高圧水銀ランプ連続調光式点灯回路の電力変動低減化

非会員 黒住 正明*

非会員 家村 拓雄**

非会員 鷲宮 秀幸***

正員 家村 道雄***

A Method of Reducing Fluctuations of Lamp Power in a Continuous Dimmer Circuit for High-Pressure Mercury Discharge Lamps

Masaaki Kurozumi*, Non-member, Takuo Iemura**, Non-member,

Hideyuki Wasimiya***, Non-member, Michio Iemura***, Member

In order to reduce fluctuations of lamp power and maintain constant power in a continuous dimmer circuit in high-pressure mercury discharge lamps, the authors propose to add a supplementary control circuit on the continuous dimmer circuit. This supplementary control circuit is equipped with a photosensor to control the levels of light.

Moreover, we connect the by-pass circuit to the tap of ballast which is close to the power source side. The addition of a by-pass circuit, in which circuit constant is adjusted to reasonable value, make it possible to improve power factor and reduce harmonic current.

キーワード : 連続調光式点灯回路, バイパス回路, 正弦波電流, 電力変動, 高調波電流

Keywords : continuous dimmer circuit, by-pass circuit, sinusoidal wave current, fluctuation of power, harmonic currents

1. まえがき

高圧水銀ランプ一般形点灯回路の調光方式として、段調光方式が省エネルギー化の目的で道路、公園あるいは工場の照明用に用いられている。この方式は安定器のインピーダンスをリレー制御により 2 段階で加減し、定格とその約 60% の 2 通りの消費電力で点灯する。この方式による安定器の入力電流のひずみ率は 10~15% と大きく、電源電圧の波形に悪い影響(ひずみ)を与えることになる。

筆者らは高圧水銀ランプ連続調光式点灯回路の安定器巻線途中にバイパス回路を接続することで高調波電流低減化が可能であることを報告した⁽¹⁾。この高圧水銀ランプ連続調光式点灯回路は、電源側の電圧が変動するとランプ電力が著しく変動する特性がある。さらに、調光をかけ、ランプ電力を低くして使用した状態で電源電圧を変動させるとランプ電力の変動がさらに大きくなり、ランプの立ち消えが

発生する。

本論文では、上記提案の回路構成の問題を踏まえて、連続調光回路に光センサーを用いた光量補正制御回路を付加し、ランプ電力の変動を補正することにより連続調光回路の電力変動低減化と立ち消えの発生を抑えることを可能とする。本回路方式により、ランプ電力の変動を抑えた状態で電源側高調波電流を著しく低減させ、力率もほぼ 100% に近づける。すなわち、連続調光式点灯回路の電力変動低減化と高調波電流低減化及び力率改善法を定格ランプ電力 200W の点灯回路で示す。

2. 電力変動低減形連続調光式点灯回路

高圧水銀ランプ連続調光式制御回路を図 1 に示す⁽²⁾。

連続調光式点灯回路により、導通角を調整することでランプ電力を制御すると電源電圧の変動によるランプ電力の変動が遅相形点灯回路と比べて 2 倍近く大きくなる特性を示す。このため安定した調光がなされたとは言えない。また連続調光式点灯回路は立ち消えを起こし易い回路であるため、一般的には図 1 のように制御素子であるトライアックと並列にコイル L_t を入れ、防いでいる。しかし、制御回路の小型化、低コスト化の面からは好ましくない。この連続調光式点灯回路の電力変動の低減及び立ち消えの発生を防ぐ方法として、調光回路に導通角を光センサーにより補正制御する回路を加える。図 2 に光量補正制御回路を付加

* 宮崎県教育研修センター
〒880-0835 宮崎市阿波岐原町前浜 4276-729
Miyazaki Prefectural Education Center
4276-729 Maehama Awakigahara, Miyazaki 880-0835

** (株)九電工東京支店
〒170-6035 東京都豊島区東池袋 3-1-1 サンシャイン 60 35 階
Kyudenkou, Co., Ltd
3-1-1 Higasi Ikebukuro Toshima-ku, Tokyo 170-6035

*** 崇城大学 (旧名: 熊本工業大学)
〒860-0082 熊本市池田 4-22-1
Sojo University
4-22-1, Ikeda, Kumamoto 860-0082

図 1 高圧水銀ランプ連続調光式制御回路

Fig. 1. Continuous dimmer circuit with TRIAC for a high-pressure mercury arc lamp.

図 2 電力変動低減形高圧水銀ランプ連続調光式制御回路 (バイパス回路なし)

Fig. 2. Continuous dimmer circuit with TRIAC which reduces fluctuation of lamp power for a high-pressure mercury arc lamp (non-by-pass circuit).

した電力変動低減形連続調光式点灯回路を示す。電源電圧の上昇と共にランプ電圧が上昇し、光量が増すと光センサーである Cds の抵抗値が小さくなる。ベース・ブリーダ抵抗となる可変抵抗 VR の電圧が上昇するため、コンデンサへの充電電流であるトランジスタのコレクタ電流が減少する。よって充電に要する時間が長くなることで UJT 移相回路のパルス間隔が広がり、トライアックの導通角が小さくなるように補正制御がかかるため、ランプ電流を減じて暗くする方向に電力変動を低減する。また電源電圧が降下し、光量が減少した場合は、上記と逆の制御がかかり、UJT 移相回路のパルス間隔が狭くなり、トライアックの導通角が大きくなるように補正制御がかかるため、ランプ電流を増加させ明るくする方向に電力変動を低減する。よって立ち消えの発生に対しても防ぐ方向で常に制御がかかるため、立ち消えを起こしにくい回路となる。すなわち調光回路を電力変動低減形とすることで遅相形点灯回路同等以上の低変動特性を得ることができる。電力変動を低減する手法として他の制御方式も考えられるが、安定した光量を得る観

図 3 電力変動低減形高圧水銀ランプ連続調光式制御回路

Fig. 3. Continuous dimmer circuit with TRIAC which reduces fluctuation of lamp power for a high-pressure mercury arc lamp.

点から、本手法を用いた。しかし、この制御回路は新たに高調波電流等の発生原因ともなり、電源電圧波形のひずみ率を悪化させる。そこで本論文では、図 3 のようにこの制御回路を安定器巻線のランプ側に置き、制御回路の電源も含めた状態でさきに報告している安定器巻線途中にバイパス回路を接続することで同時に高調波電流低減化も可能とした。

3. 実験方法

筆者らは、さきに連続調光式点灯回路におけるシミュレーション方法を報告している²⁾。連続調光式点灯回路では安定状態でシミュレーションを行った。電力変動低減形連続調光式点灯回路では光量によるフィードバック制御がかかるため、以下のようにシミュレーションで求めた回路定数をもとに、電源電圧として 200V 60Hz の正弦波電圧を印加し実験により考察する。電源には非正弦波電流が流れてもほぼ正弦波電圧を発生する電力増幅器を用いた。

実験は、高圧水銀ランプ連続調光式点灯回路と高圧水銀ランプ電力変動低減形連続調光式点灯回路の 2 つの回路において、比較検討を行う。

調光状態としては、定格電圧 200V において導通角がほぼ 180° のランプ電力が最大となる時と、導通角を調節してランプ電力が 175W, 150W, 125W, 100W となるように調光を行う。この 5 つの調光状態の下で電源電圧を 180V~220V まで 5V 間隔で変化させる。

それぞれの電力に調光した場合について、電源電圧の変動に対するランプ電力の変動を求め、さらに力率、電源電流のひずみ率などを調べる。

〈3・1〉 連続調光式点灯回路にバイパス回路を設けた場合 図 1 に示すように、安定器巻線の途中に高調波電流を低減するためのバイパス回路を設けた回路で L_l を除いた状態で実験を行う。定格ランプ電力 200W 点灯回路の安定器巻線の定格インダクタンスの値はほぼ $L=0.194H$ で、安定器巻線途中からバイパス回路を設けて力率を 1 に近づけるために、 C_b の値を大きくするとバイパス回路の基本波インピーダンスが小さくなり、ランプの基本波インピーダンスも小さくなる。そのためランプの電流が大きくなりすぎる。すなわち、 $L=0.194H$ で、バイパス回路を設けるとランプの

図4 導通角 135°, 90° 調節例

Fig. 4. Examples of 135° and 90° conducting angle.

電流，電力を JIS 規格内に保つことができない。そこで， L を大きくする必要がある。 $L=0.26\text{H}$ で電源側より 1/5 タップ位置にバイパス回路を設けると電源電流のひずみ率を 3% 以内に改善でき，ランプ電流，電力を JIS 規格内に保つことが可能である。ランプに流れる高調波電流は，第 3 調波電流が最も大きいので，バイパス回路の L_b と C_b の回路定数は第 3 調波 ($3 \times 60\text{Hz}$) をバイパス回路の共振周波数とし，シミュレーションにより求める。本実験ではシミュレーションで求められた L_b の値に近い 75mH のコイルを使用した。さらに，次式から C_b を算出する。

$$(L_b - M) = \frac{1}{(3 \times 2\pi \times 60)^2 \cdot C_b} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし， M は L のタップより電源側，ランプ側のそれぞれのインダクタンスの相互インダクタンス

電源電流のひずみ率が小さくなり，電力最大時において定格電圧で電源側に力率がほぼ 100% の正弦波電流が流れるための C_b の値を微調節する。ここで，最適な C_b の値は $19.9\mu\text{F}$ であった。

実験は，まず導通角を最大にして電源電圧として 200V 60Hz の正弦波電圧を印加する。ランプが安定状態に到達後，電源電圧を 180V～220V まで 5V 間隔で徐々に上げていく。それぞれの電圧においてランプ側の電力，電圧，電流，そして電源側の電力，電流，さらに電源側の力率や電源電流のひずみ率を求める。また，ランプ電力を 175W～100W に調節した状態で同様に測定を行った。

下記に示される図 5 が，連続調光回路の電源電圧の変動に対するランプ電力の変化を示したものである。

図 5 からわかるように，電源電圧の変動に対するランプ電力の変動が大きく，電源電圧低下により，導通角を小さく調光するほど点灯を持続することができない。

〈3・2〉 電力変動低減形連続調光式点灯回路のみの場合

図 2 のように，電力変動低減形連続調光式点灯回路の場合も同様に実験を行っていく。

安定器巻線は 194mH を使用する。また，光センサーは光量の変化に対する感度が高いランプとの距離 50cm をとり

図5 電源電圧に対するランプ電力の特性

Fig. 5. Characteristics of lamp power for voltage.

図6 電源電圧に対するランプ電力の特性

Fig. 6. Characteristics of lamp power for voltage.

図7 電源電圧に対する電源電流のひずみ率の特性

Fig. 7. Characteristics of distortion for voltage.

セッティングする。実験方法は，前の実験と同様にまずランプ電力が最大になるように導通角を調整して，ランプが安定状態になったら電圧を 180V から 220V まで 5V 間隔で変動させていき，そのときの電力や力率，電源電流のひずみ率を調べる。さらに，ランプ電力を 175W，150W，125W，

図 8 電源電圧に対する力率の特性
Fig. 8. Characteristics of power factor.

(c) Adjusted to 150W

(a) Adjusted to 100W

(d) Adjusted to 175W

(b) Adjusted to 125W

(e) Maximum lamp power

$e : 100V/div, i : 2A/div$

図 9 電源電圧と電流の波形
Fig. 9. Waveforms of voltage and current of power source.

100W に調整して電源電圧の変動に対するランプ電力の変動や力率、電源電流のひずみ率を求める。

図 6 は、電力変動低減形連続調光式点灯回路の電源電圧の変動に対するランプ電力の変化を示したものであり、図 7 が電源電流のひずみ率の変化、図 8 が力率の変化を示したものである。さらに、図 9 の写真は電源電圧 200V における電源電圧・電源電流の波形を表したものである。

図 6 から電力変動が低減されていることが明らかにわかる。しかし、図 7、図 9 から電源電流のひずみ率が非常に大きくなっている。また、図 8 から力率は 47% から 67% の範囲にあり、非常に悪いことがわかる。

175W の調光時において $\pm 50\text{W}$ の変動が生じているのは、光量が強すぎることで、光センサーである Cds の照度－抵抗特性が飽和状態に近くなっており、充分な制御が成されていないことによる。照度－抵抗特性の広い Cds を用いることで変動をさらに低減化することが可能である。

〈3・3〉 電力変動低減形連続調光式点灯回路にバイパス回路を設けた場合 図 3 に示したように、高調波電流をバイパスさせるバイパス回路を設けた回路にて実験を行う。バイパス回路用の安定器巻線の容量は、連続調光式点灯回路と同様に 0.26H を使用する。また、この安定器巻線の電源側に近い方から $1/5$ のタップ位置にバイパス回路を設ける。バイパス回路の回路定数は前の調光回路と同様にシミュレーションで求められた L_b 、 C_b の値を参考とした。前実験と同様に最適値として 75mH のチョークコイル L_b と $19.9\mu\text{F}$ のコンデンサ C_b を使用した。

この回路構成で、前述のようにそれぞれの導通角において電源電圧の変動に対するランプ電力の変動や力率、電源電流のひずみ率を求めていく。

図 10 は、電力変動低減形連続調光式点灯回路にバイパス回路を設けた場合の電源電圧の変動に対してランプ電力の変化を示したものである。図 11 が、電源電流のひずみ率の変化、図 12 が力率の変化を示したものである。さらに、図 13 の写真は電源電圧 200V における電源電圧・電源電流の波形を表したものである。

図 11 から電源電流のひずみ率のほとんどが 6% 以下に低減されており、また図 12 から力率は 75% からほぼ 100% に改善されていることがわかる。

〈3・4〉 ランプ電力および電源電流のひずみ率に関する考察 連続調光式点灯回路と電力変動低減形連続調光式点灯回路のそれぞれにおいて、バイパス回路を設けた場合の電源電圧の変動に対するランプ電力の変動を図 14 に示す。さらに、バイパス回路あり、なしのそれぞれのときの電源電流のひずみ率を同じく図 14 に示す。図 14 は、調光を最大にしたとき、175W に調光、150W に調光、125W に調光、100W に調光した 5 つの条件において、それぞれ電源電圧を 180V～220V までを 5V 間隔で変動させたときのランプ電力および電源電流のひずみ率の特性を比較したものである。また、図 15 の写真は、バイパス回路を設けた場合の 175W 調光時の電源電圧の変化に対する電源電圧と電源電

図 10 電源電圧に対するランプ電力の特性
Fig. 10. Characteristics of lamp power for voltage.

図 11 電源電圧に対する電源電流のひずみ率の特性
Fig. 11. Characteristics of distortion for voltage.

図 12 電源電圧に対する力率の特性
Fig. 12. Characteristics of power factor.

流の波形を表したものである。

まず連続調光式点灯回路と電力変動低減形連続調光式点灯回路のランプ電力変動結果を比較する。グラフの傾きから、調光状態においては電源電圧の変動に対するランプ電力の変動は明らかに低減化されていることがわかる。ただ

(a) Adjusted to 100W

(d) Adjusted to 175W

(b) Adjusted to 125W

(e) Maximum lamp power

(c) Adjusted to 150W

$e : 100\text{V/div}, i : 1\text{A/div}$

図 13 電源電圧と電流の波形

Fig. 13. Waveforms of voltage and current of power source.

し、導通角をほぼ 180° の最大にしたときは回路の特性上制御範囲がほとんど無いために制御が効いていない。光量補正制御回路は、電源電圧の上昇によりランプ電力が上昇すると導通角を小さくして上昇したランプ電力を下げる方向に制御が働く。また逆に電源電圧の低下によりランプ電力

が下がると導通角を大きくして下がったランプ電力をもとに補正しようと制御が働く。このため、導通角が大きい場合においては、ランプ電力の上昇に対して導通角を小さくして制御することが出来るが、電源電圧が低下してランプ電力が下がった場合においては、導通角が 180° 以上にはな

(a) Maximum lamp power

(d) Adjusted to 125W

(b) Adjusted to 175W

(e) Adjusted to 100W

(c) Adjusted to 150W

図 14 電源電圧の変動に対するランプ電力の変動と電源電流のひずみ率の比較

Fig. 14. Characteristics of lamp power and distortion for voltage.

らないためランプ電力を上げる方向に制御出来ない。今後の研究課題でもある。

100W 調光状態においては、67W の電力変動が 11W の変動にまで低減化されている。100W から 175W の各調光電力値の変動を平均して 50%程度の低減化が可能である。さらに連続調光式点灯回路の電源電圧の変動特性では、電源電圧が定格電圧より下降するとランプ電力が急激に下がり、導通角が小さい程、点灯状態を維持することが困難となり立ち消えを発生してしまう。図 14 の連続調光式点灯回路の実験結果において定格電圧より低下している場合のランプ電力実験データが得られていないのはこのためである。しかし、電力変動低減形連続調光式点灯回路はランプ電力が低下し光量が減少するとそれを補正するため導通角を大きくしてランプ電力を増加させる。よって電源電圧の広範囲

な変動に対してもランプの点灯状態を常に維持する方向に光量補正制御が働くため、安定した連続点灯が可能となる。

次に電源電流のひずみ率について考察する。電力変動低減形連続調光式点灯回路は、制御回路から発生する高調波成分も加わるため電源電流のひずみ率が大きくなる。この改善方法として、著者らがさきに報告している安定器巻線途中からのバイパス回路を用いた電流波形の一改善法を適用する。

電力変動低減形連続調光式点灯回路のみの場合と電力変動低減形連続調光式点灯回路にバイパス回路を設けた場合の実験結果を電源電流のひずみ率等に関して比較してみる。

図 14 より、電力変動低減形連続調光式点灯回路のみの場合は、電源電流のひずみ率において 10%以上、最大 28%と電源の電流波形が非常に悪い。

(a) Supply voltage 180V

(d) Supply voltage 210V

(b) Supply voltage 190V

(e) Supply voltage 220V

(c) Supply voltage 200V

$e : 100\text{V/div}, i : 1\text{A/div}$

図 15 電源電圧と電流の波形

Fig. 15. Waveforms of voltage and current of power source.

電力変動低減形連続調光式点灯回路にバイパス回路を設けた場合、電源電流のひずみ率のほとんどが6%以下に押えられていることが分かる。したがって、バイパス回路を設けることにより、電源電流のひずみ率を大きく改善することができる。さらに、力率も図8と図12の比較から、前述

したように47%から67%の範囲にあったものが、バイパス回路を設けることにより、75%からほぼ100%にまで大きく改善された。図9と図15の比較からも高調波電流が低減され、力率が改善されていることが明らかである。

また、電源電圧の変動に対するランプ電力の変化におい

ては、実験結果を見る限りバイパス回路を設けたときが最も変動が少ないことがわかった。バイパス回路を設けたことにより、ランプの基本波インピーダンスが小さくなるため、安定器巻線の自己インダクタンスの値を定格より大きくした。そのことでランプ電圧が低下し、同等のランプ電力を得るに必要なランプ電流の基本波が増加したため、導通角による電流の制御が、効果的に働いたものと考えられる。

4. まとめ

筆者らは高圧水銀ランプ電力低減形連続調光式点灯回路について検討した。本研究で次の事項が明らかになった。

(1) 連続調光式点灯回路において、光センサーによる電力変動を補正する制御回路を付加することにより、電源電圧の変動によるランプ電力の変動を 100W 調光においては 17%，各調光電力値の変動を平均して 50% 程度まで低減できた。さらに、電源電圧が定格電圧以下となった場合も、点灯状態を維持する方向に補正制御が働くため、立ち消えの発生を抑え安定した連続点灯を可能とした。

(2) 制御回路を安定器巻線のランプ側に置くことで、高調波を低減するバイパス回路が制御回路も含めた状態で適用される。すなわち、連続調光式点灯回路の電流波形と力率の一改善法²⁾を適用し、適正値を求めた回路定数のバイパス回路を設けることで力率と電源電流のひずみ率の改善を可能とした。

以上のように、光量補正制御回路を付加した定格ランプ電力 200W の連続調光式点灯回路において電源電圧の変動に対するランプ電力の変動低減と安定した連続運転を実現した。また、連続調光式点灯回路の電流波形と力率の一改善法²⁾を適用した回路定数によるバイパス回路を設けることにより、力率の改善と高調波電流低減化を実現した。なお、各種定格ランプ電力の連続調光式点灯回路においても光量補正制御回路を付加することにより、電源電圧の変動に対するランプ電力の変動低減と安定した連続運転が可能と思われる。

(平成 14 年 9 月 12 日受付，平成 15 年 2 月 27 日再受付)

文 献

- (1) M.Iemura, T.Nakamura, M.Kurozumi, and J.Yamaguchi : "Discussions of same phase high-pressure mercury lamp operating circuits", *T. IEE Japan*, Vol.115-A, No.11, pp.1062-1071 (1995-11) (in Japanese)

家村道雄・中村 格・黒住正明・山口純一：「高圧水銀ランプ同相形点灯回路の考察」，*電学論 A*, **115**, No.11, pp.1062-1071 (1995-11)

- (2) M.Iemura, H.Sakamoto, M.Kurozumi, and J.Yamaguchi : "Method to improve Current Wave Forms and Power Factor in the Continuous Dimmer Circuit for High-Pressure Mercury Discharge Lamps", *J. Illum. Engng. Inst. Jpn*, Vol.80 (1996) (in Japanese)

家村道雄・坂本 浩・黒住正明・山口純一：「高圧水銀ランプ 連続調光式点灯回路の電流波形と力率の一改善法」，*照明学誌*, Vol.80 (1996)

黒 住 正 明

(非会員) 1963 年 10 月 17 日生まれ。1986 年 3 月宮崎大学工学部電気工学科卒業。同年新日本製鐵(株)入社。1987 年九州松下電器(株)入社，電子制御機器の開発に従事。1991 年～2003 年宮崎工業高校，延岡工業高校(情報技術科主任，教務主任)。2003 年宮崎県教育研修センター指導主事，現在に至る。放電ランプ点灯回路の高調波電流低減化に関する研究に従事。照明学会，電気設備学会会員。

家 村 拓 雄

(非会員) 1971 年 7 月 1 日生まれ。1996 年 3 月熊本大学工学部電気情報工学科卒業。同年(株)九電工入社。現在，九電工東京支店勤務。

鷲 宮 秀 幸

(非会員) 1933 年 11 月 14 日生まれ。1961 年 3 月東京都立大学理学部物理学科卒業。同年日本放送協会入局。1990 年熊本工業大学(現 崇城大学)講師，1991 年同教授，現在に至る。理学博士。電気電子材料物性，電子電気機器の電磁界解析に関する研究に従事。応用物理学会，日本応用磁気学会，電気設備学会，電子情報通信学会会員。

家 村 道 雄

(正員) 1937 年 1 月 4 日生まれ。1961 年 3 月鹿児島大学工学部電気工学科卒業。1964 年～92 年宮崎県立日向工業高校，都城工業高校，宮崎工業高校(生徒指導主事，電気科主任)。同年 4 月熊本工業大学(現 崇城大学)講師。1997 年 4 月同教授となり，現在に至る。この間，放電ランプ点灯回路の高調波電流低減化に関する研究に従事，工学博士。1981 年オーム奨学賞，1992 年 6 月第 3 回電気設備学会賞受賞。照明学会，電気設備学会会員。