

Cahier technique n° 205

L'alimentation des circuits d'éclairage



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

J. Schonek
M. Vernay

Schneider
Electric



n° 205

L'alimentation des circuits d'éclairage



Jacques SCHONEK

Ingénieur ENSEEIHT et Docteur-Ingénieur de l'Université de Toulouse, il a participé de 1980 à 1995 à la conception des variateurs de vitesse de la marque Telemecanique.

Il a été ensuite gérant de l'activité Filtrage d'Harmoniques. Il est actuellement responsable Applications et Réseaux Electrotechniques au sein du Bureau des Etudes Anticipation de la Division Basse Tension de Schneider Electric.



Marc VERNAY

Ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) de Grenoble.

Dans la société Merlin Gerin, de 1991 à 1996 il a été responsable du projet « appareils de variation d'éclairage », il a ensuite assuré le support technique pour les applications d'éclairage.

Actuellement il est en charge de l'Anticipation Electronique pour les applications Basse Tension dans la division Distribution Electrique de Schneider Electric.

1 Les différentes technologies de lampes

1.1 La lumière artificielle

Un rayonnement lumineux artificiel peut-être produit à partir de l'énergie électrique selon deux principes : l'incandescence et l'électroluminescence.

L'incandescence

C'est la production de lumière par élévation de température. Les niveaux d'énergie sont en très grand nombre, et par conséquent, le spectre de rayonnement émis est continu. Le cas le plus courant est un filament chauffé à blanc par la circulation d'un courant électrique. L'énergie fournie est transformée en effet Joule et en flux lumineux.

La luminescence

C'est le phénomène d'émission par la matière d'un rayonnement lumineux visible ou proche du visible.

– Electroluminescence des gaz

Un gaz (ou des vapeurs) soumis à une décharge électrique émet un rayonnement lumineux.

Ce gaz n'étant pas conducteur à la température et à la pression ordinaires, la décharge est produite en générant des particules chargées permettant l'ionisation du gaz. Le spectre, en forme de raies, dépend des niveaux d'énergie propre au gaz (ou à la vapeur) employé. La pression et la température du gaz déterminent la longueur des raies émises et la nature du spectre.

La photoluminescence

C'est la luminescence d'un matériau exposé à un rayonnement visible ou proche du visible (ultraviolet, infrarouge).

Lorsque la substance absorbe un rayonnement ultraviolet et émet un rayonnement visible qui s'arrête peu de temps après l'excitation, il s'agit de la fluorescence. Tous les photons reçus ne sont pas transformés en photons émis.

Le meilleur rendement pour les matières fluorescentes actuelles est de 0,9.

Lorsque l'émission lumineuse persiste après l'arrêt de l'excitation, il s'agit de la phosphorescence.

1.2 Lampes à incandescence

Les lampes à incandescence sont historiquement les plus anciennes (brevet de Thomas Edison en 1879) et les plus répandues dans le grand public.

Leur principe est un filament porté à incandescence dans le vide ou une atmosphère neutre empêchant sa combustion.

On distingue :

– Les ampoules standard

Elles comportent un filament de tungstène et elles sont remplies d'un gaz inerte (azote et argon ou krypton).

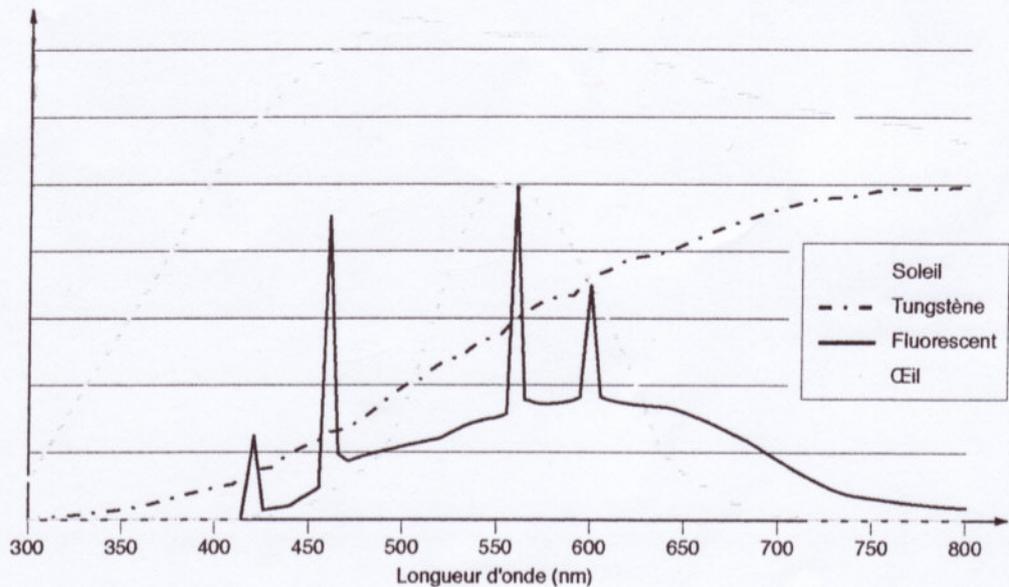
– Les ampoules à halogène

Elles comportent aussi un filament de tungstène, mais elles sont remplies d'un composé halogéné (iode, brome ou fluor) et d'un gaz inerte (krypton ou xénon). Responsable d'un phénomène de régénération du filament, ce composé halogéné

permet d'augmenter la durée de vie des lampes et évite leur noircissement. Ceci autorise également une température de filament plus élevée et donc une luminosité supérieure dans des ampoules de petite taille.

Le principal inconvénient des lampes à incandescence est leur forte dissipation thermique et donc leur faible rendement lumineux ; mais elles présentent l'avantage d'un bon Indice de Rendu des Couleurs (IRC) par le fait que leur spectre d'émission est assez proche du spectre de réception de l'œil (cf.).

Leur durée de vie est de 1000 heures environ pour les ampoules standard, de 2000 à 4000 heures pour les ampoules à halogène. A noter que cette durée de vie est réduite de 50 % lorsque la tension d'alimentation est augmentée de 5 %.



: courbe de réponse de l'œil et spectres d'émission de différentes sources de lumière visible.
 Nota : le spectre des sources fluorescentes est différent selon le modèle de lampe.

1.3 Lampes fluorescentes

Cette famille regroupe les tubes fluorescents et les lampes fluo-compactes. Leur technologie est généralement dite « à mercure basse pression ».

Les tubes fluorescents

Ils sont apparus en 1938. Dans ces tubes, une décharge électrique provoque la collision d'électrons avec des ions de vapeur de mercure, d'où un rayonnement ultraviolet par excitation des atomes de mercure. Le matériau fluorescent, dont est recouvert l'intérieur des tubes, transforme alors ce rayonnement en lumière visible.

Cette technologie présente l'inconvénient d'un IRC moyen par le fait que le spectre d'émission est discontinu. Il existe toutefois aujourd'hui différentes familles de produits répondant aux multiples besoins d'IRC, par exemple les tubes dits « lumière du jour ».

Les tubes fluorescents dissipent moins de chaleur et ont une durée de vie plus longue que

les lampes à incandescence, par contre ils nécessitent l'emploi de deux dispositifs : l'un pour l'allumage appelé « starter » et l'autre pour la limitation du courant de l'arc après allumage. Ce dernier appelé « ballast » est en général une inductance placée en série avec l'arc. Les contraintes liées à ce ballast sont détaillées dans la suite du document.

Lampes fluo-compactes

Leur principe est identique à celui d'un tube fluorescent. Les fonctions de starter et de ballast sont assurées par un circuit électronique (intégré à la lampe) qui permet l'emploi de tubes de dimensions réduites et repliés sur eux-mêmes.

Les lampes fluo-compactes ont été développées pour remplacer les lampes à incandescence : elles apportent une économie d'énergie significative (15 W contre 75 W pour une même luminosité) et une augmentation de la durée de vie (8000 h en moyenne et jusqu'à 20 000 h pour certaines).

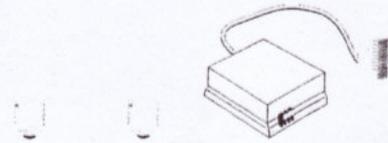
Les lampes fluo-compactes standard présentent un léger retard à l'allumage et leur durée de vie est réduite selon le nombre d'allumages.

Ainsi, pour une fréquence d'allumage multipliée par 3, la durée de vie de la lampe est réduite de moitié.

Les lampes dites « à induction » ou « sans électrodes » (cf.) ont un démarrage instantané et le nombre de commutations n'affecte pas leur durée de vie. Leur principe est une ionisation du gaz présent dans le tube par un champ électromagnétique à très haute fréquence (jusqu'à 1 GHz). Leur durée de vie peut atteindre 100 000 h.

a]

b]



: lampes fluo-compactes :
a] standard ; b] à induction.

1.4 Lampes à décharge

La lumière est produite par une décharge électrique créée entre deux électrodes au sein d'un gaz dans une ampoule de quartz. Toutes ces lampes (cf.) nécessitent donc un ballast pour limiter le courant dans l'arc.

Le spectre d'émission et l'IRC dépendent de la composition du gaz et s'améliorent avec l'augmentation de la pression. Plusieurs technologies ont donc été développées pour différentes applications.

Lampes à vapeur de sodium basse pression

Elles possèdent le meilleur rendement lumineux, mais leur rendu des couleurs est très mauvais puisque leur rayonnement est monochromatique d'une couleur orangée.

Applications : éclairage d'autoroutes, tunnels.

Lampes à vapeur de sodium haute pression

Elles émettent une lumière de couleur blanche légèrement orangée.

Applications : éclairage urbain, monuments.

Lampes à vapeur de mercure haute pression

La décharge est produite dans une ampoule en quartz ou en céramique à des pressions



: lampes à décharge.

supérieures à 100 kPa. Ces lampes sont appelées « ballons fluorescents ». Elles émettent une lumière de couleur blanche bleutée caractéristique.

Applications : parkings, hypermarchés, entrepôts.

Lampes à halogénures métalliques

Technologie la plus récente. Elles émettent une couleur ayant un spectre large.

L'utilisation de tube en céramique permet une meilleure efficacité lumineuse et une meilleure stabilité des couleurs.

Applications : stades, commerces, projecteurs.

1.5 Diodes électroluminescentes ou LED (Light Emitting Diodes)

Le principe des diodes électroluminescentes est l'émission de lumière par un semi-conducteur au passage d'un courant électrique. Les LED sont d'un usage courant dans de nombreuses applications, mais le développement récent de diodes de couleur blanche ou bleue à haut rendement lumineux ouvre de nouvelles perspectives, en particulier pour la signalisation (feux de circulation, panneaux de sécurité ou l'éclairage de secours).

Le courant moyen dans une LED est de 20 mA, la chute de tension étant comprise entre 1,7 et 4,6 V suivant la couleur. Ces caractéristiques

sont donc propices à une alimentation en très basse tension, en particulier par des batteries. L'alimentation par le réseau nécessite un convertisseur.

L'avantage des LED est leur faible consommation d'énergie. Il en résulte une faible température de fonctionnement qui autorise une très longue durée de vie. Par contre, une diode élémentaire a une faible puissance lumineuse. Un éclairage puissant nécessite donc le raccordement d'un grand nombre d'unités en série.

Ces diodes sont surtout employées lorsque la puissance disponible est faible.

4 L'alimentation des luminaires à ballasts électroniques

Les ballasts électroniques sont utilisés en remplacement des ballasts magnétiques pour l'alimentation des tubes fluorescents (y compris les lampes fluo-compactes) et des lampes à

décharge. Ils assurent également la fonction de « starter » et ne nécessitent pas de condensateur de compensation. Ils sont apparus au milieu des années 80.

4.1 Principe et caractéristiques

Le principe du ballast électronique (cf.) consiste à alimenter l'arc de la lampe par un dispositif électronique générant une tension alternative de forme rectangulaire. On distingue les dispositifs à basse fréquence ou hybrides, dont la fréquence est comprise entre 50 et 500 Hz, et les dispositifs à haute fréquence dont la fréquence est comprise entre 20 et 60 kHz.

L'alimentation de l'arc par une tension à haute fréquence permet d'éliminer totalement le phénomène de papillotement et les effets stroboscopiques. Le ballast électronique est totalement silencieux.

Au cours de la période de préchauffage d'une lampe à décharge, ce ballast fournit à la lampe une tension croissante, en imposant un courant quasiment constant. En régime permanent, il régule la tension appliquée à la lampe indépendamment des fluctuations de la tension réseau.

L'arc étant alimenté dans des conditions optimales de tension, il en résulte une économie d'énergie de 5 à 10 % et une augmentation de la

durée de vie de la lampe. Par ailleurs, le rendement d'un ballast électronique peut dépasser 93 %, alors que le rendement moyen d'un dispositif magnétique n'est que de 85 %. Le facteur de puissance est élevé (> 0,9).

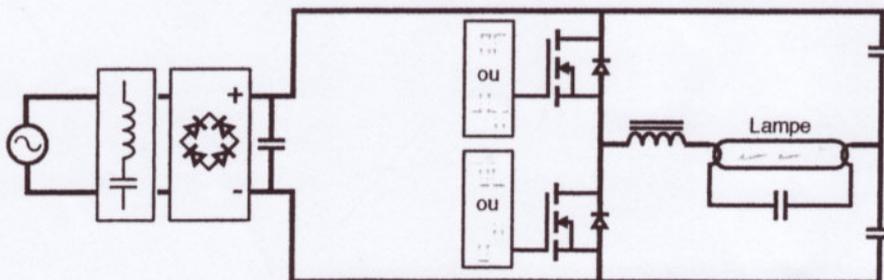
Le ballast électronique permet également d'assurer la fonction de variateur de lumière. La variation de la fréquence permet en effet de faire varier l'amplitude du courant dans l'arc et donc l'intensité lumineuse.



4.2 Schéma

Un ballast électronique comprend essentiellement un étage redresseur (avec éventuellement une correction du facteur de puissance, Power Factor Correction -PFC-),

un condensateur de filtrage de la tension redressée, et un étage onduleur en demi-pont (cf.). Son alimentation est également possible en courant continu.



: schéma de principe d'une lampe alimentée par un ballast électronique.

4.3 Contraintes

Courant d'appel

La principale contrainte apportée par les ballasts électroniques sur les réseaux est le fort courant d'appel à la mise sous tension lié à la charge initiale des condensateurs de filtrage (cf. [1]).

Technologie	Courant d'appel max.	Durée
Redresseur avec PFC	30 à 100 In	≤ 1 ms
Redresseur avec self	10 à 30 In	≤ 5 ms
Ballast magnétique	≤ 13 In	5 à 10 ms

[1] : ordres de grandeur des valeurs maximales de courants d'appel, suivant les technologies employées.

Dans la réalité, en raison des impédances de câblage, le courant d'appel pour un ensemble de lampes est bien inférieur à ces valeurs, de l'ordre de 5 à 10 In pendant moins de 5 ms. Contrairement aux ballasts magnétiques, ce courant d'appel n'est pas accompagné de surtension.

Courants harmoniques

Pour les ballasts associés aux lampes à décharge de forte puissance, le courant absorbé au réseau présente un faible taux de distorsion harmonique (< 20 % en général et < 10 % pour les dispositifs les plus évolués). Par contre, les dispositifs associés aux lampes de faible puissance, en particulier les lampes fluo-compactes, absorbent un courant très déformé (cf. [2]). Le taux de distorsion harmonique peut atteindre 150 %. Dans ces conditions, le courant efficace absorbé

au réseau vaut 1,8 fois le courant correspondant à la puissance active de la lampe, ce qui correspond à un facteur de puissance de 0,55.

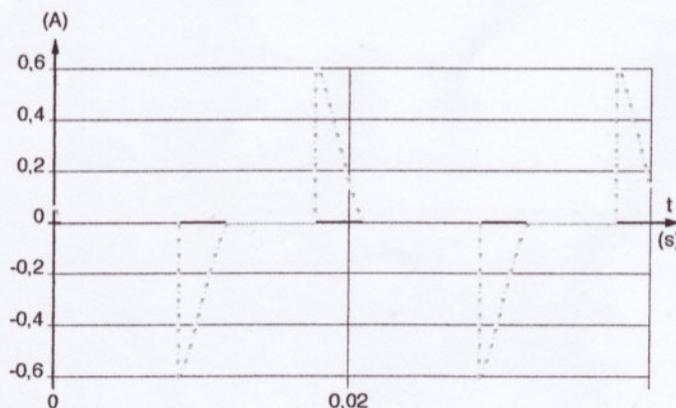
Afin d'équilibrer la charge entre les différentes phases, les circuits d'éclairage sont en général connectés entre les phases et le neutre de manière équilibrée. Dans ces conditions, le fort taux d'harmoniques de rang 3 et multiples de 3 peut provoquer une surcharge du conducteur de neutre. La situation la plus défavorable conduit à un courant neutre pouvant atteindre $\sqrt{3}$ fois le courant dans chaque phase. Pour plus d'informations lire le Cahier Technique n° 202 « Les singularités de l'harmonique 3 ».

Des limites d'émission harmonique pour les systèmes d'éclairage sont fixées par la norme CEI 61000-3-2. Par exemple, pour les dispositifs de puissance supérieure à 25 W, le pourcentage d'harmonique 3 doit être inférieur à 30 % du courant fondamental.

Courants de fuite

Les ballasts électroniques disposent en général de capacités placées entre les conducteurs d'alimentation et la terre. Ces condensateurs d'antiparasitage sont responsables de la circulation d'un courant de fuite permanent de l'ordre de 0,5 à 1 mA par ballast. Ceci conduit à limiter le nombre de ballasts qu'il est possible d'alimenter par un Dispositif à courant Différentiel Résiduel (DDR). (Voir le Cahier Technique n° 114).

A la mise sous tension, la charge initiale de ces condensateurs peut provoquer également la circulation d'une pointe de courant dont l'amplitude peut atteindre quelques ampères pendant 10 μ s. Cette pointe de courant peut provoquer le déclenchement intempestif de dispositifs mal adaptés.

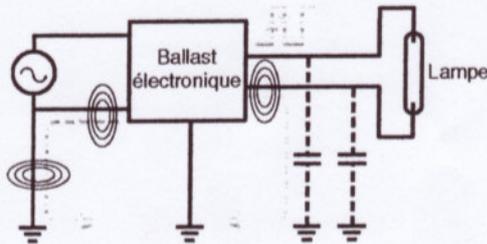


[2] : allure du courant absorbé par une lampe fluo-compacte.

Emissions haute fréquence

Les ballasts électroniques sont responsables d'émissions conduites et rayonnées à haute fréquence.

Les fronts de montée très raides appliqués aux conducteurs en sortie d'un ballast provoquent des impulsions de courant circulant dans les capacités parasites à la terre (cf. ...). Il en résulte des courants parasites circulant dans le conducteur de terre et les conducteurs d'alimentation. En raison de la fréquence élevée de ces courants, il y a également un rayonnement électromagnétique. Pour limiter ces émissions HF la lampe doit être placée à proximité immédiate du ballast réduisant ainsi la longueur des conducteurs les plus rayonnants.



... : les boucles d'émissions Haute Fréquence liées à un ballast électronique.

Pour éviter que ces émissions conduites et rayonnées ne perturbent certains systèmes sensibles (dispositifs de communication à courants porteurs ou ondes radio), des filtres d'antiparasitage sont intégrés aux ballasts.

La conformité à la norme EN55015 impose des limites d'émission dans la bande 9 kHz - 30 MHz.

Variateurs de lumière pour ballasts électroniques

L'utilisation de ballasts électroniques rend possible la variation de luminosité des tubes fluorescents. Il existe plusieurs possibilités, suivant la technologie des ballasts :

Ballast alimenté par un gradateur à variation de tension par angle de phase. Le courant fourni au tube est fonction de la tension appliquée à l'entrée du ballast.

= Ballast commandé par un signal extérieur de 0 à 10 V. Le ballast alimente alors le tube par une tension à fréquence variable qui permet de faire varier le courant et donc la luminosité émise. C'est la solution actuellement la plus employée (cf. ...).

= Ballast commandé par un signal de commande numérique.

L'utilisation de variateurs permet également des économies d'énergie en réduisant l'éclairage à certaines heures et selon l'utilisation du local. Les ballasts électroniques sont incompatibles avec les minuteries à préavis d'extinction.

Remarque : en cas d'alimentation du ballast électronique par un interrupteur électronique, il existe un risque d'allumage intermittent des tubes fluorescents. En effet, un condensateur (0,1 à 0,2 μ F) est généralement placé en parallèle sur l'interrupteur pour le protéger des surtensions transitoires. Il en résulte un courant de fuite pouvant déclencher l'allumage de manière intempestive. L'utilisation d'un circuit de pré-charge, permettant de dériver le courant de fuite, est obligatoire.

... : télévariateur pour ballast électronique (marque Merlin Gerin).