

移動中も USB Power Deliveryを 実現する昇降圧型コンバータ



Vijay Choudhary

Systems and Applications Engineer
Power Product Solutions
Texas Instruments

Javed Ahmad

Systems and Applications Manager
Linear Power
Texas Instruments

4スイッチ昇降圧型コンバータは、 車内やポータブル・バッテリーでのUSB Power Deliveryの問題に適した コンパクトで高効率な電源ソリューションを提供します。

当初、データ用に考案されたユニバーサル・シリアル・バス(USB)ですが、携帯電話や通常7.5W未満の小電力ポータブル機器を充電する電源として最も一般的に用いられています。USB Power Delivery (USB PD) は、この範囲をタブレットやノートPCなどの大電力デバイスにまで拡大します。移動中のユーザには非常に便利ですが、幅広い出力電圧(5 ~ 20V)と大電力要件(最大100Wまで)は、低電圧ソースから駆動する電源にとっては特別な課題となります。車載バッテリーの電圧レール(12V)やポータブル・バッテリー(パワー・バンク)から電源を取るUSBポートは、入力電圧ソースより高いまたは低い電圧を生成する必要があります。さらに、DC/DC電圧変換段では、PDコントローラからのコマンドを受け取り、負荷要件に応じて出力電圧と電力を動的に変えられる必要があります。このホワイトペーパーでは、昇降圧型コンバータを用いたUSB PD対応電源を構築するための新しい手法を紹介します。本手法は、100W USB PD対応ポートの出力電圧、電力、スルーレートを満たしており、同時に小型のソリューション・サイズと高い効率を達成しています。

背景

USBはもともとデータ・インターフェイスとして開発され、電力容量には制限がありました。利用モデルは次第に拡張され、データ・インターフェイスの有無に関係なく、モバイル機器の主要な電力ソースになりました。USBは電源として真に万能であり、家庭、車内、オフィス、ホテル、空港など、あらゆる環境で同じように使用できます。商用電源の電圧やコンセント形状は国によって異なりますが、USBは世界中どこでも同じです。スマートフォン、タブレット、電子ブック・リーダー、カメラ、その他のポータブル電子機器といったさまざまな形でモバイル機器の台数が増える中、ますます充電をUSBに頼る人が増えています。

驚くほどのことではありませんが、ポータブル・バッテリーの大半が、USBを充電方法として採用しています。

USBポートはあらゆる場所に存在するにもかかわらず、既存のUSB標準[1, 2, 3]には、電圧と電力という観点から制限があります。通常、USBバッテリー・チャージャ1.2(USB BC 1.2)では、USB電圧が5V、電力レベルが7.5Wに制限されています[3]。スマートフォン、電子ブック・リーダー、タブレット、ネットブック、ハードディスク・ドライブ、ポータブル・プリンタなど、現在市場で入手可能なさまざまなポータブル・デバイスを見ると、従来のUSBの電圧/電力レベルには明らかに大きな改善の余地があります。表1に、USB PDに至るまでのUSBの電力容量の進化をまとめています。

USB Spec	Voltage (V)	Max Current (A)	Max Power (W)
USB 1.0	5	0.1	0.5
USB 2.0	5	0.5	2.5
USB 3.1	5	0.9	4.5
USB BC 1.2	5	1.5	7.5
USB Type-C™	5	1.5, 3	15
USB PD	5-20	3-5	15-100

表 1. USB 仕様で許される電圧、電流、電力 [1, 2, 3, 4, 5]。

USB Power Delivery

従来のUSBの電力制限に加え、大型デバイスを高速充電する必要性が高まった結果、USB 3.1およびUSB Type-C™の仕様と並行してUSB PDの仕様が策定されました。この仕様の目的は、広く受け入れられているUSBをベースに、タブレット、ノートPC、ラップトップ、バッテリー/バスパワー駆動の多数のモバイル・デバイスなど、高電圧/大電力デバイスとネゴシエーションするよう拡張することです。Type-C仕様だけでも5Vの電力定格を15Wまで増やしていますが、USB PD仕様では、15W (5V)、27W (9V)、45W (15V)、100W (20V) と、異なる電圧レベルで電力定格をさらに拡大しています。Type-C仕様では、従来のアダプタ・ケーブルを使い、Type-A、Type-Cのすべてのポートおよびプラグとの後方互換性を認めています。しかし、旧式コネクタを用いる製品は、依然としてUSB 2.0とUSB 3.1の電力容量に制限されます。

USB PD仕様には、5V機器に対応するため後方互換性に関する厳密なガイドラインが組み込まれています。すべてのUSB PDソースは、最初の電源投入時にVBUSに5Vを給電することが要求されます。これより高いソース電圧は、接続機器がVBUSに5Vより高い電圧を要求するPD対応のシンクであることが確認された場合しか印加されません。

USB PD仕様の概要

USB PD[5]では、ポートは電圧、電流、電力レベルに加え、電力の供給される方向をネゴシエーションします。USB PDプロトコルでは、Type-C[4]ケーブルのチャンネル・コンフィギュレーション (CC) ワイヤを通信チャンネルとして利用し、パワー・コントラクトを設定します。USB PDは、他の標準または独自の電力供給プロトコル (Quick Charge™ や USB BC 1.2 などの) とは無関係です。

USB PDプロトコルでは、ソースとシンクの役割を交換可能ですが、本ホワイトペーパーでは、USB BC1.2[3]の充電専用ポートと同様なソース専用ポートに注目します。これは、USB Type-CとUSB PDの用語では、プルアップ抵抗または電流 (R_p または I_p) によってアサートされるポートを意味します。これは、シンクが消費する電力をVBUSに供給するポートです。

ソース側から見たUSB PDパワー・コントラクトの完全なシーケンスは、以下のとおりです。

- ソースは、プルダウン抵抗 (R_d) がCCワイヤに接続されたシンクを検出します。
- ソースは、VBUSをGNDから5Vに切り替えます。
- ソースは、ケーブルと通信を試み、ケーブルの能力を検出します。ケーブルからの応答は必須ではなく、応答しないケーブルは、電流を3Aまで流せると仮定されます。

- ソースは、自らのソース能力をアダプタイズします。アダプタイズに応答があれば、シンクがPD対応であることを意味します。無視されれば、シンクはType-Cにしか対応せず、VBUSは5Vのままになります。
- ソースは、アダプタイズされた能力の1つに対するシンクからの要求を受け入れます。
- ソースは、ソース電源が合意した電圧レベルで電力を供給する準備ができれば、パワー・サプライ・レディ (PS_RDY) メッセージを送信します。

ソースは自らの能力の変化をシンクに随時通知することが可能で、最初のPDコントラクトの確立後にパワー・ロール・スワップやAlternate Modeなどの他のPDメッセージが発生する場合があります。ソースは、Type-C接続の切断に備えて、CCワイヤの監視を継続します。ソースは、シンクが切断されるか、または通信のエラー発生を示すハードリセット信号を受信した場合、再びVBUSをGNDに切り替えます。

USB PD 電源

USB PD ソースは、AC/DC 電源アダプタやDC 電圧ソースの形で提供されます。PD 対応ソースの一般的な例は、車内のUSBポートや、シガーライター・ポートで動作するUSBカー・チャージャなどです。これらはいずれも外部電源として12Vの車載バッテリー・レールを用います (図1a)。内部蓄電を備えたソースの実装例が、ポータブル・バッテリー (パワー・バンク) です。

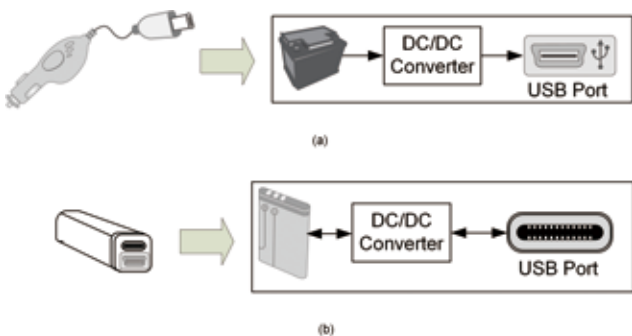


図1: USB 充電デバイスには、車内の USB ポート、ポータブル USB カー・チャージャ (a)、ポータブル充電式バッテリー/パワー・バンク (b) などがある。

充電器内の昇降圧型コンバータ

USB PD の幅広い範囲の出力電圧 (VBUS) は、電源段設計で独特な問題を生じさせます。標準電圧110Vと220VのAC電源コンセントで動作し、5Vから20Vを出力する充電器では、降圧変換しか関係しません。ところが、車載12Vバッテリー (図1) やポータブル・バッテリー (図2) で動作する USB PD 対応充電器では、バッテリーの状態やネゴシエーションされた電力レベルに応じて、入力電圧よりも高い、または低い出力電圧 (VBUS) を生成する必要があります。

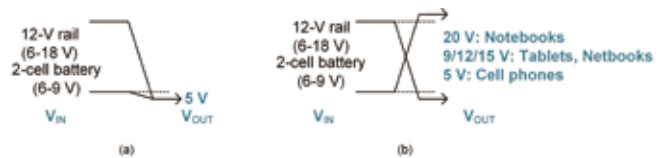


図2: 非 PD 実装には降圧変換だけが必要 (a) である一方、カー・チャージャやポータブル・バッテリーでの PD 実装には昇圧/降圧変換が必要 (b)。

カー・チャージャやポータブル・バッテリーで USB PD によって規定される高電圧に対応するには、USB PD ポートの電源設計を単純な降圧型 (図2a) から昇降圧型 (図2b) のトポロジに変更する必要があります。従来より、昇降圧型の設計には、巻線やトランスを複数含むカスケードされた多段もしくは複雑なトポロジを必要とします。効率のよいシングル・ステージの昇降圧型ソリューションで、フォーム・ファクタが小さく、幅広い範囲の入出力電圧に対応するものが望まれます [6]。

USB PD 電源の製作

TIのLM5175などのシングル・ステージ、4スイッチ昇降圧コントローラは、変動の大きな入力電圧ソースを変換するシンプルで高効率かつコンパクトな電力段のソリューションを提供します。例としては、車載バッテリー・レールから、USB PDに必要な十分に安定化された選択可能または動的制御可能な出力レールへの変換などがあります。

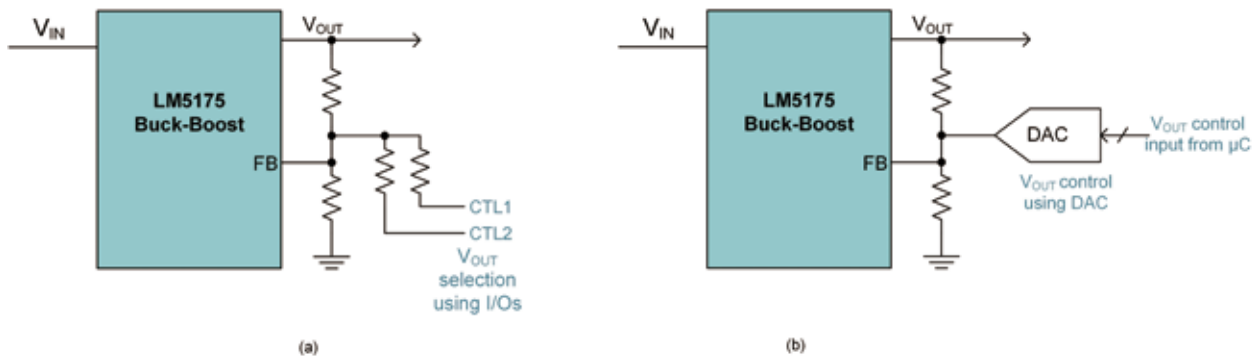


図3：4スイッチ昇降圧型コンバータやポータブル・バッテリーの出力電圧を変化させる抵抗 (a) および DAC (b) ベースの回路図。

図3に、4スイッチ昇降圧型コンバータを使用した、プログラマブルな出力電圧を生成する異なる回路図を2つ示します。最初の回路図 (図3a) は、アクティブ・ロー信号を使って、昇降圧型コンバータのフィードバック分圧抵抗回路のローサイドにある外部抵抗を切り替えます。この簡単な方法は、少数の固定出力電圧を生成するのに適しています [7, 8]。

(あるスマートフォン・ベンダーにより実装された、独自の高速充電方式のように) 出力電圧を動的に調整する必要がある、あるいは数多くのUSBバス電圧が必要になる実装では、電圧プログラミング・レベルをファームウェアで変更できるデジタル/アナログ・コンバータ (DAC) ベースの方式 (図3b) が適しています。

LM5175昇降圧型DC/DCコンバータを使用すると、TIのTPS25740/AやTPS25741など、さまざまなUSB PDコントローラと組み合わせて、フィードバック・ノードを用いたUSB PDフル互換の電源ソースを容易に作成できます。図4には、車載バッテリー入力範囲に対応し、PDの標準電圧を供給するUSB PDソリューションの概略図を示します。Type-C PDの

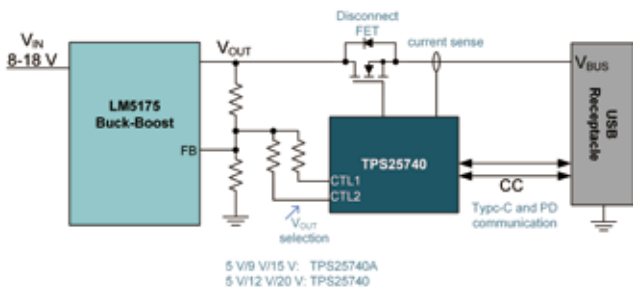


図4：4スイッチ昇降圧型コンバータとUSB PDコントローラを使用したUSB PD電源供給/充電器の実装 [8]。

ダウンストリーム・ポート・コントローラ [7]は、Type-Cポートの検出とPDコントラクトのネゴシエーションを行い、ポート接続時にDC/DC電力段がVBUSにデフォルトの5Vを供給できるようにします。PDコントローラは、PD対応シンクから要求された場合、例えば、CTL1/2ピンをローにプルダウンすることで、DC/DC電源にその出力電圧を要求電圧に変更するよう指示します。

USBデータの交換を伴う、より複雑なUSB PDの実装を図5に示します。この構成では、USB PDに昇降圧型電力段、USBデータ対応にType-Cコントローラ [9]を使用します。

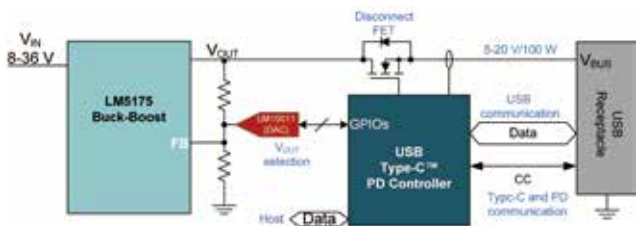


図5：4スイッチ昇降圧型コンバータとType-C PDコントローラを用いたUSB電源供給とUSBデータの実装。

LM10011などのDACを使用してPDコントローラを昇降圧型DC/DC段とインターフェイスすれば、USBバス電圧をプログラミングするフレキシビリティが向上します。

結論

USB PDは、USBの電圧を20V、電力を100Wまで拡大します。これは、USB BC 1.2で規定されている現状の5V/7.5Wからは飛躍的な進歩で、タブレットやフル機能ノートPCをはじめ、さまざまなデバイスに対してUSBベースでの充電を可能にします。しかし、車内のUSBポート、アフターマーケットのカー・チャージャ、ポータブル・バッテリーなど、バッテリー駆動のUSBソースでは、要求される出力電圧に応じて電力段で降圧/昇圧できなければならないため、DC/DC変換に新たな課題が生まれます。

テキサス・インスツルメンツのLM5175などの4スイッチ昇降圧コントローラは、車載およびポータブル・バッテリー・パック駆動のUSB充電器で必要となる幅広い範囲の入出力電圧に対応可能です。このホワイトペーパーでは、同期整流4スイッチ昇降圧型DC/DCコントローラを、TIのTPS25740やTPS25740A (DFP電源のみ対応) などの各種PDコントローラ、TPS25741などのUSB PDコントローラ (電源およびデータに対応) を一緒に使用して、すぐに使える高効率でコンパクトなUSB PD準拠のソリューションを作成する方法を説明しました。

参考文献

1. USB 2.0 – Universal Serial Bus Specification, Revision 2.0, plus ECN and Errata.
2. USB 3.1 – Universal Serial Bus 3.1 Specification, Revision 1 plus ECN and Errata.
3. USB BC 1.2 – Universal Serial Bus Battery Charging Specification, Revision 1.2 plus.
4. USB Type-C 1.2 – Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification, Revision 1.2, March 25, 2016.
5. USB PD 2.0 – Universal Serial Bus Power Delivery Specification, Revision 2, Version 1.2, March 25, 2016.
6. Under the hood of non-inverting buck-boost converter, TI Power Supply Design Seminar, September 2016.
7. TPS25740, TPS25740A USB Type-C and USB PD Source Controller, TI data sheet (SLVSDG8A) May 2016.
8. TPS25740 Evaluation Module with LM5175.
9. TPS65982 USB Type-C and USB PD Controller Power Switch and High Speed Multiplexer, TI data sheet.



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合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、合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、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合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的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。