

Technical Article

フライバックコンバータ設計上の検討事項



John Betten

フライバックコンバータには、最も低コストな絶縁型パワーコンバータであること、複数の出力電圧を簡単に供給できること、シンプルな1次側コントローラ、最大300Wの電力供給ができることなど、多くの利点があります。フライバックコンバータは、テレビから電話の充電器、通信、産業用アプリケーションまで、多くのオフラインアプリケーションで使用されています。それらの基本的な動作は、特にこれまでこういう設計をしたことがない人には、設計の選択肢が多く、手に負えないように見えるかもしれません。53VDC~12V/5Aの連続導通モード(CCM)フライバックの設計における主な考慮事項をみていきましょう。

250kHzで動作する60Wフライバックの詳細な回路図を、図1に示します。FET Q2がオンになると、入力電圧がトランスの1次巻線の両端に印加されます。巻線に流れる電流が増加し、エネルギーをトランス内に蓄積できるようになります。出力整流器D1は逆バイアスされるため、出力への電流フローはブロックされます。Q2がオフになると、1次側電流が中断され、巻線の電圧極性が強制的に反転します。電流が2次巻線から流れ出すようになり、ドット電圧を正として巻線電圧の極性が反転します。D1は導通し出力負荷に電流を供給して、出力コンデンサを再充電します。

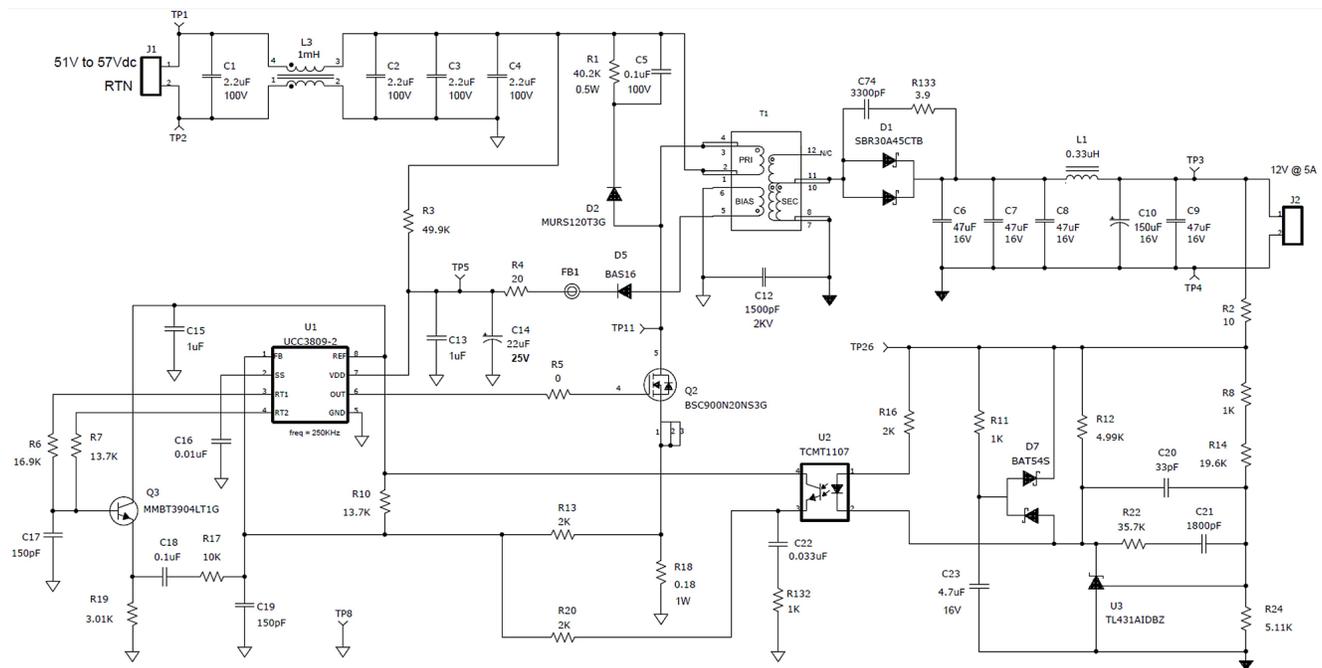


図 1. 60W CCM フライバックコンバータの回路図

トランスの巻線を追加したり、他の巻線の上に重ねて追加の出力を得ることもできます。ただし、出力を追加するほど制御の精度が低くなります。これは、巻線とコアの間の磁束リンケージ(カップリング)が不完全であり、巻線が物理的に分離されて漏れインダクタンスが発生するためです。この漏れインダクタンスは、1次巻線および出力巻線と直列の浮遊インダクタンスとして動作します。これにより、意図しない電圧降下が巻線と直列に発生し、出力電圧制御の精度が実質的に低下します。一般的な目安として、適切に巻かれたトランスを使用する場合、制御を行わない出力はクロスロード時に+/-5~10%の範囲で変動することを想定します。さらに、制御された高負荷の出力が、漏れに起因する電圧スパイクのピークを検出することで、無負荷の2次側出力電圧を大幅に上昇させる可能性があります。この場合、プリロードまたはソフトクランプが電圧の制限に役立つことがあります。

CCMと不連続導通モード (DCM) 動作にはそれぞれ利点があります。定義上、DCM 動作は、次のサイクルが開始する前に出力整流器電流が 0A まで減少したときに発生します。DCM 動作のメリットには、1 次側インダクタンスが小さく、通常、電源トランスが小さくなること、整流器の逆回復損失と FET のターンオン損失が除去されること、右半面ゼロが発生しないことなどが挙げられます。ただし、CCM と比較して、1 次側と 2 次側でのピーク電流の増加、入力と出力の容量の増加、電磁干渉 (EMI) の増加、軽負荷時のデューティ サイクル動作の減少によって、これらのメリットは相殺されます。

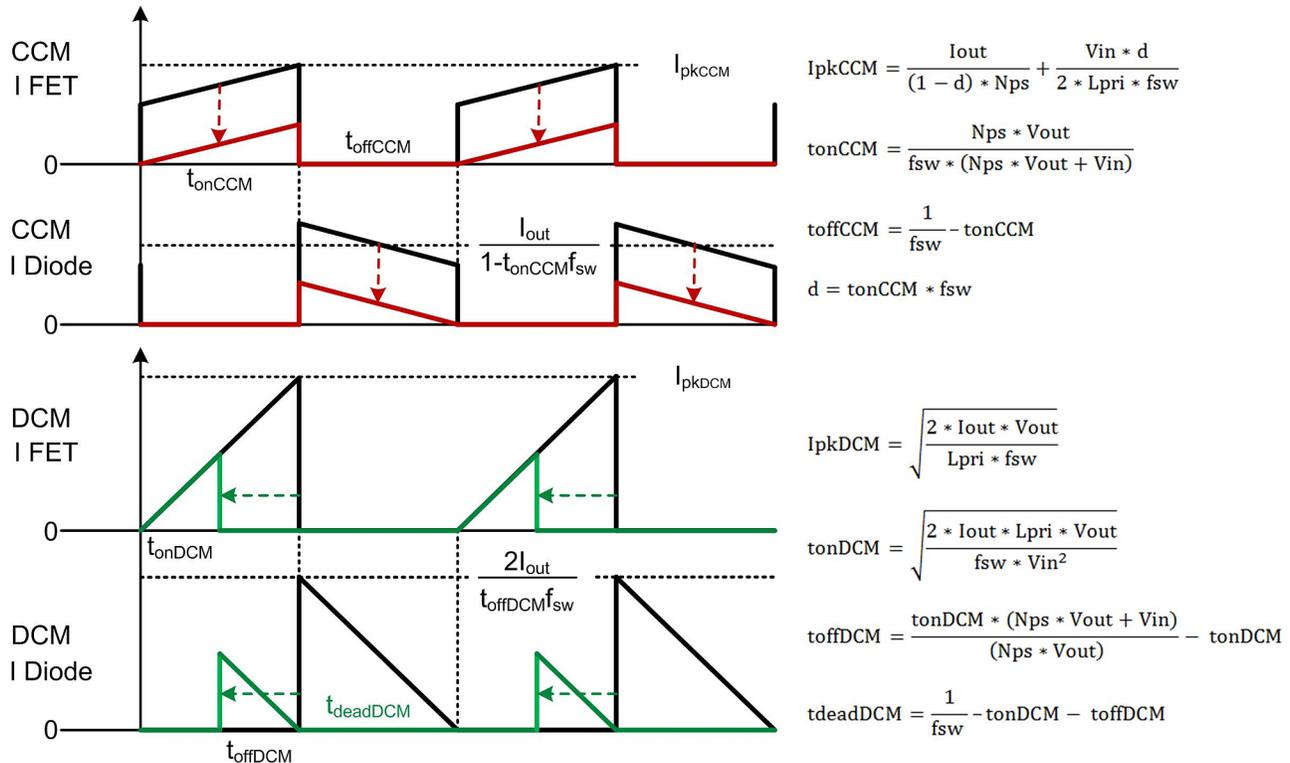


図 2. CCM と DCM の各フライバック FET と整流器の電流の比較

図 2 は、最小 V_{IN} 時に Q2 および D1 の電流がどのように変化し、負荷は CCM および DCM の両方で最大値から約 25% までどのように減少するかを図示しています。CCM では、入力電圧が固定で、負荷がその最大設計レベルと最小設計レベル (約 25%) の間にあるとき、デューティ サイクルは一定です。負荷が減少すると、DCM に達するまで電流の「ペダスタル」レベルが低下し、ここでデューティ サイクルが減少します。DCM では、最大デューティ サイクルは最小 V_{IN} および最大負荷でのみ発生します。入力電圧が高くなると、または負荷が減少すると、デューティ サイクルが減少します。

これにより、ハイラインおよび最小負荷時のデューティ サイクルが小さくなる場合があるため、コントローラがこの最小オン時間で正しく動作できることを確認してください。DCM 動作では、整流器電流が 0A に達した後、デューティ サイクルが 50% 未満の場合にデッドタイムが発生します。FET のドレイン側の正弦波電圧が特徴で、残留電流、寄生容量、漏れインダクタンスによって決まりますが、一般的には特に問題はありません。この設計では、スイッチング損失とトランス損失の低減により高い効率を実現できるため、CCM 動作を選択しました。

この設計は、12V 出力が規定値に達した後で、1 次側を基準とする 14V バイアス巻線を使用してコントローラに電力を供給することで、入力から直接電力を供給する場合と比較して損失を低減します。ここでは低リップル電圧を重視して 2 段の出力フィルタを選択しました。1 段目のセラミック コンデンサは、D1 内の脈動電流から発生する高 RMS 電流を処理します。これらのリップル電圧はフィルタ L1 と C9/C10 によって低減され、リップルが約 1/10 に低減されるとともに、C9/C10 の RMS 電流も減少します。より高い出力リップル電圧が許容される場合、インダクタ - コンデンサ間のフィルタは不要ですが、出力コンデンサは RMS 電流を完全に処理する必要があります。

UCC3809-1 または UCC3809-2 コントローラは、絶縁アプリケーションでは U2 フォトカプラと直接接続するよう設計されています。非絶縁設計では、U2 と U3 を不要にするとともに、エラー アンプを内蔵した UCC3813-x シリーズなどのコントローラに直接接続された電圧帰還分圧抵抗を不要にできます。

Q2 および D1 のスイッチング電圧は、トランスの巻線間および部品の寄生容量に高周波の同相電流を生じさせます。EMI コンデンサ C12 が帰路を提供していない場合、これらの電流が入力や出力に流入し、ノイズが増加したり、誤動作する可能性があります。

Q3/R19/C18/R17 の組み合わせにより、発振器の電圧ランプを、電流モード制御に使用される R18 の 1 次側電流センス電圧に加算することで、スロープ補償が行われます。スロープ補償により、広いデューティサイクルのパルスの後に狭いパルスが続くことが特徴の、サブハーモニック発振が除去されます。このコンバータは 50% を超えて動作しないように設計されているので、スイッチ ジッタの影響を低減するため、代わりにスロープ補償を追加しました。ただし、過度の電圧スロープが原因で、制御ループが電圧モード制御の方向に押しされ、不安定になる可能性があります。最後に、フォトカプラは 2 次側からエラー信号を転送して、出力電圧の制御を維持します。フィードバック (FB) 信号は、電流ランプ、スロープ補償、出力誤差信号、および過電流スレッシュホールドを低減するための DC オフセットで構成されます。

Q2 と D1 の電圧波形を 図 3 に示します。ここには漏れインダクタンスとダイオードの逆回復に起因するリングングがいくつか表示されています。



図 3. FET と整流器のリングングは、クランプとスナバ (57V_{IN}、12V/5A) により制限されます。

フライバックは、低コストの絶縁型コンバータを必要とするアプリケーションでは標準と考えられています。この設計例では、CCM フライバック設計の基本的な設計上の考慮事項を扱っています。

Power House に関するテキサス・インスツルメンツの Power Tips ブログ シリーズをご確認ください。

次の資料もご覧ください：

- [Power Tips #75:『車載システム向け USB パワー デリバリ』](#)
- [『フライバック コンバータを 2 段 LED ドライバのフロント エンドとして設計する方法』](#)
- [LTC 設計ノート:『560V 入力、光絶縁を使用しないフライバック コンバータ』](#)
- [『疑似共振フライバック コンバータにより、エネルギー蓄積コンデンサを容易に充電』](#)
- [『フライバック コンバータで BJT を使用する理由』](#)

この記事は、以前 [EDN.com](#) で公開された記事です。

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 © 2024, 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、

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](#) 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated