

絶縁型誤差アンプによる AC/DC および DC/DC 電源用フォトカプ ラとシャント・レギュレータの置 き換え

著者: Brian Kennedy
アプリケーション・エンジニア
アナログ・デバイセズ *iCoupler* デジタル・アイソレ
ータ・グループ

AC/DC、DC/DC、DOSA 準拠の絶縁型電源モジュールの設計者は、マーケットからの性能向上要求に応える際に問題に直面しています。この資料では、1 次側制御アーキテクチャの過渡応答を向上させ、動作温度範囲を広げるデジタル・アイソレータ誤差アンプを紹介します。従来型アプリケーションの 1 次側コントローラでは、帰還ループ・アイソレーションのためにはフォトカプラを、誤差アンプおよびリファレンスとしてはシャント・レギュレータを、それぞれ使用していました。フォトカプラは電源で安価なアイソレータとして使用されてきましたが、これにより最大ループ帯域幅が 50 kHz に制限され、実際にはそれよりさらに狭くなることもありました。絶縁型誤差アンプと高精度リファレンス機能を 1 つのパッケージに内蔵した、高速で信頼度の高いデジタル・アイソレータ回路の使用により、遥かに小さい温度ドリフトと遥かに広い帯域幅を持つ高精度な絶縁型誤差アンプが実現されました。絶縁型誤差アンプにより 250 kHz を超えるループ帯域幅が実現可能になり、絶縁型 1 次側電源デザインが遥かに高速なスイッチング速度で動作できるようになりました。適切な電源回路での高速なスイッチング速度により、出力フィルタではより小型のインダクタとコンデンサの使用が可能になるため電源の小型化が可能になりました。

我々がここで調べる最初の回路は、部品数が最も少ない回路であるフライバック・コンバータです。フライバック回路はスイッチ数が最小で済みます。ここでの例では 1 次側にスイッチを 1 個だけ、2 次側に整流ダイオードを 1 個だけ、それぞれ使用します。シンプルなフライバック回路は比較的低出力電力で使用されますが、出力リップル電流が大きく、かつ右半平面(RHP)ゼロ点のためクロスオーバー周波数が低くなっています。このため、フライバック回路では大きな値の出力容量が必要となり、大きな出力リップル電流定格になります。図 1 のフォトカプラ方式では、絶縁型出力電圧 V_o の帰還電圧の誤差アンプとして機能するシャント・レギュレータを使用しています。シャント・レギュレータは、高精度基準として使用する場合、2% (typ) 精度のリファレンス電圧を提供します。

分圧した出力電圧が内部誤差アンプによりシャント・レギュレータのリファレンス電圧と比較され、その出力がフォトカプラ LED 回路へ供給されます。フォトカプラ LED は出力電圧と直列抵抗から供給される電流によりバイアスされ、必要とされるこの電流の大きさはフォトカプラのデータ・シートで規定される電流伝達 (CTR) 特性に基づきます。

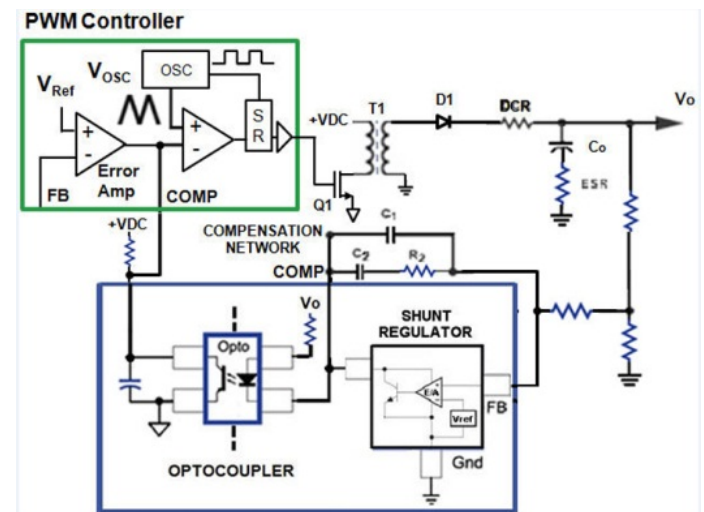


図 1. フォトカプラとシャント・レギュレータ採用の
フライバック・レギュレータのブロック図

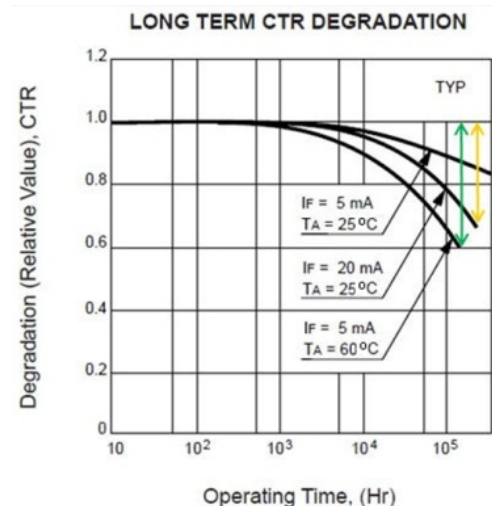


図 2. フォトカプラ CTR の性能低下

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

CTR は、出力トランジスタ電流の入力 LED 電流に対する比です。CTR 特性は非直線的で、フォトカプラごとに変わります。図 2 に示すように、フォトカプラの CTR は動作寿命中に変わるため、信頼性デザインを非常に困難にしています。ここでデザイン/テストするフォトカプラは、初期 CTR で 2: 1 の不確実性ですが、高電力および高密度電源で遭遇する高温環境での使用またはサービスでは数年後に CTR は 40% 低下します。フォトカプラをリニア・デバイスとして使用する場合、比較的低速の伝達特性(小信号帯域幅は約 50 kHz)を持つため、電源のループ応答は低速になります。フライバック回路の場合、伝達特性が低速であることは問題になりません。これは、誤差アンプ補償に

よりループ帯域幅を狭くして出力を安定にすることが、この回路で要請されるためです。フォトカプラでの問題は、出力特性の経時変化に対して、ループの安定性を確保するためループ応答をさらに低速化することがデザインで求められることです。低速なループ応答の欠点は、過渡応答性能が低下するため、負荷トランジェントから出力電圧が回復するために要する時間が長くなることです。出力容量を大きくすると、出力電圧降下を小さくすることに役立ちますが、出力応答時間が増加します。このため、小型で安価なソリューションが可能で大きな需要があるのに、電源デザインが大型化し高価になってしまいます。

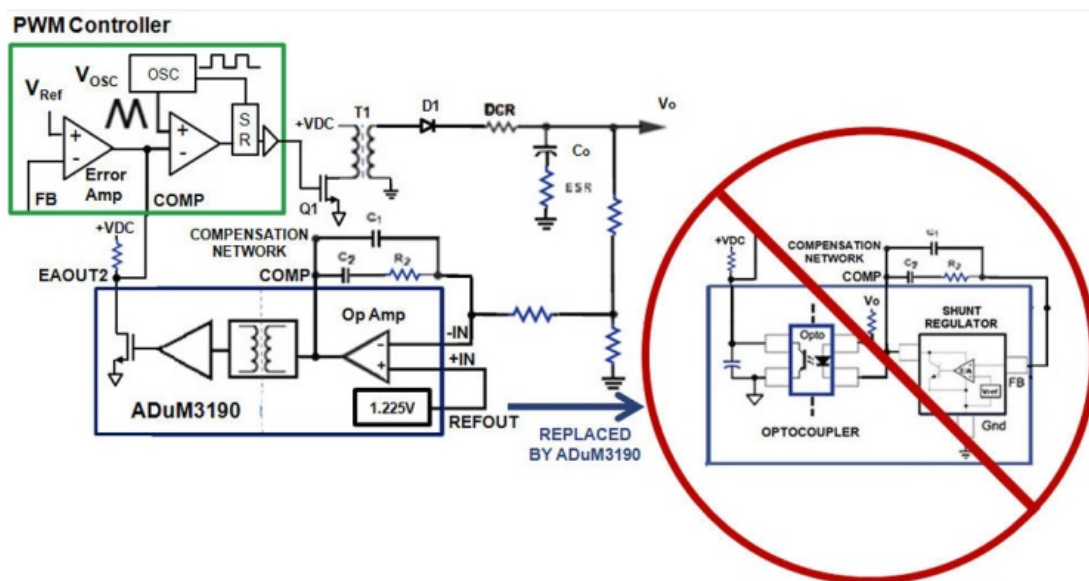


図 3. 絶縁型誤差アンプによるフォトカプラとシャント・レギュレータの置き換え

リニア・アイソレータとしてのフォトカプラの安定動作が困難であることを説明した後は、時間と限界温度に対して安定で信頼度の高い性能を提供する絶縁型誤差アンプを調べることができます。図 3 に示すように、シャント・レギュレータと V_{REF} 機能を広帯域オペアンプと 1.225 V のリファレンス・セクションで置き換えて、さらにフォトカプラをデジタル・アイソレータ技術を採用した高速リニア・アイソレータで置き換えます。デバイス右側のオペアンプでは、非反転+IN ピンが 1.225 V の内蔵リファレンスに接続され、反転-IN ピンが絶縁型 DC/DC コンバータ出力の帰還電圧に分圧器を介して接続されています。COMP ピンはオペアンプ出力で、補償回路の抵抗部品とコンデンサ部品の接続に使用することができます。COMP ピンは内部でトランスミッタ・ブロックを駆動しています。このブロックはオペアンプ出力電圧をデジタル・アイソレータ・トランスの駆動に使用されるパルス変調出力に変換します。絶縁型誤差アンプの左側では、トランス出力信号がデコードされ、アンプ・ブロックを駆動する電圧へ変換されます。アンプ・ブロックは、EA_{OUT} ピンに誤差アンプ出力を発生し、この出力を使って、DC/DC 回路の PWM コントローラ入力を駆動します。

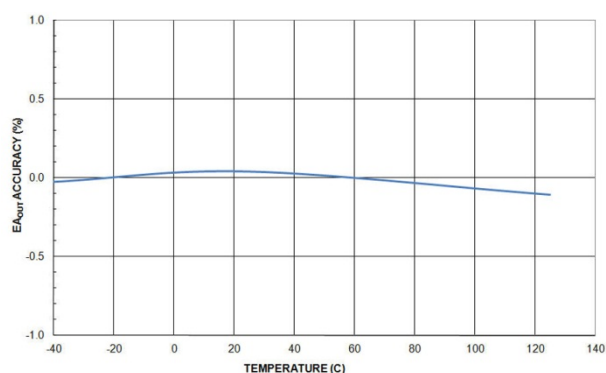


図 4. 絶縁型誤差アンプ出力精度の温度特性

この新しい絶縁型誤差アンプの利点としては、温度に対してオフセットとゲイン誤差ドリフトを小さくするためにデザインされたリファレンスとオペアンプなどがあります。1.225 V のリファレンス回路は温度に対して 1% の安定性に調整されています。これは、シャント・レギュレータに比べて正確で、ドリフトは遥かに小さくなっています。図 4 に示すように、絶縁型誤差アンプの出力特性 (typ) は -40°C ~ +125°C の範囲で 0.2% しか変化しないため、高精度 DC/DC 出力が可能になっています。安定な出力特性を維持するため、オペアンプの COMP 出力はパルス符号化されて、デジタル・パルスとしてアイソレーション障壁を超えて送信され、デジタル・アイソレータ・トランス・ブロックへのアナログ信号として復号されて、フォトカプラ・アイソレーション使用時の CTR 変動問題が完全に解消されています。

フライバック回路で可能な過渡応答より高速な過渡応答を必要とするアプリケーションの場合、絶縁型誤差アンプにプッシュ・プル回路を使用することができます。図 5 にプッシュ・プル回路を示します。2 個の MOSFET は交互にオン/オフ・スイッチングし、トランスの 2 本の 1 次側巻線を充電し、次に 2 本の 2 次巻線がダイオードで導通して、出力フィルタのインダクタとコンデンサを充電します。適切に補償すると、プッシュ・プル回路は非常に安定で、高速なスイッチング周波数と高速なループ応答を持ちます。フライバック回路に使用される同じ絶縁型 DC/DC デザイン例 (5 V 入力、5 V 出力、1.0 A 出力電流) は、ADuM3190 絶縁型誤差アンプを使ったプッシュ・プル回路で実現されています。プッシュ・プル・デザインは、200 kHz の代表的な低速フライバック・デザインに対して 1.0 MHz のスイッチング周波数を持つため、広い帯域幅を持つ ADuM3190 はフォトカプラより優れたオプションを提供します。出力フィルタ容量は、代表的なフライバックの 200 μ F からプッシュ・プルの 27 μ F へ削減されており、47 μ H の小さいインダクタが追加されています。図 6 の波形は、100 mA から 900 mA への負荷ステップ条件に対して、絶縁型誤差アンプを採用したプッシュ・プル回路は代表的なフライバックの 400 μ sec に比較して 100 μ sec で応答し、4 倍向上していることを示しています。フライバック回路から見た出力電圧の 400 mV 変化の代わりに、プッシュ・プル回路出力電圧は 200 mV の変化になっており、2 倍向上しています。高速なプッシュ・プル回路と絶縁型誤差アンプの広い帯域幅の使用により、高速な過渡応答と小型の出力フィルタで高性能が得られています。

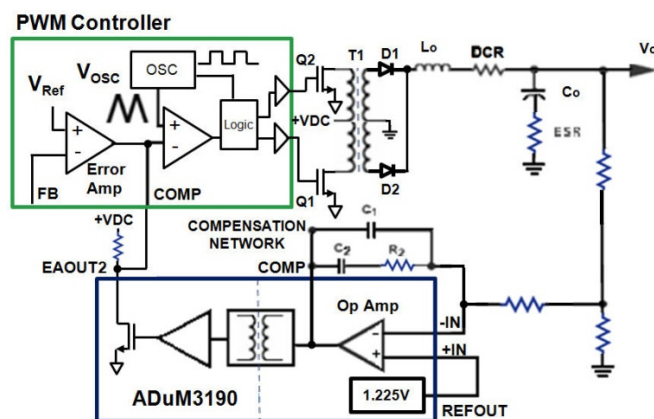


図 5. デジタル・アイソレータ誤差アンプを採用したプッシュプル・コンバータのブロック図

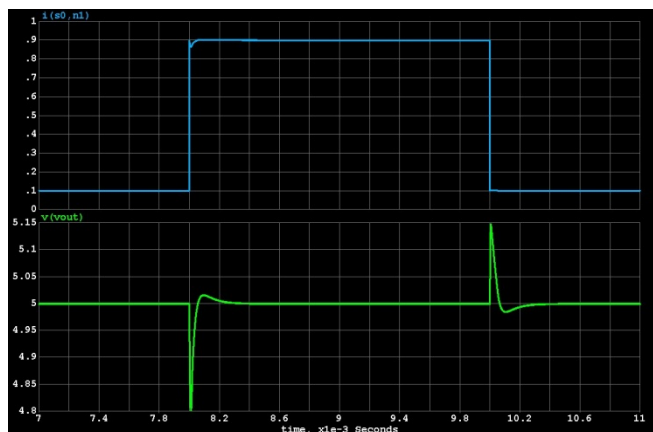


図 6. デジタル・アイソレータ誤差アンプを採用したプッシュプル・コンバータの 100 mA→900 mA 負荷ステップ

これらの高性能化は、ループ応答の高速化を可能にする 400 kHz の絶縁型誤差アンプの広帯域幅により可能になりました。10 MHz の広いゲイン帯域幅積を持つ 2 次側誤差アンプは、シャ

ント・レギュレータより約 5 倍も高速であるため、絶縁型 DC/DC コンバータに対して 1 MHz の高いスイッチング周波数を可能にします。寿命と温度に対して不確定な電流伝達比を持つフォトカプラ・ソリューションとは異なり、絶縁型誤差アンプの伝達関数は寿命中不変で、かつ -40°C ~ +125°C の広い温度範囲で安定しています。これらの性能向上により、1 次側制御アーキテクチャにより過渡応答と動作温度範囲を向上させたいと願う絶縁型 DC/DC コンバータの電源設計者にとって、絶縁型誤差アンプは最適なソリューションになっています。

参考資料

この資料を [facebook](#) [twitter](#) で共有してください。