点 灯 制 御 回 路†

専門会員 浦 山 隆*

1. は じ め に

最近10年間の照明工学の動向を見ると、1973年に発生した石油ショック以来、省エネルギー、省資源に対する社会の関心が高まる中で大きな変革を受けて来た。

省エネ、省資源の課題に対し、資源、エネルギーの有効利用の観点から、光源については一層の高効率化、長寿命化ならびに高演色性の追求を目標とし、点灯制御回路については電力用半導体素子の進歩と、これを使った電力制御技術の発達に伴い、これを照明技術に導入して高効率化、小型・軽量化、高機能化を推進することが技術開発の柱として重要視されて来た。

また、近年、省電力を指向したクリプトン封入の省電力形蛍光ランプ、高演色性と高効率化を指向した3波長域発光形蛍光ランプの実用化、コンパクト蛍光ランプやHIDランプの低ワット化など、白熱電球代替用小型放電ランプの実用化も進み、多様なニーズにこたえる光源システムの研究開発が盛んになっている。

点灯制御回路には、狭義の①放電灯の点灯回路と、広義の②昼光利用など、エネルギー管理も含めた照明トータルシステムの制御回路などがあるが、ここでは前者の点灯回路電子化について、その動向を概観する。

なお点灯回路の動向と展望に関しては、すでに電気学会：放電灯安定器調査専門委員会において、詳細な調査研究が行なわれ、その結果は技術報告(Ⅱ部) 172号にまとめられている。また現在、照明学会では電子点灯回路の実用化研究調査委員会で、安定器電子化の動向と技術課題について調査研究中である。

ここで述べる事項は、両委員会で検討されて来たものをまとめたものである。

2. 安定器電子化の最近の動向

表1は最近10年間の安定器電子化の経緯を示す。

安定器の具備すべき機能には、(a)ランプ始動に必要な電圧・電流の供給、(b)点灯を維持するための限流作用、(c)再

表1 電子点灯回路の実用化の経緯

低圧放電ランプ	年 代	高圧放電ランプ
・低圧ナトリウムランプ用安定器に半導体スタータ使用(イギリス)	1975年 1976年	・半導体を使用した高圧水銀ランプ用調光装置の実用化(アメリカ)
・蛍光ランプ用毎半サイクル点弧形電子安定器の実用化 ・40 W 蛍光ランプ用トランジスタインバータ形電子安定器の実用化 ・マイクロプロセッサ使用による省電力化照明点滅制御システムの実用化	1977年 1978年	・高圧水銀ランプ用安定器使用可能、始動器内蔵高圧ナトリウムランプの実用化
・110 W 蛍光ランプ用トランジスタインバータ形電子安定器の実用化	1979年	・HIDランプ用位相制御形電子安定器の実用化 ・電球代替用高周波インバータ内蔵小ワットメタルハライドランプの発案(アメリカ)
・非線形セラミックコンデンサを使用した半導体スタータの実用化 ・安定器内蔵小型蛍光ランプの実用化 ・蛍光ランプ用トランジスタインバータ形電子安定器の効率改善(40~110 W) ・トランジスタインバータ使用家庭用蛍光灯器具およびシャンデリアの実用化	1980年	
・40 W 蛍光ランプ低電圧(100 V)点灯方式の実用化 ・20~65 W 蛍光ランプ用グロー管ケース内蔵半導体スタータの実用化(イギリス)	1981年	
・総合効率100 lm/Wの高効率蛍光灯照明システム電子安定器の開発	1982年	
	1983年	・高圧ナトリウムランプ用毎半サイクル点弧形電子安定器の実用化
・毎半サイクル点弧方式による蛍光ランプ2灯直列点灯回路の実用化 ・高周波点灯方式による蛍光ランプ2灯直列点灯回路の実用化 ・蛍光ランプ用一石トランジスタインバータの実用化 ・電球代替蛍光ランプ用高周波点灯回路の実用化	1984年 1985年	・50 W 高圧ナトリウムランプ用位相制御形電子安定器の実用化

† Operating Circuit for Discharge Lamps

* 立命館大学理工学部電気工学科

Takashi Urayama

点弧電圧の確保の三つがある。これらの機能をどのように電子化して実現するかについては、これまで多くの提案がなされて来た。

さきの電気学会：放電灯安定器調査専門委員会では、電子安定器をその機能より次の四つのタイプに分類、整理した¹⁾。

- (a) 半導体スタータ形安定器
- (b) 毎サイクル点弧形安定器
- (c) 位相制御形安定器
- (d) 高周波点灯形安定器

以下、各タイプについて最近の動向について述べる。

(1) 蛍光ランプ点灯回路

(a) 半導体スタータ形安定器

最初、グロースタータに代わって、始動時間を短く、長寿命なスタータとして半導体スタータが開発された²⁾。

これは後に、安定器と一体化され半導体スタータ形安定器（あるいはハイブリッド安定器）に発展した。この安定器は、ランプ始動に必要な始動電圧は半導体スタータより供給し、ランプ点灯後は半導体スタータの機能を停止するとともに放電を維持するための限流作用は、従来のチョークコイルで行なうようにしたものである。この安定器は半導体スタータを使うことによって、これまで始動電圧確保のために使っていたリーケジトランスをチョークコイルですむようにして、安定器を小型・軽量化、低損失化を図っている。これによって、当時のラビッドスタータ形安定器に比べ入力比11％、体積比40％、重量比60％それぞれ減少し得たとの報告がある³⁾。

その後、多数の回路が提案されているが⁴⁾、グロースタータに比べ高価であること、専用の安定器を必要とすることなどのため、グロースタータにとって代わるところまで行っていない。

図 1 非線形コンデンサを使って半導体スタータ

最近では、図 1 に示すようなニューセラミックを使った非線形コンデンサを使ったものなど、新しい電子デバイスを使った半導体スタータも実用化されている⁵⁾。低コスト化が進めば、たとえば電球代替用コンパクトランプ用のような、瞬時点灯が望まれる用途を中心に普及拡大するものと思われる。

(b) 毎サイクル点弧形安定器

半導体スタータは、ランプ始動時にだけ作動するのに対し、毎サイクル点弧形安定器は、電源周波の半サイクルご

とに点弧パルスを発しランプの点灯を維持させるもので、これによってランプ電圧を電源電圧に近づけ、安定器の限流負担を軽減することによって、安定器を小型・軽量化、低損失化を図っている。

昭和58年（1978年）に実用化された間欠発振を利用した毎サイクル点弧形安定器では、入力電力比（総合効率）で約10％改善できるとともに、重量比50～70％、体積比20～40％それぞれ軽減できたとの報告がある⁶⁾、この方式には、このほか LC 昇圧形のもの⁷⁾⁸⁾、パルス印加形のもの⁹⁾ などがある。

図 2 毎サイクル点弧形安定器の基本回路

最近では、図 2 に示すような毎サイクル点弧形安定器に調光回路を加えた 2 灯直列点灯形のものも実用化されている。4 灯シャンデリアに適用した場合は表 2 に示すように改善できる。

表 2 主要特性比較

	毎サイクル点灯回路	当社従来回路
電源電圧 (V)	100	100
入力電力 (W)	122	132
入力力率 (%)	84～92	58
調光度 (%)	60	—
始動時間 (秒)	1	2～5
重量 (kg)	1.05	1.85

この形の安定器を小型にするには、電源電圧とランプ電圧がほぼ等しいことが必要条件であり、適用できる既存のランプに制限がある。今後この方式の安定器の特徴を生かした照明器具の普及拡大を図るには、本方式に最適な専用ランプの開発が必要である。

(c) 高周波点灯形安定器

上記 2 方式は、いずれも商用周波電源による点灯方式であり、安定器の小型・軽量化、低損失化には限界がある。これに対し高周波点灯した場合は、

- (ア) インダクタは小型になる
- (イ) 蛍光ランプの発光効率が向上する
- (ウ) フリッカ、ストロボ効果が軽減される
- (エ) 調光、瞬時点灯など高機能化が可能

など、商用周波点灯では得られない利点が多く、今後は蛍光灯安定器の主流になるものと思われる。高周波点灯回路の基本構成は図 3 のようなブロック図で示される。そのうち高周波変換部分には、a) 定電流プッシュプルインバータ、b) 一石ブロッキングインバータ、c) シリーズイン

図 3 高周波点灯回路のブロック図

図 4 プッシュプルインバータ式高周波安定器 (無平滑タイプ)

バータ等が採用されている。

定電流プッシュプルインバータ式は、整流後平滑して完全な直流を得るようにすると、ランプの発光効率は向上するが入力力率が低下する欠点がある。入力力率を高力率に維持するため、たとえば図4に示すような商用周波電源を整流後平滑しないまま高周波変換する無平滑形の実用化された¹¹⁾。これを省電力形110W蛍光灯ランプに適用した場合、従来形安定器に比べ総合効率21%アップ、重量比26%軽減されたが、体積比では回路を構成する部品点数が多いことなどのため6%減にとどまっている。無平滑のまま高周波変換し点灯すると、ランプ電流に休止期間が生ずるので発光効率が1~2%程度しか向上しない。そのため入力力率を高力率に保ったまま発光効率も向上し得よう直流平滑回路に改良が加えられ、たとえば図5のような部分平滑形プッシュプルインバータ式が実用化された¹²⁾。

図 5 プッシュプルインバータ式高周波安定器 (部分平滑タイプ)

この方式では、たとえば40W2灯用で従来形安定器に比べ総合効率22~30%アップ、重量比30~50%の軽量化が達成された。さらに高効率化をはかる試みが行なわれ、高周波専用の3波長蛍光ランプと組み合わせ、総合効率100lm/Wが達成された¹³⁾¹⁴⁾。

一石ブロッキング発振形のは、当初、主に車両用に使用されて来たが、電力変換効率が70%と低く普及するに至らなかった。近年、回路の簡素化によって小型・軽量化そして高効率化、低価格化を図る目的で、図6のような

図 6 一石他励式インバータ形高周波安定器

一石他励式インバータ式が開発され、電球代替用コンパクトランプや蛍光灯スタンド用に実用化されている¹⁵⁾。

(2) HID ランプ

HID ランプでは、全入力電力に占める安定器損失は蛍光灯のその半分程度であり、安定器の損失軽減による効率向上のメリットは蛍光灯の場合ほど高くない。むしろ安定器の小型・軽量化のメリットのほうが大きい。

HID ランプを高周波点灯すると、音響的共鳴現象によるアークの不安定現象が生ずること、点灯周波数が変わると発光色が変わることなどの問題もある。これらの問題を回避するため、

商用周波電源による場合は、

(a) 位相制御方式

これは図7に示すように、チョークコイルを主コイルと補助コイルに2分割し、補助コイルには並列にTriacを接続し、Triacの位相制御によって始動時、点灯時のランプ電流を制御するもの、

図 7 位相制御形安定器の基本回路

(b) 毎サイクル点弧方式

高周波点灯する場合は、

(c) 100 kHz 以上の高周波で点灯する方式¹⁷⁾

(d) 計算機制御によって、アーク安定周波数領域を選択制御する方式¹⁸⁾

その他

(e) 直流点灯方式¹⁹⁾

などが検討されているが、(a)、(b)の方式で一部実用化されている以外は、まだ実験段階のもので、蛍光灯における高周波点灯方式のように確定した点灯方式はまだ無い、HID ランプには、音響的共鳴現象のほか始動時間、再始動時間の短縮の問題もあり、これらの課題を解決することが安定器電子化の大きなポイントである。

3. 今後の課題

電子安定器は、銅鉄形安定器にない優れた機能を有し、20年以上にわたる技術開発の歴史をもちながら、まだ十分に普及しているとはいえない。その理由は大きくは価格と

信頼性の問題であるが、その他にもまだ解決すべき課題が多い。

すなわち高周波点灯形安定器は総合効率、軽量化は一定の成果をあげているが、小型化は十分でない。そこで、

(a) 回路の簡素化、部品点数減、IC化など組立実装技術を改善して一層の小型化を図る。

(b) 回路効率の改善とランプ発光効率の向上によって、点灯システムの総合効率の向上を図る。

(c) Power Electronics 制御技術を活用し、安定器の高機能化、高付加価値化を図る。

これらの成果により、安定器の初期コストとランニングコストの低減をはかり、コストパフォーマンスを上げ、同時に他分野への用途拡大をはかる。

(d) ランプ寿命の改善と放熱等を十分考慮して、点灯システムの信頼性向上をはかる。

(e) HID ランプでは、音響的共鳴現象など HID ランプ特有の現象を回避し、小型・軽量化するための最適な点灯方式を早急に確立する。

(f) 交-直変換時に発生する高調波は、点灯システムの入力力率の低下をもたらすだけでなく、電源ラインの受電設備などに悪い影響を及ぼす。この問題は現在 IEC TC 77 で検討中であるが、これを低減するための技術開発を急ぐこと (Low pass filter の開発、高調波発生の少ない回路の開発)。

(g) ランプおよびその周辺から放射されるふく射ノイズは、赤外線リモコン等に障害を与えており、電力入出力線を通して外部に送出される導電ノイズとともに、OA 機器などインテリジェンス機器に障害を及ぼす恐れがある。現在 IEC TC 84 で検討されているが、高周波 filter、静電シールド技術などノイズ軽減対策が必要である。

安定器の電子化は、ランプの種類、電源の差異に無関係なユニバーサルな点灯回路の設計を可能にする。そして無電極放電ランプ²⁰⁾など、新しい発想によるランプの開発も進められている。今後これら新しいタイプのランプと安定器電子化技術の組み合わせにより、色調可変点灯回路²¹⁾など、新しい発想による点灯システムの開発が進展するであろう。

4. む す び

照明は夜間の人間生活環境を維持するうえでなくてはならないものである。そして照明は物を識別するためにだけあるのではなく、人間の生活環境を豊かにする空間作りをす

ることにこそ今後課せられた役割がある。

半導体を使った電力変換技術を駆使した電子安定器の開発は、点灯回路の高機能化、高付加価値化が可能である。

高度情報化時代、ソフト化の時代といわれる今日、多様なニーズにこたえる点灯システムは、安定器の電子化によってだけ可能であり、またこれによって新たな利用分野の創出、拡大が期待できる。

他方、半導体発光素子もめざましい発展をしており、光源システムを産業分野などへ、新たな利用拡大を図ろうとすると、これらと競合する場面も生ずるものと思われる。

今後は半導体発光素子も含めて、広く光パワーの制御、応用をめざす Power Optics の分野も生まれるだろう。その意味で、現在は照明システムに新しい境地を開く出発点であるように思われる。

文 献

- (1) 放電灯安定器調査専門委員会：電気学会技術報告 (II 部) 172号
 - (2) 小山ほか：Nat. Tech. Rep. 15 (昭44) 48
 - (3) 野村ほか：東芝レビュー 27-9 (昭47) 822
 - (4) 児玉ほか：照学誌 57-3 (昭48) 154
 - (5) 井上ほか：三菱電機技報 55-6 (昭56) 434
 - (6) 金田：電気学会；光源関連装置研究会 LS-77-13 (昭52)
 - (7) 吉田ほか：松下電工技報 No.19 (昭54) 62
 - (8) 西村ほか：電気学会；光応用・視覚研究会 LAV-81-28 (昭56)
 - (9) 井山ほか：電気学会；光応用・視覚研究会 LAV-81-27 (昭56)
 - (10) 小松ほか：昭59照明学会全国大会 24
 - (11) 小林ほか：東芝レビュー 33-7 (昭53) 571
 - (12) 乾ほか：昭57照明学会全国大会 32
 - (13) 延原ほか：昭58照明学会全国大会 35
 - (14) 四宮ほか：昭58照明学会全国大会 36
 - (15) 中川ほか：昭59照明学会全国大会 25
 - (16) 前田ほか：松下電工技報 No.20 (昭55) 25
 - (17) 中西ほか：照明学会；光の発生・関連システム研究会 LS-85-17 (昭60)
 - (18) 水野ほか：照明学会；光の発生・関連システム研究会 LS-85-16 (昭60)
 - (19) 腰原ほか：照明学会；光の発生・関連システム研究会 LS-85-18 (昭60)
 - (20) 児玉ほか：照明学会；光源システム研究会 LS-83-7~12 (昭58)
 - (21) 竜子：電気学会；光応用・視覚研究会 LAV-82-53 (昭57)
- (受付1986年8月1日)