

車載リア・ライト・システムの トレンドとトポロジ



Arun T. Vemuri
General Manager
Automotive Body Electronics and Lighting
Texas Instruments

1900年台初期、夜間の運転は危険な行為でした

灯油ランプを照明として使用し、ドライバーは手信号と声で自らの運転行動を周囲に伝えていました。同時に、路上にいる他の自動車の行動を予測するための推測も必要でした。

現在に比べて、少ない数の自動車が低速で走っており、時折馬や荷馬車を避ける状況でしたが、その後は多くの変化が生じてきました。

- 灯油ランプから白熱電球、発光ダイオード (LED)、有機 LED (OLED) へと変化するにつれ、光源の信頼性と効率は向上してきました。
- 特定の照明機能を果たすために 1台の自動車が搭載している光源の数も増加し、単一の電球からマルチピクセル化設計への変化が生じています。
- 可変照明の採用を通じて、ドライバーは自らの意図をより的確に周囲に伝達できるようになり、運転全体の安全性が向上しています。
- 車外照明は、機能に加えて、スタイルやカスタム化の目的でも活用されています。
- 電子照明制御モジュールを採用した結果、法令の規定する合図を提示できるほか、静的な合図機能以外に動的な合図機能も実現できるようになりました。パドル・ライト(フット・ライト)によるロゴなど、他のドライバー向けのメッセージ(意思表示)をカスタムすることも可能です。
- リア・ライト・システムが複雑になるにつれて、どのエンジニアも光学的、機械的、電気的、製造面での規律を課され、新しいシステムを設計する際に新たな課題に直面しています。

最新のリア・ライト・ソリューションが登場した結果、あらゆる環境で他のドライバーの行動が予測しやすくなり、運転の安全性が向上しています。

このホワイト・ペーパーで、電気的な課題に注目し、それらの課題を克服するために活用できそうなソリューションを検討します。

それらの課題は、以下のとおりです。

- 電力需要の上昇
- 熱管理
- 電磁干渉 (EMI) と電磁適合性 (EMC)
- 故障検出と保護

センター・ハイマウント・ストップ・ライト(CHMSL)

ドライバーが減速することを周囲に合図します。CHMSLは、ブレーキ・ライトと同時に点灯、あらゆる自動車に搭載されています。

ブレーキ・ライト

ドライバーが減速することを周囲に合図します。ブレーキ・ライトは赤であり、あらゆる自動車に取り付けられています。

サイド・マーカークライト(側方灯)

自動車の輪郭を示し、他のテール・ライトと同様、動作中は継続的に点灯します。

テール・ライト(尾灯)

車両の存在を周囲に伝えます。特に、暗い状況で役立ちます。テール・ライトは赤であり、あらゆる自動車に取り付けられています。

ライセンス・プレート(自動車ナンバー)ライト

自動車の後方ナンバープレートを照らします。

パーキング・ライト

自動車が駐車していることを周囲に合図します。このライト機能はオプションであり、一般的に取り付けられているとは限りません。

方向指示器

ドライバーが左折または右折することを意図していると周囲に合図します。他のリア・ライトによる合図機能は連続点灯であるのに対し、方向指示器は特定の周期で点灯と消灯を繰り返して点滅します。代表的な周期は、1分間に60回です。

リア・フォグ・ライト

この赤いライトは他のテール・ライトより高輝度で、霧などの劣った視界条件下で車両の存在を周囲に伝えます。



図1. リア・ライティング・システムのコンポーネント

路上でのリア・ライティング

LEDと電氣的トポロジについて説明する前に、図1に示すように、米国NHTSA(米国運輸省道路交通安全局、US National Highway Traffic Safety Administration)や欧州経済委員会(Economic Commission)などの規制機関によって法的に義務付けられているさまざまな合図機能に注目してみましょう。

図1に示すとおり、自動車ではさまざまな後方指示機能が必須とされています。これらはいずれも、制御モジュールを必要とします。

図2は、代表的なリア・ライト制御モジュールのブロック図であり、リア・ライトのすべての機能のほか、電源、通信インターフェイス、LEDドライバの各サブシステムを示しています。

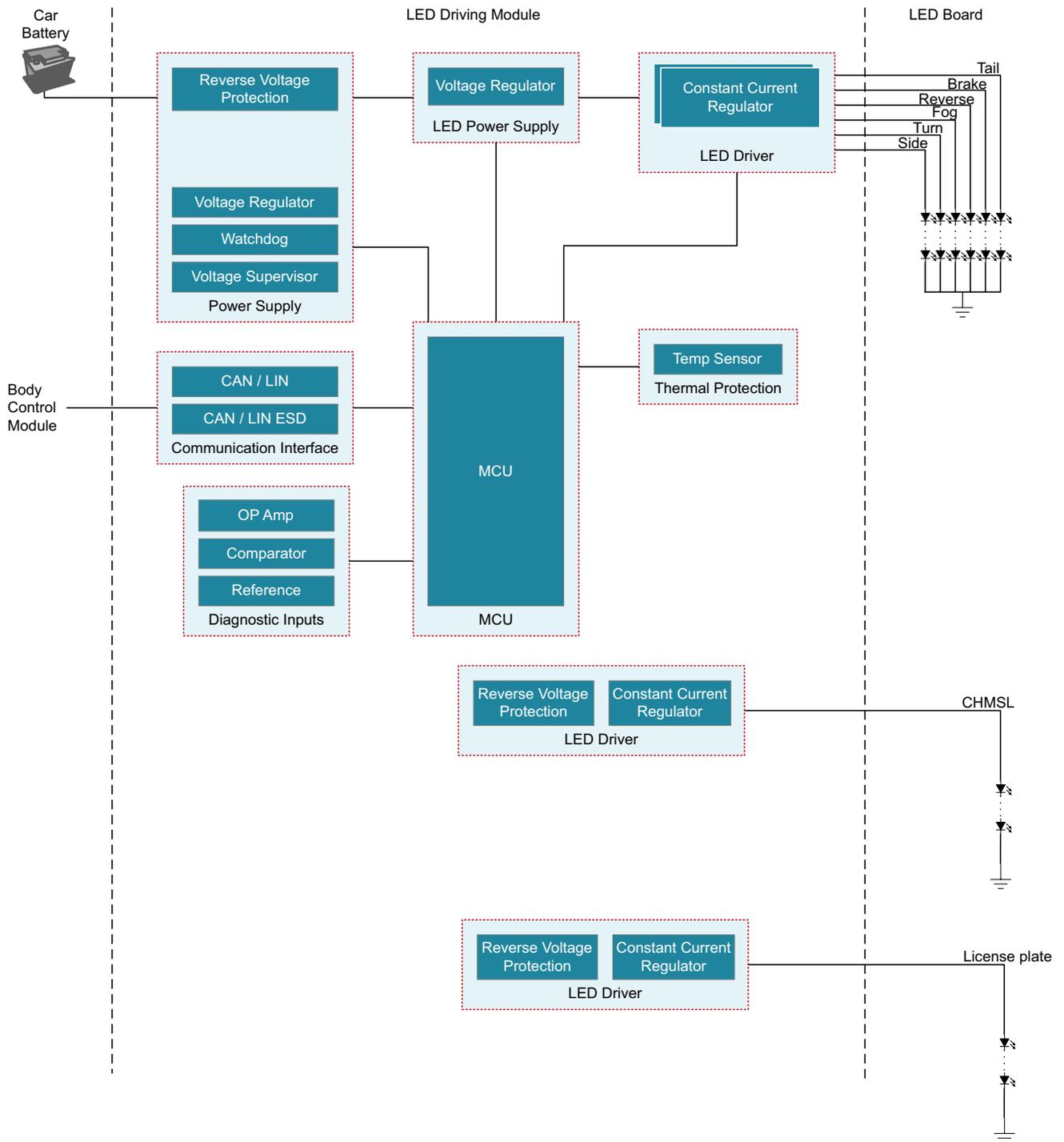


図 2. リア・ライト制御モジュールのブロック図

リア・ライティング向け LED の基礎

LEDは、導通時に光を放射するP-N接合ダイオードです。任意のP-N接合ダイオードと同様、LEDは単方向デバイスであり、**図3**に示すように、順方向電流と順方向電圧(I-V)の関係は指数曲線で表せます。

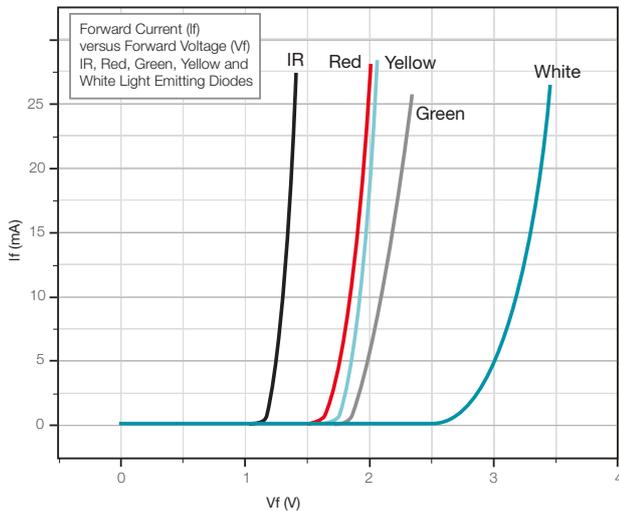


図3. LED のI-V曲線 (出典: <http://lednique.com/current-voltage-relationships/iv-curves/>)

LEDのアノード端子とカソード端子の間に正の電圧を印加すると、アノードからカソードへ電流が流れ、LEDが発光します。アノードとカソードの間に印加した電圧をLED順方向電圧と呼びます。この電圧は通常、公称電流条件で測定します。LEDを流れる順方向電流が大きくなるほど、LED発光の輝度は増し、LEDの順方向電圧も高くなります。

色が異なるLEDは、順方向電圧も異なっています。赤とオレンジのLEDの大半は約2Vであるのに対し、白色LEDの順方向電圧は約3Vです。

LED 光源の利点

白熱電球と比較した場合のLEDの主な利点は、LEDがより効率的な光源であることです。光源の効率は、ワットあたりのルーメンで測定します。この数値は、単位消費電力あたり

の発光量を表します。代表的な例で、白熱電球に比べるとLED光源は6倍の効率です(**図4**)。

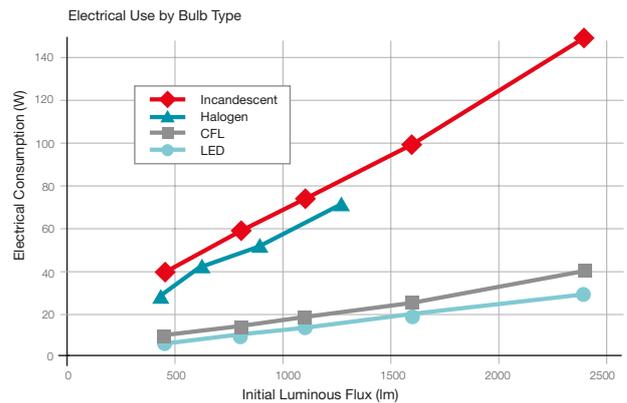


図4. LED光源の効率と白熱電球の効率比較 (出典: https://commons.wikimedia.org/wiki/ファイル:Electricity_use_by_lightbulb_type.svg)

LEDは従来型の白熱電球より効率的であることに加え、製品寿命も42倍近い長さであるほか、さまざまなスタイルのデザインにも容易に適應できます。従来型の白熱電球は数年ごとに交換を必要とし、寿命は通常1,200時間前後です。LEDの寿命は50,000時間以上に達しているので、自動車本体が寿命を迎えた時点で、車載用LED照明は当初から交換不要のまま維持できる可能性があります。

点発光タイプから面発光タイプへの移行

従来型の白熱電球は、円形の筐体が原因で、固定的なフォーム・ファクタを採用しています。対照的に、LED光源は小型フォーム・ファクタであることから、自動車の照明は、従来型の円形である必要がなくなったことを意味します。複数のLEDを使用する方法で、物理設計のさまざまな要件に合わせてより高いフレキシビリティで照明を設計することができます。ただし、車載用リア・ライトでLEDを使用する場合に発生する視覚的な影響は、LEDが点の集合体に見えることです。

LEDの光出力と光の方向は容易に制御できるので、最新の車載用リア・ライトは複数の光学的手法を使用して、点発光タイプの光源から面発光タイプの光源への移行を進めています。

この移行を実現するために、ライトガイドとディフューザーを使用する手法が最も一般的に採用されています。ただし、これらを採用すると光の効率が低下するので、高輝度LEDを使用するか、搭載LEDを増やすか、どちらかの方法でLEDの輝度を高める必要があります。

設計の目標と課題

LEDには多くの利点がある一方、自動車の仕様に合わせてLED採用を推進するには、複数の課題も存在しています。LEDドライバの代表的な要件は、以下のリストに示すとおりです。

- 電圧範囲が広く、9～16V、24V、40Vの各シナリオに対応
- 動作周囲温度範囲は-40℃～85℃
- ランプのアニメーション(パターン点滅)機能
- LED障害の診断機能
- 電磁適合性(EMC)

車載用の広い電圧範囲

LEDドライバの設計は、自動車の公称12Vバッテリーから出力される幅広い電圧範囲内で動作することが必須です。ISO7637とISO16750の各規格は、公称12Vバッテリーの電圧過渡に対して、自動車業界のLEDドライバが耐える必要のある最も一般的な要件を示しています。

カー・バッテリーは通常、正常動作時に9～16Vの範囲内で変動します。あらゆる温度条件の下で、光出力はこの範囲内の電圧供給に対して必須の規制要件を満たす必要があります。ごく最近では、方向指示器など特定のライト機能は自動車のバッテリーが6Vの場合でも動作します。この数値は、自動車のスタート / ストップの際の代表的な電圧です。スタート / ストップに対応する起動時電圧プロファイルは、バッテリーの状態や温度によって変動する可能性があります。通常電源電圧が6V未満の場合、リア・ライトは引き続き機能することを求められていません。高電圧側では、常温、ジャンプ・スタートのシナリオで、バッテリーの電圧は1分間にわたって24Vまでサージ(急上昇)する可能性があります。ライトの機能は、ど

のような損傷も起こさずにこれらの条件に耐え、電圧が正常値に戻った時点で正常動作に復帰できることが必要です。

ロード・ダンプの発生中、オルタネータが充電電流を発電している間、バッテリーは接続解除され、他の負荷は引き続きオルタネータ回路に接続されています。このシナリオで、オルタネータが抑制されている場合、電源電圧は400msにわたって最大36Vまでオーバーシュートする可能性があります。ロード・ダンプ・イベントが発生した場合、電圧が正常値に戻った時点でLEDドライバは正常動作に復帰できることが必要です。

熱に関する検討事項

車載用アプリケーションは、広い温度範囲に耐える必要があります。車載用ライト回路は、最大85℃の周囲温度で動作することを求められます。この最大温度は、内蔵ライトによる自己発熱に起因する温度上昇も考慮しています。

高い周囲温度は、LEDリア・ライトに2つの課題をもたらします。LEDとLEDドライバそれぞれの接合部温度の制御です。

LEDの接合部温度が製品上限を上回った場合、LEDの寿命は大幅に短くなります。LEDドライバが定電流ドライバである場合、**式1**はLEDの接合部温度の温度上昇に関する近似的な推定を示します。この式は、周囲温度、熱抵抗、消費電力量に基づいています。

$$T_{JUNCTION} = T_{AMBIENT} + \theta_{ja} P \quad (1)$$

ここで、 θ_{ja} はパッケージの熱抵抗、 P は消費した電力を表します。

熱に関する検討事項に、LEDドライバも含める必要があります。一般的に、リア・ライトで使用する定電流ドライバはリニアLEDドライバICです。**式2**は、ドライバ両端間の電圧降下と合計電流の積を使用して、LEDドライバICが消費する電力を推定します。

$$P = \Delta V * I \quad (2)$$

ここで、 ΔV はLEDドライバ両端間の電位差、 I はLEDの順方向電流を表します。

入力電圧が16Vなどの公称最大動作電圧に等しく、LED出力電圧が最小である、たとえば順方向電圧がそれぞれ1.9VであるLEDを2個使用する場合、最大周囲温度は85°Cになります。車載用アプリケーションに対応させるには、代表的なリニアLEDドライバはデバイス全体の消費電力を最大2Wにする必要があります。**式1**と**式2**を使用して、 θ_{ja} との組み合わせから最大LED電流を推定することができます。TIの**TPS92630-Q1**または**TPS92638-Q1**のようなリニアLEDドライバは、これらの消費電力要件を満たしています。

アニメーションのトレンド

リア・ライトのアニメーションを採用すると、スタイルのフレキシビリティを高めると同時に、他のドライバー向けのメッセージ（意思表示）をカスタム化することができます。新しいライト設計は複雑なアニメーションを採用しているので、新しいライティング設計は複雑なアニメーションを採用しているので、リア・ライト設計は複数のLEDストリングの制御から、ここにLEDピクセルの駆動へと移行され、これは**TPS929120-Q1**などのデバイスを使用することで実現できます。**図5**に、ストリングLED制御から独立ピクセル制御への移行を示します。

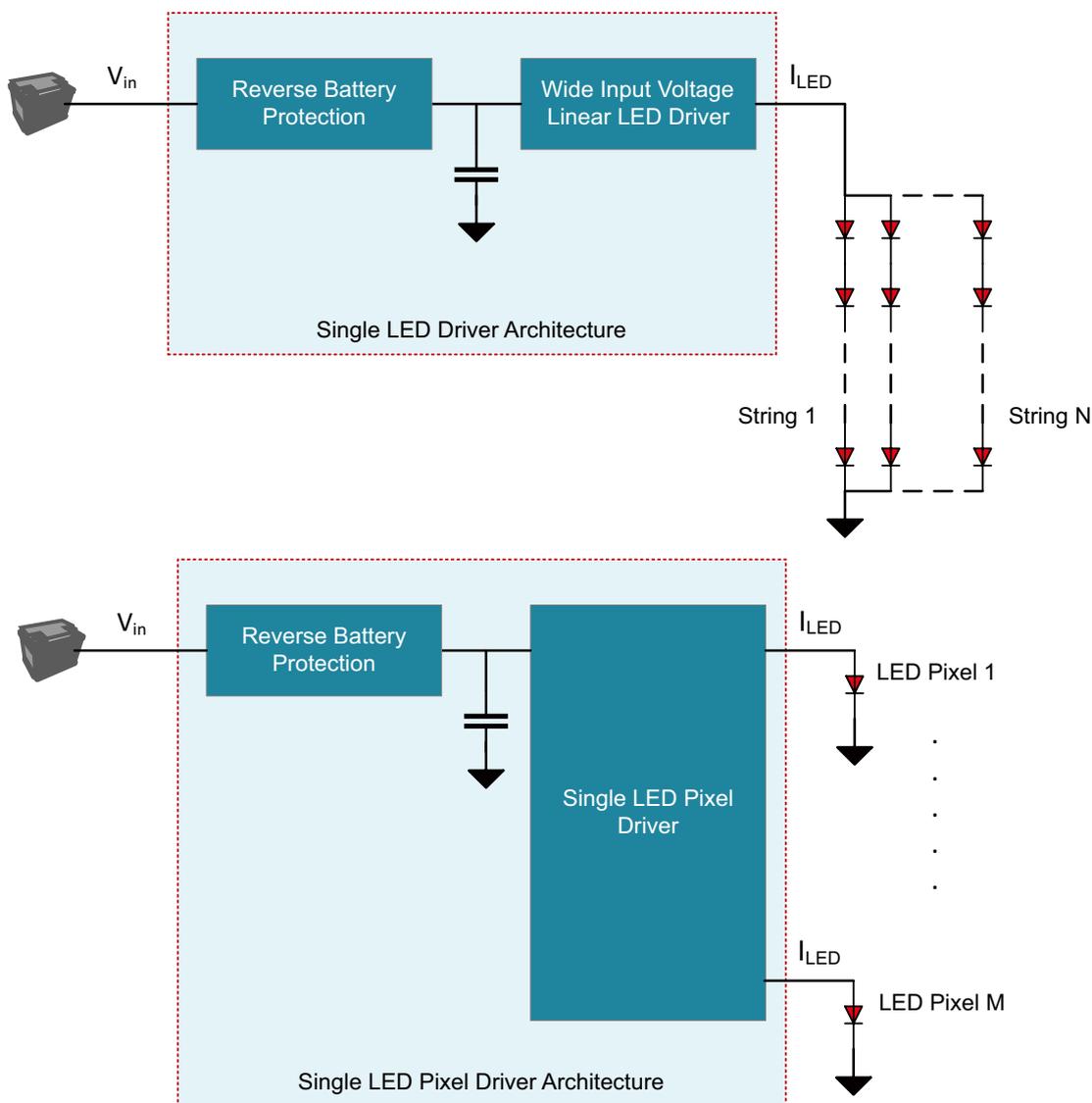


図 5. 1 個のドライバで複数の LED ストリングを制御する方式と、各 LED の個別制御の対比

LED 障害の診断機能

車載用ライトは寿命全体にわたって、光出力に関する規制を満たすことが不可欠です。ただし、LEDの障害が発生する可能性もあります。LEDの寿命期待値は自動車本体の最大動作時間数よりかなり長い反面、LEDは依然としてランダム障害に対して脆弱です。LEDのランダム障害の約80%は開路障害であり、20%未満は短絡障害です。

白熱電球ベースの従来型ライトは、電球の障害が発生すると完全に消灯するため、障害を容易に検出できます。一方、LEDベースのライトは複数のストリングで複数のLEDを使用しているため、1個のLEDの開路障害または短絡障害が発生した場合でも、残りのLEDは引き続き動作しており、そのような障害を容易に検出できない可能性があります。

単一ストリングのLED構成で1個のLEDの開路を検出するのは比較的簡単ですが、1個のLEDの短絡を検出するのは、識別がそれほど容易ではない可能性があります。

3個のLEDで構成された1個のLEDストリングについて考えてみましょう。シンプルなLEDドライバは、3個のLEDで形成されたストリングと、1個のLEDで短絡が発生した状況にある2個のLEDで形成されたストリングを区別できません。アニメーション形式の方向指示器では、このような障害の検出が必須です。各種規制は最初の200msにわたって光出力が特定の輝度レベルを満たすことを要求しているからです。1個のLEDで短絡が発生した場合、ライトは輝度要件を満たすことができなくなります。したがって、1個の障害が発生したときに全体の障害であると判定することができる、洗練された障害検出手法が必要です。言い換えると、単一LED障害で、ライト全体が消灯することになります。

EMC

現在の多くの自動車は、リア・ウィンドウのデフォグ（霜取り）をアンテナとしても活用しています。他の自動車は、ルーフ上で単体アンテナを使用しています。アンテナの動作への干渉を防止するために、車載用リア・ライトに課されるEMC要件は非常に厳格になっています。したがって、LEDドライバは少ない電磁波放射と高い耐性を実現する必要があります。リア・ライトでリニアLEDドライバを採用すると、EMCに関してリア・ライトの設計を簡素化できます。リア・ライト・システムは多くの場合、国際無線障害特別委員会（CISPR）25のような電磁波放射に関する規格や、ISO11452-5バルク電流注入（BCI）規格のような耐性に関する規格を基準としてテストを実施しています。

LEDドライバ・トポロジ

リア・ライトLEDドライバ・トポロジは、シングル・ステージとデュアル・ステージのどちらかです。図7に示すシングル・ステージ・トポロジは、単一のリニアLEDドライバを使用するのに対し、図8に示すデュアル・ステージ・トポロジは、電圧レギュレータの後段でLEDドライバを使用します。

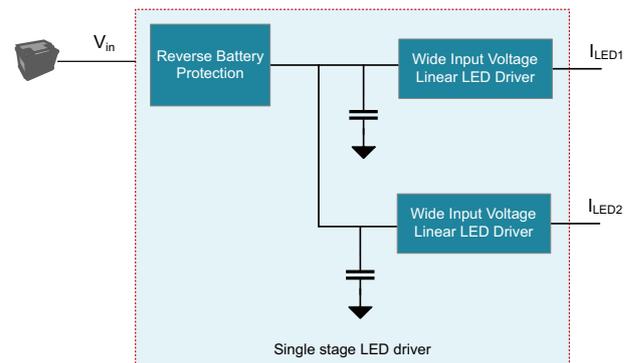


図7. シングル・ステージLEDドライバ

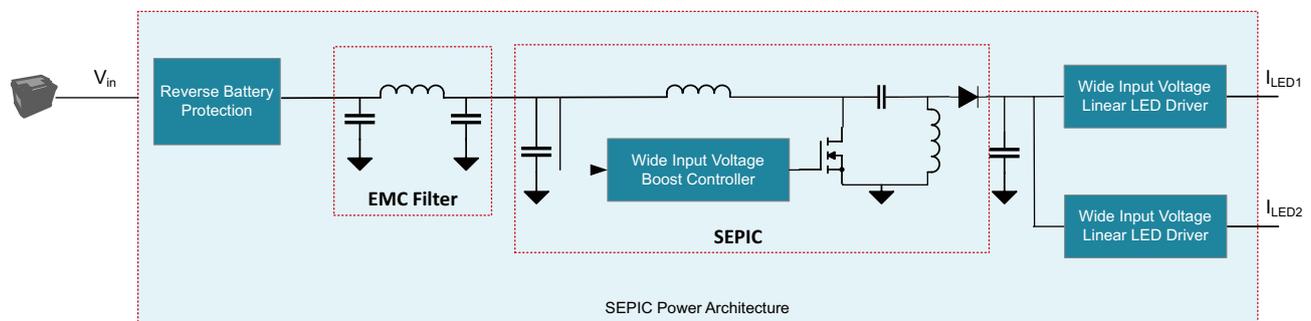


図8. デュアル・ステージLEDドライバ

リニアLEDドライバで使用できる回路トポロジの1つは、**図9**に示すように、1個の抵抗と1個のトランジスタを使用するディスクリート回路です。**式3**で、LEDに流れる電流を計算します。

$$I_{LED} = \frac{V_{in} - V_f(LED)}{R} \quad (3)$$

この回路は容易に実装できますが、多くの短所もあります。LEDのI-V特性と温度による変動が発生することから、LED電流は一定ではありません。加えて、この回路には診断機能がありません。最後に、この回路で熱を管理するには、複数の抵抗と複数のトランジスタを並列に実装し、複数のコンポーネント間で消費電力を分割する必要があります。その結果、過熱が原因で単一のコンポーネントの障害が発生する事態を防止できます。

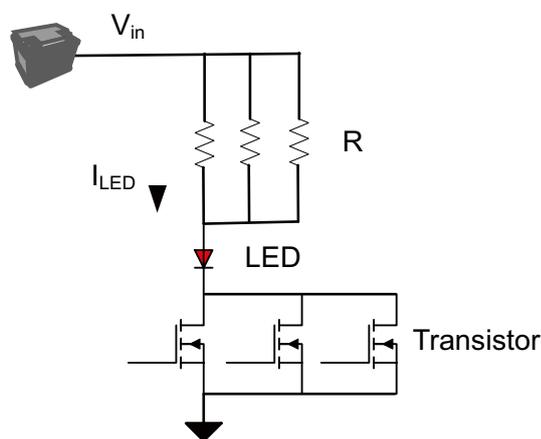


図9. ディスクリートLEDドライバ

ディスクリートLEDドライバとは対照的に、LEDドライバICは多くの利点を実現します。ドライバICは入力電圧にかかわらずに定電流を供給するほか、1個の障害が発生したときに全体の障害であると判定することができる診断機能を内部に実装しています。また、ドライバICはサーマル・フォールドバック機能も実装しており、LEDの温度が特定の上限を上回った場合はLEDに流れる電流を小さくします。LEDに流れる電流を小さくすると、消費電力も小さくなります。この結果、接合部温度の上昇も緩やかになります(**式1**を参照)。し

たがって、LEDの損傷を防止できます。

リア・ライトは一般的にリニアLEDドライバを採用していますが、大電流アプリケーションは場合によってはシングル・ステージのスイッチングLEDドライバを使用します。このような実装で、EMCに関連する課題は増加しており、電磁波放射を減らすためのスペクトラム拡散など、革新的な手法が必要になっています。

調光機能

テール・ライトとブレーキ・ライブの調光が必要なシナリオで、LED設計者はアナログ調光またはデジタル調光という2種類の手法を使用できます。アナログ調光はLEDに流れる電流を小さくします。その結果、光出力も小さくなり、調光を実現できます。デジタル調光(パルス幅変調、PWM調光とも呼びます)はPWMを使用し、実際の電流を、LEDドライバの出力電流と、0電流の間で変調(短時間でどちらかに切り替える作業を繰り返す)します。この方法で光出力の平均値を小さくし、この場合も同様に調光出力という結果を達成できます。

アナログ調光は、一様な光度を実現するために各LEDを流れる電流のキャリブレーションを実施する形式で、調光方法および設計の同質性を改善する手法として使用されています。ただし、複数のLEDを公称電流で調光するので、駆動電流を小さくすると、複数のLED間での光度差が大きくなり、同質性に関する懸念につながります。電流が小さい状況では、同質性の設計にとって電流精度が不可欠です。大半のアナログ調光比は、20:1以下に制限されています。デジタル調光の場合、デューティ・サイクルが低い状況でもPWMは高精度です。光度の不一致はほぼ無視できる範囲です。したがって、高精度調光に適しています。

デジタル調光を実装するには、PWMジェネレータが必要で、555互換タイマを使用するディスクリート形式、またはマイコン形式のどちらかになります。アニメーション・ランプを使用する場合、デジタル調光がより一般的に使用されています。ファームウェアを使用した制御が容易だからです。

将来のリア・ライティング

車載用のリア・ライティング・システムは、合図、スタイル設定、カスタム化に関する市場のニーズに対応するために、大幅な進化を遂げてきました。このような変化に伴い、LEDドライバを必要とする、より複雑なシステムが登場しました。また、エンジニアは以下のような電氣的設計に関する課題に直面するようになりました。

- 電力需要の上昇
- 熱管理
- 電磁干渉 (EMI) と電磁適合性 (EMC)
- 故障検出と保護

ライトの必要性低下の可能性

自動車業界は、自動運転機能の強化を進めています。そのため、「自動運転の自動車は車外照明を必要とするのだろうか」という疑問が浮上する可能性があります。これは興味深い疑問です。

レーダー、LIDAR、カメラ、車車間および路車間通信 (V2X) の各テクノロジーを使用して人間の介在なしに自動車が独立動作する場合、人によっては外部を照らすライティングをバッテリーの無駄遣いだと考える可能性があります。とはいえ、このホワイト・ペーパーで説明したように、ライティングは照明以外に、審美的な訴求力や、他者に対する合図という機能も実現しています。消費者はすでに、スタイルを重視したライティングの設計になじんでおり、今後のカスタム化の進展はいっそうの訴求力向上につながります。また、近い将来、自動運転自動車、従来型の自動車、歩行者などが混在する交通状況で、自動車のライティングは他者に対する合図の点で不可欠な役割を果たす見込みです。

筆者の予測では、リア・ライティングは今後も存続する見通しです。

関連ウェブサイト

- [リア・ライトの設計に便利なシステム・ブロック](#)
(おすすめICやリファレンス・デザインを提示)
- [車載用 LED ドライバ・ソリューション](#)
- [DLP® 製品の車載用チップセット](#)

S-0107

ご注意：

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。



重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売条件 (www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termssofsale.html)、または ti.com やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社