

車載 LED ドライバ回路の基礎



Kathrina Macalanda

Product Marketing Engineer
Power Switches, Interface & Lighting
Texas Instruments

LED回路：点灯は簡単、設計は困難

LEDは電流駆動デバイスで、電圧および温度などの動作条件の変化に大きく影響されます。車載環境で使用されるLEDは、広範囲の動作条件下に置かれ、耐用年数前に劣化や修復不能な故障が発生することが多々あります。適切な回路設計を行えば、LEDの寿命と性能は改善できます。

自動車では、LEDは図1に示すように、後部のテール・ランプからクラスタの警告状態インジケータまで、照明用によく選択されます。LEDは、小型サイズのため柔軟なスタイリングが可能で、車両寿命まで持ちこたえる能力があります。しかしながら、LEDは、特に厳しい車載環境では、不安定な電圧、電流および温度条件からのダメージを容易に受けます。LEDの効率と寿命を最適化するため、LEDドライバ回路の設計には慎重な分析が必要です。



図1：計器クラスター・ダッシュボードのインジケータ

LED駆動のために使用する電子回路ではトランジスタを実装します。LED駆動に使用する典型的な回路トポロジの1つがリニア・トポロジで、トランジスタはリニア領域で動作します。ドライバ回路を実装する際には、ディスクリート・トランジスタを使用するか、あるいは他のLED関連機能も備えた半導

体ICの内蔵トランジスタを使用するかを選べます。ディスクリート実装では、コモディティ・デバイスであるバイポーラ接合トランジスタ (BJT) がよく使用されます。回路の観点から見るとBJTは設計が簡単ですが、動作温度範囲および入力電圧条件の全体にわたって、電流の正確性、基板サイズ、熱管理および故障検出の要件を満たすトータル・ソリューションを開発する場合には、大きな問題があります。

さらに、LED数が増加したり、プロジェクト要件が複雑化すると、ディスクリート・トランジスタを使用する回路設計はより複雑になります。ディスクリート部品を使った設計とは対照的に、統合ソリューションを使用すれば、回路設計だけでなく設計試験工程も簡素化できます。さらに、ソリューション全体のコストも削減できます。したがって、車載照明アプリケーションでLEDを駆動する回路を設計する場合には、LEDの特性について検討し、回路設計の選択肢を互いに比較し、システム要件を考慮に入れることが重要です。

LEDの重要な考慮事項

LEDはP型とN型 (PN) の接合ダイオードで、一方向にしか電流を流しません。電流は、LEDの順方向電圧 (V_F) に達すると流れ始めます。LEDの輝度は順方向電流 (I_F) によって制御され、LEDに流れる電流の量は印加電圧に依存します。 I_F が輝度に対して直線的な関係にある一方、LEDの V_F のわずかな変化でLEDの電流量は指数関数的に増加し、過剰な I_F はLEDにダメージを与えます。

異なる色のLEDでは異なる半導体化合物が使用され、 V_F と I_F の要件が異なります(図2)。特に同一設計内でさまざまな色のLEDを使用する場合には、各LEDのデータシートの特性を考慮しなければなりません。例えば、RGB照明を設計する場合、赤LEDの V_F は2V付近ですが、青LEDと緑LEDの V_F は3~4V付近です。同一電源から給電しているため、LEDのダメージを防止するには色ごとに適切な電流制限抵抗が必要です。

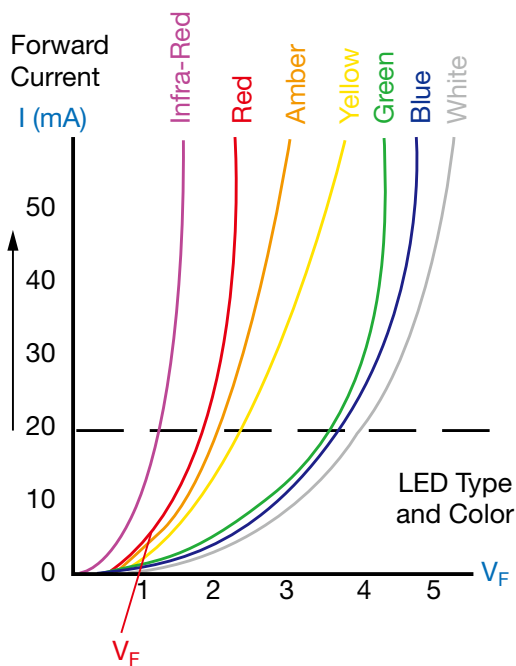


図2: LEDの V_F 対 I_F

熱効率と電力効率

電源電圧と電流に加えて、温度と電力効率にも慎重な分析が必要です。LEDを通過する電流は光に変換されますが、PN接合で熱に変わるエネルギーもあります。LEDの接合部温度は周囲温度(T_A)、LED接合部と周囲空気との間の熱抵抗($R_{\theta JA}$)、および消費電力(P_D)の影響を受けます。式1は、LEDの P_D を表します。

$$P_D = V_F \times I_F \quad (1)$$

式1を用いて、式2はLEDの接合部温度(T_J)を計算します。

$$T_J = T_A + R_{\theta JA} \times P_D \quad (2)$$

T_J は典型的な動作条件だけではなく、ワースト・ケース・シナリオを考慮したアプリケーションの予想最大 T_A の条件でも計算することが重要です。LEDの T_J が上昇すると、LEDの出力効率は低下します。LEDの I_F と T_J は、ダメージを防止するため、データシートに掲載された絶対最大定格を超えないようにする必要があります。(図3)

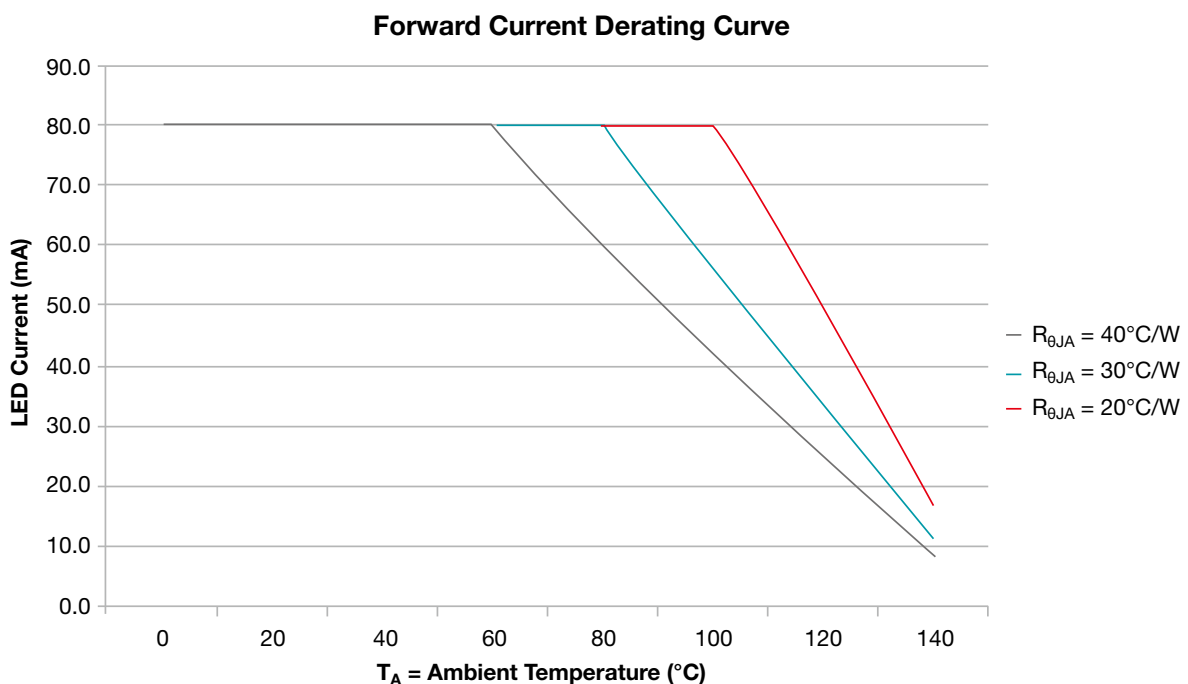


図3: LED電流のディレーティング曲線の例

特にディスクリート部品数が増加するにつれ、LED自体に加えて、抵抗器の電力効率や、BJTやオペアンプのようなドライバ回路部品の電力効率も考慮しなければなりません。ドライバ回路の電力効率の悪さ、LEDオン時間の長さ、暖かい環境などはすべて温度上昇の一因となり、ドライバBJTの出力電流に影響を与え、LEDの V_F 電圧降下を減少させます。 V_F 電圧降下が減少すると、LEDに流れ込む電流は増加します。この結果、PDおよび温度が上昇し、 V_F はさらに減少します。この過熱サイクルは、「熱暴走」と呼ばれ、過剰な I_F が消費されるため、LEDを最大動作温度を超えて動作させ、劣化させ、やがては故障させます。

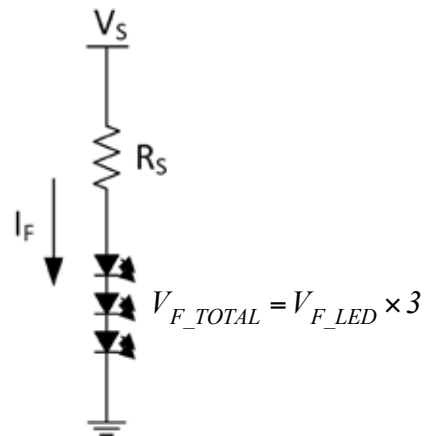


図4: R_S を用いた直接LED駆動

リニアLED駆動

LEDはディスクリート部品またはICを使ってリニア駆動できます。選択肢の中で最も基本的なLED制御方法は、LEDを電源電圧 (V_S) に直結することです。適切な電流制限抵抗を加えれば、電流は安定化し、LEDに給電する適正な電圧降下が生じます。式3は、直列の電流制限抵抗 $R (R_S)$ を計算します。

$$R_S = \frac{V_S - V_F}{I_F} \quad (3)$$

図4ではLED 3個が直列であるので、 V_F の計算時にLEDの V_F の合計を考慮する必要があります。(LEDの I_F は変化しません。)

これは最も基本的なLED駆動回路ですが、実際のアプリケーションではまったく実用的ではありません。電源、特に車載バッテリーは変動する傾向があります。電源のわずかな変化によりLEDは電流をさらに消費し、ダメージを受けるおそれがあります。また、抵抗を通じての大きなPDにより発熱が増え、熱暴走の一因になる可能性があります。

ディスクリートの定電流LEDドライバ

定電流回路を実装すれば、さらに電力効率の良い安定した設計が得られます。LEDをオン/オフするための最も一般的な手法として、トランジスタは安定化された電流を供給します。図5に示すように、LED設計の電圧電流ニーズに応じて、BJTあるいは金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)のいずれかを選べます。トランジスタは抵抗よりも大きな電力を扱えますが、やはり電圧と温度の変化に影響されます。例えば、BJT両端の電圧が上昇すれば、その電流も増加します。

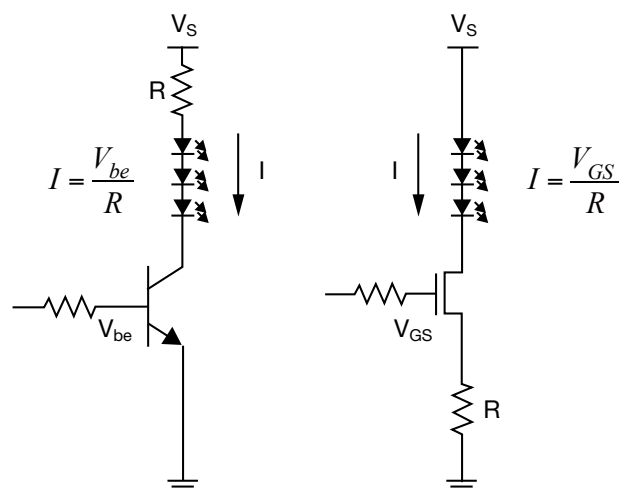


図5: トランジスタを使った定電流LED駆動

さらに安定性を保証するには、電圧変動がある場合でも電流を安定して供給できるように、これらのBJT/MOSFET回路を改造できます。電流源回路の事例を図6から図8に示します。

図6では、ツェナー・ダイオードがトランジスタのベースに対して安定した出力電圧を生成しています。電流制限抵抗 R_Z は、ツェナー・ダイオードが正しく動作するよう、適切な電流を供給します。ツェナー・ダイオードの出力電圧は、電源電圧の変動によらず一定に保たれます。エミッタ抵抗 R_E での電圧降下は、ツェナー・ダイオードの電圧降下と一致する必要があるため、トランジスタはコレクタ電流を調整します。結果として、LEDへの供給電流は一定になります。

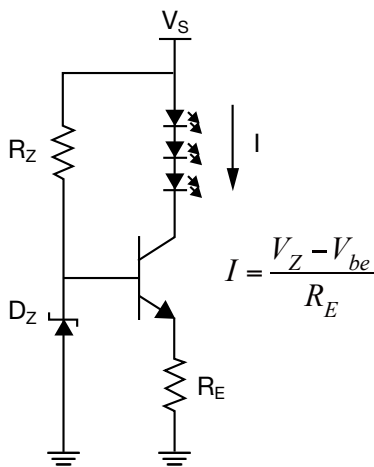


図6: ツェナー・ダイオードを使った電流源LED回路

図7では、反転入力为非反転入力と一致するよう、オペアンプの帰還ループがその出力を調整しています。ツェナー・ダイオードは基準電圧として使用されています。センス抵抗 R_S 両端の電圧は、ツェナー・ダイオード両端の電圧に比例する必要があるため、オペアンプはトランジスタを所定の電圧に駆動します。ツェナー・ダイオードが安定動作している限り、 R_S とLEDを通過する電流は一定です。

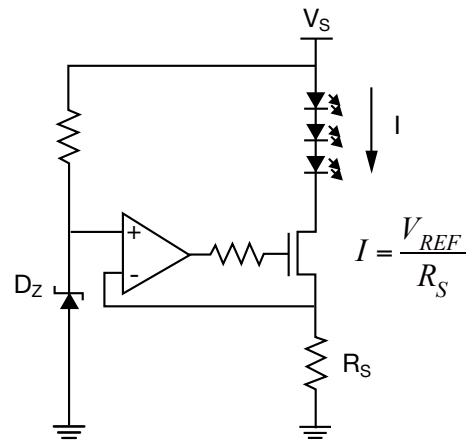


図7: オペアンプを使った電流源LED回路

図8に、トランジスタ2個を使って実現された別の帰還ループを示します。電流は R_1 を流れ、トランジスタ Q_1 をオンにします。次に電流は R_2 を流れ、LEDを流れる電流を設定します。 R_2 を流れる電流が増加すると、 R_2 に対する電圧降下は大きくなります。電圧降下がトランジスタ Q_2 のベース-エミッタ間電圧(V_{be})に達すると、 Q_2 はオンになります。オンになった Q_2 には、 R_1 を通じて電流が流れ始めるため、 Q_1 がオフになり、実質的にLEDへの電流を制限します。

この帰還ループは、LEDへの適切な電流の一定供給を保証します。この例ではBJTを使用していますが、この回路はMOSFETを使っても実装可能です。

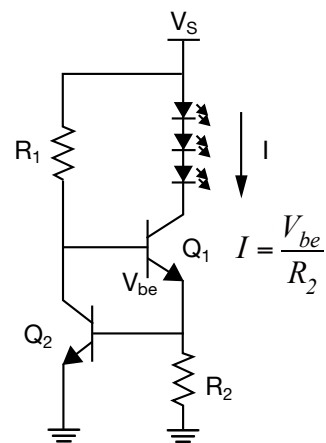


図8: トランジスタ2個を使った電流源LED回路

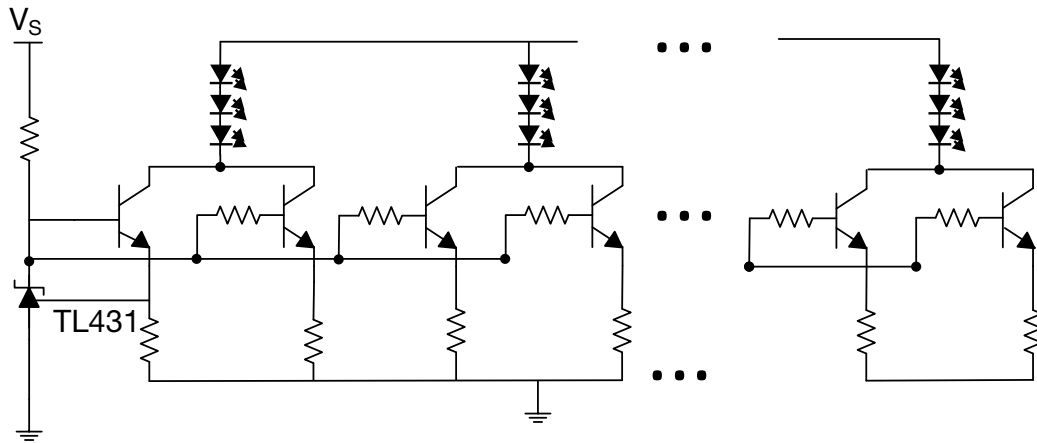


図9：ディスクリート部品を使用して多数のLEDストリングを駆動

統合された定電流LEDドライバ

図9に示すように、基本構成要素として、このトランジスタによるLED回路を繰り返し使用することで、任意の数のLEDストリングを駆動できます。少数のLEDを制御する場合でも、回路の部品数は増加し、基板面積が制限され、汎用I/O (GPIO) ピンも不足します。さらに、この回路では、LEDアプリケーションの一般的な要件である輝度制御や故障診断には対応できません。これらの要件を実装すると、ディスクリート部品がさらに増加し、設計分析が追加されます。LED数が多い、要件が難しい、またはその両方が該当するプロジェクトでは、ディスクリート回路設計はさらに込み合い、複雑性を増します。

設計プロセスの簡略化には、LEDを駆動する専用ICの使用が最適です。図9に示すような数十個のディスクリート部品も、図10に示すようなLEDドライバを使えば簡素化できます。LEDドライバICは、LEDに特有の電圧、電流、温度の問題を念頭に置いて効率的に設計され、部品数と基板面積を削減します。さらに、LEDドライバICには輝度制御および過熱防止などの診断機能も内蔵できます。ディスクリート回路を組み合わせて輝度調整や診断機能を実装することは可能ですが、代わりにLEDドライバICを使用すれば簡単かつ信頼性の高い設計が得られます。

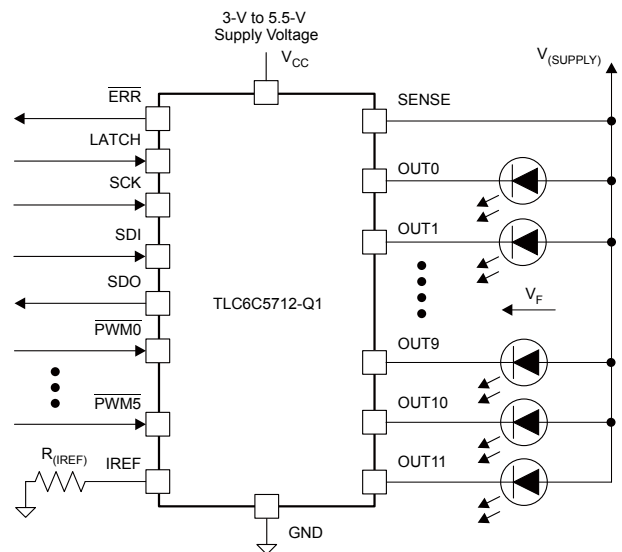


図10：TLC6C5712-Q1マルチチャンネルLEDドライバICによる部品数の削減

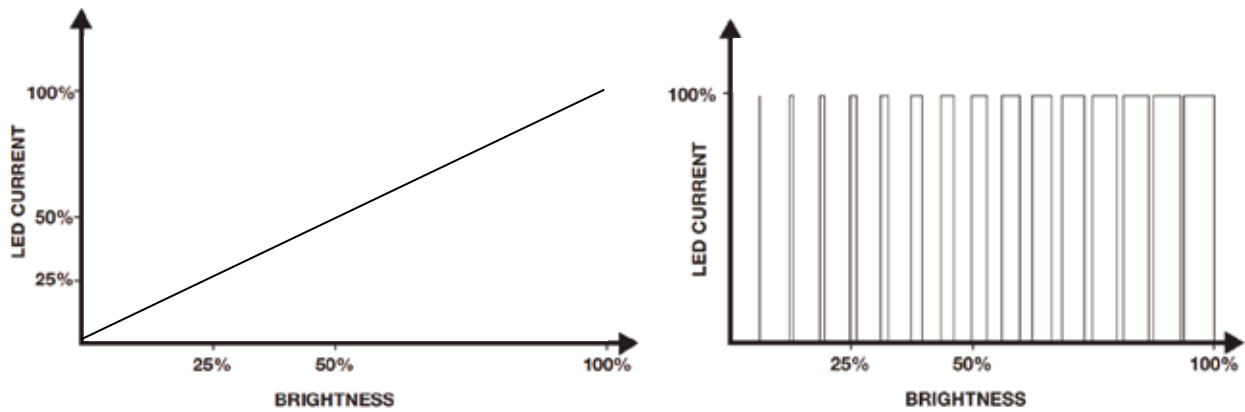


図11:アナログ調光とPWM調光

LEDアプリケーションによく見られる問題

多くのアプリケーションは、LEDの輝度調整を必要とします。輝度は I_F に比例するので、輝度を調整するにはアナログ電流調光とパルス幅変調 (PWM) 調光が使用できます。図11に、この2つの輝度制御方式の差異を比較します。アナログ調光では、輝度は定電流の振幅により調整され、電流が大きいほど比例して高輝度になります。ただし、アナログ調光は、特に低輝度レベルで分解能が劣ります。アナログ調光はRGB照明や状態インジケータなど、色に依存するプロジェクトにも向いていません。 I_F の変動により色出力に変化が生じるからです。

一方、PWM調光は、LEDをオン/オフをする間、一定の I_F を供給します。時間平均されたLED電流がデューティ・サイクル (PWMのパルス周期に対するパルス長の比率) に比例し、平均電流が大きいと高輝度になります。さまざまな輝度レベルに合わせてデューティ・サイクルを微調整できるため、PWM調光はアナログ調光と比較すると調光比が拡大しますが、より細かい設計分析を必要とします。PWM周波数は人間の目が認識できる周波数よりも高くする必要があり、そうでないとLEDがちらつきます。

さらに、PWM調光は電磁干渉 (EMI) を発生しやすくなります。EMI性能が劣るLED回路は、ラジオのアンテナに可聴域の雑音障害を生じさせるなど、他のアプリケーションに影響を与える可能性があります。LEDドライバICは、アナログ調光とPWM調光の両方を提供でき、さらにプログラマブル・スルー・レートや出力チャネル位相シフトまたは群遅延など、EMI軽減の追加機能を持つものもあります。

LEDの診断機能と故障報告

LED診断機能 (過熱、短絡、開放など) は、特に複数のLEDを駆動する場合には一般的な設計要件です。LED故障の可能性を減らすため、LEDドライバは、ディスクリット回路と比べて高精度で安定化された出力電流を供給するほか、LEDとデバイス自身の寿命を延ばす過熱保護も内蔵しています。LEDドライバはLEDの開放/短絡などの故障も診断できます。

検出された故障に対して、フォローアップ・アクションを要求するアプリケーションもあります。例えば、リア・ライト・モジュールには、テール・ライトとブレーキ・ライトを駆動する複数のLEDストリングがあります。LEDストリングの1つでLED故障が検出された場合には、全LEDを消灯できます。これは、LEDがさらに劣化することを防止するだけでなく、リア・ライト・モジュールの輝度レベルが市場規制範囲から外れ、保守が必要であることを警告するためです。

ドライバに診断警告を与えるため、**図12**に示すように、車体制御モジュール (BCM) 内の**スマート・ハイサイド・スイッチ**がリア・ライト・モジュールの故障を検出します。しかしながら、BCMからLED故障を診断することは困難です。従来の白熱電球を用いたシステムとLEDベースのシステムの診断に同じBCM基板設計を使用できる場合がありますが、LEDの負荷電流は白熱電球の負荷と比べて非常に小さいので、電流センサ診断機能が正確でないと、有効なLED負荷と開放負荷の区別が難しい可能性があります。開放された1つのLEDストリングを消灯する場合と比較して、全LEDストリングを消灯する方が、BCMで開放負荷を診断するための検出は容易になります。LEDが1つ故障した場合に全LEDを消灯するために、OFA (One-fail-all-fail、1つの障害が発生すれば全体を障害とする機能) 故障回路を実装できます。車載リニアLEDドライバには、OFA 応答を有効化するオプションがあり、複数IC間で1つの共通フォルト・バスを共有できます。

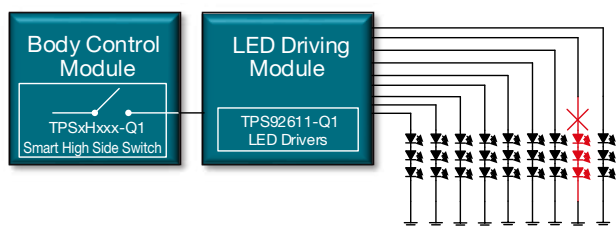


図12: BCMによるLED駆動モジュールの故障診断

統合と柔軟性

LEDの個数が多い設計では、GPIOピンが利用できるかどうか大きな問題となります。ワンチップ・ソリューション内で多数のLEDチャンネルを駆動することに加えて、多くのマルチチャンネルLEDドライバには、シリアル・ペリフェラル・インターフェイス (SPI) やI²Cなどのシリアル通信機能があり、チャンネル輝度の制御と診断が可能です。シリアル通信では複数のマルチチャンネル・デバイスのデジター・チェーン接続が可能で、それにより、マイクロ・コントローラからわずか2線または4線で数十個から数百個のLEDを制御できます。

さまざまなプロジェクトのニーズに合ったLEDドライバが多数提供されています。チャンネルの選択肢としては、**TPS92611-Q1**のような、ディスクリットBJT回路の堅牢な代替品となる簡単なシングルチャンネル・デバイスから、**図10**の**TLC6C5712-Q1**のようなRGB照明用のマルチチャンネル・デバイスまであります。リア・コンビネーション・ライト、エクステリア・ヘッドライト、あるいはディスプレイ・バックライトなどのシステムでは、ワンチップの車載ソリューションを実現するために役立つ特定用途向けデバイスを利用できます。最後に、すべてのデバイスがディスクリット回路よりも優れた定電流レギュレーションや過熱保護を提供するだけでなく、包括的な保護診断機能一式を内蔵するデバイスもあります。

未来の設計を明るく照らす

照明アプリケーションの多くでは、電圧、電流、温度に関するLEDの敏感な挙動が原因で、LED回路設計が複雑になることがあります。LED数が多い、または輝度制御や診断報告などの要件が難しいアプリケーションでは、さらに設計の複雑さが増します。慎重な分析を行えば、この問題にディスクリット回路の実装を使って対応できるかもしれません。しかしながら、LEDシステムで多数のBJTと他のディスクリット部品を使用する場合、部品数、基板スペース、システム全体のコストが増加します。部品を多数使用すると設計製造リスクも増します。ディスクリット部品すべての設計、デバッグ、組み立てに費やされるリソースを考えたとき、統合LEDドライバ・ソリューションを使えば時間と費用の両方を節約できます。LEDドライバICは、簡単な設計、信頼性の高い性能、および価格競争力を提供します。TIでは、あらゆる照明設計に対応するため、幅広い種類の**LEDドライバ**を提供しています。

その他のリソース

- ホワイト・ペーパー「[車載用リア・ライト分野のLEDドライバ](#)」
- [車載テールランプ向け、デュアル・ステージ \(SEPIC + リニア\) スタティック LED ドライバ・モジュールのリファレンス・デザイン](#)
- リニアLED回路に関するビデオ「[How to estimate junction temperature](#) (接合部温度の見積もり方法)」を視聴する。

TI Worldwide Technical Support

TI Support

Thank you for your business. Find the answer to your support need or get in touch with our support center at

www.ti.com/support

China: <http://www.ti.com.cn/guidedsupport/cn/docs/supporthome.tsp>

Japan: <http://www.tij.co.jp/guidedsupport/jp/docs/supporthome.tsp>

Technical support forums

Search through millions of technical questions and answers at TI's E2E™ Community (engineer-to-engineer) at

e2e.ti.com

China: <http://www.deyisupport.com/>

Japan: <http://e2e.ti.com/group/jp/>

TI Training

From technology fundamentals to advanced implementation, we offer on-demand and live training to help bring your next-generation designs to life. Get started now at

training.ti.com

China: <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/gencontent.tsp?contentId=71968>

Japan: <https://training.ti.com/jp>

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

A011617

The platform bar and E2E are trademarks of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.



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