

貫里康博* 岸 直央***
 牧野宏和**
 井上 優*

ヘッドランプ用LEDドライバ

LED Driver for Head Lamp

Yasuhiro Nukisato, Hirokazu Makino, Yu Inoue, Naohiro Kishi

要 旨

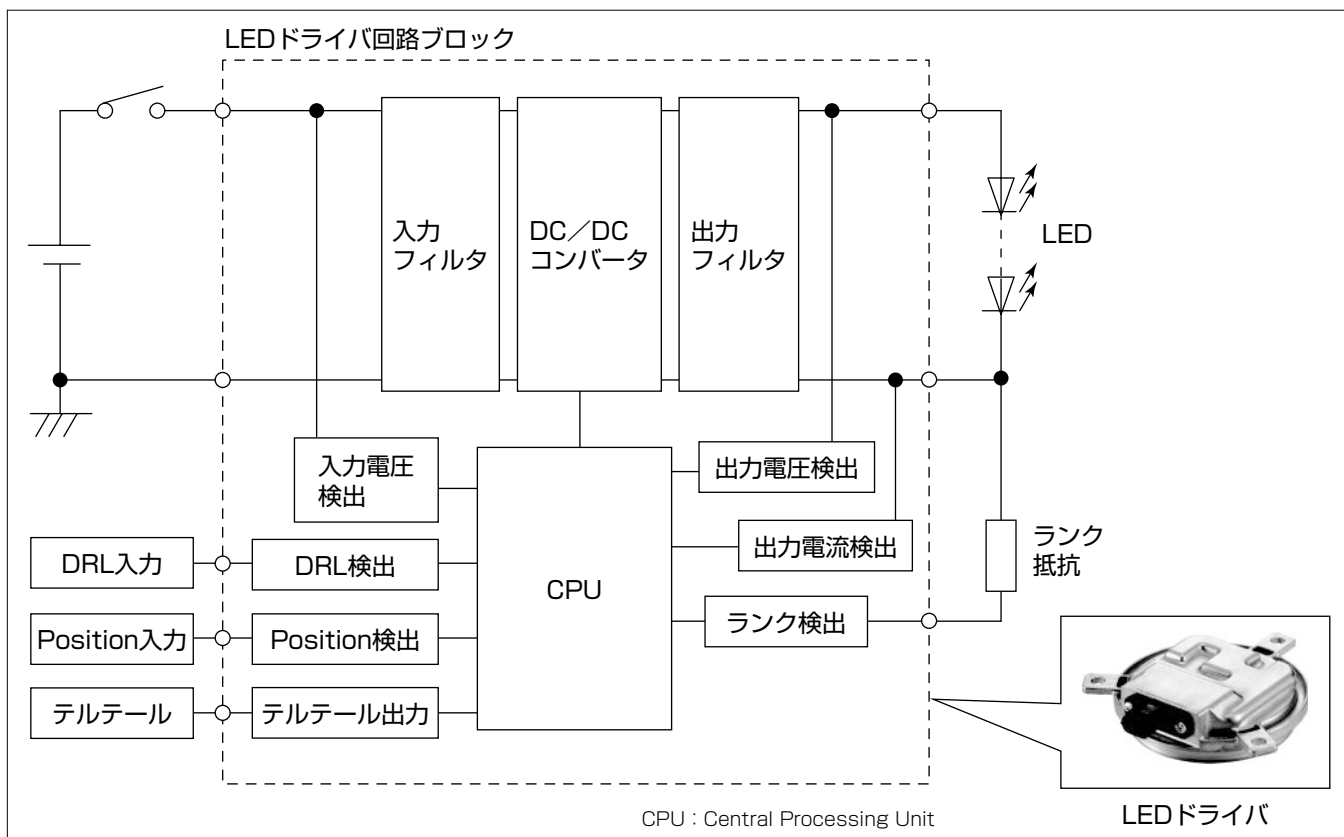
家庭や公共施設用照明の光源として省電力・長寿命のLED(Light Emitting Diode：発光ダイオード)が注目される中、自動車用ヘッドランプにもLEDが採用され始めている。現在は、一部の高級車やEV(Electric Vehicle)などの環境対応車への搭載が中心だが、今後LEDチップの進化とともに、“省エネルギー”と“デザイン性向上”を目的とした一般車への普及拡大が見込まれる。

LEDは電流に対する明るさに個体差があるため、光束でランク分けされる。そのため、光束ランクごとに対応した定電流制御を行い、どのLEDに対しても同じ明るさで制御する必要がある。また、LEDは過電流によって破壊する可能性が高いため、過電流に対する配慮が必要である。

三菱電機では、最大で6種類の光束ランクに対応し、

LEDドライバへの急峻(きゅうしゅん)な入力電圧の変動でもLEDへの過電流を抑制したLEDドライバを開発した。オプション機能として、同一光源に対して、LOW beam点灯、Position点灯、DRL(Daytime Running Lights)点灯の各点灯モードに応じた調光機能をPWM(Pulse Width Modulation)制御によって実現した。

キーポイントになるDC/DCコンバータは、ヘッドランプ用HID(High Intensity Discharge)バラストの開発で確立したZVS(Zero Voltage Switching)制御及びシートトランスを採用し、最適な部品レイアウトによって片面実装を実現、基板の多面取りによって実装コストを抑制し、低価格で高性能なLEDドライバを開発した。



LEDドライバ

LEDドライバは、LEDの光束ランク(ランク抵抗、最大6種類に対応)に応じて、定電流制御を行う。オプション機能として、同一光源の調光機能をPWM制御によって対応した。DC/DCコンバータはZVS制御を採用し、電源電圧の急激な変動によるLEDへの過電流制御として、フィードフォワード制御を採用した。

1. ま え が き

“省エネルギー”と“デザイン性向上”を目的として、省電力・長寿命の白色LEDが自動車用ヘッドランプにも採用され始めている。現在は、一部の高級車やEVなどの環境対応車への搭載が中心だが、今後LEDチップの発光効率の進化とともに、一般車への普及拡大が見込まれる。

当社では、HIDバラストで開発したDC/DCコンバータ制御を流用し、低価格で高性能な自動車ヘッドランプ用LEDドライバを開発した。

本稿では、LEDドライバの特長を述べる。

2. ヘッドランプ用LEDドライバ

2.1 定電流制御

LEDのVf(順方向電圧)には温度特性があり、1チップのLEDで約2~4Vになる。LOW beamに使用する場合は、一般的に複数のLEDを直列で使用する(10チップの場合は約20~40V)ため、DC/DCコンバータによって電源電圧を昇圧して電力を供給する必要がある。

LEDは電流に対する明るさに個体差があるため、光束でランク分けされる。そのため、どの光束ランクでも同じ明るさになるように、各光束ランクに対応して定電流制御を行う必要がある。

2.2 テルテール出力

入出力の異常状態を検出して動作を停止するとともに、LOW beamにLEDを使用する場合は、正常/異常状態を車両側に報知する(テルテール)ことが、法規で規定されているため、対応する必要がある。

2.3 調光機能

LOW beam点灯、Position点灯、DRL点灯等のシチュエーションに合わせて、出力電流を変更することによって、LEDの明るさを変化させる必要がある。

3. LEDドライバの技術要素

3.1 光束ランクに応じた定電流制御

各光束ランクに対応した抵抗(ランク抵抗)は、LEDチップが実装された基板に実装されており、点灯開始前にランク抵抗を検出することで各光束ランク(最大6種類)に応じた定電流制御を行っている。

3.2 フィードフォワード制御

LEDドライバに供給される電源電圧は、変動することを前提に設計する必要がある。通常、出力電流の制御はフィードバックによって定電流制御を行っているが、急激な電圧変動が発生した場合、フィードバック制御だけではLEDへ過電流が流れることになる。

具体的には、低電圧(9V)から高電圧(16V)に電源電圧が急激に増大した場合は、DC/DCコンバータ1次側FET

(Field Effect Transistor)のON時間を一気に小さくする必要があるが、フィードバック制御の場合は、実際に過大な出力電流が流れてからFETのON時間を小さくするため、LEDへの過電流は避けられない。LEDの過電流は、LEDの寿命低下や破壊に至る可能性があるため、これを避けるための配慮が必要になる。

このため、急激な電源電圧の変動(電源電圧の上昇)が発生した場合は、フィードフォワード制御によって、LEDへの過電流を抑制している。

図1は、フィードバックだけの制御で、電源電圧を9Vから16Vに急激に増加させた場合の波形である。電源電圧9V時のFETのON時間は大きく、このON時間で電源電圧が16Vになるため、LEDに過電流が流れ始める。LEDに過電流が流れてからFETのON時間を小さくするため、LEDへの過電流は抑制できない。

図2は、フィードフォワード制御を追加した場合の電源電圧変動の波形である。急激な電圧上昇を検知した場合、過電流が流れないように検知時の電源電圧に応じた最小ON時間(図3)でFETを制御するため、LEDへの過電流を抑制することができる。

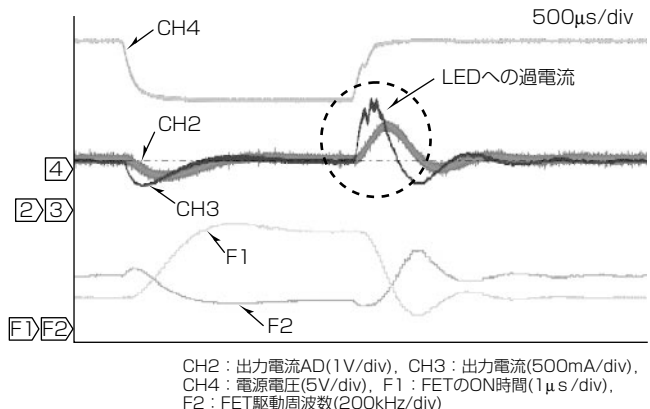


図1. 9V→16V電源電圧変動(フィードバック制御だけ)

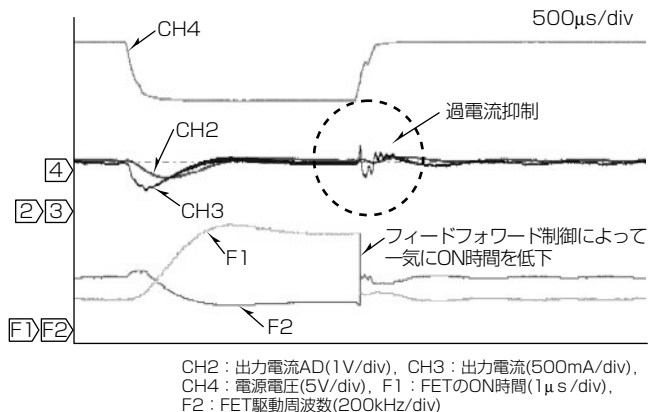


図2. 9V→16V電源電圧変動(フィードバック+フィードフォワード制御)

3.3 調光制御

LEDドライバは、点灯シチュエーションに合わせて同一光源のLEDに対して調光機能(Low beam, DRL, Position)を設定している。

PWM制御によって調光機能を実現しており、Low beam点灯時はduty100% (DC点灯)、DRL点灯時はduty80%、Position点灯時はduty10%で制御を行う。いずれも周波数は400Hzである。DC/DCコンバータの動作/非動作によってPWM動作させ、400Hz (2.5ms周期)のうち、DRL点灯時は2.0ms間、Position点灯時は0.25ms間DC/DCコンバータを動作させている。

PWM制御では、出力電流を矩形(くけい)波に近づけるため、早く定格電流に到達するように制御する必要がある。そこで、図4のように、DC/DCコンバータ1次側FETのON時間を前回点灯時と同じON時間で動作開始している。

なお、動作開始から一定期間はフィードバックしないようにマスク期間を設定している。このマスク期間は、目標とする出力電流と実際に流れている出力電流の差分が大きくなると、フィードバックゲインが大きくなり出力電流がオーバーシュートするため設定している。

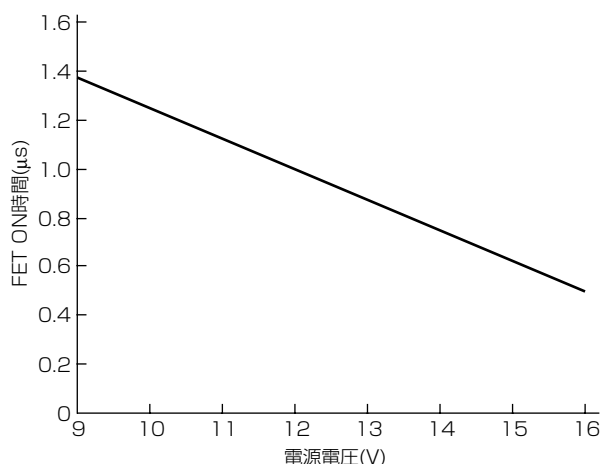


図3. 電源電圧とFET最小ON時間

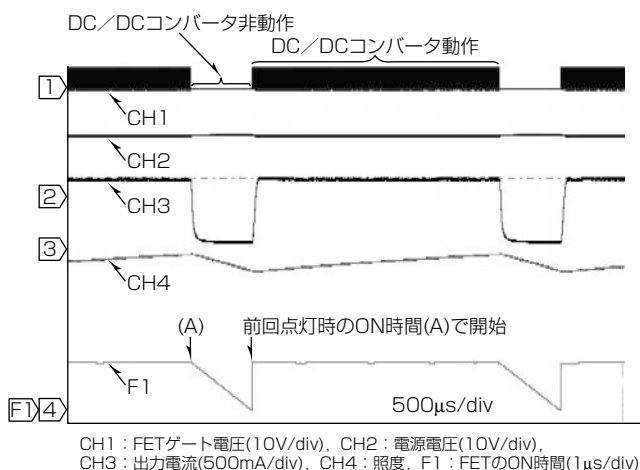


図4. DRL点灯時(duty80%)の動作波形

DC/DCコンバータ非動作中に電源変動した場合は、前回点灯時のON時間ではなく、オーバーシュートしないように動作開始時の電源電圧に応じた最小ON時間(図3)で動作開始し、マスク期間後からフィードバック制御を開始するが、この間、LEDは暗くなる。PWMのdutyが小さいPosition点灯で、電源変動時の照度変化が顕著に現れるが(図5)、電源変動が発生した場合は、dutyを大きくすることで対応した(図6)。

3.4 DC/DCコンバータ制御

LEDのVfは温度特性によって広範囲な値をとる。Vfが最大でも定電流制御が必要なため、DC/DCコンバータとしては17~40Wの広範囲な出力電力が必要になる。

出力電力が高くなるため、DC/DCコンバータ1次側FET及び2次側ダイオードのスイッチング損失も大きくなる。そのため、HIDバラストで開発したZVS制御を採用することによって、FET及びダイオードのスイッチング損失を抑制した。また、HIDバラストでは効率悪化要因であったイグナイタやインバータがLEDドライバでは不要となること、パワー系部品を最適化することによって効率88%を達成した(図7)。

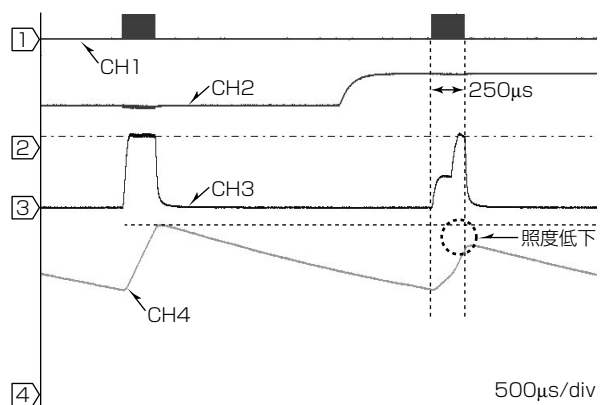


図5. Position点灯時(duty10%)の電源変動

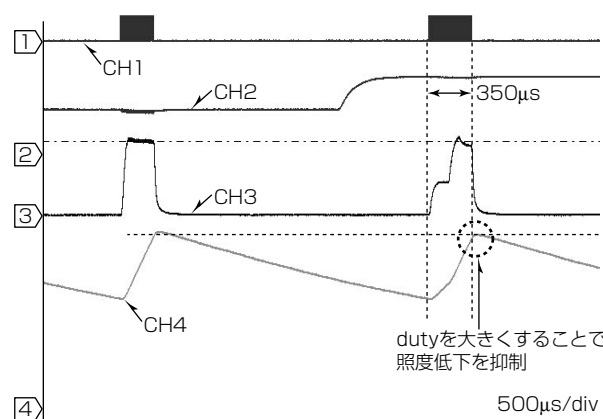


図6. 改善後のPosition点灯時(duty10%)の電源変動

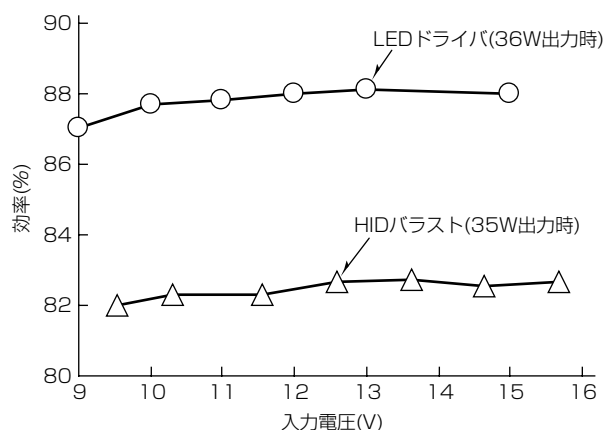


図7. LEDドライバの効率

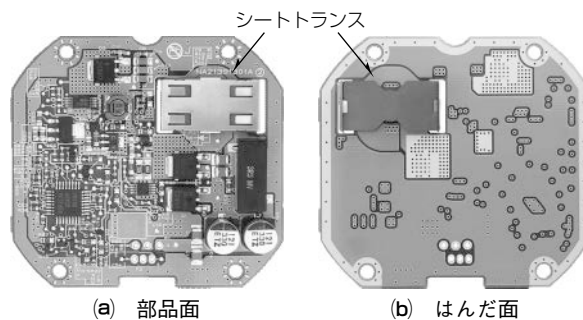


図8. シートトランス

3.5 シートトランス及び片面実装

部品コスト抑制のため、シートトランスを採用した(図8)。シートトランスに採用しているコアは、HIDバラストで採用しているコアと同一品を使用し、調達コストを抑制した。また、自動設備でシートトランスを組み立てているが、生産設備も流用して生産コストを抑制するため、基板に対する配置もHIDバラストと同一になるようにレイアウトした。

実装コスト抑制のため片面実装を採用し、更なるコスト抑制のため、基板取り数を従来の3枚/シートから9枚/シートに増やして実装効率を向上させた(図9)。

片面実装に伴い、DC/DCコンバータ1次側と2次側のスイッチング素子と平滑コンデンサは同一面での配置が可能となり電流ループを最小限とし、EMI(ElectroMagnetic Interference)性能の抑制にも寄与した。

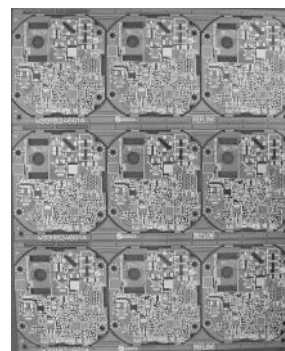


図9. 基板外形(9枚取り/シート)

4. むすび

これまで自動車用ヘッドランプにはHIDシステムが普及してきたが、今後はLEDチップの発光効率の進化、デザイン性向上、省電力をキーワードにLEDシステムの普及加速が想定される。また、Position, Turn, DRL等の専用のLEDも設定され、これらを1つのLEDドライバで制御するため高機能化が進むことも想定される。

今回のLEDドライバの開発で得た知見を活用し、LEDシステムの普及加速に遅れることなくタイムリーな製品開発を進め、広く社会に貢献する製品を市場に送り出していく。