周波数制御によるメタルハライドランプの高周波点灯

専門会員 水野 銈 章 (名古屋工業大学) 非会員 林 宏 宜 (名古屋工業大学)

High Frequency Operation of Metal Halide Lamp with Frequency Control

Fellow Member Toshiaki Mizuno, Non-Member Hirotaka Hayashi

(Nagoya Institute of Technology)

ABSTRACT

When a metal-halide lamp is operated by a sinusoidal wave of 10k to 100kHz, arc instability caused by acoustic resonance occurs. The frequency regions for stable operation are narrow and vary with the operating condition. Therefore, it is difficult to operate the lamp at high frequency with a fixed frequency.

This paper presents a ballast for a metal-halide lamp. When the fluctuation of lamp voltage is large because of instability, the operating frequency of the inverter moves back and forth between $f_{\max}$ and $f_{\min}$, searching for a stable frequency. If the operating frequency coincides with a stable frequency and the lamp voltage fluctuation becomes small, so the operating frequency is maintained. Thus, the lamp operates at some stable point between $f_{\max}$ and $f_{\min}$.

Experiments performed with metal-halide lamp M100-L and stable operation at frequency range of 20-25kHz is confirmed.

This procedure reduces the interference with communication systems compared with square wave operation or frequency modulation.

KEYWORDS : metal-halide lamp, discharge lamp ballast, high frequency operation, frequency control

1. まえがき

一般に10~100kHzの周波数による点灯回路は、低い周波数による点灯回路に比べて回路素子LCが小型軽量にできるという長所があり、蛍光ランプではインバータ蛍光灯として商品化されている。また、1 MHz以上の高周波点灯に比べて、スイッチング損失や回路素子の損失を小さくでき、回路効率が高い。

このように10~100kHz帯の点灯回路は、小型軽量化と高効率の利点を有するが、HIDランプをこの周波数の正弦波で点灯すると、音響的共鳴現象によりアークの不安定や立ち消えを生ずる。特に、メタルハライドランプでは10kHzから100kHzまで、殆ど連続的に不安定性を示す。この間に数箇所の安定周波数領域が存在するが、その帯域幅は1 kHz以下と狭く、同じ定格のランプでも安定周波数が個々の製品によりバラツキがあり、電力や温度などによっても変化する。このためメタルハライドランプを10~100 kHzの固定周波数の正弦波により安定点灯することは困難である。

音響的共鳴による不安定を回避する方法として、矩形波点灯、第3高調波重畳点灯、周波数変調点灯、毎サイクル波長変化点灯などがある¹⁾²⁾。音響的共鳴の原因はランプに入る瞬時電力の変化であるので、矩形波により点灯すれば不安定は起こらない。ただ

し、このとき矩形波の立ち上がり立ち下がり急峻である必要があり、20kHz(周期50 μ s)で許容瞬時変化は2 μ s以下である²⁾。このような急峻な矩形波によれば、原理的には全周波数領域で安定点灯が可能であるが、高調波成分によるラジオノイズが大きい。第3高調波重畳点灯、周波数変調点灯および毎サイクル波長変化点灯では、正弦波点灯に比べると安定点灯領域が広がる。この中で第3高調波重畳点灯は、高調波が第3次までであるのでラジオノイズは小さい。

尚、ランプ発光管の形状の改良により音響的共鳴を回避する研究³⁾がある。また点灯周波数を音響的共鳴の起きる10~100kHzより低くしたり、高くすれば安定に点灯できるので、低周波の矩形波点灯⁴⁾や100kHz以上の高周波点灯⁵⁾の報告がある。

電子回路によりランプの点灯状態を監視して、不安定であれば周波数をシフトし、安定周波数帯域に入った時にその周波数を維持するようにすると、安定点灯が可能となる。著者の一人は先にマイクロコンピュータを用いた点灯回路について発表した⁶⁾が、今回はアナログ回路を主体とするものについて述べる。

2. 周波数制御方式

10~100kHzの周波数で点灯する時、安定点灯のときにはランプ電圧の変動は小さいが、不安定状態ではランプ電圧が不規則に激しく変動する。ランプ電圧の変動を監視して、変動が大きい時には周波数をシフトする点灯回路の動作を図1のフローチャート

本論文の一部は、平成8年度照明学会全国大会(1996年4月)にて発表された。

に示す。点灯周波数の上限を $f_{\max}$ 、下限を $f_{\min}$ とする。まず、上限の $f_{\max}$ にて始動し、放電が安定ならば周波数はそのまま、不安定ならば周波数を下げるといった動作を繰り返して、安定領域を探す。周波数が下限 $f_{\min}$ まで下がった時には、周波数を上げながら安定領域を探し、周波数が $f_{\max}$ まで上がった時には、再び周波数を下げながら安定領域を探す。このように周波数の上限と下限の間を往復して安定周波数を探すので、この間に 1 個以上の安定領域が存在すれば、安定に点灯する筈である。

安定領域の探し方を図 2 の (a), (b), (c) の 3 通りが考えられる。(a) は上限と下限との間を上から下へ、下から上へと往復して探すものである。(b) と (c) は探索領域の上端または下端から探し始め他端に達したらリセットして元に戻り探索方向一定のもので、回路は簡単になるが、周波数が上端と下端との間をジャンプする時に

f : 点灯周波数
 $f_{\max}$: 探索周波数帯域の上限周波数
 $f_{\min}$: 探索周波数帯域の下限周波数

図 1 周波数制御のフローチャート
 Fig. 1 Flowchart of frequency control.

図 2 安定周波数の探索法
 Fig. 2 Methods for searching stable frequency.

図 3 点灯回路の基本構成
 Fig. 3 Basic configuration of the ballast.

チラツキを感じることもある。このため(a)のように往復して探すことにした。

点灯回路は図 3 に示すように、他励式インバータ、周波数制御回路、ランプ電流制御回路およびチョッパ回路より成る。

始めに、周波数制御回路について説明する。変動検出回路では、ランプ電圧を包絡線検波（高周波の検波）する。この出力の中の交流成分がランプ電圧の変動分であるので、これを検波（低周波の検波）する。この検波出力がランプ電圧の変動の大きさを示す信号である。この信号をコンパレータを経て積分回路に送る。探索方向切換回路では、周波数が下限または上限に達したことを検知して、周波数をシフトする向き（増加か減少）を切り換える。ランプ電圧の変動が設定値以上になると VCO（電圧制御発振器）の制御電圧が変化し周波数をシフトする。ランプ電圧の変動が小さくなれば VCO の制御電圧の変化が止まり周波数は保持される。このようにして安定点灯周波数を見つける。

次にランプ電流制御回路について述べる。ランプ電流（高周波）を op. amp を用いた全波整流回路により直流電圧に変換する。この電圧と設定値との差が PWM（パルス幅変調回路）に加えられ、ランプ電流を設定値に保つようにチョッパ回路のデューティ（時比率）を制御する。この回路により、電源電圧やランプの等価抵抗が変化しても、ランプ電流を一定に維持する。

3. 実験結果

100ワットのメタルハライドランプ M100・L について、実験を行った。発光管の形状を図 4 に示す。このランプを図 5 に示す回路により点灯した。インバータには、トランスの 1 次側電流の向

図 4 実験に使用したランプの発光管
 Fig. 4 The arc tube of the lamp used in the experiments.

図5 実験に使用した点灯回路
Fig. 5 The ballast circuit used in the experiments.

図6 安定点灯時のランプの電圧電流波形
(上側：ランプ電圧100V/div, 下側：ランプ電流 1 A/div, 横軸：時間 10μs/div)

Fig. 6 Wave-forms of lamp voltage and current in stable operation (upper side : lamp voltage 100V/div, down side: lamp current 1A/div, time 10 μs/div).

図7 メタルハライドランプM100-Lの周波数特性
Fig. 7 Frequency characteristics of metal-halide lamp M100-L.

きを2個のスイッチ (パワートランジスタ) で交互に切り換える方式を用いた。このままでは出力が矩形波となるので、高次の高調波をカットするためトランスの2次側に LC フィルタを入れた。図6に安定点灯している時のランプ電圧波形 (上側) と電流波形 (下側) を示す。

このインバータにより点灯した時のランプの周波数特性を、図7に2個のサンプルについて示す。尚、この特性は周波数制御回路の周波数シフト機能を停止して、手動で周波数を変えて測定した。この図から、同じ M100-L でも特性のバラツキが有り、共通の安定周波数領域が狭く、固定周波数による安定点灯が困難であることがわかる。

次に、点灯周波数の下限 $f_{\min}=20\text{kHz}$ 、上限 $f_{\max}=25\text{kHz}$ として点灯した結果について述べる。始動後にランプ電流を6分間隔で $0.8\text{A} \rightarrow 1\text{A} \rightarrow 0.6\text{A} \rightarrow 1\text{A} \rightarrow 0.8\text{A}$ と変えたときの点灯周波数とランプ電圧の変化を測定した。4個のサンプルについての測定結果を図8(a)~(d)に示す。尚、このグラフは15秒間隔の測定値により作図されたものである。

実際の使用では、このようにランプ電流を大幅に変化させることは無いと思われるが、安定周波数を自動追尾する機能を確認するため、ランプ電流設定値を手動により大幅に変化させてみた。点灯中にランプ電流を急変させても、新しい安定周波数に自動的にシフトして安定点灯を続けた。光のちらつきは、周波数が急変するとき感じられる程度であり、この光の下での作業には支障がないと思われる。

また、ランプ電流一定の場合でも勿論問題無く安定点灯を続ける。ランプ電流を0.8Aに設定し長時間点灯した時の一例を図9に示す。この図で、2時間経過以後に周波数が緩やかに下降しているが、これは積分回路のコンデンサの電荷が、漏れ抵抗により

図9 長時間点灯における点灯周波数の変化
Fig. 9 Change of operating frequency with operating time.

(a)

(b)

(c)

(d)

図8 ランプ電流の変化による点灯周波数の変化
Fig. 8 Change of operating Frequency with change of lamp current.

(a)

(b)

(c)

(d)

図10 再点灯特性
Fig.10 Restarting characteristics.

放電し、VCO（電圧制御発振器）の入力電圧が低下するためである。例えば容量 $C=500\mu\text{F}$ 、漏れ抵抗 $R=100\text{M}\Omega$ のコンデンサでは時定数 $\tau=5\times 10^4\text{sec}=14\text{時間}$ となり、1 時間後には $\exp(-1/14)=0.93$ より電圧は 7% 低下する。この程度の漏れ抵抗であれば実用上支障はない。漏れ抵抗のため周波数が変化して不安定領域に入っても、周波数制御回路により安定周波数領域に戻されるからである。

次に、再点灯特性について述べる。ランプ電流 0.8A にて連続点灯中に、電源電圧を一瞬下げて消灯させたときの再点灯特性を測定した。4 個のランプについての測定結果を図 10 に示す。尚、消灯した時刻を時間軸のゼロとしてある。消灯直後のランプ電圧はインバータの無負荷出力電圧の約 220V である。

消灯後約 4 分で再点灯する。再点灯直後はランプ電圧が低いが、約 2 分で概ね定常値に戻る。図 10 の (a) と (b) は、周波数制御が下向き探索の時に消灯させた場合の例である。消灯した瞬間にはランプ電圧が上昇し、この電圧変化により周波数は少し下向きに変化する。消灯中はランプ電圧（インバータの無負荷出力電圧）の変化が無いので、周波数は一定に保たれる。再点灯後はランプ電圧の変動が大きいため、周波数変化は急速である。最初、周波数は下降し、下限に達すると上昇に転じ、上限に達すると再び下降する。約 2 分後にはランプは定常状態に近くなり、激しい周波数変化は止まる。また、図 10 の (c) と (d) は周波数制御が上向き探索の時に消灯させた場合の例であり、同様に再点灯後の約 2 分間は周波数は激しく変化するが、その後は定常状態に近くなる。このように、再点灯の場合にも、周波数制御回路は正常に動作することが確認された。

4. あとがき

メタルハライドランプを、音響的共鳴現象のため困難とされている 10~100kHz 帯の周波数にて安定に点灯するため、安定点灯周波数を自動的に探す方式について実験を行った。

メタルハライドランプでは安定点灯する周波数帯は狭く、同じ規格のランプでも周波数にバラツキがあるが、この方式では設定した周波数の上限と下限との間を往復掃引するので、この間に 1 個以上の安定周波数領域が存在すれば良く、安定周波数の値にバラツキが有っても差し支えない。また、点灯周波数の上限と下限の値やランプ電流などを回路基板上の半固定抵抗器で設定できるようにすれば、1 種類の基板を多種類のランプに利用できるというメリットが生まれる。

この方法では、矩形波点灯や周波数変調点灯に比べて高次の高調波が少なく、放送、通信への妨害が小さいという長所がある。

また、10~100kHz 帯はスイッチングレギュレータ関連の技術や製品（IC、トランジスタ、トランスなど）を利用できるという利点もある。

以上、HID ランプ安定器の研究の一助になればと思い発表する次第です。

参 考 文 献

- (1) 越村, 青池, 小林, 野村: 「HID ランプの高周波点灯における放電安定化方法」, 照学誌 67-2 p.55-61 (1983)
 - (2) 吉川, 青池: 「HID ランプの高周波点灯における放電アーク不安定性の新しい抑制法」, 照学誌 77-10 p.619-626 (1993)
 - (3) 岡田, 森井, 和田: 「音響的共鳴現象を防止した HID ランプの研究」, 照学誌 71-6 p.339-343 (1987)
 - (4) 永瀬, 西村, 内橋, 塩見: 「高圧放電灯用電子点灯回路の研究」, 照学誌 72-2 p.85-90 (1988)
 - (5) 中西, 井上, 小松原, 姫井: 「100kHz 以上の高周波による HID ランプの点灯」, 照学誌 70-2 p.62-66 (1986)
 - (6) 水野, 石川: 「メタルハライドランプの高周波点灯のマイクロコンピュータ制御」, 照学誌 71-10 p.622-625 (1987)
- (受付日 1996 年 8 月 5 日 / 採録日 1996 年 11 月 5 日)

みずの としあき
水野 鋺章 (専門会員)

名古屋工業大学電気情報工学科

昭和 8 年 6 月生。昭和 36 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。昭和 39 年 4 月名古屋工業大学電子工学科助手。講師を経て、現在電気情報工学科助教授。この間、半導体工学、電子管、電子回路の講義を担当し、半導体素子及び電子回路に関する研究に従事。電気学会、電子情報通信学会会員。

はやし ひろたか
林 宏宣 (非会員)

名古屋工業大学電気情報工学科

昭和 46 年 12 月生。平成 7 年 3 月名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業。現在、名古屋工業大学大学院工学研究科電気情報工学専攻在学中。電子回路、放電ランプ点灯回路に関する研究に従事。電気学会会員。