



テスト済み回路設計集“Circuits from the Lab™”は共通の設計課題を対象とし、迅速で容易なシステム統合のために製作されました。さらに詳しい情報又は支援は <http://www.analog.com/jp/CN0342> をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス

ADuM3190	絶縁エラー・アンプ、2.5kV rms
ADP1621	ステップアップ DC/DC コントローラ、固定周波数、電流モード

高安定性の絶縁型エラーアンプを使用したフライバック電源

評価および設計サポート環境

回路評価ボード

CN-0342 評価用ボード (EVAL-CN0342-EB1Z)

設計と統合ファイル

回路図、レイアウト・ファイル、部品表

回路の機能とその利点

図1に示す回路は、2次側から1次側へ帰還信号を供給するための絶縁型リニア・エラーアンプを用いた絶縁型フライバック電源です。伝達関数が時間と温度に対して変化する非線形なフォトカプラ・ベースのソリューションとは異なり、伝達関数が線形の絶縁型アンプは安定しており、絶縁バリアをまたいで帰還

信号を転送する際のオフセットとゲイン誤差を最小限に抑えます。

全ての回路が5V~24Vで動作するので、標準的な産業用電源や自動車用電源で使用することができます。回路の電流出力能力は、5V入力と5V出力の構成で最大1Aです。

このソリューションは、高いDC入力電圧を使って最適な効率と小さなフォーム・ファクタの低電圧絶縁型電源を実現するアプリケーションに使用することができます。これらの例には、電力効率とプリント回路ボード (PCB) の密度が重要で-48V電源が一般的な、10W~20Wの通信用電源やサーバー用電源などがあります。

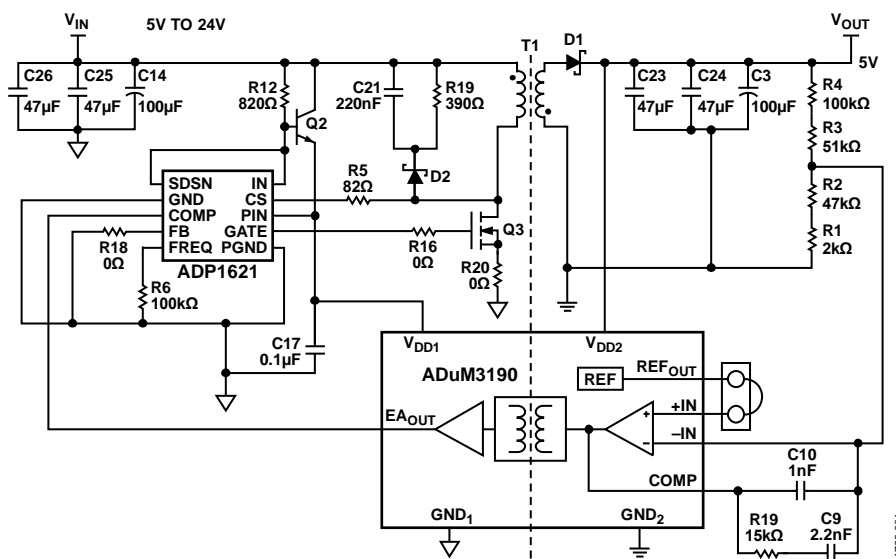


図1. フライバック電源回路の簡略回路図

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、各社の所有に属します。*日本語資料は 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。

回路説明

アイソレーション・アンプは ADuM3190 で、1.225V の電圧リファレンスとユニティ・ゲイン帯域幅積が 10MHz のエラーアンプを内蔵しています。外付け抵抗分割器 (R1、R2、R3、および R4) と補償ネットワーク (R9、C9、および C10) でアナログ帰還ループを形成します。

ADuM3190 の入力電源範囲は両側とも 3.0V~20V で、内部の低ドロップアウト・レギュレータは、電圧リファレンス、エラーアンプ、およびアナログ・アイソレータに安定した電源を供給します。ADuM3190 は、DOSA (Distributed-power Open Standards Alliance) の出力電圧調整方法と互換性があります。

ADP1621 は、フライバック電源のパルス幅変調 (PWM) 制御を行います。5.5V の内部シャント・レギュレータは、外付け NPN トランジスタ (Q2) を追加することにより、高い電源入力電圧を供給できます。また、ADP1621 は電流モード動作で損失のない電流検出も行うため、ラインおよび負荷の過渡応答が優れています。

出力電圧の設定

出力電圧は、 V_{OUT} から ADuM3190 の -IN ピンに接続された分圧器によって設定します。帰還抵抗の比によってシステムの出力電圧を設定します。ADuM3190 の内部電圧リファレンスを使用すると、-IN ピンのレギュレーション電圧は 1.225V になります。

$$V_{OUT} = 1.225V \times \left(1 + \frac{R4 + R3}{R1 + R2} \right)$$

5V 出力の構成では、抵抗分割器の値は $R1 = 2k\Omega$ 、 $R2 = 47k\Omega$ 、 $R3 = 51k\Omega$ 、および $R4 = 100k\Omega$ です。

電圧リファレンス

ADuM3190 は、 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で精度が $\pm 1\%$ に規定された 1.225V の電圧リファレンスを内蔵しています。リファレンス電圧出力ピン (REF_{OUT}) をエラーアンプの +IN ピンに接続して出力電圧を設定することができます。高精度な出力電圧や特殊な出力電圧が必要な場合、および別のリファレンス電圧を使用する必要がある場合には、+IN ピンを外部リファレンスに接続することもできます。

トランスの選択

トランスによって 1 次側インダクタの電流リップルが決まるため、トランスの選択は重要です。

この設計例では以下のパラメータを使用しました。

- $V_{IN} = 5V$
- $V_{OUT} = 5V$
- $I_{OUTMAX} = 1A$
- $f_{SW} = 200kHz$
- トランスの巻数比 = 1:1

トランスの 1 次側の平均電流 I_{LAVG} は次式で求められます。

$$I_{LAVG} = \frac{I_{LOAD}}{1-D} \times \frac{N_S}{N_P}$$

ここで、

I_{LOAD} は負荷電流、
 D は最大負荷電流時のデューティ・サイクル、
 N_S/N_P はトランスの巻数比です。

出力電圧は次のようになります。

$$V_{OUT} \times (1-D) \times \frac{N_P}{N_S} = V_{IN} \times D$$

出力と入力どちらも 5V であり、トランスの巻数比が 1:1 なので、デューティ・サイクル (D) は 50% になります。

1 次側インダクタのピーク to ピーク・リップル電流はインダクタ値に反比例します。

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN} \times D}{f_{SW} \times L}$$

ここで、

f_{SW} はスイッチング周波数、
 L は 1 次側のインダクタ値です。

連続導通モード (CCM) で動作すると仮定した場合、1 次側インダクタ電流は次式で求められます。

$$I_{LPK} = \frac{I_{LOAD}}{1-D} \times \frac{N_S}{N_P} + \frac{V_{IN} \times D}{2 \times f_{SW} \times L}$$

1 次側リップル電流がトランスの 1 次側平均電流の 50% と仮定した場合、インダクタの妥当な選択値は次のようになります。

$$L = \frac{V_{IN} \times D \times (1-D)}{0.5 \times f_{SW} \times I_{LOAD}} \times \frac{N_P}{N_S} = \frac{5V \times 0.5(1-0.5)}{0.5 \times 200kHz \times 1A} = 12.5\mu H$$

この設計には、1 次側インダクタンスが $16\mu H$ で巻数比が 1:1 のトランスを使用しました (Halo Electronics 社の TGB01-P099EP13LF)。

補償ネットワーク

フライバック方式の電源では、出力負荷抵抗、出力コンデンサ、およびコンデンサの等価直列抵抗 (ESR) により、部品の種類と値に応じた周波数にゼロ点と極が追加されます。また、制御から出力までの伝達関数に右半平面 (RHP) ゼロ点が生じます。RHP ゼロ点では位相が 90° 遅れるため、ゲインが 0dB の周波数 (クロスオーバー周波数) は RHP ゼロ点より低くなります。

エラーアンプを備えた ADuM3190 を使用し、-IN ピンから COMP ピンにタイプ II 補償ネットワークを構成することで制御ループを安定させるための補償を行うことができます。補償ネットワーク値は選択する部品に依存します。

タイプ II 補償ネットワークのゼロ点と極は以下のように求められます。

$$f_{ZERO} = \frac{1}{2\pi \times R9 \times C9}$$

$$f_{POLE} = \frac{C10 + C9}{2\pi \times R9 \times C10 \times C9}$$

この特定の設計では、補償ネットワークを、 $R9 = 15k\Omega$ 、 $C9 = 2.2nF$ 、および $C10 = 1nF$ を使って設定します。

この補償ネットワークが形成するゼロ点と極はそれぞれ、 $f_{ZERO} = 4.8kHz$ と $f_{POLE} = 15.4kHz$ です。ゼロ点と極の周波数を上げると負荷過渡応答が向上しますが、帰還ループの位相マージンが小さくなって電源が不安定になる可能性があります。

スナバ回路ネットワーク

パワー-MOSFET (Q3) がオフすると、トランスのリーク・インダクタンスによってドレインに高電圧のスパイクが発生します。この過大な電圧がパワー-MOSFET に過度のストレスを与えて、信頼性の問題や損傷を生じる可能性があります。このため、電圧をクランプするためのネットワークを追加する必要があります。

MOSFET のドレイン電圧が D2 のカソード電圧を超えると、抵抗、コンデンサ、およびダイオード (R19、C21、および D2) によるスナバ回路ネットワークがスナバ・ダイオードをオンすることによってリーク・インダクタンスの電流を吸収します。

ADP1621 は、パワー-MOSFET のドレインを CS ピンに接続した無損失モードで動作します。実際の設計では、CS ピンの電圧を 33V の絶対最大値に、また、精度を維持するには 30V の実質的な最大値に制限します。ピーク電圧の測定値が 30V を超えるか、またはより高精度な電流制限が必要な場合、CS ピンを MOSFET のソースの外付け電流検出抵抗に接続します。

1 次側電源

ADP1621 の電源電圧範囲は 2.9V~5.5V、ADuM3190 の電源電圧範囲は 3.0V~20V です。5V~12V の入力電源電圧で動作させるため、電圧レギュレータとして小信号 NPN トランジスタ (Q2) を使用することができます。

ADP1621 の IN ピンには 5.5V の内部電圧レギュレータがあり、これを NPN トランジスタ Q2 のベース・ノードに接続します。この接続により、エミッタ・ノードを $5.5V - 0.7V = 4.8V$ に安定化できるように Q2 をバイアスし、この電圧を ADP1621 の電源電圧 (PIN) と ADuM3190 の電源電圧 (V_{DD1}) として使用することができます。

2 次側電源

ADuM3190 は、2 次側の電源電圧 (V_{DD2}) の範囲が 3.0V~20V で、3.0V の動作電圧を供給するレギュレータを内蔵しています。 V_{OUT} を 20V より高い電圧に設定する場合、電圧レギュレータを外付けして指定された V_{DD2} 電圧を供給します。

絶縁と安全性

ADuM3190 は、2.5kV rms の絶縁電圧定格を実現するため、小型 16 ピン QSOP パッケージを採用しています。

ADuM3190 の安全仕様を表 1 に示します。

表 1. ADuM3190 の安全仕様

Parameter	Value	Unit
Rated Dielectric Insulation Voltage	2500	V rms
Minimum External Air Gap (Clearance)	3.8 min	mm
Minimum External Tracking (Creepage)	3.1 min	mm
Minimum Internal Gap (Internal Clearance)	0.017 min	mm
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	>400	V
Isolation Material Group	II	

バリエーション回路

入力電圧が高い場合、電流制御ループに電流検出抵抗を使用する必要があります。R20 抵抗を 0Ω からアプリケーションに必要な値に変更します。1A 出力の設定では、 $50m\Omega$ の検出抵抗値を選択します。ADP1621 の内部電流帰還ループにより、電流検出電圧が上昇したときにスイッチングの最大 PWM デューティ・サイクルが減少します。検出抵抗値が大きすぎるとスイッチングのデューティ・サイクルが制限されるため、特定の出力電圧での最大出力電流も制限されます。ADP1621 の補償ピン (COMP) の有効入力電圧範囲は 0V~2V です。十分なスイッチング・デューティ・サイクルを確保するため、CS ピンの電圧を 0.1V 未満に制限することを推奨します。

5V 未満の入力電圧で動作させる場合、コレクタとエミッタの間のジャンパを短絡することによって入力レギュレーション・トランジスタをバイパスします。

-48V 入力を備えた通信用電源やサーバー用電源などのアプリケーションでは、1 次側コントローラの電源電圧を +5V に安定化します。NPN トランジスタ Q2 には高い V_{CE} ブレックダウン電圧を必要とし、パワー-MOSFET Q3 には高い V_{DS} (100V、 V_{DSMAX}) を必要とします。さらに、RCD スナバ回路のダイオード D2 を 70V の逆電圧定格のものに変更します。

ADP1621 の内部レギュレータの電流を減らすため、R12 を $1.5k\Omega$ に増やします。

各種の入力電圧設定値に対して選択した代替部品を表 2 に示します。

表 2. 各種の設定値に対する部品 (値)

Input Voltage	5 V to 7 V	7 V to 24 V	24 V to 48 V
Q2	PMST2369	PMST2369	BC846
Q3	NTD18N06L	NTD18N06L	NVD6824NL
D2	MBR0540T1	MBR0540T1	MMSD701T1
R12	390 Ω	820 Ω	1.5 k Ω

回路図、レイアウト、部品表などが完備された設計サポート・パッケージについては、www.analog.com/CN0342-DesignSupport をご覧ください。

性能の測定結果

3つの異なる入力電圧（5V、12V、および24V）で測定した効率を図2に示します。

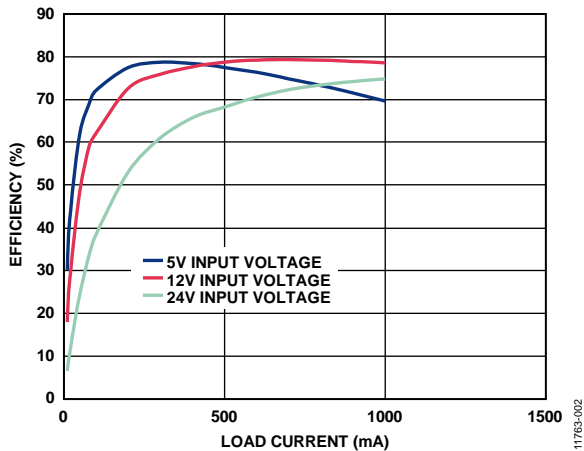


図 2. 5V、12V、および 24V の入力電圧での負荷電流 対 フライバック回路の出力効率

-40°C~+125°Cの温度範囲での出力電圧を図3に示します。この範囲での総合出力電圧誤差は±20mV（±0.4%）未満です。

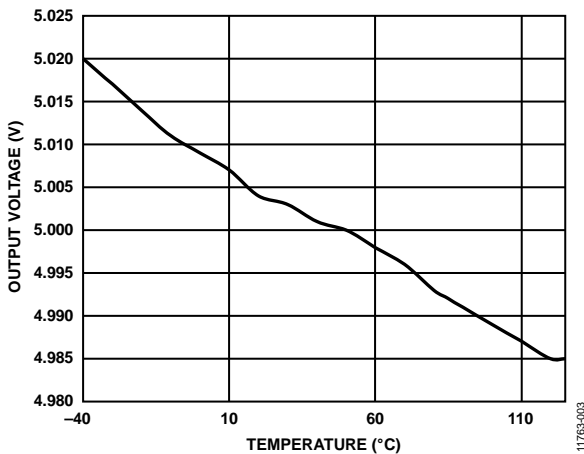


図 3. フライバック回路の出力電圧の温度特性

負荷電流を増やしたときと減らしたときの過渡応答をそれぞれ図4と図5に示します。過渡応答時間は、負荷電流の100mAから900mAへの上昇時に32μs、負荷電流の900mAから100mAへの減少時に45μsになります。

EVAL-CN0342-EB1Z 評価ボードの写真を図6に示します。

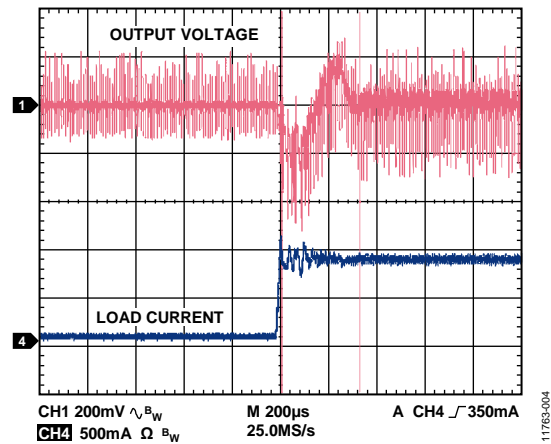


図 4. 100mA から 900mA への負荷過渡応答

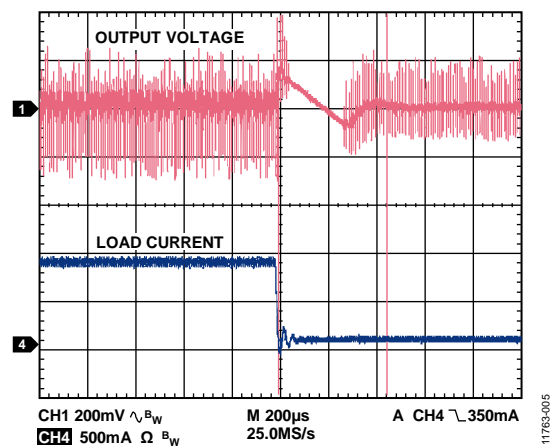


図 5. 900mA から 100mA への負荷過渡応答

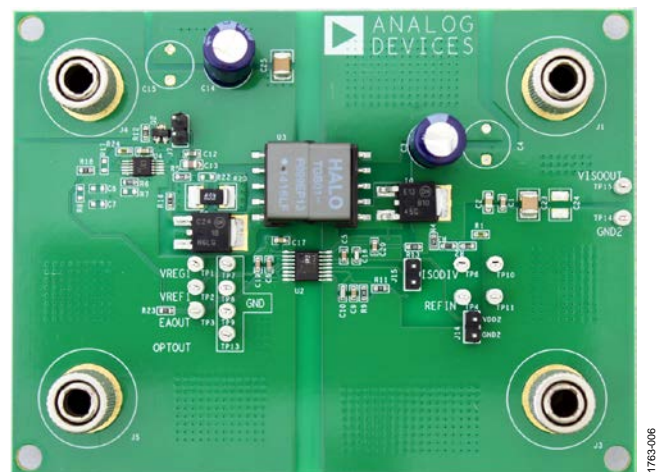


図 6. EVAL-CN0342-EB1Z 評価ボードの写真

回路の評価とテスト

DC 電源と信号源/測定ユニットを使って、この回路の効率と負荷レギュレーションをテストします。負荷過渡応答と出力リップルはオシロスコープと電流プローブで測定します。

必要な装置

以下の装置が必要です。

- 3A の電流出力能力と電流測定機能を備えた 30V 電源
- 1A の負荷電流能力を備えた信号源/測定ユニット
- 帯域幅が 300MHz 以上のオシロスコープと入力範囲が 1A 以上の電流プローブ

評価開始にあたって

この回路を評価するのにソフトウェアのサポートは不要です。電源を接続すると、出力が設定に基づいて安定化されます。

セットアップとテスト

5V 電源を 1 次側入力コネクタ (J4) に接続し、グラウンドを J5 に接続します。

J1 が 5V 出力で J3 が出力グラウンドの 2 次側に電源メーターを接続します。

J15 のジャンパを接続し、ADuM3190 の 1.225V の内部電圧リファレンスを使用します。

さらに詳しい資料

CN0342 Design Support Package.

Gottlieb, Irving M. *Power Supplies, Switching Regulators, Inverters, and Converters*. Second Edition, McGraw Hill (TAB Books), 1994.

Brown, Marty. *Practical Switching Power Supply Design*. Academic Press, 1990.

Brown, Marty. *Power Supply Cookbook*. Butterworth-Heinemann, 1994.

Lenk, John D. *Simplified Design of Switching Power Supplies*. Butterworth-Heinemann, 1995.

Billings, Keith. *Switchmode Power Supply Handbook*. McGraw-Hill, 1989.

Chryssis, George. *High-Frequency Switching Power Supplies: Theory and Design*. Second Edition, McGraw-Hill, 1989.

Pressman, Abraham I. *Switching Power Supply Design*. McGraw-Hill, 1991.

ADIsimPower Power Management Design Tool.
Analog Devices, Inc.

データシートと評価ボード

ADuM3190 データシート

ADP1621 データシート

改訂履歴

11/14—Revision 0: 初版

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用で作られており、アナログ・デバイセズ社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできますが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイセズ社の提供する情報は正確でかつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab/実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイセズ社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイセズ社はいつでも予告なく「Circuits from the Lab/実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は各社の所有に属します。