降圧チョッパによる蛍光ランプ用定電力形安定器

正会員 水野 銆章* 正会員 矢橋 清二* 専門会員 石川 太郎*

A Fluorescent Lamp Ballast Based On Current-boost Chopper Circuit

Toshiaki Mizuno (Member) Seiji Yabashi (Member)
and Taro Ishikawa (Fellow Member)
(Department of Electronics, Nagoya Institute of Technology)

ABSTRACT

The ballast is composed of a rectifying unit, a filter capacitor, a chopper circuit and a control circuit. The chopper circuit has an inductor of a several mH, a high-power switching transistor and a semiconductor diode. The control circuit is a pulse-width-modulator with an error amplifier, and regulates the lamp current to maintain at a preset value.

The ballast has a high efficacy only for vertically operating lamps. When a horizontally operating lamp is burned with the ballast, because of d. c. component of the lamp current, the light output decreases in the neighborhood of the anode and the total flux or the efficacy becomes small. But when the lamp is placed the cathode up and the anode down, the luminescence is almost homogeneous over the tube surface and high efficacy is obtained.

The ballast of light weight is achieved, because no transformer is used and the control circuit is replaced by an IC. Moreover, the ballast is compatible for both 50 and 60 Hz of line frequency, and the change of the power or the light output is small with a fluctuation of the line voltage. But the lamp operating position must be limited in the vertical plane.

1. ま え が き

蛍光ランプの安定器には、従来チョークコイルや磁気漏れ変圧器が使われてきたが、最近、小型軽量化と高効率化のために電子回路化が研究され実用化も始まっている¹⁾。現在市販されている全電子化安定器は、高周波トランスと2個のパワートランジスタを使用するものが大半である。

降圧チョッパ（電流ブースト・チョッパ）回路を用いた安定器^{2)~4)}は、回路が簡単であるという特長を持つが、その出力電流は直流分を含んでいる。蛍光ランプを直流で長時間点灯するとカタホレンシス(cataphoresis)現象により、陽極側に暗端を生ずる⁵⁾⁶⁾ことが知られているので、降圧チョッパによる安定器は蛍光ランプの点灯には不適當のように思われた。しかし蛍光ランプの点灯方向を鉛直面で変えて実験を行なった結果、暗端を生じない点灯方向があることがわかった。このような場合について降圧チョッパ式安定器による点灯特性について報告する。

2. 蛍光ランプの直流点灯特性

カタホレンシスは、混合気体中の直流放電において成分気体が分離する現象で、希ガスと水銀との混合気体については1934年Penningにより観測され⁷⁾、1935年Druyvesteynにより解析がなされ⁸⁾、その後、このDruyvesteynの理論の修正が行なわれている⁹⁾。蛍光ランプでは、水銀イオンが電界により陰極方向に移動し陰極で中性原子に戻るため、陰極付近の水銀原子密度を増加させ陽極付近では減少させる。この原子密度のこう配のために陽極方向への逆拡散を生ずるが、管長が長いと拡散が十分行なわれないので、陽極付近では水銀原子密度が小さくなり発光も弱くなる。ランプを垂直点灯したときには、水銀原子の質量は電子の 3.6×10^8 倍であるので、電子に働く重力は無視できても、水銀原子に働く重力は無視できないことが予想される。陰極を上にしたときには、重力は陰極に蓄積した水銀原子を陽極方向へ移動させ、カタホレンシスを打ち消すであろう。

直管20 W 蛍光ランプを垂直位置において点灯したときの、管壁での輝度分布の測定例（管壁温度40°C）を図1に示す。陰極を上にした場合は、(a)に示すように陽極柱部分は一様に発光している。陰極を下にした場合には、(b)に示すように陽極付近が広い

* 名古屋工業大学電子工学科

本論文の一部は、昭和57年度照明学会全国大会36、および昭和58年度照明学会全国大会28にて発表したものである。

図1 垂直点灯における管壁の輝度分布

(a) 陰極を上にしたとき (b) 陰極を下にしたとき

範囲にわたって暗くなっている。

3. 降圧チョッパ回路による安定器

商用交流を電源とする安定器⁴⁾を図2に、制御回路を図3に示す。図1において L_1 は数mHのコイル、Trはスイッチング動作をするパワートランジスタ、 D_1 は半導体ダイオードであり、これらが降圧チョッパ回路を構成する。 R_1 は電流検出用抵抗であり、そこでの電圧降下は R_2 、 C_1 を経て制御回路に加えられ制御回路は R_1 の電圧降下の平均値を基準電圧と比較して、降圧チョッパ回路の入力電流を一定に保つように、Trのon時間とoff時間との比を制御する。また図1の R_3 と R_4 は電源電圧に比例した電圧を制御回路に加えるので、 R_3 と R_4 との比を適当に選ぶと、電源電圧の変動による入力電力の変化を小さくすることができる。なお L_f と C_f は雑音防止用フィルタである。

図2 降圧チョッパ回路による蛍光ランプ用安定器

図3 制御回路

4. 実験結果

降圧チョッパ式安定器を用いて、水平面に置かれた蛍光ランプを点灯すると、直流点灯の場合と同じように数時間たつと陽極側に発光の弱い部分を生じ全光束も減少する。ランプを鉛直面内に置き点灯方向を変えて実験を行った結果、図4に示すように直管形および環形ランプでは、陰極が上に陽極が下になるような位置で、U形ランプでは口金が上にくるような位置で使用すれば管全体が大体一様に発光し、光束の減少も少ないことがわかった。

図4 蛍光ランプの点灯方向

(a) 直管形 20 W (b) 環形 30 W (c) U形 18 W

た。

4.1 直管形 20 Wランプの点灯

図5に水平点灯と垂直点灯（陰極が上）の場合について、ランプ表面の輝度分布を示す。ここで、横軸は陰極側の端からの距離を表わす。水平点灯では陽極に近いほうの約半分に著しく発光が弱くなるが、陰極を上とする鉛直点灯では、ほぼ一様に発光していることがわかる。

図5 直管形 20 Wにおける表面の輝度分布
($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温 20°C)

図6 直管形 20 W ランプにおける電源電圧による全入力電力、全光束および総合効率の変化
($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温 20°C)

鉛直点灯の場合の電源電圧による全入力電力、全光束および総合効率（全光束／全入力電力）の変化を図6に示すが、電源電圧100V $\pm$ 10%の変化に対して、電力と光束の変化は $\pm$ 3%以内である。またトリガ周波数による入力電力、光束および総合効率の変化を図7に示すが、トリガ周波数にはほとんど無関係であることがわかる。

このランプを市販のチョークコイル式安定器で点灯すると、全入力電力23W、全光束1,270lm、総合効率55lm/Wであるが、降圧チョッパ式安定器を使用し、全入力電力を同じ23Wとすると、全光束1,470lm、総合効率64lm/Wとなり、効率は約16%

図7 直管形20Wランプにおけるトリガ周波数による全入力電力, 全光束および総合効率の変化 ($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温20°C)

図10 環形30Wランプにおけるトリガ周波数による全入力電力, 全光束および総合効率の変化 ($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温20°C)

向上する。

4.2 環形30Wランプの点灯

ランプ表面の輝度分布を, ランプの位置が水平面内にあるときと, 鉛直面内(図4(b))にあるときについて図8に示す。水平面内にあるときには, 陽極側に近いほうの約半分が暗くなっているが, 鉛直面内にあるときには大体一様に発光していることがわかる。

図8 環形30Wランプにおける表面の輝度分布 ($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温20°C)

図9 環形30Wランプにおける電源電圧による全入力電力, 全光束および総合効率の変化 ($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温20°C)

鉛直面内点灯のときの電源電圧による全入力電力, 全光束, および総合効率の変化を図9に示す。電源電圧が85Vから120Vの範囲では電力と光束の変化は約6%である。

トリガ周波数による全入力電力, 全光束および総合効率の変化を図10に示す。

このランプを市販のチョークコイル式安定器で点灯すると, 全入力電力34W, 全光束1,670lm, 総合効率49lm/Wであるが, 降圧チョッパ式安定器では, 全入力電力を同じ34Wとすると, 全光束1,880lm, 総合効率55lm/Wとなり, 効率は約12%高く

なる。

4.3 U形18Wランプの点灯

図4(c)に示すように口金が上になるような位置で点灯すると, ランプ表面の輝度分布は図11のようであり, ほぼ一様に発光している。図12は電源電圧による全入力電力, 全光束および総

図11 U形18Wランプにおける表面の輝度分布 ($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温20°C)

図12 U形18Wランプにおける電源電圧の変化による全入力電力, 全光束および総合効率の変化 ($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温20°C)

図13 U形18Wランプにおけるトリガ周波数による全入力電力, 全光束および総合効率の変化 ($L_1=2.7$ mH, $C_2=22$ μ F, 室温20°C)

合効率の変化を示すが、電源電圧 $100\text{ V} \pm 10\%$ の変動に対して、電力と光束の変化は約 $\pm 3\%$ である。図 13 はトリガ周波数による全入力電力、全光束および総合効率の変化を示すが、トリガ周波数にはほとんど無関係である。

このランプをチョークコイル式安定器で点灯したときは、全入力電力 22 W 、全光束 900 lm 、総合効率 41 lm/W であるが、降圧チョップ式安定器で、全入力電力を同じ 22 W としたときには、全光束 990 lm 、総合効率 45 lm/W となり、約 10% の効率向上となった。

4.4 整流平滑回路とフリッカについて

この安定器では、商用交流を整流平滑した直流を降圧チョップの入力としているので光束のフリッカが小さい。平滑コンデンサの容量を大きくするとフリッカは少なくなるが、安定器の容積は大きくなり総合効率も徐々に低下する。この容量が小さすぎると整流出力電圧の脈動が大きくなり、放電の休止期間を生ずるので総合効率が急速に低下する。上述の実験では平滑コンデンサの容量は $30\text{ }\mu\text{F}$ である。 30 W のランプを点灯しているときの整流出力電圧 (V_{DC}) と光束の波形を図 14 (a), (b) に示す。また比

図 14 整流出力電圧と光束
(a) V_{DC} (b) 光束
(c) チョークコイル式安定器

較のため、市販のチョークコイル式安定器を使ったときの光束の波形を同図 (c) に示す。パーセント・フリッカは、チョークコイル式で約 20% であるのに対し、この安定器では約 7% であった。

5. ま と め

蛍光ランプを水平位置で直流点灯すると、陽極側に暗部を生じ全光束も低下するが、陰極を上にした垂直位置で使用すれば様に発光する。このような場合に限定すれば降圧チョップ式安定器は次の特長を持っている。

- (1) 変圧器を使用しないので、重量をチョークコイル式の約半分にできる。
- (2) 商用電源を整流・平滑しているので、 50 Hz 、 60 Hz 共用の安定器となりフリッカを小さくできる。
- (3) 電源電圧の変動による電力や、光束の変化を小さくできるので 100 V 、 115 V 共用の安定器とすることもできる。
- (4) 二、三の回路定数を変更するだけで、種々の定格のランプのための安定器を製作できる。

この安定器は、ランプの点灯方向が限定されるという短所がある。しかし、直管形および環形ランプの器具を壁面や柱に取り付けて使用する場合や、U形ランプを適当な反射がさとともに天井に取り付けたり、つり下げたりする場合には、この安定器は有用であろう。

この方式の安定器の実用化には、さらにいろいろな試験や検討が必要であろうが、小型軽量で高効率な照明器具の開発に役立てばと思い報告する。

参 考 文 献

- (1) 野村ほか：照学誌 **64** (昭55) 103
- (2) Schiff, P.: Electronics Aug. 5 (1968) 130
- (3) 特公昭 47-193 実案昭 50-111182
- (4) 水野ほか：照学誌 **66** (昭57) 121
- (5) 照明学会編：照明ハンドブック (昭53) 第6章
- (6) Elenbaas, W.: Light Sources, Macmillan Press. (1972) Chap 5
- (7) Penning, F. M.: Physica **1** (1934) 763
- (8) Druyvesteyn, M. J.: Physica **2** (1935) 255
- (9) Loeb, L. B.: J. Appl. Phys **29** (1958) 1369

(受付1983年5月2日)