

LED照明駆動用IPDの開発

Development of Driver IPD for LED Lighting

國松 崇 Takashi Kunimatsu 河邊 桂太 Keita Kawabe 石田 敏文 Toshifumi Ishida

要 旨

LED (Light Emitting Diode) 照明市場の発展に伴い、高力率や調光に対応可能なLED照明への要望が増えている。そこで力率補正機能や調光機能を内蔵し、フィードバック回路を使用しない定電流制御が可能なLED照明駆動用のIPD (Intelligent Power Device) を開発した。本製品は変換効率80 %以上、力率0.9以上の高力率を実現し、トライアック調光器に対応できる。

Abstract

With development of a Light Emitting Diode (LED) lighting market, LED lighting with high power factors and which are compatible with triac dimmers is called for. So we have developed an Intelligent Power Device (IPD) driver for LED lighting which can achieve a high power factor and is compatible with the triac dimmer function, and can perform constant current control without using a feedback circuit. This product achieved a high efficiency of more than 80 %, a high power factor of more than 0.9, and is compatible with a triac dimmer function.

1. はじめに

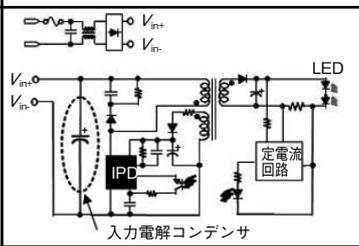
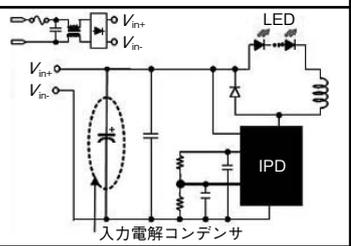
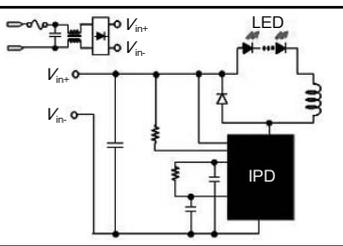
LED照明は低消費電力や長寿命という特徴があり注目されている。LED出力電流の増加に伴い、AC-DC電源と定電流回路を組み合わせた電源が製品化されている。

当社ではスイッチング電源の小型・軽量化を目指して、高耐圧パワー MOS-FET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) とそれを制御する制御回路や保護回路をワンチップに集積化したインテリジェント・パワー・デバイス (以下、IPDと記す) の開発を行っている。

当社のスイッチング電源用IPDは待機時消費電力の削減に有効であり、高い評価を得ている[1]。これまでに、本IPDの集積技術を応用して、LED照明駆動用IPDを製品化している[2]。

第1図 (a) に示すように、従来の一般的な構成のLED照明機器の駆動回路には下記のような課題があった。

- 変換効率
- 入力平滑コンデンサが必須
- 高力率駆動
- 調光機能

	(a)	(b)	(c)
	スイッチング電源用IPD (AC-DC変換+定電流制御)	従来LED照明駆動用IPD	新規LED照明駆動用IPD
回路			
回路規模	×	○	○
変換効率	×	○	○
入力電解コンデンサ	× (必要)	× (必要)	○ (不要)
力率改善	× (別途回路必要)	× (別途回路必要)	○ (追加回路不要)
調光機能	× (対応できない)	× (対応できない)	○ (対応可能)
定電流精度	○	×	○

第1図 LED照明駆動回路の比較
Fig. 1 Comparison of an LED lighting drive circuit

省エネへの対応として、一般的に高効率であることが求められるが、一般的な回路構成ではAC-DC変換した後さらに定電流ICを使用して定電流化を行うため定電流精度はよいが、変換ロスが増えるため変換効率が低い。

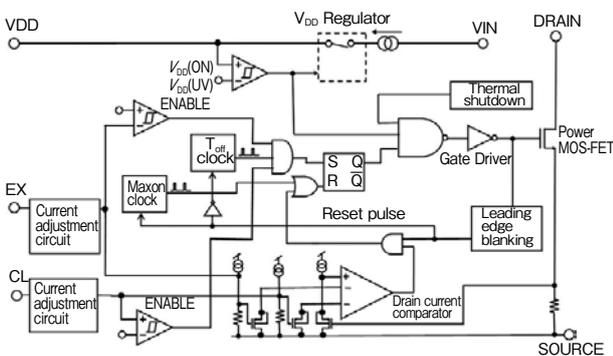
そこで、従来のLED照明駆動用IPDは部品点数削減と変換効率向上を目的として開発したが、いくつかの課題が残った。例えば、入力ラインに平滑用のアルミ電解コンデンサを必要とする。一般的にアルミ電解コンデンサは寿命が短いため、LED照明機器に使用されているとLED素子の長寿命というメリットを生かすことができない。

また、電気機器の省電力化を目的とした米国のエナジースターレベルでは、出力電力 $P_o > 5\text{ W}$ の照明器具には力率PF (Power Factor) > 0.7 が必要とされる。一般的に力率改善のためには、専用のPFC (Power Factor Correction) 回路が必要になるが、部品点数が多くなり、小型・コスト面で課題が生じる。また、電球型LED照明器具の場合、主用途が白熱電球の置き換えであるため白熱電球用の調光器に対応する必要がある。さらに、部品点数削減のためにフィードバック回路レス方式としたが、出力電流の定電流精度が課題であった。

そこで著者らは、入力平滑用アルミ電解コンデンサを用いない力率改善やトライアック調光に対応でき、フィードバック回路レスで高精度な定電流制御が可能なLED照明駆動用IPDの開発を行った。

2. LED照明駆動用IPDの概要

本製品は、第2図のブロック図に示すように制御回路部とパワー MOS-FETを内蔵し、パワー MOS-FETのドレインピーク電流値が一定となるように制御する。したがって、LEDにはドレインピーク電流値と等しいピーク電流が流れることになる。



第2図 LED照明駆動用IPDのブロック図

Fig. 2 Block diagram of driver IPD for LED lighting

従来のLED照明駆動用IPDとの違いは下記の4点である。

- (1) スイッチング制御方式
- (2) ドレインピーク電流値の調整
- (3) 入力電圧に応じた間欠発振制御
- (4) 定電流精度の向上

以下にその内容について述べる。

2.1 スイッチング制御方式

電源入力部に平滑用アルミ電解コンデンサを接続しない全波脈流波形で使用する場合、ドレイン電流波形の傾きは高入力電圧時に急峻であり、低入力電圧時は緩やかになる。

従来の電流モードPWM (Pulse Width Modulation) 制御では動作周期が固定されるため、低入力電圧時にドレインピーク電流検出値に達する前にターンオフし、正常な制御ができない期間が発生する可能性があった。

本製品の制御方式は、パワー MOS-FETのオフ時間を固定してドレインピーク電流検出値を検出するまでオン時間を延長するオフ時間固定制御方式である。したがって、ドレインピーク電流検出値が一定の場合、高入力電圧時のオン時間は短く、低入力電圧時のオン時間は長くなり、確実にドレインピーク電流値を検出することができる。

2.2 ドレインピーク電流値の調整

従来のLED照明駆動用IPDではドレインピーク電流検出値はあらかじめ決定された値から変化することはできない。

本製品では、CL端子に印加される電流値が増加すると、IPDはその電流値に応じてドレインピーク電流値を高く設定する。この制御により外部信号に応じてドレインピーク電流を調整することが可能である。

2.3 入力電圧に応じた間欠発振制御

さらに本製品は、CL端子への印加電流がある閾値（しきいち）以下の場合にパワー MOS-FETの発振を停止する。この機能を使用することにより入力電圧が一定レベル以下の期間に応じて、IPDの動作期間を調整することができる。

2.4 定電流精度の向上

従来のスイッチング電源用IPDを使用した定電流制御は、出力電流を定電流回路で検出し、その情報を制御回路側にフィードバックして発振周波数やオン時間を調整する。このような回路構成の場合、高い定電流精度を得

られるが、回路が複雑で部品点数が多く駆動回路の小型化を実現する上で課題となっていた。

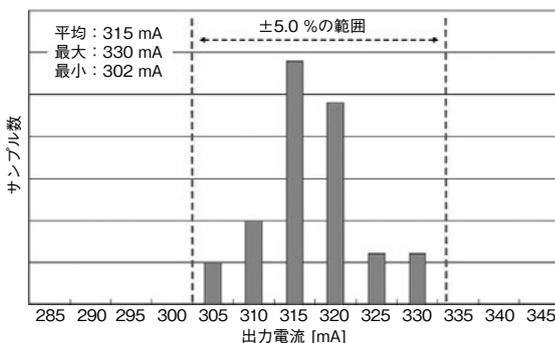
当社の新規LED照明駆動用IPDを用いた方式は、パワーMOS-FETのオン時間はLEDに流れるピーク電流値を検出して決定され、オフ時間はあらかじめIPDで設定されているため、フィードバック情報を必要としない。また、ピーク電流検出値はCL端子に印加される電流値に応じて変化するが、最大のピーク電流検出値はEX端子への印加電流値によってあらかじめ設定することができるので、セットの仕様に応じて調整することが可能である。

なお、本製品の駆動回路は、非絶縁降圧チョッパ回路構成を基本としているので、フライバック電源と比較するとトランスが不要なため電源変換効率が高い。

一方で、定電流精度はあらかじめIPDで設定されたピーク電流検出値やオフ時間に依存し、それらの値は製造ばらつきを含むため、フィードバック回路方式よりも低くなってしまふ。

そこで、今回この課題に対応するため、まず、特定の定数の駆動回路を用いて、実際の出力電流値とその出力電流値を決定するIPDのパラメータ（ピーク電流検出値、オフ時間など）から算出される推定出力電流値を比較した。次に、その結果を反映して、推定の目標出力電流値に近い値になるように、出荷前の検査工程でトリミング手法を用いてIPDのパラメータの合わせ込みを行うことにした。

第3図に、入力電圧：AC 100 V、出力電圧：37 V、出力電流：315 mAに設定された駆動回路を使用した場合の出力電流値の分布結果を示す。トリミング手法を用いIPDの個体差ばらつきを抑えることで、 $\pm 5.0\%$ 以内の高い出力電流精度が得られた。



第3図 出力電流の分布

Fig. 3 Distribution of output current

3. LED照明駆動回路の特徴

今回のLED照明駆動回路の特長は下記の2点である。

- (1) 電解コンデンサレスの1コンバータ型PFC
- (2) トライアック調光器への対応

以下にその内容について述べる。

3.1 電解コンデンサレスの1コンバータ型PFC

[1] 力率改善の目的

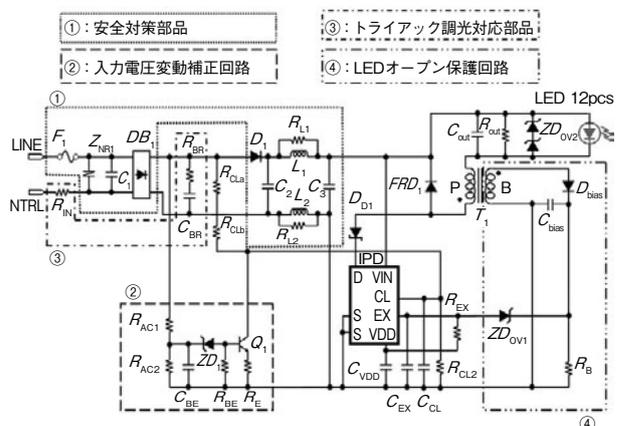
力率は有効電力と皮相電力の比率であり、電圧と電流がサイン波でその位相差が ϕ であれば $\cos\phi$ で表される。力率が1より小さいということは、同じ電力を受け取るために無効電力が線路を往復することを意味する。無効電力のやりとりは、電力が行き来する際に線路の直流抵抗分で熱としてロスしてしまい電源には戻らない。近年では省エネの観点から、このロスを防ぐために力率を規制する動きとなっている。

入力電圧サイン波形に対して、入力電流波形も位相が同じサイン波形に近い形になればなるほど、力率は上がっていく。しかし、通常のスイッチング電源では安定動作をさせるために入力電圧を平滑する必要がある。平滑用の電解コンデンサが必須であった。この場合、整流後の電圧がコンデンサ電圧より高いごく短い期間にだけコンデンサへの充電が行われる。この結果、入力電流波形は導通角の短いとがった波形となり、力率の悪化や、高調波を発生する原因になる。

[2] 1コンバータ方式の実現

通常、力率改善のためには、前段に力率改善用の昇圧コンバータを設け、後段にエネルギー変換用のコンバータを設ける2コンバータ方式となる。また、入力電圧平滑用の電解コンデンサが必要であった。

しかし、今回のLED照明駆動回路は、第4図に示すよ



第4図 LED照明駆動用IPDを用いた駆動回路例

Fig. 4 Typical application of driver IPD for LED lighting

うに、非絶縁ローサイド降圧チョッパ回路の1コンバータ方式である。また、入力電圧を平滑するための電解コンデンサは不要である。

全波整流後の入力サイン電圧は抵抗によって電流に変換されてCL端子に印加されるので、CL端子印加電流は入力サイン電圧波形に応じてリニアに変化する。この結果、入力サイン電圧波形に応じてIPDに流れるドレイン電流値が変化するため、第5図に示すように入力電流波形も同様に変化する。このようにして力率改善を図ることができる。

第5図でパワー MOS-FETのドレイン電圧波形がサイン波形になっているのに対して、ドレイン電流波形のピー

ク部はある値でクランプされている。これはEX端子であらかじめ設定された最大のピーク電流検出値に達しているためである。

3.2 トライアック調光器への対応

トライアック調光器は第4図の駆動回路には記載されないが、整流前の入力ラインに接続され、入力サイン波形のゼロクロス点に対して任意の位相差を持つトリガパルスを入力して電力位相を制御できる原理を利用した機器である。ボリューム調整をすることによりトリガパルスの位相差を自由に変えることができ、白熱電球に印加する電力を調整することで調光を行っている。

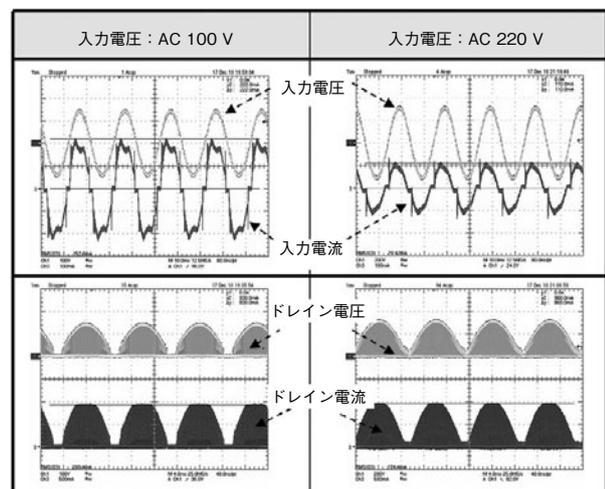
トライアック調光器をLED照明器具に利用する場合の課題への対応方法について述べる。

〔1〕入力電圧波形の位相情報の検出

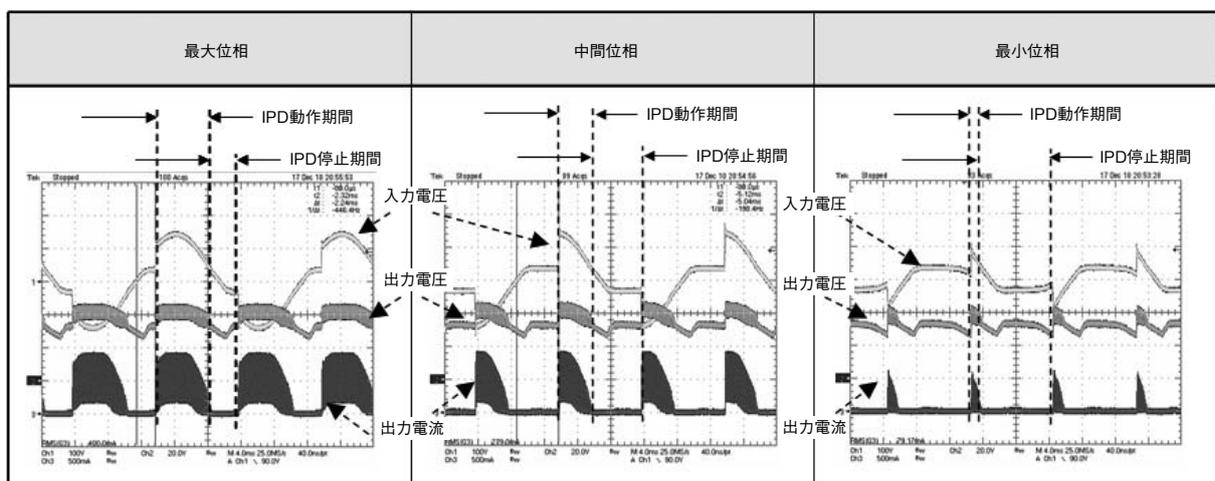
第6図に示すように、トライアックがオフの期間は、トライアック調光器から出力される電圧、すなわち駆動回路への入力電圧がほぼゼロになるため、CL端子の間欠発振機能によりIPDの発振が停止する。トライアックがオンの期間は、トライアック調光器から出力される電圧に応じて、パワー MOS-FETのドレインピーク電流が変化しながら動作する。トライアック調光器により動作位相角を小さくしていくと、調光器から電圧が出力される期間、すなわちIPDが動作できる期間が短くなる。さらにCL端子機能により、ドレイン電流ピークが小さくなるため、光束の低い(暗い)状態まで調光が可能である。

〔2〕トライアック調光器の誤動作対策

トライアックがオンした瞬間に突入電流が流れて入力電流のリングングが発生すると、瞬間的にトライアック



第5図 入力電圧、入力電流、ドレイン電圧、ドレイン電流の波形
Fig. 5 Waveform of input voltage, input current, drain voltage and drain current



第6図 調光時の入力電圧、出力電圧、出力電流の波形
Fig. 6 Waveform of input voltage, output voltage and output current at dimming

に電流が流れなくなり、トライアックがオフする場合があります。また、トライアックは保持電流と呼ばれるある一定の電流が流れていないと動作が停止してしまい、トライアック調光器が誤動作する。

トライアック調光器が誤動作すると、LEDの“ちらつき”や、スムーズな調光ができないなどの問題が発生する。

そこでトライアックが正常な動作を保持するために、第4図の“③トライアック調光対応部品”に示すように突入電流防止とトライアックに保持電流を流すための部品を接続することで対策できる。

4. LED照明駆動特性

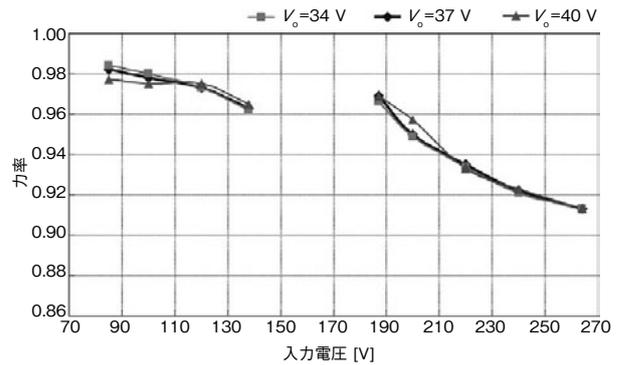
LED照明器具は各国の安全基準に対応するために、電源仕様別に設計することが多い。今回の評価では入力AC 100 V系 (AC 85 V ~ AC 138 V) とAC 220 V (AC 187 V ~ AC 264 V) 系に分けて、それぞれいくつかの部品定数を変更している。また、非調光時にはトライアック調光対応部品は外した状態で評価している。

出力はLED 12個を直列に接続した場合を前提としており、出力電圧 $V_o=37$ V、出力電流 $I_o=315$ mA、出力電力 $P_o=12$ Wの場合の結果である。LEDは順方向電圧のばらつきが大きいデバイスであるため、出力電圧が変動した場合を考慮して、出力電圧は34 V、40 Vも評価した。

4.1 非調光時の力率

力率改善にはIPDの制御方法に加えて周辺部品の定数設定も重要である。例えば、第4図の C_2 、 C_3 容量値が大きすぎると、コンデンサに流れ込む突入電流が大きくなるため、力率が低下する。逆に C_2 、 C_3 容量値が小さすぎると、入力電圧が不安定になり発振開始時の入力電流に高周波数のリングングが発生して力率が低下する。また、CL端子に接続する R_{CLa} 、 R_{CLb} の抵抗値の設定が適切でないと、発振開始時のドレインピーク電流値が高くなり、入力突入電流が大きくなるため、力率が低下する。

第7図に示すように、周辺部品の最適化後の評価結果はAC 100 V系、AC 220 V系共にエナジースター規制 (PF > 0.7) をクリアしており、実力はPF > 0.9である。AC 220 V系の方が力率が低下するが、これは第5図の入力電流波形からわかるように、同じ電力を出力する場合、高入力電圧の方が少ない入力電流となるからである。



第7図 力率の入力電圧比較

Fig. 7 Power factor vs. input voltage

4.2 出力電流と変換効率

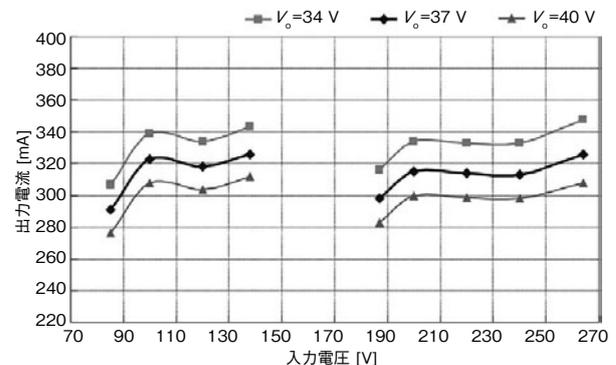
[1] 出力電流の入力電圧依存性

入力電圧変動に依存してドレインピーク電流値の最大値が変化するのが補正するには、第4図の“②入力電圧変動補正回路”が必要となる。この回路は、設定された入力電圧になるとトランジスタQ1がオンし、CL端子電圧と抵抗 R_E で決定される電流が流れる。また、入力電圧が高くなると抵抗 R_{CLa} 、 R_{CLb} に流れる電流が増加するが、抵抗 R_E に流れる電流も増加するため、CL端子に印加される電流が補正される。この結果、第8図に示すように入力電圧変動 $\pm 15\%$ に対して、出力電流変動を $\pm 5\%$ 以内に抑えることが可能である。

[2] 変換効率

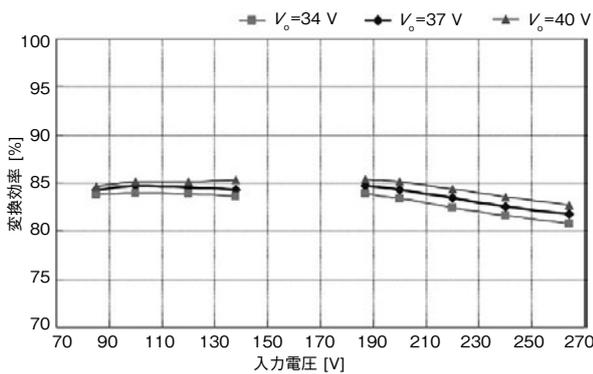
変換効率 η は高いほど望ましいが、トランスを使用するフライバック電源の場合は、 $\eta > 70\%$ 程度が一般的である。これはエネルギー変換の際にトランスの漏れインダクタンスなどによるロスが生じるためである。

第9図に示すように、本製品はAC 220 V系でも $\eta >$



第8図 出力電流の入力電圧比較

Fig. 8 Output current vs. input voltage



第9図 変換効率の入力電圧比較
Fig. 9 Efficiency vs. input voltage

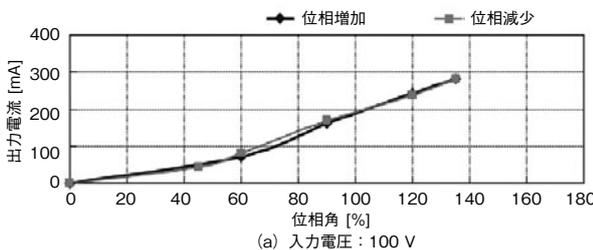
80%の高い効率を実現できる。

なお、第4図のトランスT1の補助巻線は、“④LEDオープン保護回路”のためのものであり、LED電流のエネルギー変換には無関係である。補助巻線を付与したトランスを用いて、1次巻線とバイアス巻線の巻数比で決定される電圧以上になることを防止している。

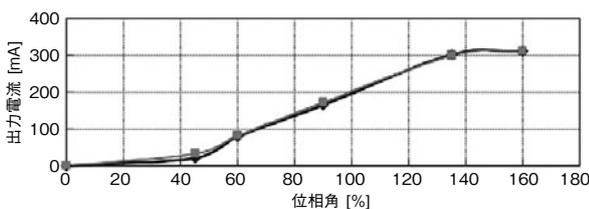
5. トライアック調光

トライアック調光器を使用する場合は第4図の“③トライアック調光対応部品”を接続した状態で評価した。位相角に対する出力電流の変化を、第10図に示す。

調光器はAC 100 V系では当社製WNP575280, AC 220 V系では当社製WLO1727を使用した。



(a) 入力電圧：100 V



(b) 入力電圧：220 V

第10図 トライアック位相角と出力電流比較
Fig. 10 Output current vs. triac phase angle

消灯状態から最大電流までスムーズな調光特性を得ることができた。

6. まとめ

今回、力率補正機能と調光機能を内蔵したLED照明駆動用IPDを開発した。本製品はフィードバック回路を使用しないで定電流制御が可能である。本製品を使用したLED照明駆動回路は、入力AC 100 Vの場合、出力電流精度 $\pm 5\%$ 、力率0.98、効率85%の出力11 WのLED照明電源を実現することができた。

今後は、さらに定電流精度の向上と少部品点数を両立できる新たな制御方式を開発して商品展開を図っていく。

参考文献

- [1] 高橋 理 他, “待機電力を大幅削減できる電源用素子,” 電子材料, vol.40, no.6, pp.40-44, 2001.
- [2] インテリジェントパワーデバイス (IPD) アプリケーションノート LED照明駆動用, パナソニック (株), 第3版, 2008.

執筆者紹介



國松 崇 Takashi Kunimatsu
デバイス社 半導体事業グループ
Semiconductor Business Group, Industrial Devices Company



河邊 桂太 Keita Kawabe
デバイス社 半導体事業グループ
Semiconductor Business Group, Industrial Devices Company



石田 敏文 Toshifumi Ishida
デバイス社 半導体事業グループ
Semiconductor Business Group, Industrial Devices Company