

Application Brief

スイッチング電源の電流モード制御



ほとんどのスイッチング電源は、さまざまな過渡および負荷状況で安定した電力を供給するため、クローズドループ・フィードバック回路が設計に組み込まれています。このフィードバック手法のオプションは、電圧モード制御 (VMC) と電流モード制御 (CMC) の 2 つの一般的なカテゴリに分類されます。どちらの手法にも、それぞれの長所と短所が存在し、最終機器アプリケーションで適切な方を選択するための指針となります。

制御手法

電圧モード制御 (VMC) では、出力電圧の値をスケールリングし、フィードバック信号として利用します。この手法では、制御パスがシンプルでわかりやすいフィードバック・アーキテクチャになります。この方法を使用すると、いくつかの欠点が生じます。最も重大な欠点は、出力電圧レギュレーションを行うために、出力電圧と、フィードバック信号全体での伝搬の変化を検出し、出力の適切な補償を行う前にフィルタを適用する必要があるということです。これにより、高レベルのレギュレーションを必要とするシステムでは、許容できないほど応答が遅くなることがあります。電源のフィードバック補償には、出力のローパス・フィルタにより生み出される 2 つの極 (ポール) に対処するため、より高レベルの解析が要求されます。さらに、入力電圧が異なるとループ・ゲイン全体に影響するため、フィードバック成分の値を調整する必要があります。

電流モード制御 (CMC) は、インダクタ電流波形を制御に使用して、前述のような電圧モード制御の欠点に対処します。この信号は、2 番目の高速応答制御ループとして、出力電圧フィードバック・ループに含められます。この追加のフィードバック・ループにより、回路やフィードバックが複雑化する可能性があるため、設計要件の一部として利点を確認する必要があります。

インダクタ電流をフィードバック制御の一部として使用すると、次の利点があります。

1. 追加される電流フィードバック・ループの応答は、出力電圧のみをフィードバック制御に使用する場合よりも高速です。さらに、インダクタ電流の情報により、パルス単位の電流制限を行い、電流制限に必要な迅速な検出と制御を行う回路を設計できます。
2. 電源は、電圧制御される電流源のように機能します。これによってモジュール化設計の電源が可能になり、並列構成に含まれる複数の電源の間で負荷を共有可能になります。
3. 電流フィードバック・ループでは、補正が実質的に単一極の条件にまで減少するため、制御ループ内のインダクタの影響を最小化できます。

電流モード制御は、VMC の欠点のいくつかに対処できませんが、回路の性能に影響する新たな課題も発生します。電流フィードバック・ループの追加により、制御 / フィードバック回路、および回路の解析が複雑化します。デューティ・サイクルの全範囲にわたる安定性と、ノイズ信号への感受性も、電流モード制御を選択するときに考慮する必要があります。CMC は制御方式により、ピーク電流モード制御、バレー電流モード制御、エミュレーテッド電流モード (ECM)、ヒステリシス制御、平均電流モード制御に分類されます。以下では、回路設計で最も一般的な手法である、ピーク電流モード制御および平均電流モード制御の 2 つの電流モード制御について説明します。

ピーク電流モード制御

ピーク電流モード制御 (PCMC) では、電流波形を直接ランプ波形として利用し、VMC の場合に外部で生成されるのこぎり波や三角波の代わりに、PWM 生成コンパレータへ送り込みます。既存の電圧制御ループに加えて、インダクタ電流またはハイサイド・トランジスタ電流波形の上り勾配部分が、高速応答制御ループを実現するために使用されます。図 1 に示すように、電流信号が電圧エラー・アンプの出力と比較され、電源用の PWM 制御信号が生成されます。

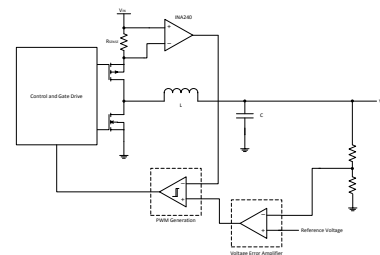


図 1. PCMC の回路ブロック図

スイッチング電源では、入力と出力の電源レールの間で高レベルの効率が得られます。コンバータの高い効率を維持するため、インダクタ電流の測定に使用される検出抵抗は可能な限り小さくし、測定による電力損失を減らすのが理想的です。この抵抗の値を小さくすると、フィードバック信号の振幅も小さくなります。インダクタ電流の波形は、コンパレータの入力信号として直接使用されるため、PCMC はノイズや電圧過渡に弱いことが知られています。

INA240 などコンモンモード除去率 (CMRR) の高い電流検出アンプを使用すると、パルス幅変調 (PWM) 信号およびシステムに関連する過渡を抑制できます。INA240 のゲインの柔軟性により、インダクタ電流の波形を増幅し、追加

のゲインや性能の妥協の必要なしに、比較用の信号を大きくできます。さらに、オフセットとゲイン誤差が小さいため、設計の差異や、温度による変動が低減されます。PCMC を活用するため、インダクタ電流には高いコモンモード電圧測定が必要となります。INA240 のコモンモード範囲により、広い範囲の電源入力電圧および出力電圧が可能になります。

PCMC にはほとんどの場合、デューティ・サイクルが 50% を超える場合の安定性の問題に対処するため、スロープ補正が追加されることに注意する必要があります。スロープ補正は、コンバータの入力信号として使用される前のインダクタ電流に追加されます。

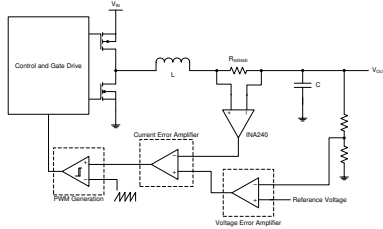


図 2. ACMC の回路ブロック図

平均電流モード制御

平均電流モード制御 (ACMC) では、信号と、外部から供給されるランプ波形 (VMC と類似のもの) とを比較する前に、インダクタ電流の波形と、追加のゲインおよび統合段を利用します。これによりノイズ耐性が強化され、スロープ補正の必要がなくなります。バック・コンバータの ACMC 動作のブロック図を、図 2 に示します。

ACMC を使用すると、PCMC 手法におけるノイズへの感受性を、許容範囲の性能レベルになるよう改善でき、INA240 の高い CMRR によってさらに過渡を低下できます。INA240 の高いコモンモード範囲は、インダクタ電流の測定を行うために必要で、これによって広範囲の出力電圧で電流アンプを使用可能になります。INA240 の高い精度と低いドリフト係数仕様から、温度の変化やアセンブリの相違などにかかわらず一貫した測定を行えます。

INA240 は、十分な制御信号品質を確保するために必要な測定精度を実現する性能と機能を備えています。INA240 の室温における入力オフセット電圧は最大 25 μ V で、ゲイン誤差は最大 0.20% です。温度に対する安定性は、システム性能を維持するため重要です。INA240 は入力オフセット電圧のドリフト係数が 250nV/ $^{\circ}$ C、アンプのゲインのドリフト係数が 2.5ppm/ $^{\circ}$ C です。INA240 は PWM 除去が強化されており、大きなコモンモード・過渡の性能が改善され、コモンモード入力範囲が広いいため、電源の設計において出力電圧の最大の差異に対応できます。

その他の推奨デバイス

システムの要件によっては、別のデバイスを利用して、必要な性能と機能を実現可能です。最大 110V の電圧と高速セテリングを必要とするアプリケーションには、電流セン

シング専用アンプとして広帯域の INA296B の採用は優れた選択肢です。また、INA241B は入力コモンモード電圧範囲が 110V まで達し、エンハンスト PWM 除去回路を持つため、モータ制御やスイッチング電源など入力コモンモード電圧が大きく遷移する用途に適しています。

表 1. その他の推奨デバイス

デバイス	最適化されるパラメータ	性能のトレードオフ
INA296B	双方向、広いコモンモード入力範囲、小形のパッケージ (SOT-23)	エンハンスト PWM 除去機能なし
INA241B	双方向、広いコモンモード入力範囲、エンハンスト PWM 除去機能、小型パッケージ (SOT-23)	I_Q の増加

関連資料

- 『ディスクリート電流検出アンプによる LED ライティングでの高精度の輝度および色制御』
- 『H-ブリッジでの電流センシング』
- 『スイッチング電源の電流測定』

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、

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](#)、または [ti.com](https://www.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。

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、TI 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 © 2023, Texas Instruments Incorporated