参考資料

Application Note

LED ドライバの音響ノイズを低減する方法

Peter Xu

概要

優れた安定性と低コストという特長により、グローバル調光 LED ドライバは車載ディスプレイや HUD で広く使用されています。LP886x-Q1 シリーズは、大きな調光比とシステム安定性により、市場で成熟した設計となっています。しかし、アプリケーションによって LED 電流や調光比の要求仕様が異なるため、実機実装で音響ノイズが発生する場合があります。本ドキュメントでは、主にこのようなノイズの原因について説明し、ノイズを減衰させるための対応する設計を提示します。

目次

1 概要.....2
2 インダクタの音響ノイズと設計.....3
3 コンデンサの音響ノイズとその対策.....6
4 まとめ.....10
5 参考資料.....10

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

English Document: SPVA076
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 概要

LED ドライバ モジュールには、常にバッテリ、LED ドライバ、および LED が含まれています。車載市場では、ほとんどのバッテリが 12V システムに基づいており、電圧範囲は 9V ～ 16V です。出力電圧範囲は、25V ～ 45V です。したがって、ほとんどの LED ドライバは昇圧トポロジを使用しています。今日では、メーター クラスタ、センター インフォメーション ディスプレイ、後部座席用ディスプレイ、ヘッドアップ ディスプレイなど、より多くのディスプレイ モジュールが車載実装されています。これらのディスプレイのサイズは大型化しています。これにより、より多くの LED を統合する必要が生じ、出力電圧の上昇につながります。出力電圧が上昇すると、システム全体に対してより高いループ安定性とシステム安定性が要求されます。

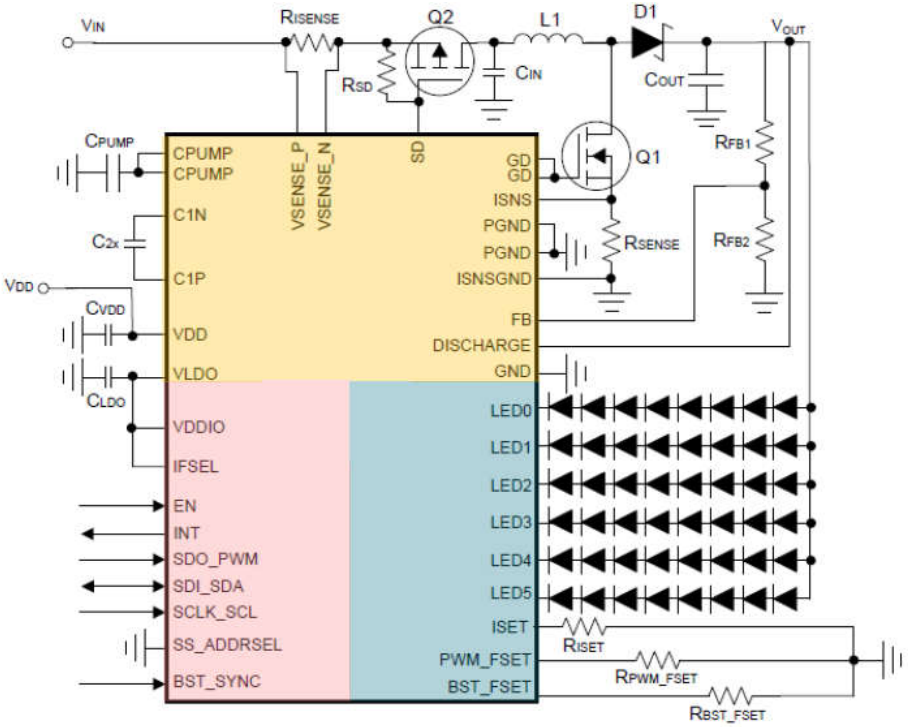


図 1-1. LED ドライバのブロック図

LED ドライバの動作時に、お客様にノイズが聞こえる場合があります。出力電流が大きくなるほど、ノイズは大きくなります。積層セラミック コンデンサ (MLCC) で観察される音響ノイズ現象は、主にセラミック材料に固有の圧電効果に起因します。独特の多層セラミック構造により、MLCC は端子間に時変電界が印加されると、それに比例した機械的ストレス変動を示します。結果として生じる振動周波数が人間の可聴領域 (20Hz ～ 20kHz) 内に入ると、発生した音響が音響ノイズとして現れます。

インダクタから放出される音響ノイズは、主に磁気歪みに起因します。高周波交流電流を受けると、コア材料は時変磁界の下で周期的な微視的ひずみを受け、機械的振動が誘導されます。この振動が周囲の構造や空気と結合し、音波を発生させます。圧電効果とは異なるこの現象は、寄生的な磁気 - 機械エネルギー変換を構成し、LED ドライバ回路などのパルス電流を持つ回路でよく観察されます。

LED ドライバにおける音響ノイズは、現代の照明システムにおいて大きな課題となっています。これらの問題は、スイッチング動作、磁性部品、および不適切な回路設計から生じます。過剰なノイズは、電磁両立性 (EMC) を損なうだけでなく、ユーザー エクスペリエンスやシステム信頼性も低下させます。これらの課題に対処するには、エンジニアは回路図設計と PCB レイアウトの最適化を組み合わせた包括的なアプローチを採用する必要があります。本稿では、両方の段階でノイズを緩和し、業界標準への適合性を検証してパフォーマンスを向上させるための戦略を探ります。

要約すると、本アプリケーション ノートは、ユーザーが LED ドライバのノイズを低減するための設計ガイドです。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 インダクタの音響ノイズと設計

音響ノイズ源の特定は非常に重要です。LED ドライバでは、主なノイズの種類として、インダクタ起因のノイズとコンデンサ起因のノイズの 2 つがあります。どの部品が音響ノイズを発生させているかを判定するには、簡単な方法を使用できます。長い固形物 (鉛筆など) を使用し、一端をインダクタに当て、もう一端を耳に当てます。鉛筆を通してノイズが検出された場合、インダクタがノイズ源です。

ノイズ源がインダクタであることが確認されたら、SW ノード波形とインダクタ電流波形を測定します。通常、これらの波形には 20Hz ～ 20kHz の可聴領域内の周波数成分が観察されます。

インダクタの音響ノイズには、インダクタンス値と設計仕様との乖離、インダクタ飽和電流の不足、過剰な入出力電圧差、ループの不安定性など、いくつかの要因が影響を与える可能性があります。音響ノイズを発生させているインダクタが特定されたら、カレント プローブを使用して電流波形を測定することができます。

不適切なインダクタの選定は音響ノイズの原因となる可能性があります。図 2-1 に示すように、インダクタ電流波形に周期的なスパイクが検出される場合は、インダクタの磁気飽和に起因する異常を示しており、その結果として音響ノイズが発生します。この現象を緩和するには、より高い飽和電流を示すインダクタに交換することが推奨されます。これにより、飽和効果に関連する問題を回避できます。

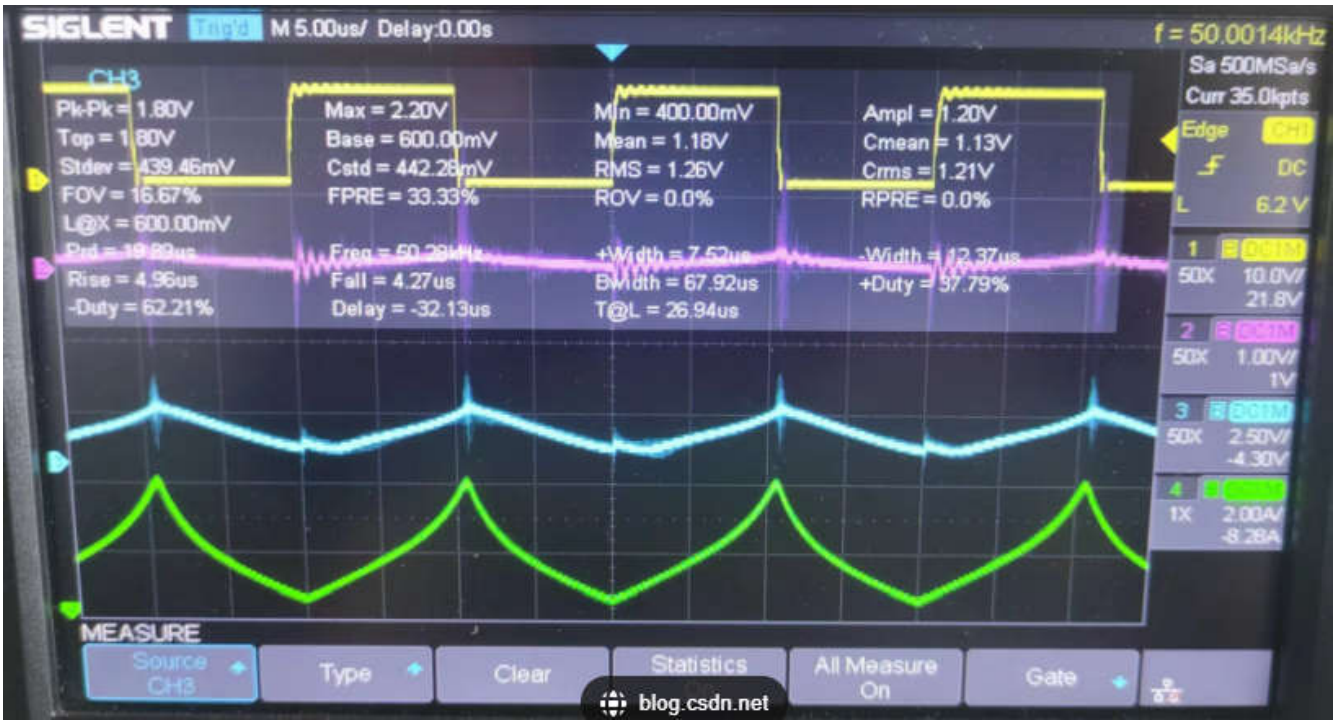


図 2-1. スパイクを伴うインダクタ電流波形 (緑色)

インダクタ電流波形に周期的なドロップアウトが観察される場合、出力過電圧または過剰な入出力電圧差に起因する可能性があり、その結果、固定スイッチング周波数条件の下でデバイスが出力調整レギュレーションを維持できなくなります。この現象に対処するには、入力電圧を高くするか、あるいはスイッチング周波数を低下させ、安定した出力電圧レギュレーションを確保することを推奨します。

インダクタ電流波形に周期的なドロップアウトが観察される場合、出力過電圧または過剰な入出力電圧差に起因する可能性があり、その結果、固定スイッチング周波数条件の下でデバイスが出力レギュレーションを維持できなくなります。この現象に対処するため、TI では入力電圧を高くするか、あるいはスイッチング周波数を低下させ、安定した出力電圧レギュレーションを確認することを推奨します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

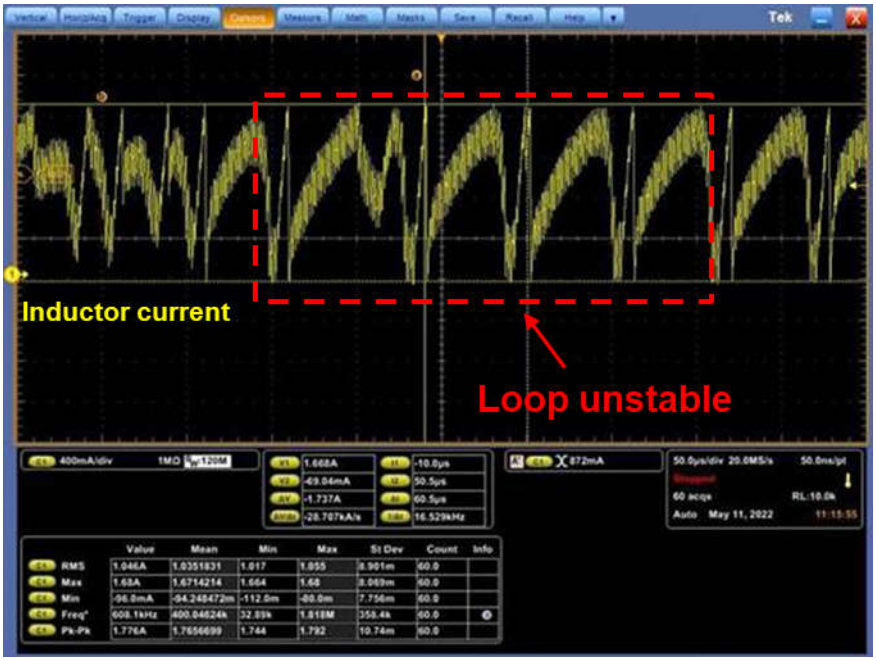


図 2-2. タイトルをここに挿入

上に示すように、インダクタ電流波形は不安定な特性を示し、スイッチング周波数に低周波のリップル成分が結合することにより、インダクタから音響ノイズが発生します。この時点では、ループ補償パラメータに特別の注意を払いながら、回路図設計を体系的に検証する必要があります。図 2-3 に示すように、すべての TI LED ドライバには通常、独自の計算ファイルが付属しており、ループ応答特性の予備検証が可能です。

Cout_effective_actual	20	uF	
Gain Margin Gap	6.0	dB	If gap > 3dB, external compensation is recommended
External compensation used	Yes		
Recommended R4 (FB)	162.0	kOhm	
Recommended $C_{comp\ (FB)}$	96.1	nF	
R4_actual	162	kOhm	
Ccomp_actual	100	nF	
Pole_C_{COMP}	6.7	Hz	Recommend In the range of 1~10Hz
Gain Margin Gap_actual	2.7	dB	Recommend the range of +/-3dB

図 2-3. LP8866-Q1 計算ファイル

昇圧スイッチング コンバータ構成では、ゲイン マージンを 10dB 以上に維持しながら、位相マージンは一般に 45 度を超える必要があります。さらに、クロスオーバー周波数は最小仕様として 1kHz を超えることが要求されます。図 2-4 に示す LED ドライバ回路で実行されたループ応答では、位相マージンが 45 度未満であることが判明し、指定された設計要件を満たしていません。ループ補償ネットワークの反復最適化を行った後、再計算されたループ応答パラメータを 図 2-5 に示します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

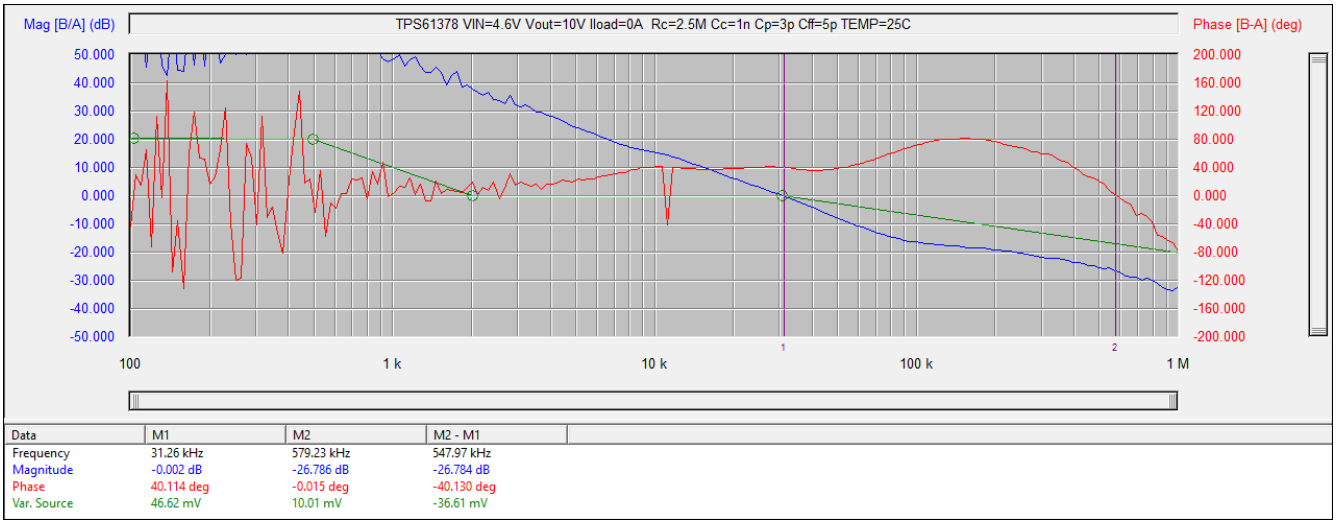


図 2-4. 不安定なループに対するループ応答結果 (位相マージン = 40 度)

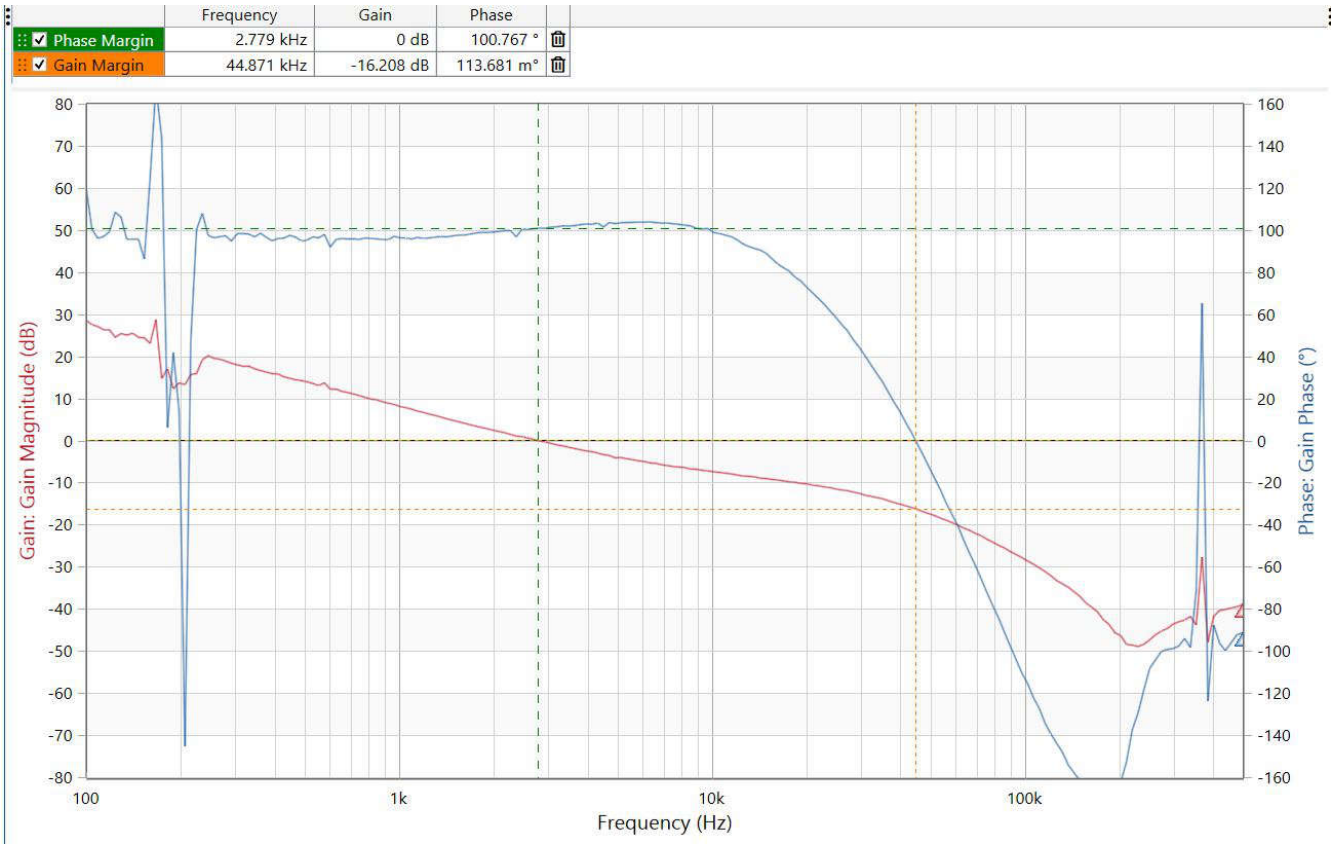


図 2-5. 安定したループに対するループ応答結果 (位相マージン = 100 度)

さらに、不適切な部品の選定も潜在的なノイズ源となり得ます。インダクティブ部品の温度特性には特に注意を払う必要があります。一部のフェライト コア材料は動作温度範囲全体で重大なパラメータドリフトを示し、温度変化の条件下で不安定性を引き起こす可能性があるためです。

包括的な検証のためには、低温特性の評価に特に重点を置きながら、指定された温度プロファイル全体にわたる全負荷テストを実施する必要があります。この手順により、動作温度範囲全体にわたってループ安定マージンが許容範囲内に維持されることが検証されます。サーマル サイクル中に観察される偏差は、補償ネットワークの反復調整を通じて体系的に解決する必要があります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 コンデンサの音響ノイズとその対策

LED ドライバ回路において、コンデンサの音響ノイズは主に LED の PWM 周波数によって引き起こされます。LP8866-Q1 ドライバにおける LED の PWM 周波数と調光分解能の関係を 表 3-1 に示します。理論上、LED の PWM 周波数が人間の可聴域 (20Hz ～ 20kHz) 内に入ると、可聴ノイズが発生する可能性があります。しかし、実機実装では、音響ノイズの大きさは出力電流、調光モード、PCB レイアウト、コンデンサの種類などの複数の要因に関連しています。コンデンサの可聴ノイズが検出された場合、調光分解能をわずかに低下させることにより、LED の PWM 周波数を可聴領域のスレッショルドより高くすることができます。それにもかかわらず、調光分解能の要求仕様によって、通常は LED の PWM 周波数に上限が課されます。以降のセクションでは、LED の PWM 周波数が固定値に制限されている場合の緩和戦略について説明します。

表 3-1. LP8866-Q1 における LED の PWM 周波数と調光分解能

R_PWM_FSET (kΩ)	LED PWM 周波数 (Hz)	PWM 調光分解能 (ビット)
3.92	152	16
4.75	305	16
5.76	610	15
7.87	1221	14
11	2441	13
17.8	4883	12
42.2	9766	11
124	19531	10

LED ドライバは通常、複数の調光モードを提供します。LP8866-Q1 では、PWM 調光、アナログ調光、ハイブリッド調光の 3 つの動作モードが利用可能です。これらの中で、実際のアプリケーションでは主に PWM 調光とハイブリッド調光が採用されています。図 3-1 および 図 3-2 (上の波形は PWM 入力信号を示し、下の波形は LED 電流波形を示す) に示すように、それぞれ異なる動作特性が見られます。

PWM 調光モードでは、LED 電流波形は入力 PWM デューティ サイクルに厳密に従い、スイッチング周波数は R_PWM_SET 抵抗の構成によって決定されます。特に大電流アプリケーションでは圧電効果がより顕著になり、可聴ノイズが発生しやすくなります。

一方、ハイブリッド調光は次のように動作します。入力 PWM デューティ サイクルが 12.5% を超える場合、LED 電流は入力デューティ サイクルに比例した一定値を維持します。入力デューティ サイクルが 12.5% 未満に低下した場合にのみ、システムは最大電流の 12.5% での PWM 動作に移行します。この手法には 2 つの利点があります。大電流時では、定電流動作により可聴ノイズと視認可能なチラツキの両方が排除され、低電流時では、制御された PWM 動作により、従来の PWM 調光に固有の深刻な圧電効果を緩和しながら、一貫した LED 輝度が確保されます。

したがって、ハイブリッド調光の戦略的な実装により、LED ドライバ アプリケーションにおけるノイズ抑制と調光精度との間の根本的なトレードオフが解決されます。したがって、PWM 調光動作中に音響ノイズの発生が検出された場合は、緩和戦略としてハイブリッド調光モードの実装を推奨します。他に懸念事項がなければ、ハイブリッド調光が第一の選択肢となります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

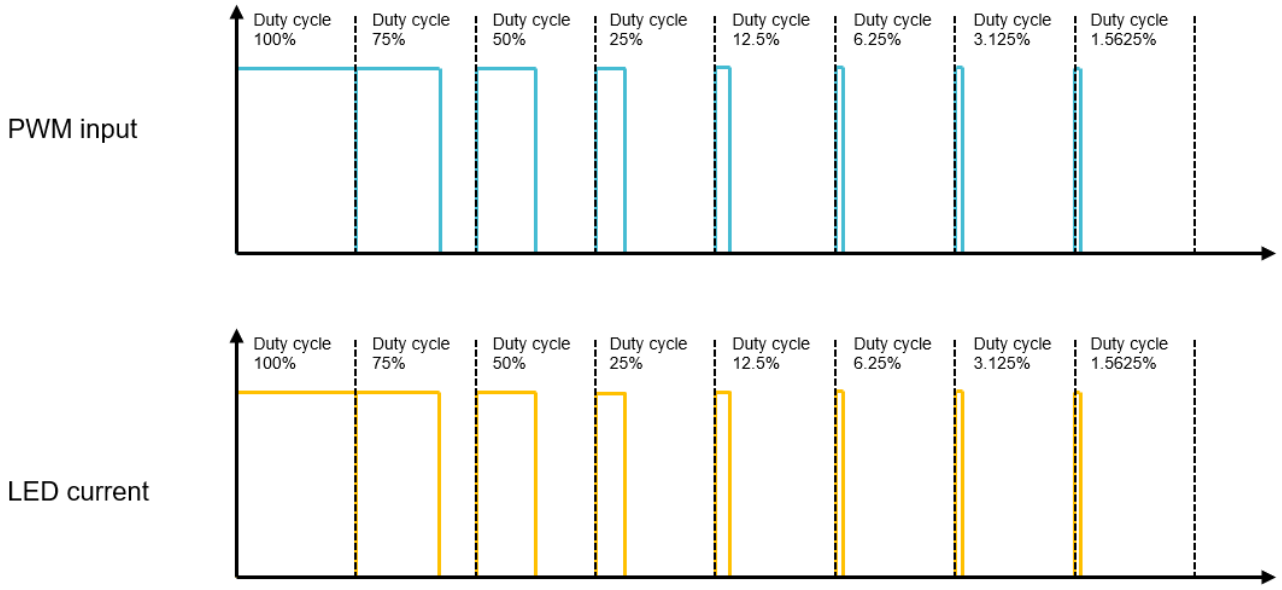


図 3-1. LP8866-Q1 の PWM 調光モード

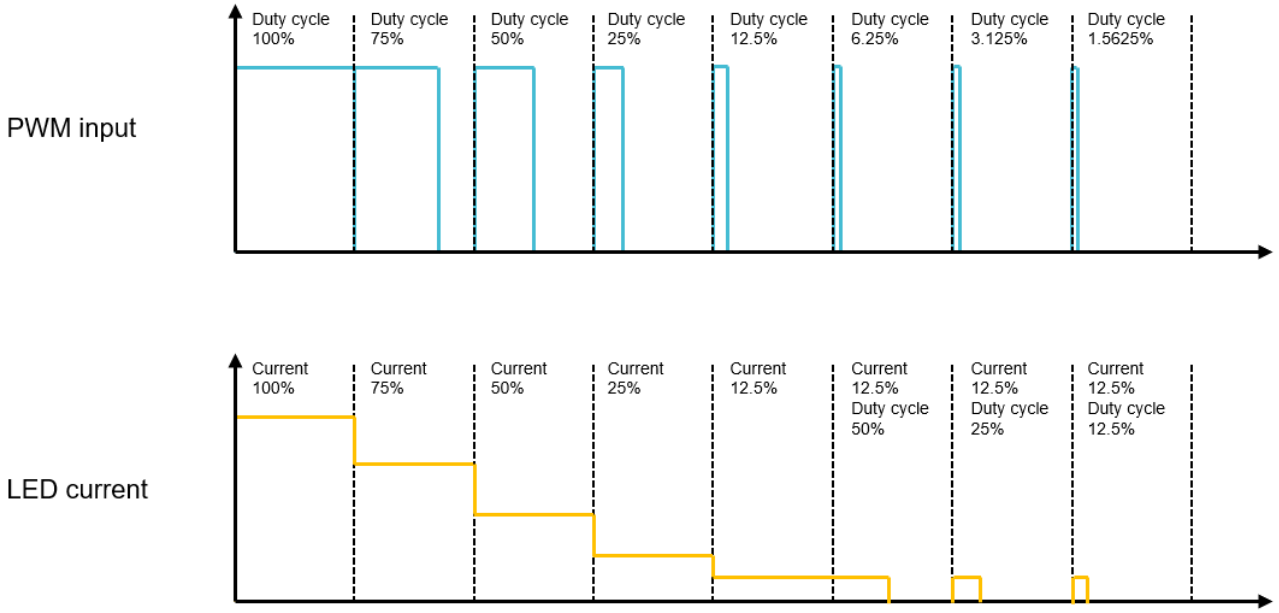


図 3-2. LP8866-Q1 のハイブリッド調光モード

テキサス・インスツルメンツの最新の LP8872-Q1 LED ドライバは、固定の調光分解能を維持しながら可聴ノイズの発生を減衰させるように特別に設計された、独自の機能拡張パルス幅変調 (EPWM) アルゴリズムを統合しています。この新機能は、デバイス レジスタ構成内の EPWM_MODE ビットの設定によって有効化されます。

調光周波数に関連する理由のほかに、コンデンサの可聴ノイズのもう 1 つの考えられる原因は、入力電圧が過剰に高いことです。

昇圧デバイスにはすべて最小オン時間があります。入力と出力の間の電圧差が減少すると、スイッチング サイクルあたりのオン時間が短くなります。この最小オン時間に達すると、デバイスはスイッチング周波数を低下させることにより出力電圧レギュレーションを維持します。図 3-3 に示すように、これが PFM 動作の仕組みです。低下したスイッチング周波数が人間の耳の可聴域内に入ると、可聴ノイズとなります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

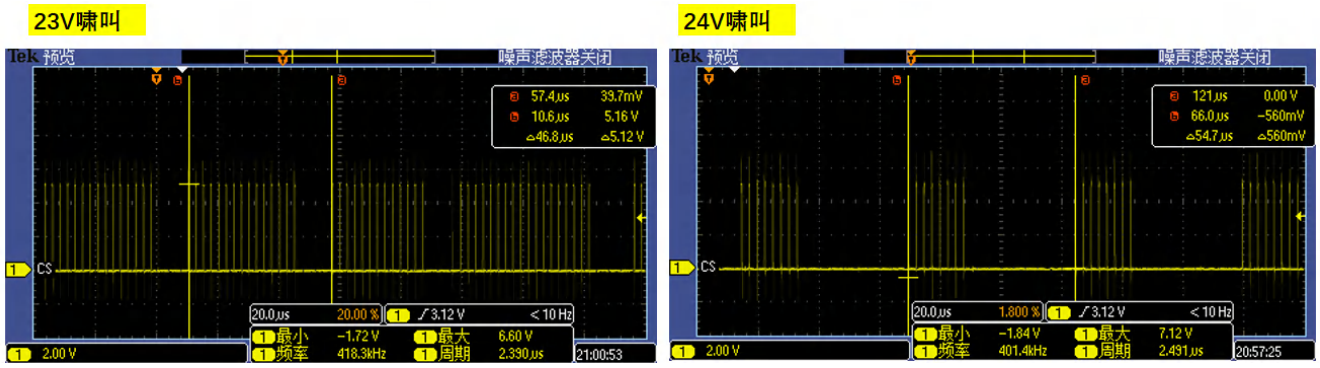


図 3-3. LP8866-Q1 PFM におけるスイッチング周波数

一部のアプリケーションでは、入力電圧テスト範囲は 9V ～ 22V です。データシートによると、LP8866-Q1 の最小スイッチング時間は 150ns です。スイッチング周波数 400kHz、出力電圧 24V では、最大入力電圧は約 21V となり、要件を満たすことができません。この場合、LP8872-Q1 の最小スイッチング時間は 60ns であり、約 22.5V の最大入力電圧に対応しているため、LP8872-Q1 の検討が可能です。

最小スイッチング時間のより短いデバイスに変更する以外に、出力電圧を高くすることによってもこの問題に対処できます。24V の出力電圧を例にとると、出力電圧を 1V 高くする必要がある場合、LED ドライバの出力は電流源であるため、最大出力電流を決定することにより抵抗を選択できます。各 LED チャネルの最大電流を 90mA と仮定すると、6 チャネルの最大 VLED 電流は 540mA となり、約 2Ω の抵抗が必要になります。高温テストと放熱に関する考慮事項を踏まえ、図 3-4 に示すように、ここでは 1206 パッケージの 6.8Ω 抵抗 3 個を並列接続して選定しています。この手法の使用を検討される場合は、TI のテクニカル サポートにお問い合わせのうえ、抵抗値とパッケージ サイズを慎重に検討してください。

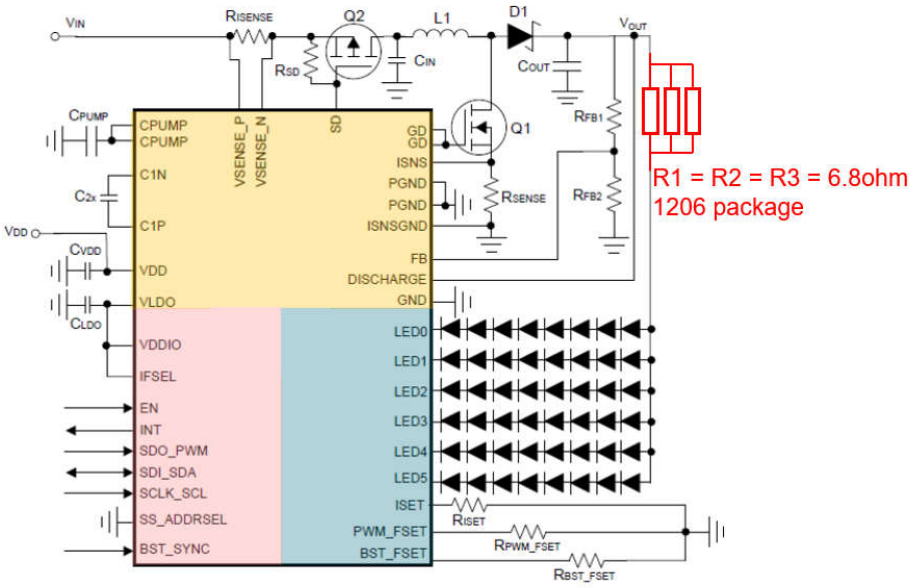


図 3-4. VLED 上の外部抵抗

レイアウトおよびコンデンサ選定の観点から、LED ドライバ回路における可聴ノイズの発生を効果的に緩和できる PCB レイアウト手法がいくつか存在します。図 3-5 に示すように、通常はドライバ出力段に複数のセラミックコンデンサを配置する場合、隣接する MLCC の直交配置構成を推奨します。具体的には、2 個のコンデンサを相対角度 90° で配置することにより、打ち消し合う機械的変位を通じて累積的な圧電効果を減衰させます。この幾何学的な対策により、セラミック誘電体層内に逆向きの歪みベクトルが誘導されて正味の振動振幅が低減され、人間の可聴周波数範囲内の音響ノイズが抑制されます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

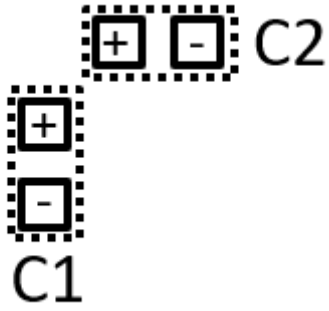


図 3-5. セラミック コンデンサのレイアウト

PCB レイアウト設計において、基板の表裏両面にコンデンサを対称配置することは、効果的なノイズ抑制戦略となります。さらに、PCB 基板の厚みを増すこと (例えば 1.6mm 以上) は、構造共振プロファイルの質量剛性を変化させることにより可聴ノイズを緩和することが経験的に確認されています。

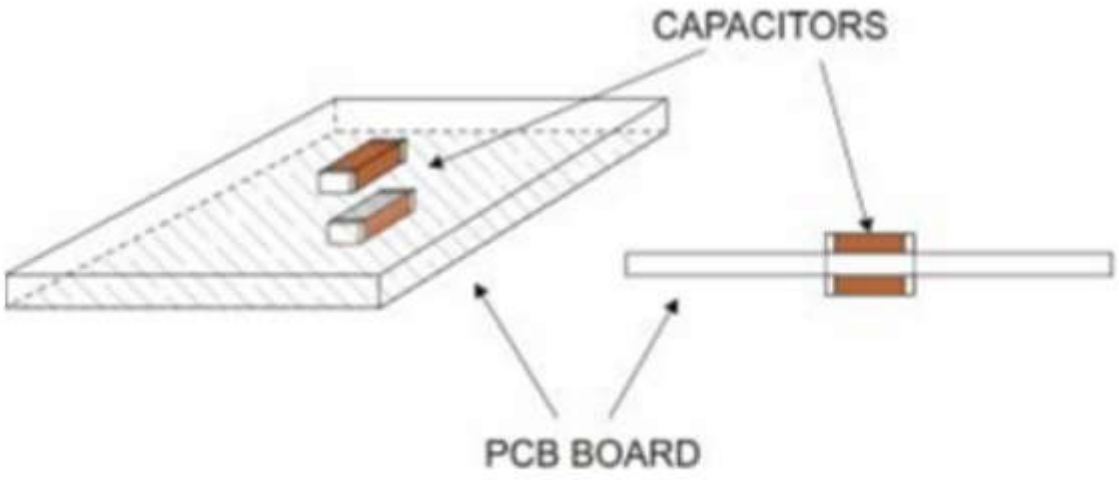


図 3-6. PCB の両面におけるコンデンサ配置

コンデンサの選定方法において、可聴ノイズの抑制は 2 つの主な手法によって達成できます。セラミック コンデンサを電解コンデンサに置き換えるか、あるいは特殊構造のセラミック コンデンサ設計を採用することです。図 3-7 に示すように、機械的に分離された実装構成を備えた特殊設計の積層セラミック コンデンサ (MLCC) は、圧電効果が大幅に減衰します。この減衰は、コンデンサ端子がプリント基板 (PCB) の表面と直接物理的に接触しないため、PCB への機械的振動の伝達がデカップリングされることによって生じます。その結果、歪みに起因する音響発生の伝達経路が遮断され、可聴ノイズの発生が大幅に削減されます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

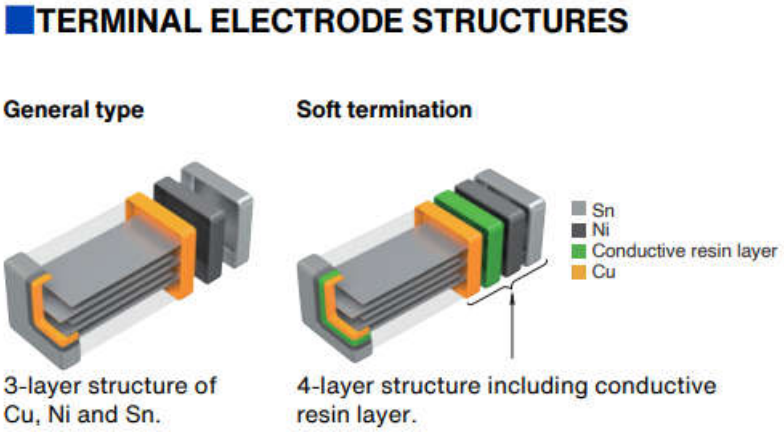


図 3-7. 特殊構造のセラミック コンデンサ

あるいは、重要度の低いデカップリング位置でセラミック コンデンサを電解コンデンサに戦略的に置き換えることで、圧電ノイズ源を完全に排除できます。ただし、この手法では等価直列抵抗 (ESR) 特性と寿命への影響を慎重に考慮する必要があります。これらの手法の選定は、回路の要件、熱制約、および音響ノイズ性能仕様の厳密な分析に基づいて行う必要があります。

4 まとめ

LED ドライバのノイズ低減には、回路図設計と PCB レイアウトの最適化の両方に注目する必要があります。主な戦略には、低ノイズ部品 (フェライト コア、SSFM IC など) の選定、EMI フィルタとスナバ回路の実装、ならびにループ面積と熱ストレスを最小限に抑えるためのレイアウトの最適化が含まれます。これらの手法を統合することにより、エンジニアは規格に適合した、信頼性が高く静かな LED ドライバ設計を実現できます。

5 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、『LP8866-Q1 車載ディスプレイ LED バックライト ドライバ、6 つの 200mA チャネル付き』、データシート。
2. テキサス・インスツルメンツ、『LP8872-Q1 車載ディスプレイ LED バックライト ドライバ、6 つの 150mA チャネル付き』、データシート。
3. テキサス・インスツルメンツ、『パワー アプリケーションで MLCC の音響ノイズを低減する方法』、技術記事。
4. TDK、TDK - CGA4J1X7R0J106K125AE、データシート。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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に該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、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 、 TI の総合的な品質ガイドライン 、 ti.com または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。 TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月