

コストが重視される、要求の厳しい アプリケーション向けのワイド V_{IN} 、 低EMIの同期整流方式 降圧型回路の評価



Timothy Hegarty
システム エンジニア
非絶縁型パワー・ソリューション

Texas Instruments

パワー・ソリューションのトータル・コストを削減し、市場投入までの期間を短縮するには、広い入力電圧範囲での動作、定評あるEMI性能、マルチ出力の柔軟性を特長とする同期整流方式降圧型コンバータが必要不可欠です。

多くのパワー・コンバータ・ソリューションでは、効率とソリューションのサイズのトレードオフが避けられません [1]。しかし、パワー・ソリューションに対して各種の機能に結び付いた独自の要求を行う、新しいアプリケーションが出現しています。図1に示すような、コストを重視する産業用、車載、および通信アプリケーションでは、特に同期整流方式降圧型コンバータ回路に関連する次の3つの機能が要求されます。1) 広い入力電圧範囲での動作(ワイド V_{IN})、2) デュアルチャネルおよび Fly-Buck™ ソリューションを利用した、非絶縁型および絶縁型のマルチ出力、3) 低ノイズおよび低電磁妨害 (EMI)。

このホワイト・ペーパーでは、テキサス・インスツルメンツの使いやすいワイド V_{IN} 降圧型コンバータ/コントローラの製品ポートフォリオを参照しながら、上記の各機能の価値提案を詳しく検討します。これらの価値は、BOM (bill of materials) コストの最適化、信頼性の向上、市場投入までの期間の短縮が最優先の制約条件となる製品開発環境で有益です。



図1. 車載機器、産業用機器、通信機器分野における要求の厳しいコスト重視のアプリケーション

広い V_{IN} 範囲での動作

広い V_{IN} 範囲 [2] で動作するパワー・コンバータは、入力レールの過渡的電圧変動を抑える動作マージンを提供します。高い信頼性や長い製品寿命が必須のアプリケーションでは、このような過渡電圧変動への耐性が重要です。

たとえば、産業用オートメーションおよびプロセス制御装置は、多くの場合レギュレーションなしの8V ~ 36V レールで動作する必要があり、この電源レールはエレクトロメカニカル (EM) デバイスの高電流および誘導負荷スイッチングもサポートします。この例には、モーター、リレー、サーキット・ブレーカが含まれます。

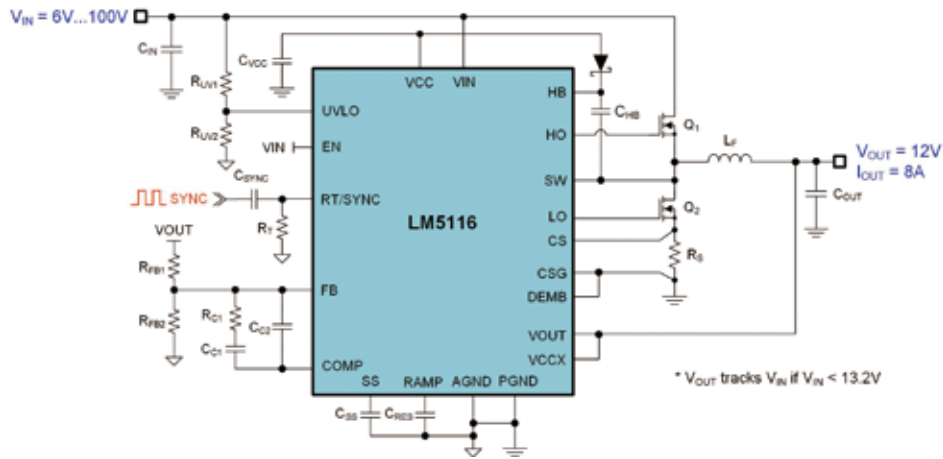


図2. 入力電圧範囲が6V～100Vの堅牢な同期整流方式降圧型コンバータ

このようにデバイスがオンとオフで切り替わるとき、直列寄生インダクタンスと高スルーレート電流が結合して瞬時的な電力サージが発生し、電源レール上で電圧変動と大きな過電圧スパイクを引き起こすことがあります。

さらに、IEC 61000-4 (産業用アプリケーション向けコンモントランジェント・イミュニティ仕様 [3]) は、低周波数および高周波数入力変動 (ESD、バースト、雷ノサージ、伝導イミュニティおよび放射イミュニティ) を規定しています。

このような高スルーレートおよび高電圧ライン・トランジェントにより、特定のデザインの脆弱性またはマージナリティが顕在化し、電氣的オーバーストレス (EOS) や致命的障害を引き起こすことがあります。

通常はローパス LC フィルタおよび過渡電圧抑制 (TVS) アレイで構成される受動的保護回路網が最初の防衛線として使用され、ピーク電圧の急上昇を制限します。しかし、保護回路網の下流には、最大100Vの電圧がかかっても動作可能な回路を配置します。

ピーク過渡電圧に損傷なく耐え、このようなトランジェントが発生しても中断なくシームレスに機能しなければなりません。図2は、動的変動の幅が大きく変わりやすい電圧環境でも正確にレギュレーションされた出力を生成するDC/DCコンバータを使用する、大きなステップダウン変換比を想定したエミュレートド電流モード (ECM) 制御手法を採用した高効率ソリューションの例を示しています。

16 : 1の広い V_{IN} 範囲で動作し、反復的な100Vサージに耐えるこのコンバータは、中断のないレギュレーションを維持します。出力電圧は、入力側でのノイズの多い大きな電圧変動の影響を受けません。この広い V_{IN} 範囲機能により、トランジェント保護用の補助的な受動部品のコストが削減されます。また、部品のデレーティングを最小限に抑えるための設計が不要になります。

マルチ出力

デュアル出力同期整流方式降圧型コンバータ

自動車に搭載される電子サブシステムの急増は、車載機器が置かれる厳しい環境条件でも正常に機能する、小さなサイズ、低コストで信頼性の高い電源への需要を生み出しています。

図3は、エンジン制御ユニット (ECU) およびその他の重要な機能に使用できる、デュアルチャネル同期整流方式降圧型車載電源 [4] を示しています。これらの重要な機能には、ブレーキ、燃料供給装置、駆動系サブシステムなどが挙げられます。これらの電源は、激しいバッテリー電圧トランジェントの発生時にも、グリッチなしでプロセッサに電力を供給し続ける必要があります。

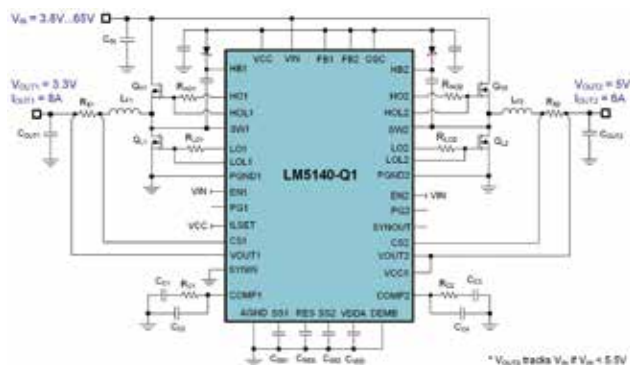


図3. 車載アプリケーション用のワイド V_{IN} 、低IQデュアルチャネル同期整流方式降圧型コントローラ

2.2MHzまたは440kHzの固定スイッチング周波数(それぞれAMラジオ周波数帯より上または下)か、必要に応じて外部クロックに同期するオプションが選択できます。このデュアルチャンネル・コントローラは、ソリューションのフットプリントを最小限に抑えることにより、コストとサイズを限界まで引き下げます。2つのチャンネルは180°位相をずらしてインターリーブされ、2つの独立した単相コンバータに比べて入力リップル電流を低減します。

デュアルゲート・ドライブ出力により、スイッチ(SW)電圧および電流スルーレートを調整できるので、高周波数ノイズの削減とEMIフィルタのサイズ縮小が可能です。

同時に、ウェットプル・フランク終端のICパッケージによりプリント回路基板(PCB)のはんだ接合部の状態を目視で検査できるので、量産コストを削減し、信頼性を向上させることができます。

Fly-Buckコンバータ

20W以下の絶縁型パワー・ソリューションとして最近注目を集めているのが、Fly-Buckコンバータ [5] です。

同期整流方式降圧型レギュレータの拡張版であるFly-Buck回路により、ループ補償および帰還オプトカプラ部品が不要になり、ソリューションのコストを削減できます。補償されたエラー・アンプは不要であり、適応型コンスタント・オン時間(COT)制御方式により、ほぼ即時にトランジェントに応答できる優れた過渡応答特性を発揮します。最大限の柔軟性が得られるように、絶縁型出力と非絶縁型出力の両方を利用できます。Fly-Buckコンバータは、低電流補助電源およびバイアス電源、パワーMOSFETおよびIGBTを駆動するフローティング・ゲート電源、高精度アンプおよびデータ・コンバータ用のバイポーラ電源に使用できます。

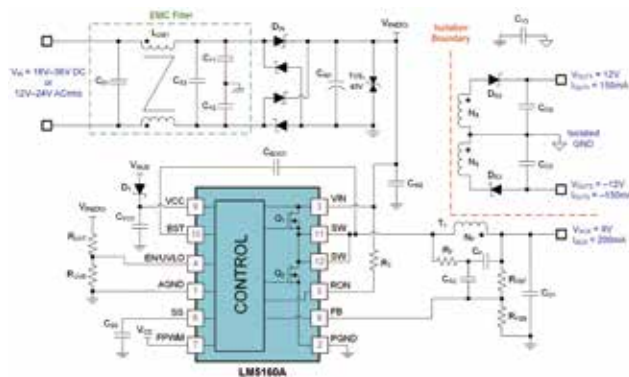


図4. ±15Vの絶縁型レールを供給するACまたはDC電源Fly-Buckソリューション

図4に、コストの制約が厳しい産業用アプリケーション向けFly-Buckパワー・ソリューションを示します。

このソリューションは、センタータップ型2次側巻線から±15Vの絶縁型レールを提供します。帰還レギュレーションは、1次側から標準の抵抗分圧器を使用します。出力電圧は、変圧器T1の巻数比NP/NSに基づいてスケールリングされます。

レギュレーションされた1次側10V補助レールは、V_{CC}にバイアス電力を送り、高V_{IN}での静止電力損失を軽減します。Fly-Buckコンバータにより高いコスト効率でカスタマイズして出力を増やすには、変圧器の2次側巻線(適切な巻数比)、整流ダイオード、出力コンデンサを追加することで行えます。

低ノイズおよび低EMI

電磁感受性(EMS)、電磁両立性(EMC)、およびすべての環境影響(E3)は、あらゆるエレクトロニクス製品の開発時の重要な考慮事項であり、システム統合にも重要な条件です。さらに、EMI規制に対するシステムレベルでの準拠は、パワー・ソリューションのベンチマークとしてますます重要になり、製品設計サイクルの主要なマイルストーンになっています。

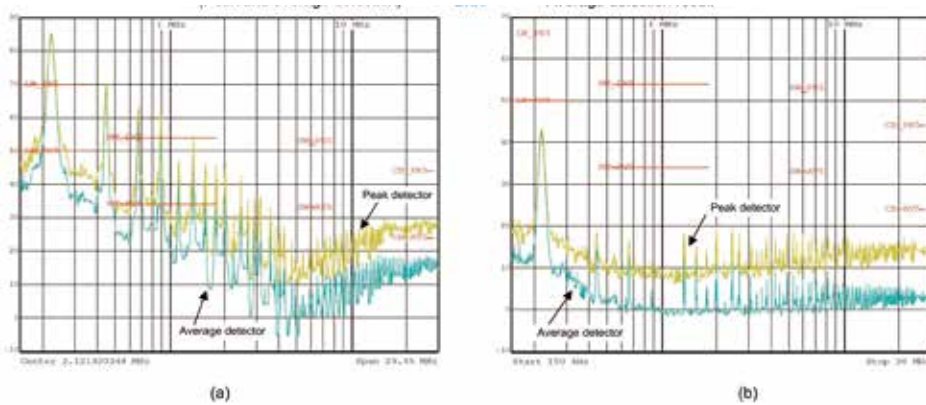


図5. 同期整流方式降圧型コンバータのCISPR 25クラス5 EMI性能 (150kHz ~ 30MHz: $V_{IN} = 24V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 100mA$:エミッション・フィルタなし (a)、フィルタあり (b))

赤 クラス5の規制値(ピーク値検出および平均値検出)
 黄 ピーク値検出の結果
 青 平均値検出の結果

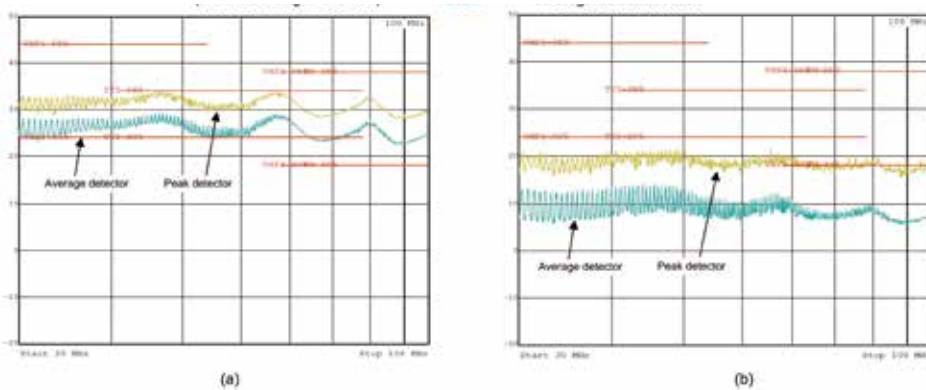


図6. 同期整流方式降圧型コンバータのCISPR 25クラス5 EMI性能 (30MHz ~ 108MHz: $V_{IN} = 24V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 100mA$:エミッション・フィルタなし (a)、フィルタあり (b))

このような厳格な規制基準のために、推奨のEMIフィルタリング部品とPCBレイアウト手法を使用した、規制に準拠しながらも「常識にとらわれない」ソリューションへの需要が急増しています。通常、高密度設計ではEMIフィルタリングに利用できるスペースはほとんどありません。幸いなことに、緊密なレイアウトにより、放射性エミッションが改善され、入力外乱に対する耐性も向上します。そのためには、高di/dt電流が流れるループの面積を最小限に抑え、高dv/dt電圧が発生する表面積(スイッチ・ノードの銅ポリゴン配線の面積など)を削減する手順が必要不可欠です。[6-8]

多くのパワー・コンバータICは、EMIシグネチャを最小限に抑えるように設計されています。たとえば、TIの電流モード降圧型コントローラである**LM5088-Q1**は、特に基本周波数および低次高調波でのピーク・エミッション・レベルを削減する、オプションで拡散スペクトラム機能を備えています。図3に示される**LM5140-Q1**コントローラは、調整可能なスルー・レート可変制御付きのハイサイドおよびローサイド・ゲート・ドライバを備えており、高周波数での伝導性および

放射性エミッションを軽減します。**LM5165**同期整流方式降圧型コンバータ [9] は、統合されたアクティブ・スルーレート制御を使用してスイッチ・ノードの電圧遷移に対処し、特にトラブルの多い30MHz以上の周波数帯に対してEMIフィルタリング要件を軽減した例です。図5および図6に示される**LM5165**同期整流方式降圧型コンバータの伝導性エミッションのグラフ(入力フィルタとして22 μ Hおよび10 μ FのLCを使用)は、CISPR 25クラス5の車載機器のEMI規格を満たしています。

結論

システム設計者の主要な関心がソリューションのトータル・コストと市場投入までの期間にある場合は、広い入力電圧範囲、マルチ出力(ガルバニック絶縁ありまたはなし)、検証済みのEMI性能を備えた同期整流方式降圧型コンバータが必要不可欠です。

主な用途	機能		
	広い V_{IN} 範囲	マルチ出力	低EMI/EMC
堅牢な産業用機器	24Vバックプレーンに電圧スパイクおよび過渡電圧が重なった状態で60V以上	マルチ出力Fly-Buck回路により、絶縁型バイアス電源およびIGBTフローティング・ゲート・ドライブ電源を提供	入力トランジエント保護回路を小型化でき、スペースの制約が厳しい設計に最適
先進の車載エレクトロニクス	バッテリー・ロード・ダンブ過電圧に耐える42V/60V	デュアルチャネルにより、高密度の5Vおよび3.3Vレールを提供	2.2MHz固定スイッチング周波数により、AM周波数帯を回避
	3V VINでバッテリーのコールド・クランクおよびスタート/ストップ・イベントを管理	調整可能な広い出力電圧範囲により、USB Type-C™電源に対応	スペクトラム拡散により、ピーク・エミッションを削減
高感度通信システム	48Vサーバー・バックプレーンと小型の受動部品保護回路網で75V以上	Fly-Buck回路により、オペアンプ、ADC、RF回路に±12V/ ±15Vバイポーラ電源レールを提供	アクティブ・スルーレート制御によってスイッチ・ノード電圧を制御し、放射性エミッションを削減

表1. 広い V_{IN} 範囲、マルチ出力、低EMIのソリューションがもたらすシステムレベルメリットへの魅力的な価値提案

反対に、コンバータの設計が必要な性能と信頼性を満たしていない場合、システムの不具合が発生するおそれがあります。このことを背景に、多くの設計者は、価値、性能、信頼性を兼ね備えた使いやすいICソリューションを選んでいきます。

このホワイト・ペーパーの説明と表1のまとめに示したように、包括的な機能セットと革新的な製品の利点は、価値と信頼性を最大限に向上させてさまざまなパワー・ソリューション・アプリケーションの要件を満たす最終製品を実現する上で、非常に大きな役割を果たします。

関連情報

- Hegarty, Timothy. "[The buck regulator efficiency/size tradeoff dilemma](#)," Power House TI blog, December 2, 2013.
- Choudhary, Vijay. "[Wide \$V_{IN}\$ power management ICs simplify design, reduce BOM cost, and enhance reliability](#)," TI white paper, September 2013.
- Hegarty, Timothy. "[Wide \$V_{IN}\$ synchronous buck converter powers smart sensors](#)," Power Electronics, July 29, 2016.
- [Wide \$V_{IN}\$ automotive applications](#), Texas Instruments website.
- Hegarty, Timothy. "[Fly-Buck converter provides EMC and isolation in PLC applications](#)" Texas Instruments Analog Applications Journal (TI AAJ) 1Q 2015.
- Hegarty, Timothy. "[High density PCB layout of DC/DC converters](#)," Power House TI blog, September 16, 2015.
- "[Vertically stacked MOSFETs and other tricks for building a high-density 30-A point-of-load regulator](#)," How2Power, March 2016.
- Hegarty, Timothy. "[Reduce buck converter EMI and voltage stress by minimizing inductive parasitics](#)," TI AAJ, 3Q 2016.
- Hegarty, Timothy. "[Low-IQ synchronous buck converter enables intelligent field sensor applications](#)," TI AAJ, 2Q 2016.
- Download these data sheets: [LM5088-Q1](#), [LM5140-Q1](#), [LM5161](#), [LM5165](#).

ご注意：本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいませよう願ひ致します。TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。

*すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。



TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに同意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、同意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに同意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。