer les performances des nouvelles lampes à LED modulaires avec des LFC modulaires en terme de génération harmonique. Un comparatif a donc été fait entre une lampe à LED dimmable de 20 Watts et une LFC modulaire de 20 Watts du même fabricant.

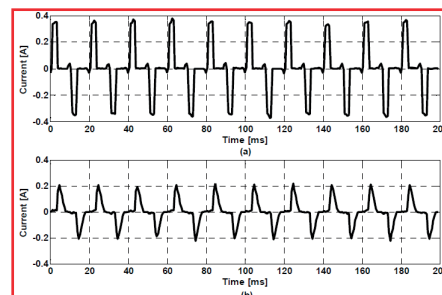


Fig. 6 Onde de courant mesurée sur 10 cycles à 0°, pour une lampe FLC et LED 20W

Deux ampoules de 10 watts du même modèle sont utilisées en parallèle à cet effet. Cette combinaison de 20 watts offre les mêmes caractéristiques que les ampoules LED de 20 watts avec la particularité d'injecter un peu moins d'harmoniques qu'une ampoule LED de 20W.

La figure 6 illustre le résultat expérimental de la caractéristique actuelle pour les solutions LED dimmables de 20 Watts et les lampes fluo-compactes Dimmables de même puissance pour 10 cycles et un angle de gradation de 0°. A partir de la figure, il est clair que les formes d'ondes actuelles sont totalement différentes en raison du circuit de ballast différent avec des valeurs de pic de courant pour les LFC, près de deux fois supérieur à la solution LED.

Lampe testée	Dimming angle	Harmoniques [%]				
		Fund	3 ^e	5 ^e	7 ^e	THD ₁
Osram 20 W LED dim	0°	100	49.5	26.5	8.2	62.4
	45°	100	54.0	17.9	9.4	73.9
	90°	100	86.6	71.2	60.0	209.0
	135°	100	99.9	98.0	98.0	360.4
Osram 20 W CFL dim	0°	100	82.1	49.3	13.1	104.1
	45°	100	92.0	79.4	63.8	158.7
	90°	100	94.5	95.9	92.8	289.7
	135°	100	98.2	95.3	94.1	309.6

Le tableau comparatif en haut démontre que la lampe LFC fonctionne mieux à faible luminosité, mais à pleine puissance, la LED crée moins d'harmoniques.

Conclusion

Les résultats montrent que les deux types de LED produisent des harmoniques de type (THD) en raison de l'utilisation de convertisseurs électroniques comme les ballast pour alimenter et varier les lampes à LED.

La valeur de THD₁ varie entre 47 % et 360 %, les solutions Dimmables étant les plus polluantes en terme de THD.

Les LFC (lampes fluo-compactes) présentent également des caractéristiques similaires aux solutions LED de même puissance. Il est également noté que les caractéristiques harmoniques des lampes à LED et LFC de puissance équivalente, Dimmables ou non variables d'un même fournisseur dépendent du type de ballast utilisé; différentes technologies de drivers étant utilisées.

Actuellement, il n'y a pas de norme pour les éclairages LED de type dimmable et il est recommandé qu'une norme internationale soit définie rapidement afin de limiter la pollution harmonique des réseaux de distribution électrique.

Michael Margot

Ingénieur Master II
margot.engineering@gmail.com