

昇降圧バッテリー・チャージャと USB Type-C® パワー・デリバリの組み合わせで最大の電力密度を実現



Yipeng Su
Systems Engineer
Battery Management Systems
Texas Instrument

昇降圧チャージャは、ポータブル・エレクトロニクスの充電を高速かつ低発熱で実行します。USB Type-C™ パワー・デリバリ (PD) と組み合わせると、ユニバーサル充電が実現可能になります。

概要



1

ユニバーサル充電を使用する理由

USB Type-C は、USB OTG (On-the-Go) の充電を簡単に実行できるユニバーサル・アダプタを実現するための現実的な方法を提示しています。



2

複数の内蔵部品で電力密度を最大化

さまざまな部品を内蔵したチャージャは、ソリューション・サイズ全体の効率化や、部品表 (BOM) の低減と同時に、大電力の供給に貢献します。



3

昇降圧充電の実装

すべての昇降圧チャージャが同じ仕様というわけではありません。設計エンジニアの皆様は、ポータブル・エレクトロニクス設計に合わせて、注意深い選択を行う必要があります。

昇降圧チャージャは近年、人気が高まっています。事実上あらゆる入力電力供給源からバッテリーを充電でき、入力電圧がバッテリー電圧より高い場合も低い場合も対応できるからです。

昇降圧充電は、USB Type-C™ パワー・デリバリ (USB PD) 充電と互換性のある各種パーソナル・エレクトロニクス・デバイスで広く採用されてきました。完全統合型の昇降圧チャージャは、複数のスイッチング MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)、電流センシング回路、Narrow VDC (NVDC) パワー・パス・マネージメント機能を搭載しており、高い電力密度で高速充電を実現できるからです。また、昇降圧チャージャは、ロード・スイッチや DC/DC コンバータのような追加部品も USB PD 充電システムの一部として統合しています。この統合は、システム設計の効率化、部品表 (BOM) コストの削減、ソリューション・サイズ全体の小型化に貢献します。

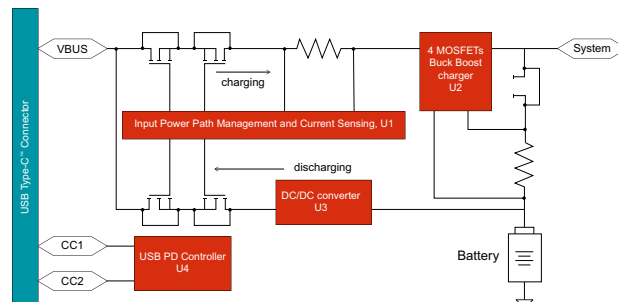


図 1. USB PD 充電ソリューションのブロック図

ユニバーサル充電を使用する理由

USB Type-C の幅広い普及がもたらす重要な利点の 1 つは、ユニバーサル電源アダプタを具体化し、またそれに関連して電気電子機器廃棄物を削減するうえで、現実的な手段が得られることです。USB Type-C コネクタは統一規格ですが、アダプタの電力定格と電圧は現在もなお多様であり、従来の 5V USB アダプタや、5V~20V の電圧範囲で電力を供給できる USB PD アダプタなどが存在しています。加えて、多様なポータブル・デバイスは、内蔵しているセル・バッテリーの数がさまざまに異なっている可能性もあります。入力電圧とバッテリー電圧にこのような多様性が存在する現状で、バッテリー・チャージャ IC は昇降圧トポロジーへの対応が必須です。

図 1 に、USBPD 充電ソリューションのシステム・ブロック図を示します。USB PD コントローラは、CC1/CC2 ピンを使用してアダプタを特定します。アダプタと USB PD コントローラの間でハンドシェイクを実施した後、充電パワー・パスを管理するユニットは背面結合 MOSFET をオンにし、VBUS から昇降圧チャージャの入力へとアダプタの電圧を供給します。また、このユニット (U1) は過電圧と過電流の保護機能も実装する必要があるため、センシング抵抗を使用して入力電圧と入力電流をセンスします。昇降圧チャージャはさまざまな電圧で充電を実施するために、入力電圧を昇圧または降圧する合計 4 個のスイッチング MOSFET を必要とします。加えて、Narrow VDC (NVDC、狭い入力電源電圧範囲) パワー・パス・マネージメント機能と充電電流センシング機能を実現するために、も

う 1 個の MOSFET ともう 1 個の電流センシング抵抗がチャージャの出力側で必要になります。

OTG 対応充電

USB On-the-Go (OTG) 仕様をサポートするために、1 個の DC/DC コンバータはバッテリーの放電を実施し、VBUS と同じ値でレギュレーション済みの電圧を生成して、アダプタが利用できないときに外部デバイスに電力を供給します。USB Type-C ポートが高速なロール・スワップ (FRS) 機能に対応する必要がある場合、アダプタが USB Type-C ポートに接続されている状況も含め、この DC/DC コンバータを有効にして常にスタンバイ状態に維持する必要があります。アダプタを取り外した場合、放電パワー・パス内にある背面結合 MOSFET がオンになり、U3 の出力電圧を VBUS に渡して、VBUS 電圧を維持します。DC/DC コンバータを常時オンに維持すると、システム全体で余分の静止電流を実際に消費する結果になります。

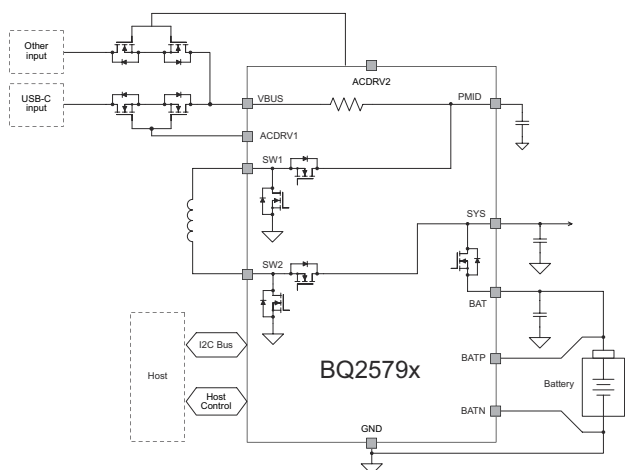


図 2. 完全統合型昇降圧チャージャの例

複数の内蔵部品で電力密度を最大化

ここまでで説明したように、USB PD 充電ソリューションには、制御ユニット、MOSFET、センシング抵抗などの複数の外部デバイスが関係します。これらはソリューション・サイズや BOM (部品表) コストに関して最適化されていません。

図 2 に示す完全統合型の昇降圧チャージャは、USB PD 充電ソリューションのシステム・レベルの設計を簡略化することができます。第一に、入力電流センシング機能は充電機能の一部として内蔵済みです。ここでセンスした入力電流を使用して、チャージャは入力電流のレギュレーションと入力過電流に

対する保護を実施し、アダプタの過負荷を防止します。入力の過電圧と過電流の保護回路の一部として、外部の背面結合 MOSFET に対する制御ロジックとドライブ回路も内蔵しています。これらの機能を内蔵した結果、入力パワー・パス・マネージメント機能と入力電流センシング機能をサポートするユニットを、ブロック図から省略できます。

ポータブル・デバイスでは、複数の電力供給源への対応が一般的なトレンドになっています。たとえば、入力電力供給源として、USB アダプタ、従来型のバレル・プラグ・アダプタ (AC アダプタ)、充電ケース (充電機能付きケース)、太陽電池などが使用できることがあります。背面結合 MOSFET に対する 2 個のドライバを使用して、チャージャは 2 種類の入力電力供給源からの入力電圧のうち、どちらかを選択できます。

また、チャージャは 4 個のスイッチング MOSFET と、これらに関連する制御ロジックやドライバも内蔵しています。NVDC パワー・パスを管理するバッテリー FET は、チャージャ内部に内蔵されています。このバッテリー FET 経由で流れる充電電流をセンスすることで、外部センス抵抗をチャージャの出力側から省略できます。

4 個の FET で構成された昇降圧コンバータの双方向動作を実装すると、チャージャ自体が OTG モードをサポートできます。アダプタが存在している場合、チャージャは順方向充電モードで動作し、電力は VBUS からバッテリーに流れます。

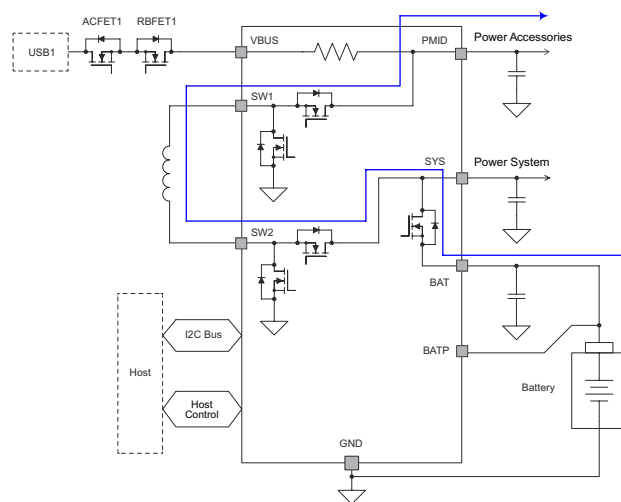


図 3. 単一の昇降圧チャージャで実現した USB Type-C™ FRS

アダプタを取り外すと、電力の流れは反転し、バッテリーから VBUS に流れます。OTG モードの出力電圧は VBUS と同じ値であり、10mV 単位でプログラマブルな 2.8V~22V という

USB PD の全電圧範囲を網羅します。これは、USB PD 3.0 の仕様と互換性がある範囲です。

USB Type-C ポートで FRS をサポートするために、この統合型昇降圧チャージャは斬新なバックアップ・モードを実装しています。この文脈で「バックアップ・モード」とは、バス電圧のクラッシュを招かずに、昇降圧チャージャを順方向充電モードから逆方向の OTG モードに非常に高速に切り替えることを意味します。

図 3 のアプリケーション回路図を参照すると、USB ポートに接続したアダプタがシステムに電力を供給し、昇降圧電力経路でバッテリーを充電しています。同時に、このアダプタはチャージャの PMID 出力からアクセサリに電力を供給することもできます。アダプタを取り外した時点で、バッテリーの内部 FET が引き続き電力を供給することも可能ですが、その場合は PMID に接続してあるアクセサリが電力を受け取れなくなる可能性があります。

バックアップ・モードが有効な場合、このチャージャは VBUS の電圧を監視できます。VBUS の電圧が、プリセット済みのスレッシュホールドを下回った場合、アダプタが取り外されたことを意味します。このような取り外しを検出した場合、チャージャは最小の遅延時間で順方向充電モードから OTG モードに切り替わり、バッテリーの放電と VBUS 電圧へのレギュレーションを実行し、単独で FRS を実現します。アダプタが取り外された時点で、システムとアクセサリに電力を供給する入力源をアダプタからバッテリーにシームレスに切り替えることができます。この結果、ブロック図に記載してある、OTG モードと FRS のための DC/DC コンバータが不要になります。

図 4 に、FRS に対応するチャージャ・バックアップ・モードのテスト済み波形を示します。入力電源として 9V アダプタを USB1 に接続しています。ACFET1 と

RBFET1 をオンにすることで、VBUS をアダプタと接続しています。PMID 端子に 1A のアクセサリ電流が流れ、BAT に 1A の充電電流が流れるとしましょう。9V のアダプタ電圧 (VAC) を取り外した時点で、PMID と VBUS で 5V のレギュレーションを継続し、1A の PMID 負荷に引き続き電力を供給することが可能です。

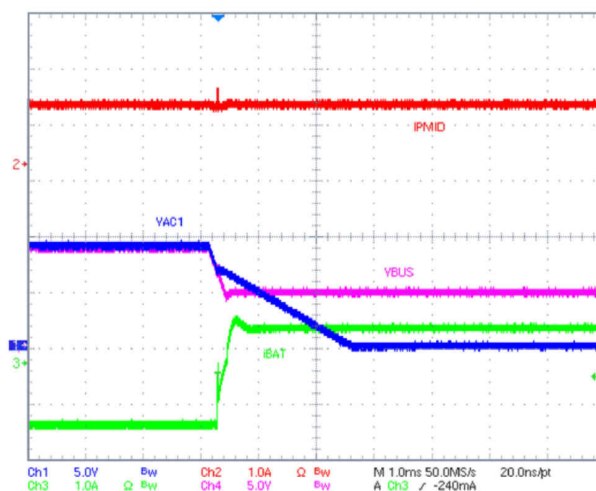


図 4. VBUS シンク (VBUS は電力を引き込み) から VBUS ソース (VBUS から電力を供給) に切り替えたときの、昇降圧チャージャの FRS (高速な役割の切り替え)

昇降圧充電の実装

ここまでで説明したすべての機能は、USB PD 充電ソリューションのシステム・レベルの設計を簡略化するのに役立つもので、TI の BQ25790 と BQ25798 の昇降圧チャージャに実装済みです。これらのデバイスは、3.6V~24V の入力電圧を使用して 1 セルの直列接続 (1S) から 4S までのバッテリーに対する充電をサポートしています。この値は、USB PD の入力電圧範囲全体を網羅しています。

BQ25790 と **BQ25798** は、以下の機能を搭載しています。

- デュアル入力電源マルチプレクサ: 入力電力供給源のパワー・パス・マネージメントと選択に対応。
- USB バッテリー充電仕様 1.2 と高電圧専用充電ポート・アダプタの検出機能。
- 入力電流センシング、レギュレーション、保護の各回路。
- 4 個のスイッチング MOSFET: 昇降圧コンバータ向け。
- 1 個のバッテリー MOSFET: NVDC パワー・パス・マネージメントと電流センサの充電に使用。
- 1 個の 16 ビット A/D コンバータ: 監視とシステム性能最適化向け。
- USB Type-C の OTG 動作と FRS 動作。

これらの機能は、2.9mm x 3.3mm の WCSP (ウェハー・チップ・スケール・パッケージ) または 4mm x 4mm の QFN (クワッド・フラット、リードなし) パッケージで利用できます。この充電ソリューション全体は、45W の電力を供給することができ、およそ 100W/in² (150mW/mm²) の電力密度を達成しています。この値は、競合デバイスの 2 倍以上の値です。

まとめ

小型のポータブル・エレクトロニクスは、昇降圧チャージャの利点を活用できます。この種のチャージャは、より高速な充電を実現するほか、複数の部品を内蔵して電力密度を最大化し、設計全体のフットプリントを小規模にとどめ、BOM (部品表) を低減するからです。USB Type-C PD アダプタと組み合わせることで、昇降圧チャージャは高速充電 OTG (On-the-Go) を実現し、ユーザーの使い勝手の改善と利便性の向上に貢献します。

関連資料

- テキサス・インスツルメンツ: 『[BQ25790 デュアル入力セレクタおよび USB PD 3.0 OTG 出力付き、I2C 制御、1~4 セル、5A 昇降圧バッテリー・チャージャ](#)』データシート (英語)
- テキサス・インスツルメンツ: 『[BQ25790EVM \(BMS027\) 評価基板](#)』ユーザー・ガイド (英語)
- テキサス・インスツルメンツ: 『[BQ25798 デュアル入力セレクタ、ソーラー・パネル用 MPPT、高速バックアップ・モード付き、I2C 制御、1~4 セル、5A 昇降圧バッテリー・チャージャ](#)』データシート (英語)

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

USB Type-C™ is a trademark of USB Implementers Forum.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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 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](https://www.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 © 2022, Texas Instruments Incorporated