

# 100kHz 域を利用した誘導型無電極ランプシステム

掛 橋 英 典 \*

## Induction-Coil Electrodeless Lamp System Using 100kHz Order Frequency

Hidenori KAKEHASHI

Induction-coil electrodeless Lamp systems provide some essential advantages compared to general fluorescent lamps , i.e. extremely long life, instant starting, and high system output. However, the conventional electrodeless Lamp system with outside wire winding is not sufficient for total efficiency because of using 13.56MHz frequency. So, the new electrodeless Lamp system that consists of a bulbous lamp with a re-entrant cylindrical cavity, a solenoid induction-coil with a ferrite magnetic core and 135kHz driving inverter, is proposed. This paper reports the structure and performance of the new system.

**Key words:** Induction-coil, electrodeless Lamp, re-entrant cylindrical cavity

### 1. はじめに

無電極ランプはランプ内部に電極を持たないため本質的に長寿命の特長をもち省メンテナンス、省資源に合致した次世代環境配慮光源として期待されている。誘導型無電極ランプは1990年に初めて外巻コイル方式の形態で一般照明用へ実用化され、駆動周波数は通信と競合しない国際的なISM (Industrial, Scientific, Medical) バンドである13.56 MHz が採用されていた<sup>1)</sup>。橋梁照明や壁面イルミネーションなどへ応用されているが、MHz 領域の点灯周波数を使用していたため損失が大きく総合効率は約70 lm/W 程度に留まっていた<sup>2)</sup>。その後、駆動周波数を低減する試みがなされ2.65 MHz や480 kHz、250 kHz など様々な周波数が検討された<sup>3)~5)</sup>。近年になって登場した135 kHz の誘導型無電極ランプシステムは、球状バルブの中心にフェライトコアコイルを配置した内巻コイル方式ランプにスイッチング動作を行う点灯回路を適用することによって高い総合効率を達成している<sup>6)~8)</sup>。今回、そのシステムのランプ構造、回路構成と性能について報告する。

### 2. 誘導型無電極ランプ

提案する誘導型無電極蛍光ランプシステムは、図1のようにランプとインバータ点灯回路から構成され、ランプは内壁面に蛍光体が塗布されたバルブと誘導コイルからなっている。バルブの中央にはキャビティと呼ばれる空間が設けられており誘導コイルはキャビティに内接するように配置されている。キャビティの中心にはバルブ形成過程で内部ガスを置換するためのガラス製排気管がバルブ空間から下方へ突出している。誘導コイルは、

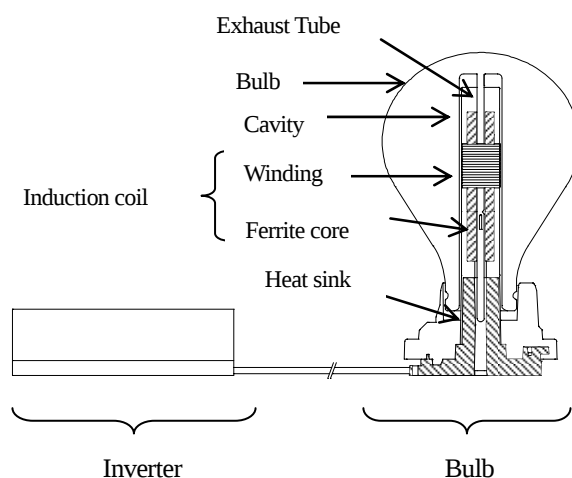


図1 システム構成

原稿受付 平成26年8月5日

\* 電気電子工学科

バルブからの熱を排出するために金属放熱体と放熱体に装着された円筒状フェライトコアおよびコア外周の巻線から構成され、コアの軸方向と巻線軸方向は一致するため開磁路のコイル構造となっている(図2)。インバータからの高周波出力で誘導コイルが励磁され、誘導磁気結合によってバルブ中のプラズマにうず電流が形成される原理で電力が供給される。

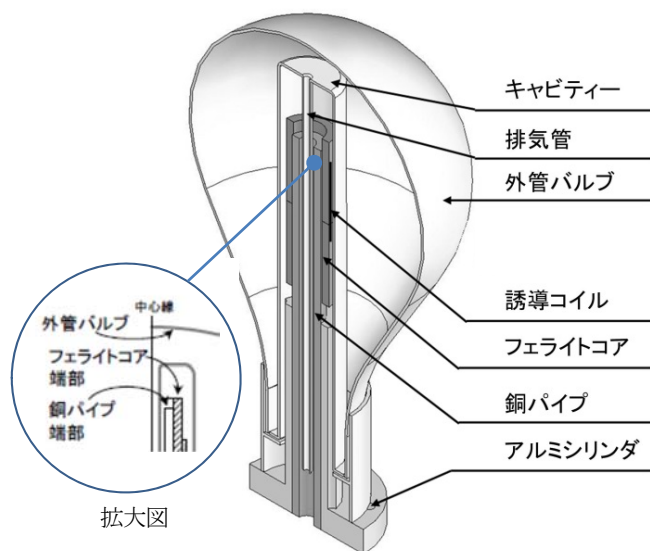


図2 バルブ断面図

駆動周波数の選択については、点灯回路の効率、無電極ランプの発光効率、無電極ランプの始動性、輻射ノイズなどを考慮する必要がある。点灯回路に関し、駆動周波数を従来の 13.56 MHz から数十 kHz～数百 kHz まで下げるによりスイッチング動作を行うインバータ回路の適用が可能となり半導体や共振用インダクタで発生する損失が大幅に低減されることにより回路効率は大きく向上する。次に、無電極ランプの発光効率について駆動周波数との関係を図3に示す。ここで無電極ランプの発光効率とは、ランプ光出力を誘導コイルに供給する電力で割ったものと定義している。駆動周波数が 130 kHz より低くなると急激に発光効率が低下しており、誘導電界の減少に伴うランプインピーダンスの変化や誘導コイルにおける損失増加の影響と推測される。

図4は無電極ランプの始動電圧について駆動周波数をパラメータとして示したもので、150 kHz 以下に周波数を下げると始動電圧が急激に高くなっていることがわかる。この現象は、周波数が高い場合は誘導性放電開始電圧が支配的であるため始動電圧が比較的低い値を保っているのに対し、周波数が低くなると容量性放電開始電圧が支配的

になって始動電圧が高くなったためとみられる。

輻射ノイズについては、ラジオ放送で用いられる周波数帯域 500 kHz～数 MHz への影響を避ける必要がある。とくに駆動周波数の 3 倍波がこのラジオ周波数帯に干渉しないことを考えると 150 kHz 以下が望ましい。

以上、回路効率、発光効率、ランプの始動性、輻射ノイズの観点から無電極ランプの駆動周波数として 135 kHz を選択している。

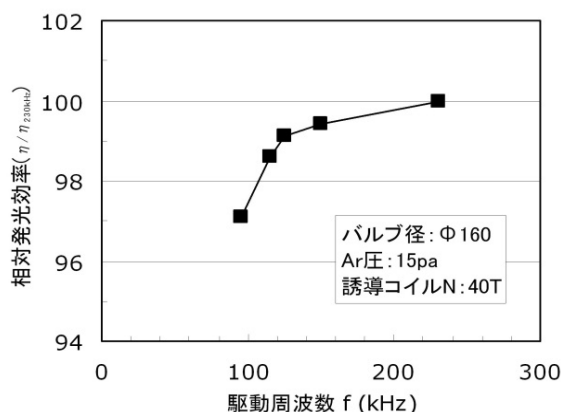


図3 駆動周波数と発光効率

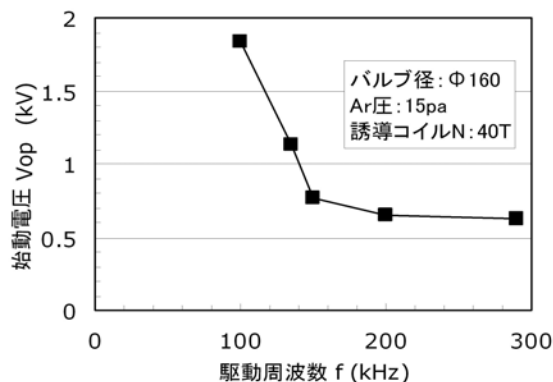


図4 駆動周波数と始動電圧

誘導コイルは球状バルブの中央に位置するため点灯中に周囲に発生する放電プラズマからの熱を受け百数十℃を超える高温環境に曝される。図2において誘導コイルに入るプラズマからの定常的な熱流は銅パイプ、アルミシリンダを経て熱伝導により外部へ排熱される構造としている。誘導コイルコアはそのキュリー温度が十分高く動作温度において高い飽和磁束密度を有することが必要である。また、駆動周波数 135kHz における高温域でのコアロスが低いことが望まれ、Mn-Zn 系フェラ

イトを採用した．銅パイプを取り囲む形で半円筒形のフェライトを突き合せて銅パイプに平行して軸方向に長い開磁路コアを形成している．誘導コイルの定常電流によりコアの磁力線は開磁路コアの内部では軸方向に沿い，外部ではコア片端部から他端へ向かってバルブ空間を通る連続したループを描く．この状態では，コア端部において磁束が空間に拡がるため金属が近接すると金属に垂直な磁束成分が顕著となる．この成分は金属中にうず電流を生じ結果的に大きな損失の要因となる．したがって，フェライトコアと銅パイプの位置関係は重要である．試作検討の結果，図2の誘導コイル上側において銅パイプの端部よりもフェライトコアの端部を上方に配置させることにより損失が低減できることがわかった<sup>9)</sup>．(拡大図参照)

誘導コイルの巻線については，動作温度よりも高い耐熱温度をもつ絶縁被覆材料を用いて信頼性を確保した．駆動周波数 135kHz で開磁路コイルで磁束はバルブ空間に広く分布することから表皮効果や近接効果の影響を考慮し，巻線交流損失を低減するために細線を束ねたリッツ線を用いることとした．

### 3. インバータ

図5にインバータ回路のブロック図を示す．無電極ランプを点灯するインバータ回路の基本機能として，ランプ始動のために高電圧を発生させること，点灯中に安定した電力を供給することの2点が挙げられる．始動における高電圧発生は誘導コイルを含む共振回路に依っているが，低周波であることを考慮すると回路には高い昇圧性能が要

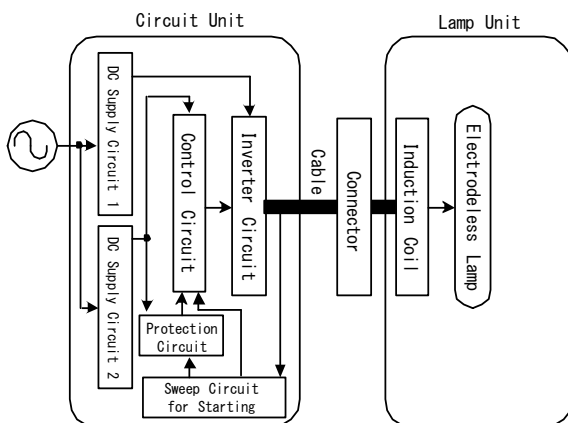


図5 インバータ回路のブロック図

求され結果的に共振周波数近傍の動作点が利用される．ところが，回路を構成する素子にばらつきがあるため駆動周波数を上記動作点に固定するこ

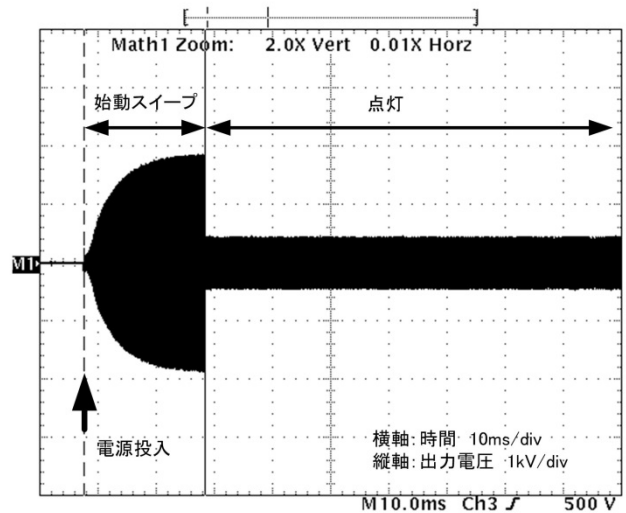


図6 始動時のインバータ出力電圧波形

とは実用上困難であり<sup>10)</sup>，始動時には，高い周波数から点灯中の周波数へ駆動周波数を徐々にシフトさせて動作点に漸近させていく始動スweep方式を採用している(図6)．この回路の採用により駆動周波数 135 kHz でもランプ始動の安定動作が可能となった．

### 4. 調光回路

駆動周波数の切替制御を行い，無電極ランプが点灯、消灯を繰り返す点滅調光方式を採用している．図7は調光動作の誘導コイル電圧を示しており，点灯期間  $T_{on}$  では駆動周波数  $f_{on}$  (135kHz)、消灯期間  $T_{off}$  では駆動周波数  $f_{off}$  ( $>135kHz$ )として周期的に駆動周波数を切り替えている．なお点灯期間の駆動周波数  $f_{on}$  は，誘導コイルを含む共振回路の共振周波数付近に選択され，消灯期間の駆動周波数  $f_{off}$  は無電極ランプが点灯維持できない範囲に設定される．また，点滅の繰り返し周波数はちらつきを感じない周波数が選択され，点

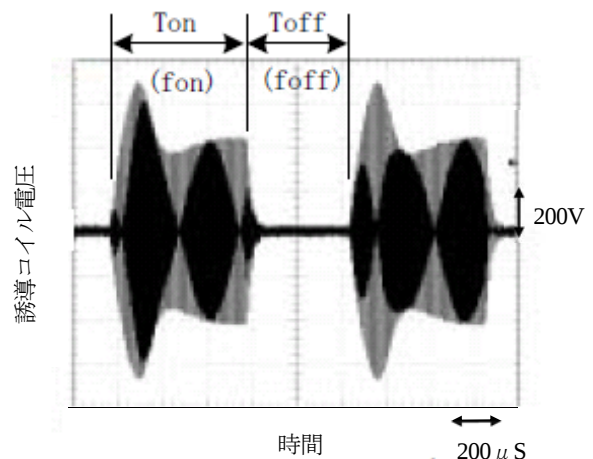


図7 調光時の誘導コイル両端電圧波形

灯期間 Ton、消灯期間 Toff のデューティー比は所定の調光出力となるように決定されている。この点滅調光方式により 50% 段調光タイプの 50W 無電極ランプシステムを試作したところ安定して調光動作が可能であることを確認できた。調光機能を有することによりセンサやタイマと組み合わせることで、さらに省エネルギーに寄与するものと考えられる。

## 5. システムの性能

誘導型無電極蛍光ランプシステムの外観を図 8 に性能を表 1 に示す。電源電圧 AC100(200)～242 V の広範囲な入力電圧に対応でき、また駆動周波数を 135 kHz に選択してスイッチング回路を適用したことにより、50W において 80lm/W を超える誘導型無電極ランプとして世界最高の総合効率が得られている。高い総合効率を達成できたことにより、照明機器のランニングコストをさらに低減できるとみられる。同等出力の水銀灯を置き換えるとシステム電力を大幅に低減でき一層の CO<sub>2</sub> 排出削減に貢献できる。

表 1 システムの性能

|        | 新方式      | 従来方式      |
|--------|----------|-----------|
| 駆動周波数  | 135kHz   | 13.56MHz  |
| 発振回路   | CR発振方式   | 水晶発振方式    |
| 回路効率   | 91%      | 78%       |
| 総合効率   | 82.7lm/W | 71.1 lm/W |
| 始動スロープ | あり       | なし        |

## 6. ま と め

従来の外巻コイル方式からフェライトコアを用いた内巻コイル方式に変更し、駆動周波数を 13.56 MHz の約 100 分の 1 である 135 kHz にまで下げてスイッチング技術を適用することにより点灯システムの損失を大幅に低減できることがわかった。その結果、光出力 50W で 80 lm/W を越える総合効率を有する誘導型無電極ランプシステムを実用化することができた。加えて、さらなる省エネルギーニーズに対応するために無電極ランプ固有の点滅調光技術も開発できた。この誘導型無電極ランプシステムは、高効率であるとともに 6 万時間という長寿命を実現しているため一般の蛍光灯や

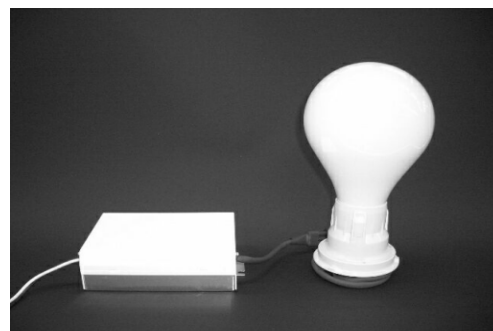


図8 誘導型無電極ランプシステム外観

水銀灯と比べてランプ交換の頻度も少なくかつ産業廃棄物も減少し、省エネルギー・省メンテナンス・省資源に広く貢献できる。今後街路灯・トンネル灯など、景観照明や交通照明をはじめ様々な用途への展開普及が期待される。

## 参 考 文 献

- 1)Shinomiya et al. : The Electrodeless Fluorescent Lamp “Everlight”, Technical Report of Matsushita Electric Works, vol.47, pp. 3-7 (1994) .
- 2)Masumoto et al. : Development of lighting system for high power electrodeless fluorescent lamps, Proc. of 2000 Annual Conf. of IEIJ, pp.59 (2000) .
- 3)Shinomiya: Electrodeless Fluorescent Lamps, J. Illum. Engng. Inst. Jpn., vol. 82-6, pp.394-7 (1998) .
- 4)Beppu : New Lighting of Town — The Trend of Lighting Fixture —, J. Illum. Engng. Inst. Jpn., vol. 84-9, pp. 694-7 (2000) .
- 5)Arakawa et al. : Low Frequency (480kHz) Driver Electrodeless Self-Ballasted Fluorescent Lamps, J. Illum. Engng. Inst. Jpn.,vol. 87-12, pp. 746-750 (2003) .
- 6)Kido et al. : High Efficacy & Low Frequency Electrodeless Lamp System ‘Ever light’, Technical Report of Matsushita Electric Works, vol.53. No.1, pp. 10-15 (2005) .
- 7)Hiramatsu et al. : High-Output Electrodeless Fluorescent Lamp System, Technical Report of Matsushita Electric Works, vol.55. No.3, pp. 18-22 (2007) .
- 8)Makimura et al. : A study of electronic ballast for low frequency, low power electrodeless lamp, Proc. of 2007 Annual Conf. of IEIJ, pp.67 (2007) .
- 9)H.Kakehashi,K.Hiramatsu,S.Hizuma,O.Popov,R.Chandler and J.Maya, : Effect of Induction Coil Factor on Efficacy of ~ 100kHz Electrodeless Fluorescent Lamps”, Proceedings of the 10th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, pp.441-442, (2004) .
- 10)Kurati et al. : Operating Frequency Control for Low-frequency Electrodeless Discharge Lamp Ballast, Proc. of 2003 Annual Conf. of IEIJ, pp.37 (2003) .