



OLIVIER BALAGNA

La gradation :

Lampe tungstène vs LED

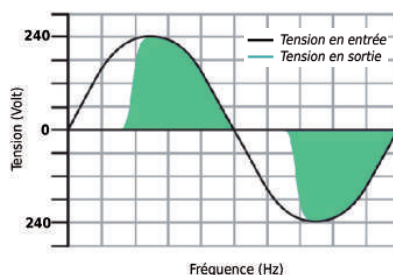
Il y a gradation et gradation. Un projecteur à LEDs ne fonctionnant pas comme une lampe à incandescence, la variation de leur flux ne repose pas sur les mêmes principes. Essayons de comprendre comment ça marche.

Les procédés qui permettent de faire varier le flux des luminaires dépendent de la technologie de chaque type de lampe et tout particulièrement de leur mode d'alimentation. Les appareils à LEDs sont équipés de convertisseurs qui délivrent un courant continu de 12 ou 24 V assortis de résistances qui abaissent encore la tension fournie à chaque diode. De leur côté, les lampes à filament de tungstène de nos projecteurs traditionnels sont alimentées par un courant alternatif de 100, 120 ou 240 V selon les pays. Si les lampes à incandescence acceptent sans difficulté une variation de la tension électrique, la LED nécessite une tension rigoureusement constante faute de quoi la longueur d'onde des photons émis est profondément modifiée. Face à ces contraintes

et sachant qu'aucune de ces deux sources n'a été initialement conçue pour la gradation, comment peut-on néanmoins en contrôler le flux lumineux ? Selon l'évolution des technologies, diverses solutions ont vu le jour, adaptées aux particularités de chacune.

LA GRADATION À ANGLE DE PHASE

Utilisée depuis les années 1960 pour graduer les sources résistives, cette technique est devenue celle des gradateurs ou « dimmers » conventionnels qui commandent le flux des lampes à incandescence. Elle exploite le caractère périodique du courant alternatif : si, au cours de chaque demie période, on retarde le passage du courant selon une durée plus ou moins longue, la tension efficace sera proportionnelle au temps durant lequel on aura laissé passer ce courant, sans que la fréquence de l'onde alternative en soit modifiée.



Forward Phase Control : avec un triac le passage du courant est retardé en début de demie période, occasionnant une mise sous tension brutale qui génère des interférences et des vibrations du filament.

Le composant électronique qui permet la création d'un angle de phase est un semi-conducteur appelé thyristor, plus connu par son acronyme anglais SCR (Silicon-Controlled Rectifier). C'est une sorte d'interrupteur qui se

déclenche à chaque changement de polarité du courant, soit toutes les 10 ms pour une fréquence de 50 Hz – celle du courant alternatif dans les pays européens. Les thyristors étant unidirectionnels, ils doivent être utilisés par paires, chacun étant placé en opposition par rapport à l'autre (montage en antiparallèle) afin que se produise le même retard d'amorçage quelle que soit la polarité du courant alternatif. En pratique, on utilise un composant unique, appelé TRIAC (TRIode for Alternating Current), qui est l'équivalent de deux thyristors placés tête-bêche.

Les gradateurs équipés de composants SCR sont très reconnaissables... à l'oreille ! Branchez un PAR64 sur l'un des circuits et réglez son niveau de sortie à 50%, vous entendrez d'un côté le doux grésillement du triac et de l'autre celui du filament produisant de belles vibrations, amplifiées par la forme parabolique du réflecteur. Ce bruit est dû à la forme de l'onde, faite d'une succession rapide de brusques mises sous tension qui occasionnent des interférences électromagnétiques ainsi que des oscillations du filament. C'est pourquoi ce type de gradateurs a progressivement été équipé de filtres qui visent à réduire les interférences mais ont pour effet d'engendrer un fort dégagement de chaleur et nécessitent une ventilation efficace.

Depuis le début des années 1990, certains gradateurs destinés aux projecteurs traditionnels n'utilisent plus de triac mais un nouveau semi-conducteur de puissance appelé IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor). Il permet d'atténuer considérablement ces désagréments en inversant la forme d'onde du courant alternatif grâce à un principe nommé RPC (Reverse Phase Control). Au lieu de retarder la mise sous tension au cours de chaque demie

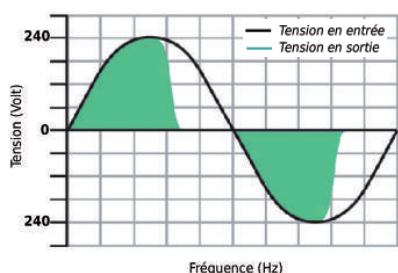


© DR

Destiné aux lampes tungstène, l'ART2000 d'Avolites est un gradateur conventionnel très populaire.



période, l'IGBT l'abrège une fois atteinte la tension efficace désirée. En sorte que le pic brutal à l'amorçage qui se produit avec les thyristors est supprimé au profit d'une chute rapide de la tension, réduisant du même coup les interférences et le bruit mais sans les éliminer totalement.



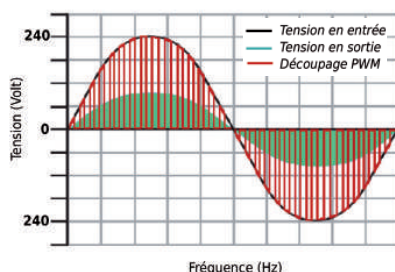
Reverse Phase Control : avec l'IGBT, le passage du courant est écourté en fin de demie période, ce qui minimise les interférences et les vibrations du filament.

Actuellement, la majorité des gradateurs utilisent l'un ou l'autre de ces deux systèmes et certains produits « rackables » permettent de choisir le type de module qui sera privilégié. Mais un nouveau système est apparu depuis une dizaine d'années : les gradateurs à ondes sinusoïdales.

LA MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSIONS

Le système PWM (Pulse Width Modulation) est une technique assez ancienne qui est à la base de la conversion numérique-analogique. Mais elle s'est véritablement développée à partir de 2003 en donnant naissance, d'une part, à une nouvelle génération de gradateurs destinés au contrôle des lampes à incandescence – les gradateurs à ondes sinusoïdales – et, d'autre part, aux modules de gradation des sources à LEDs. Le microprocesseur PWM est un calculateur, une sorte d'horloge qui génère des impulsions ultrarapides. Mais le système PWM n'a pas le même effet selon s'il agit sur un courant alternatif ou sur un courant continu. Avec un courant alternatif, que se passe-t-il ? Associé aux semiconducteurs IGBT, le module PWM s'en sert de commutateurs rapides, opérant à une fréquence très élevée, généralement située autour de 30 à 50 kHz. Imaginons une lampe reliée au secteur via un interrupteur. Si l'on actionne le commutateur des dizaines de milliers de fois par seconde, la forme d'onde

du courant alternatif va être découpée en tranches verticales. La largeur – c'est-à-dire la durée – des impulsions va déterminer l'amplitude de l'onde qui pourra être obtenue après filtrage, autrement dit la proportionnalité du signal sortant par rapport au signal d'entrée. La fréquence de l'onde sinusoïdale du courant alternatif est préservée. Seule son amplitude varie en fonction de la largeur des impulsions entraînant une variation corrélative de la tension efficace. C'est le principe des nouveaux gradateurs à ondes sinusoïdales destinés au contrôle des lampes à incandescence.



Le microprocesseur PWM découpe l'onde sinusoïdale en tranches verticales. Cette forme d'onde n'est exploitable qu'après filtrage afin de convertir le découpage temporel en variation d'amplitude.



Le module Sensor+ Sinewave de ETC est un gradateur à ondes sinusoïdales.

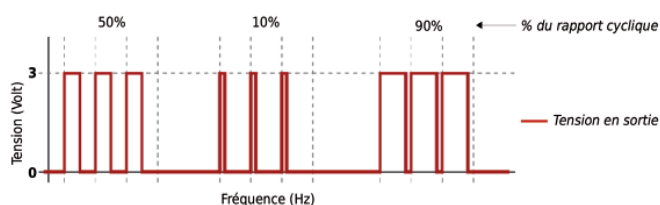
Maintenant, qu'en est-il pour un courant continu ? Avec des sources telles que les LEDs, l'action du microprocesseur PWM n'est pas du même ordre. À la différence du courant alternatif, la tension du courant continu

est indépendante du temps. La commutation rapide n'a donc pas d'incidence sur l'amplitude du signal et n'affecte pas la tension efficace qui reste constante. En revanche, le rapport entre la durée des extinctions et celle durant laquelle passe le courant – c'est-à-dire la largeur des impulsions – va conditionner notre perception visuelle. La gestion du flux devient alors similaire à la construction séquencée de l'image cinématographique : si la succession rapide des temps d'allumage est égale à la durée des extinctions, la LED donnera l'illusion de n'avoir délivré que 50% de son flux. Si la durée d'extinction atteint 80% du cycle, le flux apparent sera de 20%.

Mais, comme au cinéma, la fréquence de commutation doit être suffisamment élevée pour éviter de percevoir un effet stroboscopique, soit au minimum 50 Hz. En pratique, de nombreux luminaires à LEDs sont aujourd'hui dotés d'un dispositif de régulation de la fréquence, celle-ci pouvant varier entre 500 et plus de 25 000 Hz. Un tel système est notamment indispensable pour éviter le phénomène de scintillement (« flickering ») perceptible sur une image vidéo lorsque la fréquence du cycle PWM interfère avec celle de la prise de vue.



La fréquence du module PWM qui équipe la découpe LEDko Reflection de Coemar est réglable de 600 à 19 000 Hz.



La largeur des impulsions envoyées par le microprocesseur PWM détermine la proportionnalité du flux apparent des LEDs.