

絶縁バリアを通過する電力： 絶縁 DC/DC バイアス電源の 状況



Ryan Manack
Business Lead,
Texas Instruments

電子機器設計者のツールボックスは成長し続けています。 仕事に適したツールを見つけるには、目の前の作業を理解し、 どんなツールが存在するか知り、 それらのツールの最適な使い方を知る必要があります。

絶縁バリアをまたいで信号/電力を伝えることは、設計者にはよくある課題です。絶縁が求められる理由には、安全性、ノイズ耐性、システム領域間の大きな電位差などがあります。例えば、携帯電話の充電器は、コネクタが短絡しても人体と商用電源が電氣的に結合しないよう、内部で絶縁されています。工場ロボットのような他のアプリケーションでは、敏感な回路には個別のグランドが用意され、DC大電流が流れてノイズやグランド・バウンスを発生するモータとは絶縁されています。

通信とセンシングは、通常、絶縁バリアを挟んで実装されます。CAN (コントロール・エリア・ネットワーク) またはCAN FD (フレキシブル・データ・レート) プロトコル通信を使用する車載アプリケーションでは、絶縁部品とトランシーバ部品を内蔵した絶縁CANトランシーバを使って、自動車の高電圧側からこのような信号を絶縁できます。産業アプリケーションでもCANプロトコルを使用しますが、長距離シリアル通信用のプロトコルであるRS-485も使用できます。CANとCAN FD信号を絶縁するのと同様に、RS-485プロトコル用に設計された絶縁トランシーバを利用できます。保護リレーは、絶縁電流/電圧センサを使用し、送電網を通じて伝送される電力を感知します。トラクション・インバータとモータ・ドライブは、モータ・コントローラからPWM (パルス幅変調)

信号を受信し、アイソレータを通じてゲート・ドライバに渡して、IGBT (絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ) をオン/オフするよう指示します。

絶縁バイアス・コンバータは、バイアス電力を絶縁バリアの一方から他方へと供給し、絶縁された通信とセンシングを可能にします。電流/電圧センサ、デジタル・アイソレータ、ゲート・ドライバに必要な電力は通常15W未満で、わずかに数10ミリワットしか必要としないものもあります。図1に、このようなアプリケーションのそれぞれの例を示します。

絶縁 DC/DC バイアス電源の要件

絶縁バイアス電源を提供するソリューションは、外部電源スイッチを使用するコントローラから、電源スイッチ付きのコントローラを内蔵するコンバータ、そして1つのパッケージにコントローラ、電源スイッチ、トランスを内蔵する電源モジュールまで、数多くあります。多種多様なバイアス電源ソリューションがあり、それらが投入されるアプリケーションもさまざまであるため、最小限のコストで仕様を満たすためにはアプリケーション要件をしっかりと理解することが重要です。

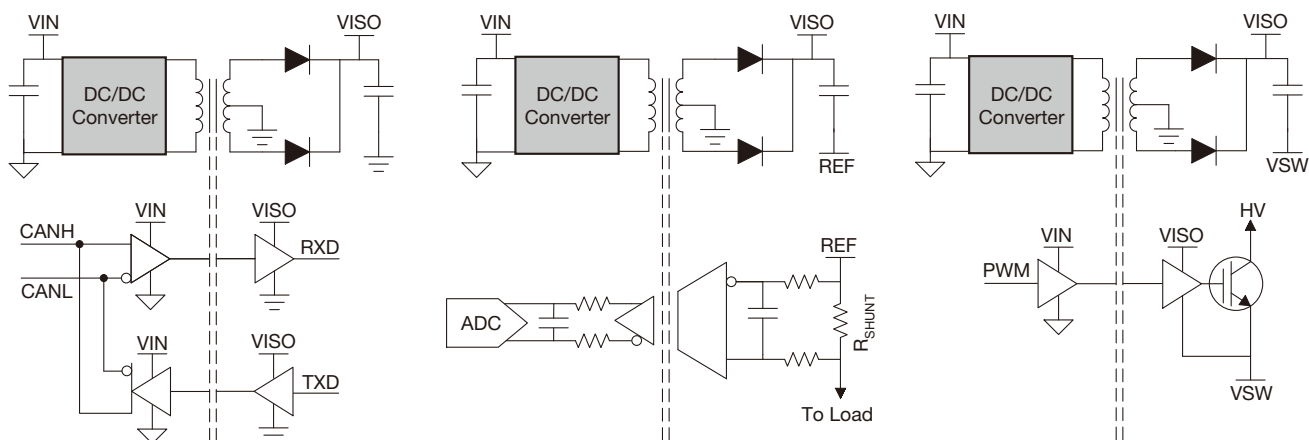


図1: 絶縁バイアス・アプリケーション

	トラクション・インバータSiC ゲート・ドライバ・バイアス	絶縁電流/ 電圧センシング	絶縁CAN通信	産業用モータIGBT ゲート・ドライバ・バイアス
入力電圧	12V ±10%	5V	5V	24V ±10%
出力電圧	+20V / -5V	5V	5V	+15V / -5V
出力電力	1.5W	100mW	350mW	1W
レギュレーション	±5 %	±10%	±5%	±10%
絶縁定格	基本絶縁	強化絶縁	強化絶縁	強化絶縁
周囲温度	最高105°C	-55°C~125°C	-40°C~125°C	-40°C~85°C
EMI要件	CISPR25 Class 5準拠	CISPR25 Class B準拠	CISPR25 Class 5準拠	CISPR25 Class B準拠

表1：絶縁バイアス・コンバータの仕様例

設計者は少なくとも、バイアス電源の入力電圧範囲、出力電圧、出力電力の要件を理解しておく必要があります。アプリケーションによっては複数のバイアス電圧が必要になり、各出力に対して許容するレギュレーションを定義することが重要です。絶縁定格、動作時周囲温度範囲、電磁干渉 (EMI)、電磁環境適合性 (EMC) などのシステム要件は、さらに設計判断を左右するでしょう。表1には、非常に広範囲な絶縁バイアス・コンバータの仕様から4例だけを示しました。それでは、絶縁バイアス電源トポロジの例をいくつか検討しましょう。

フライバック

フライバック・コンバータは、長年にわたり広く採用されているよく知られたトポロジです。この電源コンバータは、柔軟性と低コストのおかげで、多種多様なアプリケーションに対応可能です。FET (電界効果トランジスタ) 内蔵や1次側制御などの進歩で、このトポロジはさらに魅力が増しました。

フォワード、プッシュプル、ハーフブリッジなどの降圧型から派生したトポロジと比較すると、フライバック・トポロジは、1次側スイッチ1個、整流器1個、トランスに似た結合インダクタ1個しか必要としません。図2に、単純化したコンバータの回路図を示します。1次側スイッチがオンの時、1次巻線の両端に入力電圧が印加され、トランスのエア・ギャップにエネルギーを蓄積します。この状態では、出力負荷は出力コンデンサだけで給電されます。1次側スイッチがオフになった時、トランスに蓄積されたエネルギーが整流器を通して2次側に送られ、負荷に給電し、出力コンデンサを充電します。

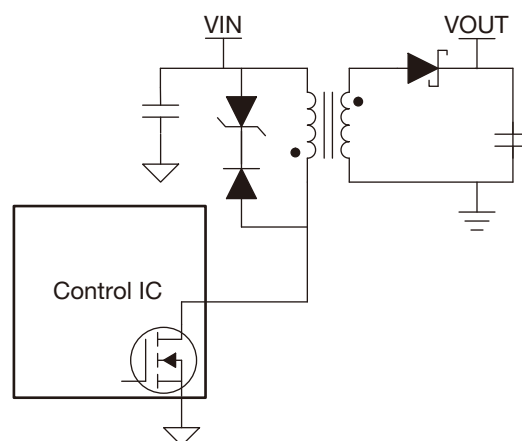


図2：フライバック・コンバータ

フライバック・コンバータがバイアス・コンバータとして優れた性能を示すには、いくつかの理由があります。まず、1つの変換段でレギュレーションと絶縁を提供します。その柔軟性は、複数の出力を得るのにも便利です。選択した構成に対応して、出力巻線の数を選び、トランスを巻くことができます。出力巻線上の対応する電圧は、デューティ・サイクルと1次/2次巻数比の関数です。また、システムの絶縁要件を満たすため、各出力の基準を異なるグラウンドにすることもできます。他にも、比較的コストが安く、入力から出力への動作範囲が広いことがフライバックの利点です。

最適な性能を得るには、フライバック・トランスを適切に設計することが重要です。特に複数の出力で最高の効率と最良のレギュレーションを得るには、トランスの結合を良好にして漏れインダクタンスを少なくします。また、過剰な電磁干渉 (EMI) を防止するため、1次側から2次側への寄生容量を制限する必要があります。

Fly-Buck™ コンバータ

Fly-Buckコンバータは、絶縁バイアス電源作成のために使用するテキサス・インスツルメンツ独自のトポロジです。最大100Vの入力電圧で動作可能で、フライバック・コンバータのように通常はMOSFETがICに内蔵され、1次側制御を非常に簡単に実現できます。図3に、Fly-Buckコンバータを示します。このトポロジでは、結合インダクタを用いた同期降圧コンバータを使用し、1つまたは複数の絶縁出力を作成します。ハイサイドのスイッチがオンになった時、1次側は降圧コンバータのように動作し、2次側巻線の電流はゼロです。オフ状態でローサイドのスイッチがオンの場合、2次側は1次側に蓄積されたエネルギーで駆動されます。

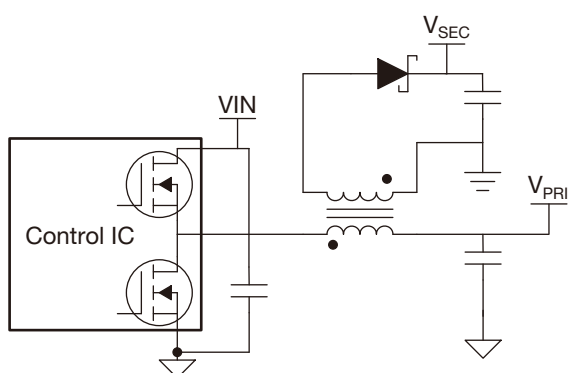


図3: Fly-Buck™ コンバータ

同期降圧コンバータは広く利用されているため、Fly-Buckコンバータは魅力的なトポロジになっています。このコンバータでは、フィードバック・ループを1次側出力電圧上で閉じることができるため、制御のために補助巻線やフォトカプラの追加が不要です。結合インダクタによる構成には柔軟性があります。巻線比、絶縁定格、2次巻線数、PWMデューティ・サイクルは、多種多様なアプリケーションでの使用に対して制御可能です。

フライバック・コンバータのように、結合インダクタには適切な設計が必要です。1次側から2次側への寄生容量を制限しながら、漏れインダクタンスを管理することが重要です。100V以上の入力電圧が必要なアプリケーションでは、外付けMOSFETを使ったFly-Buckコンバータを使用できます。

プッシュプル・トランス・ドライバ

プッシュプル・トランス・ドライバは、低ノイズ、小型フォーム・ファクタの絶縁電源でよく用いられるソリューションです。厳密に安定化された入力レールから給電され、50%固定のデューティ・サイクルにより開ループで動作します。MOSFETはICに内蔵され、コンパクトなソリューションが可能です。

図4に、プッシュプル・トポロジを示します。プッシュプル・トポロジは、フォワード・トポロジのダブル・エンドのバリエーションであり、両方のMOSFETがグラウンドを基準とし、外付けのブート・ストラップ回路が不要です。シングルエンド・フォワード・コンバータと同様に、FETの電圧ストレスは入力電圧の2倍です。MOSFETは、50%のデューティ・サイクルで1/2サイクルずつ交互にスイッチングを行い、トランスのセンタータップ付き巻線を駆動します。

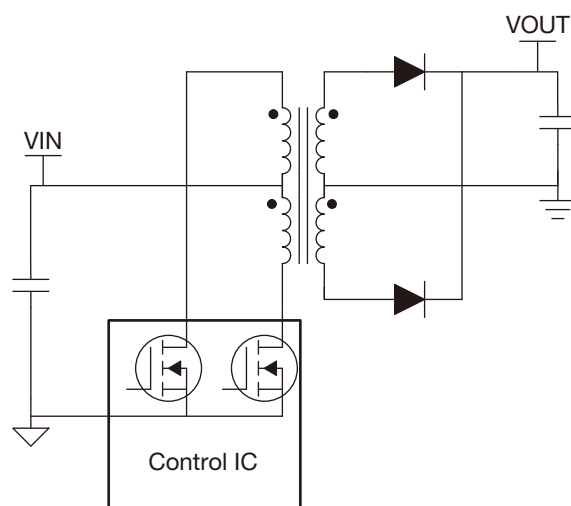


図4: プッシュプル・トランス・ドライバ

プッシュプル・トランス・ドライバは、数々の理由から絶縁バイアス電源ソリューションとして普及しています。複数出力に対応する柔軟性と能力を備えるほか、開ループ構成によりフィードバック・ループが不要で、設計が単純になります。プッシュプル・トランスでは、1次側/2次側容量が小さく、フライバックやFly-Buckコンバータと比べると、同相ノイズを低減できます。さらに、プッシュプル・トポロジは、トランス・コアの磁化電流の使用効率が高く、フライバックやFly-Buckコンバータと比べて磁気部品が小型化されます。

トランス・ドライバには多くの利点がありますが、トレードオフの考慮も重要です。フライバックやFly-Buckコンバータとは違い、トランス・ドライバは広い入力電圧範囲に対応できず、厳密に安定化された入力電圧が必要です。閉ループが存在しないため、フィードバックに対する出力電圧レギュレーション要件を満たすのは困難な場合があり、低ドロップアウト・ボースト・レギュレータ(LDO)が必要になる可能性があります。

電源モジュール

電源モジュールは長年にわたり利用されています。このソリューションは広く利用可能で、個別部品での実装と比べて高度に統合されています。電源モジュールには、入力電圧、出力電圧、出力電力、出力数、絶縁定格、レギュレーション・オプションなどでさまざまなバリエーションがあります。

図5に、ある電源モジュールの内部動作のブロック図を示します。このトポロジには個別部品での実装と同様のトランス・ドライバが内蔵されています。レギュレーション用の出力LDOを内蔵したデバイスもあります。

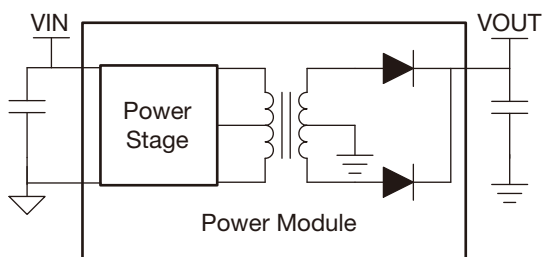


図5: 電源モジュール

数多くのオプションが利用できるため、電源モジュールはほとんどの絶縁バイアス・コンバータ・アプリケーションで使用できます。電源モジュールを使えば、トランスの仕様の検討や、設計、選択は不要です。設計を始めるのに必要なのは入出力デカップリング・コンデンサだけなので、設計プロセスは大幅に簡素化されます。同期、出力電圧選択、イネーブル、誤差シグナリングなどの他のオプションも利用可能です。

モジュールを使用すると、特に出力数やトランス巻数比の構成など、柔軟性が失われるものもあります。周囲温度が125°C定格のモジュールの選択肢は、55°Cや85°Cの選択肢よりも少なくなります。同様に、完全な強化絶縁定格の入手可能なモジュール数は、機能絶縁や基本絶縁定格のモジュールよりも少なくなります。

次世代のバイアス・ソリューション

トランス設計と高周波数トポロジにおけるイノベーションのおかげで、IC設計者はトランスとシリコンを1つのICに統合できるようになりました。エンドユーザーにとっては、トランス設計の必要なしに、システム性能を損うことなく、小型軽量のDC/DCバイアス電源が得られます。

図6に、テキサス・インスツルメンツのUCC12050のブロック図を示します。電源段と整流器を内蔵した電源モジュールに似ていますが、UCC12050の動作を詳しく調べると、スイッチング周波数は電源モジュールよりはるかに高いことがわかります。この結果、低いスイッチング周波数の電源モジュールと比べて大幅に低背、軽量化することができます。内部のトポロジ制御方式により、LDOや外付けフィードバック部品なしで閉ループを実装します。

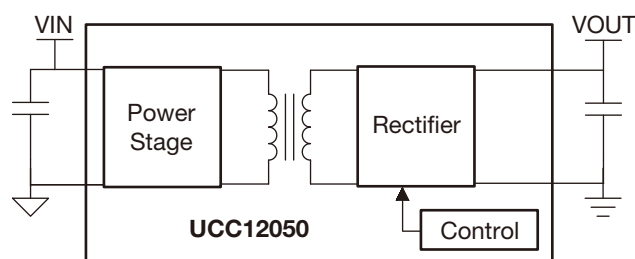


図6: UCC12050絶縁DC/DCバイアス電源

UCC12050は、多様な絶縁DC/DCバイアス電源アプリケーションに数多くの利点をもたらします。UCC12050は、1次/2次間の容量がわずか3.5pFのEMI最適化トランスと、低ノイズの制御方式を用いて設計されています。フェライト・ビーズやLDOを使用せずに、2層PCB上のこのソリューション単体でCISPR32 Class Bに合格できます。このデバイスは堅牢で、強化絶縁5kVrms、動作電圧1.2kVrmsの定格を持ち、周囲温度125°Cで動作します。デバイス・ファミリには、基本絶縁3kVrms、動作電圧800Vrmsの定格を持つUCC12040も含まれます。

UCC12050のターゲットは、5V入力、3.3V～5.4V出力で500mWを必要とするアプリケーションです。それより高い入力/出力電圧が必要なアプリケーションでは、前または後に変換段が必要です。また、UCC12050のディレーティング曲線よりも高い電力を必要とする設計に対しては、代替トポロジを検討してください。

表2は、上記トポロジをそれぞれ比較しています。外部トランスを使用したトポロジは最も柔軟性がありますが、電源モジュールとUCC12050は利用が最も簡単です。

	出力数	レギュレーション	出力電力	絶縁定格	動作温度
フライバック・コンバータ	柔軟 - トランスに依存	PSRまたはフォトカブラ巻線は1つだけ安定化	最大15W	柔軟 - トランスに依存	柔軟 - トランスに依存
Fly-Buck™コンバータ	柔軟 - トランスに依存	PSRまたはフォトカブラ	5~10W	柔軟 - トランスに依存	柔軟 - トランスに依存
トランス・ドライバ	柔軟 - トランスに依存	非安定化	1~5W	柔軟 - トランスに依存	柔軟 - トランスに依存
電源モジュール	1~2出力	安定化または非安定化	1~3W	大半は基本絶縁か機能絶縁	通常、85°C
UCC12050	1出力	安定化	0.5W	強化絶縁	125°C

表2: 絶縁バイアス電源トポロジの比較

結論

絶縁境界をまたいだ給電には数多くの選択肢があります。出力数、レギュレーション要件、出力電力、絶縁定格、動作温度、入力電圧範囲など、システム・レベルの要件について理解することが重要です。そこから、システム要件すべてを満たす最小コストのソリューションを得ることができます。



IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to TI's Terms of Sale (www.ti.com/legal/termsofsale.html) or other applicable terms available either on ti.com or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2020, Texas Instruments Incorporated