

Application Brief

LMH13000 を使用したレーザー ダイオードの自動電力制御



Anant Sinha, Jyothi Sanganna, Shreenidhi Patil

レーザー駆動システムの自動電力制御 (APC) は、レーザーの光出力を連続的に制御することで、安定した効率的なレーザー動作を実現するように設計されています。温度、経年変化、外部条件の変動により、レーザー性能が不安定になる可能性があります。APC はフィードバック機構を使用して、フォトダイオードからのフィードバックに基づいてレーザーの駆動電流を動的に調整し、一貫した光出力を維持します。これにより、光出力の精密な制御が必要なアプリケーションでの信頼性が向上し、性能が最適化されます。

この記事では、LMH13000 を使用してレーザー ダイオードを駆動するレーザー システムの自動電力制御 (APC) ループ設計および実装について紹介します。

システム概要

このセットアップでは、フィードバック用のバックファセット フォトダイオードを内蔵したレーザー ダイオードを使用します。バックファセット ダイオードは、通常フォトダイオードまたは統合センサを指し、レーザー ダイオードの背面から放射される光を監視します。この光は一般的に、レーザーから放射される光のうちほんの一部です。このごく一部の光がフォトダイオードによって検出されると、レーザーの光出力に比例する電流 (I_{PD}) が生成されます。電流は電圧に変換され、エラー アンプ (ここでは TLV9001) を使用してリファレンス電圧 (V_{REF}) と比較されます。エラー アンプの出力でもあるこの誤差信号がレーザー ドライバ LMH13000 に戻されると、レーザー出力は所定の光電力に調整されます。

システム内のフィードバック機構は、レーザー出力の光強度の変化を相殺するフィードバック信号により、求められる状態からの偏差を打ち消し、エラーを低減し、安定性を維持します。

このシステムは、DC およびパルスレーザーの両方の動作をサポートしています。次のセクションでは、両方のケースで APC を実現する方法について説明します。

DC 動作

DC 動作モードでは、名前が示すようにレーザー出力は一定の DC であり、APC システムは出力電力が設定された DC レベルから逸脱しないよう維持します。これを実現するため、システムはレーザーの光出力を継続的に監視し、この信号をレーザー ドライバにフィードバックします。図 1 に、APC に必要な負の帰還ループを実現するためのレーザー ドライバ、レーザー ダイオード、バック ファセット ダイオード、エラー アンプの接続を示します。

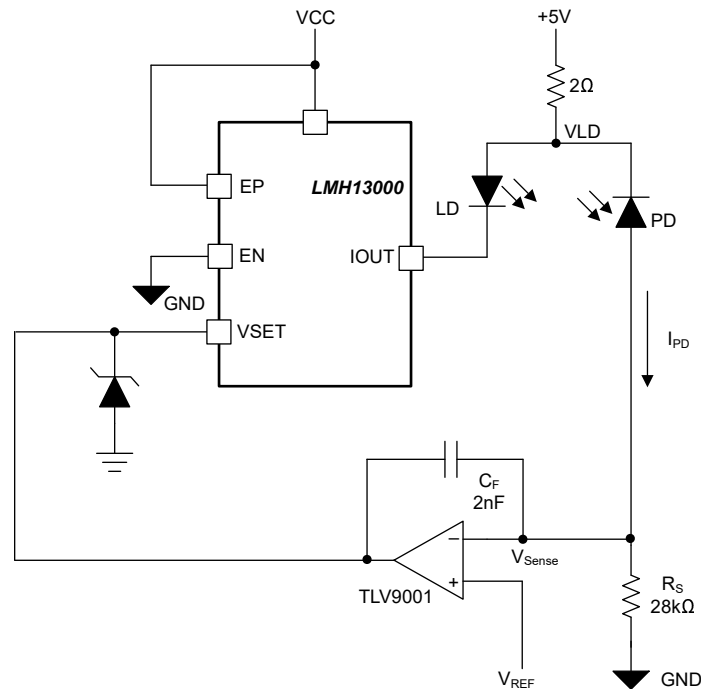


図 1. DC 動作のブロック図

レーザーから特定の出力電力を設定するには、バック ファセット ダイオードのフォトダイオード電流 (I_{PD}) とレーザー光出力 (P_O) との関係が必要です。これは、レーザー ダイオードのデータ シートに記載されています。この知識から V_{REF} ピンの電圧を設定します。これは、次のように計算できます：

$$V_{REF(set)} = I_{PD(at\ desired\ optical\ power)} \times R_{Sense} \quad (1)$$

I_{PD} と P_O の関係が不明な場合は、適切な電流 (I_{OUT}) をレーザー ダイオードに強制的に供給し、必要な光出力 (P_O) を発生させ、フォトダイオードから I_{PD} を測定することで、導き出すことができます。

レーザー電流と光出力の関係は、一般的にレーザー データ シートに示されています。

エラー アンプは、帰還信号を V_{REF} 信号と比較し、目的の光学出力に合わせて V_{SET} に電圧を設定します。この 2 つの間の差 (誤差) に基づいて、アンプは出力電圧 (V_{SET}) を調整し、 V_{Sense} 電圧を V_{REF} 電圧に近づけます。また、エラー アンプが V_{SET} を調整すると、LMH13000 はそれに応じてレーザーにより出力電流を調整します。

レーザー電流を調整することにより、 I_{PD} とその光出力電力が設定値に戻ります。このフィードバック メカニズムにより、レーザーの駆動電流を調整することで、DC 動作時に一貫した光出力を実現します。

パルス レーザー動作

パルスレーザー動作の APC ループは、前のセクションで説明した DC モードと同様に機能します。ただし、パルス出力を有効にするには、次の 2 つの変更をシステムに導入する必要があります：

- レーザー パルス中に制御ループを一時的に開くメカニズム。2:1 マルチプレクサ スイッチ (SPDT)、S1 を追加することで実現。
- ループが開いたときに V_{SET} 値を保持するメモリ素子。C1 を追加することで、これを実現。

これらの機能強化により、パルス動作中レーザーがオフになり駆動電流がゼロの間、システムが誤ってエラー補償を行うことを防止します。

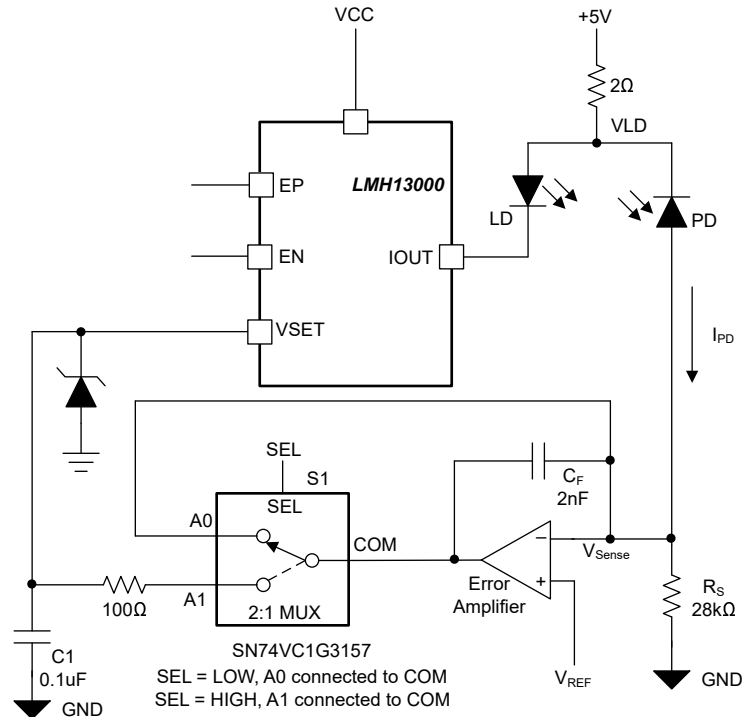


図 2. パルス レーザー動作のブロック図

目的のピーク光出力にレーザーを設定するには、図 2 のとおり COM を A1 に接続し、スイッチ S1 を閉じて APC ループを開始します。この動作により光フィードバックパスが作動し、EP ピンが High にプルされると LMH13000 出力がイネーブルになります。前述の DC モードと同様に、このフェーズにおいてシステムは従来型の APC ループとして動作します。コンデンサ C1 は、パルス動作に必要な適切な VSET 電圧まで充電されます。

パルス モードに移行するには、スイッチ S1 を切り替えて COM を A0 に接続し、帰還ループを開きます。この構成では、TLV9001 は LMH13000 から切断され、実質的にフィードバックパスを遮断します。TLV9001 ループは局所的に閉じられ、バッファとして機能するようになり、出力が電源レールと飽和するのを防止します。帰還ループが解除されると、システムはこの期間中に電流または光出力の偏差を調整しようとしません。

これにより、パルス モードでレーザーがオフになり、ドライブ電流がゼロの間でも、光出力がないことによる制御ループの誤応答を防止します。EP/EN ピンに信号を印加することで、パルスを印加することができます。コンデンサ C1 の両端の電圧によって、各パルスにおけるピーク電流が決まります。スイッチ S1 がオープンのままでも C1 の充電が維持されることにより、必要な VSET を供給可能です。このシーケンスは周期的に繰り返され、レーザーのピーク光出力を一貫して制御します。

ラボ実験の結果

この実験では、レーザー ダイオード (ここでは PLT5 518FB_P) を室温で 32mW の光出力電力を供給するように構成しています。レーザーのデータシート Po vs IF プロット (『光出力電力』セクション [光出力電力](#) を参照) によると、これは約 85mA の順方向駆動電流に対応しています。

対応するフォトダイオード電流 (IPD) を決定するため、レーザーは 85mA で駆動され、結果として得られる IPD は 2.5μA と測定されます。28kΩ のトランスインピーダンス ゲインに基づき、必要なリファレンス電圧 (VREF) は次のように計算されます:

$$V_{REF} = I_{PD} \times R_{Sense} = 2.5\mu A \times 28k\Omega = 70mV$$

VREF が 70mV に設定されると、APC ループは 85mA でレーザー電流を安定させ、目的の光出力を確実に維持します。

図 3 および図 4 に、SPDT スイッチング時およびパルス動作時のシステムの動的応答を示します。

図 3 に、ループが閉回路になった後、エラー アンプによって設定される VSET 電圧を示します。IOUT 電流を 85mA に設定した場合、VSET は 171mV で安定します。この電圧は、LMH13000 の IOUT と VSET の関係に準拠しています (詳細については、デバイスのデータシートを参照してください: [LMH13000 高速パルス / 連続出力電流ドライバ](#))

パルス動作モードへの遷移を図 4 に示します。t = -40μs の時点で SEL 信号がトグルし、ループが開放されます。コンデンサ C1 は電荷を保持し、VSET 電圧を維持します。これは、VSET プロット上に水平線として現れます。この間、レーザー電流は 85mA に維持され、これは VLD 電圧が 5V レーザー電源より 170mV (85mA x 2Ω) 低いことで確認できます。

t = 0s の時点で、EP ピンに 10 サイクルにわたってパルス信号が印加され、レーザーを通過する電流パルスが発生します。これらのパルスは、2Ω の抵抗の両端での IR 降下により発生する VLD ノード (レーザーのアノード) での電圧パルス信号として現れます。



I_{OUT} = 85mA, V_{REF} = 70mV, LMH13000 モード = 0

図 3. パルス動作時の出力波形

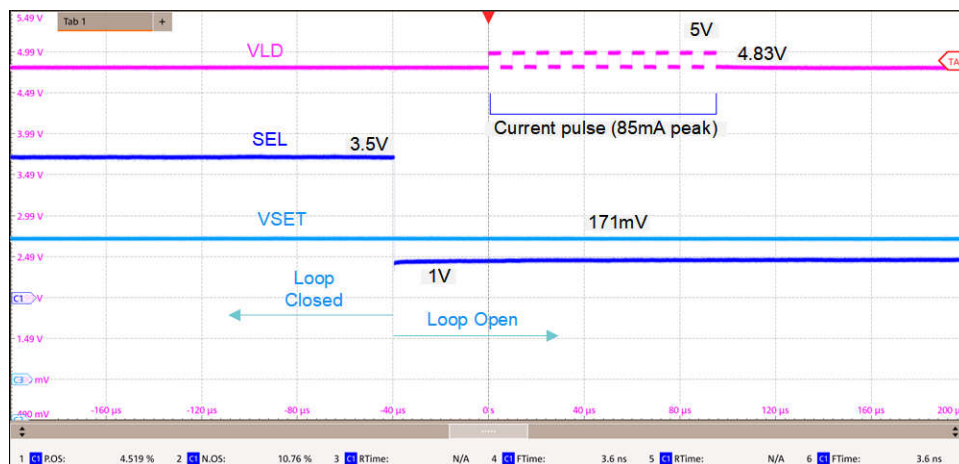


図 4. 出力波形、正の SEL 遷移の拡大図

設計上考慮の必要があるパラメータ

コンデンサ C1 の値選択

コンデンサ C1 は、パルス動作中に APC ループが断線したとき、LMH13000 の VSET ピンで設定電圧を生成するために必要な電荷を保存します。このコンデンサから電荷リーケージが生じると、コンデンサ両端の電圧が低下し、パルス動作中の設定電流に誤差を引き起こします。

主なリーケージパスには、ツェナー ダイオードからのリーケージ電流、マルチプレクサの入力 / 出力ピン、VSET バイアス電流リーケージが含まれます

C1 両端の電圧は、総リーク電流 I_{Leak} により時間の経過とともに低下し、値 ΔV は次のように計算できます：

$$\Delta V = \left(\frac{I_{Leak}}{C1} \right) \times \Delta t \quad (2)$$

$$I_{Leak} = I_{Leak}(VSET) + I_{Leak}(Zener) + I_{Leak}(Mux) \quad (3)$$

Δt = ループがオープンのままの時間

この誤差が設定電流に影響を与えないようにするため、電圧が許容可能な誤差範囲を超える前に、システムは定期的にループを閉じてコンデンサ C1 を再充電する必要があります。

ツェナー クランプ ダイオードの選択

LMH13000 の VSET ピンの絶対最大値は 2.5V です。この制限を超える電圧を印加すると、デバイスに永続的な損傷を与える可能性があります。この状況が発生し得るのは、たとえばエラー アンプが不安定になり、出力が正のレール電源までスイングして、アンプの電源電圧が 2.5V を超えるなどのケースです。

次のような対策でこれを防止します：

1. 2.5V 未満で動作するアンプを選択する、または
2. VSET ピンにブレイクダウン電圧が 2.5V 未満のツェナー ダイオード クランプを配置します。

このクランプにより、VSET ピンが最大定格電圧を超えないようにします。たとえば、TLV9001 は 1.8V ~ 5.5V で動作できるため、2.5V 未満で動作する場合はツェナー ダイオードは必要ありません。

ツェナー ダイオードを使用する場合は、ダイオードの逆リーケージが小さいことを確認します。大きなリーケージ電流によりコンデンサ C1 からの電荷がより迅速に減少し、前述のように誤差が発生する可能性があるためです。

C_F の選択

安定性と過渡応答の両方を改善するため、コンデンサ C_F をエラー アンプのローカル フィードバック パスに配置します。このコンデンサを抵抗 R_S と組み合わせると、帰還ループにポールが導入され、位相マージンが増加して、発振またはリリングの防止に役立ちます。安定性と帯域幅性能のバランスを取るために、C_F の値を正確に選択します。

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, 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、TI は一切の責任を拒否します。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月