

USB-C AND USB POWER DELIVERY SOLUTIONS

– USB-CおよびUSB Power Deliveryソリューション –

Design Guide



目次

はじめに	3	車載用デュアルUSB-C電源	7
USB-Cケーブル	4	USB Type-C CCピン過電圧プロテクタ	8
コンフィギュレーションチャネル(CC)検出	4	PMIC	8
標準的なUSB-Cシステム(最大15W)	4	Always-on電源(常時オン電源)	8
USB PDシステム	4	バックアップ電源レール	9
PDコントローラ(最大100W)	5	まとめ	9
課題	5	製品選択表	10
アプリケーション	5	関連リソース	12
USB-C対応シングルセルチャージャ	5		
使いやすさ	5		
USB-C対応2セルチャージャ	6		
PD制御内蔵2セル/3セルチャージャ	6		
バックブーストチャージャ (2S、3S)	6		
PDコントローラの例	6		

はじめに

すべてのエレクトロニクス市場において、最新のUSB Type-C® およびUSB Power Delivery (USB-PD)仕様が急速に採用されつつあります。新しいUSB Type-Cのケーブルおよびコネクタ仕様は、スマートフォンや超薄型ポータブルコンピュータなどの電子ガジェットの相互接続や給電の方法を大幅に簡素化します。民生用(図1)、医療用、車載用、および産業用アプリケーションでバッテリー駆動機器が普及する中、USB-Cは、機器の充電および給電用にますます選択される汎用規格となっています。USB-C仕様は最大15Wまでの充電アプリケーションに対応する一方、USB Power Delivery (PD)は充電を最大100Wま

で拡張し、幅広い機器に対応します。これに伴い、パワーマネジメントシステムにはより多くの機能が求められています。パワーマネジメントシステムは、新しいポータブル機器が登場するたびに小型軽量化される傾向にあります。このデザインガイドでは、USB Type-Cのアーキテクチャおよび関連する技術的課題について検討します。さらに、パワーマネジメント、保護、電圧レギュレーションの分野でこれらの課題に対処するための新しいソリューションについて、いくつかの例を取り上げて検討します。



図1. 民生分野のUSB-Cケーブル

USB-Cケーブル

USB-Cは、電子製品間で高データレートと大電力の伝送を実現します。USB-Cは、10Gbpsのスループットを発揮する一方、標準的なケーブルで最大3A、5V (15W)を供給し、基本的なコンフィギュレーションチャンネル(CC)検出を提供することができます。USB PD仕様は、この機能を最大5A、20Vまで拡張します。USB PDでは、バス電力は標準的なケーブルで最大60W (3A時)まで、電子マーク(eMarker)/アクティブケーブルで最大100W (5A時)までに設定することができます。これらの電力レベルは大部分のポータブル電子機器の要件を満たします。そのため、新型の機器では、充電用にますますType-Cコネクタが採用されています。

USB-Cはエンドユーザーにとって簡素さと利便性を高める一方で、同時に設計の複雑さを増大させます。USB-C仕様で電力の伝送を実現するには、機器は電力供給側(ソース)または電力使用側(シンク)としてネゴシエーションを行う必要があります。Type-Cケーブルの両端のコネクタはまったく同等であるため、両端を逆にしても接続可能です。また、各コネクタは表裏の区別がないため、極性を気にせずに差し込むことができます。USB-Cは双方向に電力を伝送可能であるため、周辺機器を充電することができるだけでなく、周辺機器からホスト機器に給電することもできます。そのため、各社が提供している多くの電源アダプタや各種のUSBケーブルが不要になり、最終的には、今日の機器の周囲にある複雑な配線が削減されます。

コンフィギュレーションチャンネル(CC)検出

コンフィギュレーションチャンネルのロジックは、ケーブルの存在、向き、およびパワーロールと通電容量を検出します。CC検出は、検出を一切行わずに5Vを供給する従来のUSBに比べて新しい機能です。ケーブルの検出は、2本のCCラインのうち1本がプルアップまたはプルダウンされた時に発生します。シンクとして構成された機器ではCCラインはプルダウンされるのに対し、ソースとして構成された機器ではCCラインはプルアップされます。CC1ラインとCC2ラインで検出される電圧レベルに基づいて、ケーブルの向きやソースの電流能力が決定されます。USB-Cのもう1つの機能はコールドプラグです。つまり、エンドツーエンドの検出が正常に完了した後にのみ V_{BUS} 電圧が供給されます。この機能により、USB-CアプリケーションではCC検出が必須になります。

標準的なUSB-Cシステム(最大15W)

図2は、USB-Cケーブルへの接続機能を備え、リチウムイオンバッテリーによって給電される標準的なポータブルパワーマネージメントフロントエンドを示しています。このシステムには、USB-C CC検出、旧来のUSBバッテリー充電1.2 (BC1.2)検出、電力変換ブロック、保護ブロックなどのさまざまなブロックが含まれます。これらのブロックは、それぞれ個別のICとして、または複数の機能を集積したICとして実装することができます。

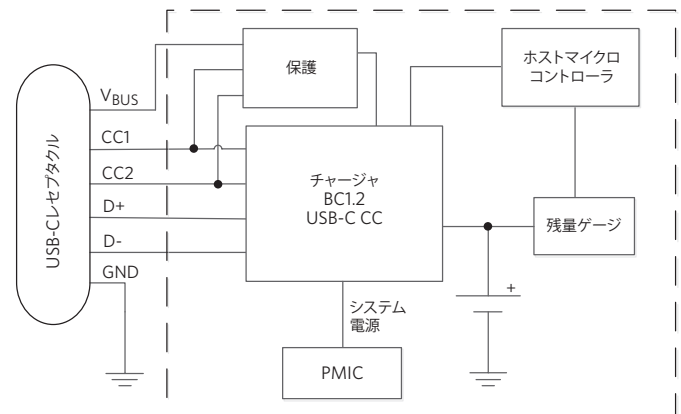


図2. USB-Cパワーマネージメントシステム

V_{BUS} が存在すれば、これによってチャージャ、システム、およびその他のブロックへの給電が行われます。この状態では、バッテリーの充電が行われます。 V_{BUS} が切断されると、バッテリーはシステムや他のブロックに給電します。

USB PDシステム

図3はUSB PDシステムを示しています。このシステムでは、PDコントローラによってUSB PDプロトコルを実装します。

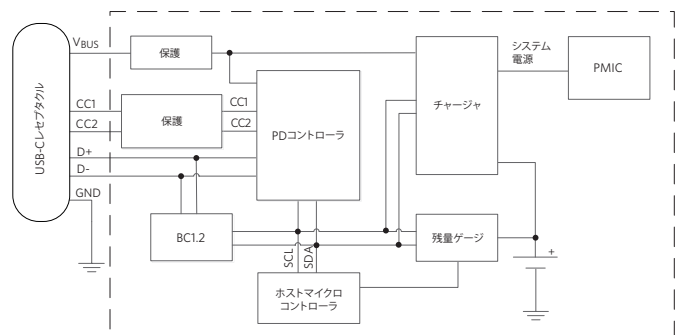


図3. USB PDパワーマネージメントシステム

PDコントローラ(最大100W)

PDコントローラはCC検出の機能を拡張します。標準的なCC検出の機能を実行することに加えて、PDコントローラは電力供給能力を通知し、ケーブルのもう一方の側に接続された機器と必要電力のネゴシエーションも行います。この必要電力は、5V～20Vの電圧と最大5Aまでの電流で構成することができます。PDコントローラでは、最初の接続プロセスに続く次のステップとして、パワーおよびデータロールのスワップを実行することもできます。

課題

さまざまなポータブル機器におけるUSB-C接続の採用は、システムのハードウェアに新たな要件をもたらします。USB-CおよびUSB PDの準拠性を達成すること、同じスペースに追加の電子部品を収めるために部品サイズの制約に対処すること、従来と同じかそれ以下のサーマルバジェットでより高い電力レベルに対応すること、電気的/機械的な安全性と信頼性を高めて障害を低減することなどが求められます。

アプリケーション

USB-Cは、スマートフォン、タブレット、ラップトップPC、POS端末、デジタルカメラ、ハンドヘルドコンピュータ、ポータブルプリンタや、他の可搬型の医療用、産業用、および車載用機器に搭載されます。必要な電力レベルに応じて標準のUSB-C、またはUSB PDがシステムに実装されます。どちらの実装でも、システムはシングルセル(1S)リチウムイオンバッテリー、または複数の直列セル(2S、3Sなど)で設計することができます。次のセクションでは、各実装がもたらす課題へのソリューションについて説明します。

USB-C対応シングルセルチャージャ

シングルセルアプリケーションでは、MAX77860によって高い集積度(図2参照)を実現することができます。MAX77860は、高性能シングル入力スイッチモードチャージャ(図4)で、シングルセルリチウムイオンバッテリー用にUSB-C CC、BC1.2、DCP、およびCDP検出機能を備えています。このICは最大15Wまでのアプリケーションに対応し、リバースブースト機能、常時オンのLDO、および6チャンネルADCを内蔵しています。このスイッチングチャージャは、高性能な定電流、定電圧(CC-CV)、チップ温度レギュレーションアルゴリズム、入力電力レギュレーション、およびプログラム可能なI²C設定を備え、幅広いバッテリーサイズとシステム負荷に対応することができる設計となっています。このデバイスは、コンパクトなWLPパッケージ(3.9mm x 4.0mm)で提供されます。

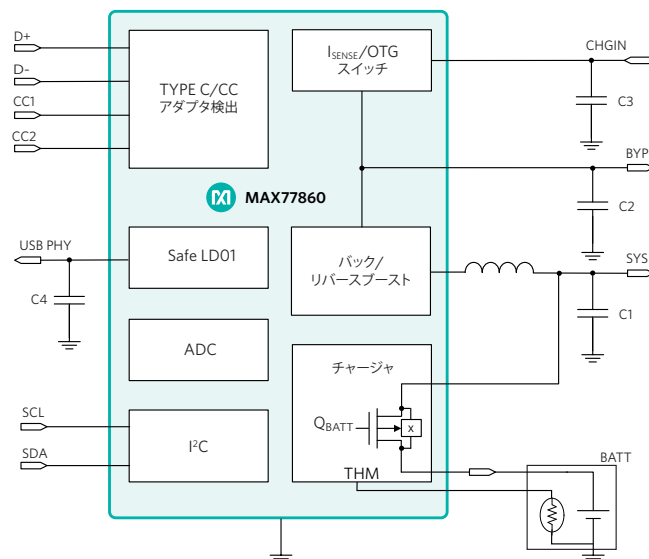


図4. 集積化チャージャPMIC

対応するPCBレイアウトを図5に示しています。この集積化ソリューションと受動部品の占有面積はわずか42mm²で、他社のソリューションと比べてPCBサイズが30%削減されます。

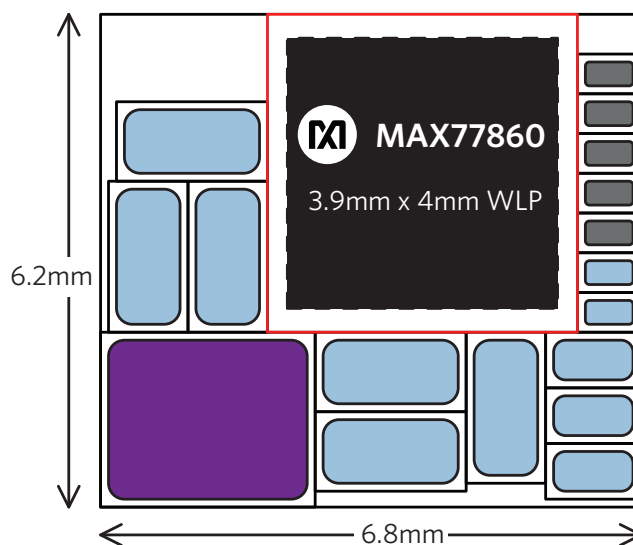


図5. 小型PCBサイズ(42mm²)の高集積ソリューション

使いやすさ

標準的なシステムでは、マイクロコントローラまたはホストマイクロプロセッサが、ポートコントローラICによって検出される電流レベルに基づいてチャージャの入力電流制限を設定します。

MAX77860は、単独でUSB-C CC検出を実行し、チャージャの入力電流制限を設定します。これによって、チャージャが電源の最大能力でバッテリーを充電することが可能になります。また、ホストソフトウェアの開発も簡素化されます。

MAX77860は、USB BC1.2検出を内蔵した旧来のアダプタにも対応しています。

類似したデバイスはMAX77751です。このICはCC検出とBC1.2検出を内蔵し、2つの抵抗のみによって設定されます。そのため、このデバイスはUSB-C充電を可能にしながらソフトウェア開発を不要にします。このデバイスは、小型の24リードFC2QFNパッケージ(3mm x 3mm)で提供されます。

USB-C対応2セルチャージャ

MAX14748は、2セル(2S)リチウムイオンバッテリーの標準的なUSB-C充電に最適なソリューションです。このデバイスはUSB-C CC検出、BC1.2検出、およびSmart Power Selector™を備えたブーストチャージャを内蔵し、2Sリチウムイオンバッテリーパックの高速で安全な充電を実現します。

PD制御内蔵2セル/3セルチャージャ

デジタルカメラ、AR/VR機器、ハンドヘルドコンピュータなどのアプリケーションでは、さまざまな機能が搭載されます。これらの機器は、2セルまたは3セル(2S、3S)のリチウムイオンバッテリーを利用し、USB PDによる急速充電を必要とします。図3を参照すると、チャージャに加えて、CCラインにPDコントローラと保護ICが必要です。

2Sまたは3Sバッテリーは大きな電圧振幅を示し、2Sでは6.5V ~ 8.4V、3Sでは8V ~ 13.2Vに達します。一方、一部のアダプタは5Vの供給能力しか持たないのに対して、他のアダプタは急速充電用に最大20Vまでの高電圧に対応する場合があります。アダプタ電圧がバッテリー電圧を上回る場合や下回る場合があるため、2Sまたは3Sバッテリーの充電にはバックブーストコンバータが必要です。

バックブーストチャージャ(2S、3S)

2Sチャージャの一例として、MAX77962 (図6)は、Smart Power Selector内蔵、高性能広入力3.2Aバックブーストチャージャです。このデバイスは、追加のインダクタなしでリバースバックとしても動作し、USB On-the-Go (OTG)アクセサリへの給電が可能です。このデバイスは低損失のパワースイッチを内蔵し、小型ソリューションサイズ、高効率、低発熱、および急速バッテリー充電を実現します。リバースバックは真の負荷切断を備え、調整可能な出力電流制限によって保護されます。このデバイスは柔軟性に優れており、I²C設定を通じて、または抵抗の設定を通じて自律的にプログラム可能です。このデバイスを使用すれば、サーミスタモニタとJEITA準拠の充電に

よって安全な充電を実現することができます。2S動作の場合、バッテリーレギュレーション電圧は8.10V ~ 8.86Vです。このICは、49ピンWLPパッケージ(3.5mm x 3.5mm)で提供されます。

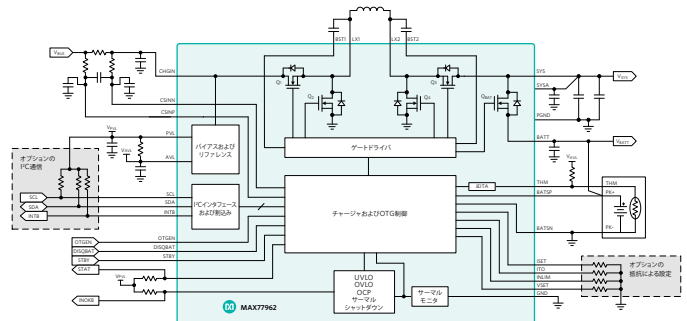


図6. バックブースト2Sチャージャ

PDコントローラの例

MAX77958 (図7)は、USB-C CC検出およびPDプロトコルを実装するための堅牢なソリューションです。このデバイスはUSB-CおよびPD 3.0仕様に準拠済みです。このデバイスはType-C CC検出およびUSB PDメッセージングを使用することによって、接続されたアクセサリや機器を検出します。このICは、過電圧、過電流、V_{BUS}およびGNDへの短絡からの保護を提供します。このICは、水分を検出してUSB Type-Cコネクタの腐食を防止します。また、このICはD+/D- USBスイッチおよびBC1.2検出を備え、旧来のUSB規格にも対応します。このデバイスは、USB PD用のV_{CONN}スイッチおよび外付けV_{CONN}ブーストまたはバックコンバータ用のイネーブル端子を内蔵しています。

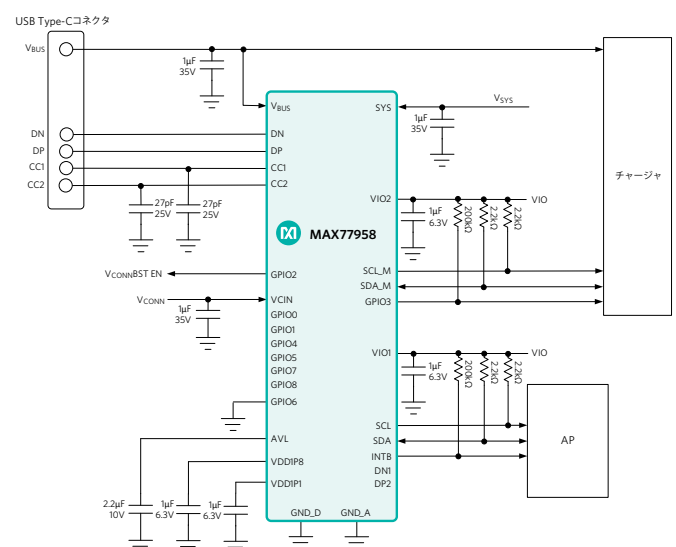


図7. PDコントローラ

このICは、アプリケーションプロセッサの支援なしで自律的にシステム内の他のデバイスに読み取り/書き込み可能なI²Cマスターを備えています。割り込み出力端子では、USB PDイベントやステータスの変化を報告することができます。アプリケーションプロセッサによって制御されるシステム向けには、MAX77958はスレーブI²Cインタフェースを備えています。このインタフェースを通じて、システムは内部レジスタの読み取り/書き込みや設定が可能です。このICは9つの設定可能なGPIOを内蔵し、外部デバイスの検出、割り込み、およびイネーブル/ディセーブル端子として、またはADC入力として使用することができます。このICは、WLPパッケージ(3.10mm x 2.65mm、0.5mmピッチ)で提供されます。

車載用デュアルUSB-C電源

USBポートは自動車に広く搭載されています。これらの機能を実装する電子モジュールは、小さなスペース内に過熱することなく収まる必要があります。デュアルポートのUSB-C専用充電ソリューション(図8)の場合、問題はさらに複雑になります。このソリューションでは、部品数およびソリューションサイズを増すことなく2つのコネクタを搭載し、より大きな電力に対応する必要があります。



図8. 最新の自動車のデュアルUSB-Cポート

図9は、デュアルUSB Type-C大電力伝送システムを示しています。自動車のバッテリーは通常、充電時には14Vで、スタート/ストップ時には6Vまで低下するため、PDの出力電圧は5V～20Vの範囲で変動する可能性があります。電圧レギュレータで出力電圧 V_{BUS} を供給するために可能な唯一の選択肢は、バックブーストコンバータを使用することです(オレンジ色のブロックを参照)。充電エミュレーションおよび保護ICは、PDコントローラ信号を取得し、それをUSB Type-Cコネクタに送ります。

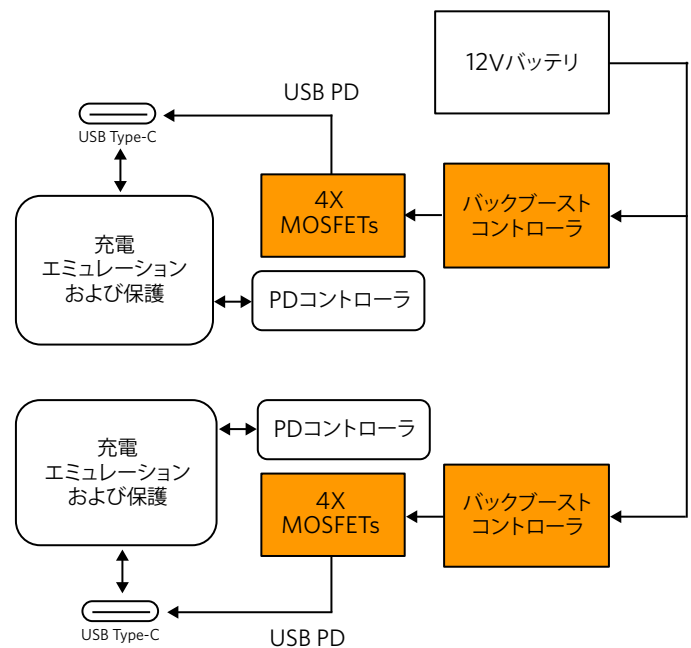


図9. バックブーストの電力伝送および保護アーキテクチャ

MAX25431は電流モードバックブーストコントローラ(図10)です。このデバイスは6V～36Vの入力電圧で動作します。スイッチング周波数は、抵抗で220kHz～2.2MHzに設定可能であり、外部クロックに同期させることができます。このデバイスは入力電圧範囲が広く、バッテリー過渡時に定出力電圧を維持することができるため、車載用アプリケーションに最適です。外部周波数をロジック入力(FSYNC)に適用することによって、このデバイスは固定周波数強制PWMモードで動作し、周波数の変動を除去するとともにEMIの抑制に寄与することが可能です。保護機能には、過負荷持続時のサイクル単位の電流制限とその後のヒカップ、入力低電圧ロックアウト(UVLO)、出力過電圧保護、サーマルシャットダウンと自動リカバリなどがあります。MAX25431は、小型の24ピンTQFN-EP SWパッケージ(4mm x 4mm)で提供されます。

この高集積バックブーストコントローラICは、低 $R_{DS(ON)}$ の外部MOSFETと組み合わせることで高効率を実現し、温度上昇を許容限度内に維持します。

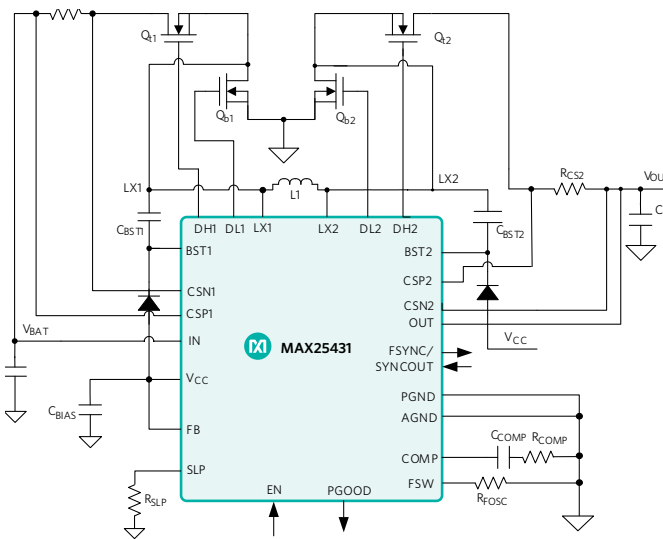


図10. バックブーストのアプリケーションダイアグラム

USB Type-C CCピン過電圧プロテクタ

USB Type-Cは、システムの保護に関して新しい課題をもたらします。新しいコネクタはUSBマイクロBコネクタよりピッチが小さいため、 V_{BUS} に対する機械的短絡のリスクが増大します。さらに、USB PDに伴う高電圧のため、より堅牢な保護が必要です。

MAX20323ファミリの過電圧プロテクタは、過電圧スレッシュホールドおよびサージ保護の為にスイッチをオフしてUSB-C CC/SBU端子の損傷を防止する機能を内蔵しています。図11は、同ファミリの7つの製品のうち3つを示しています。

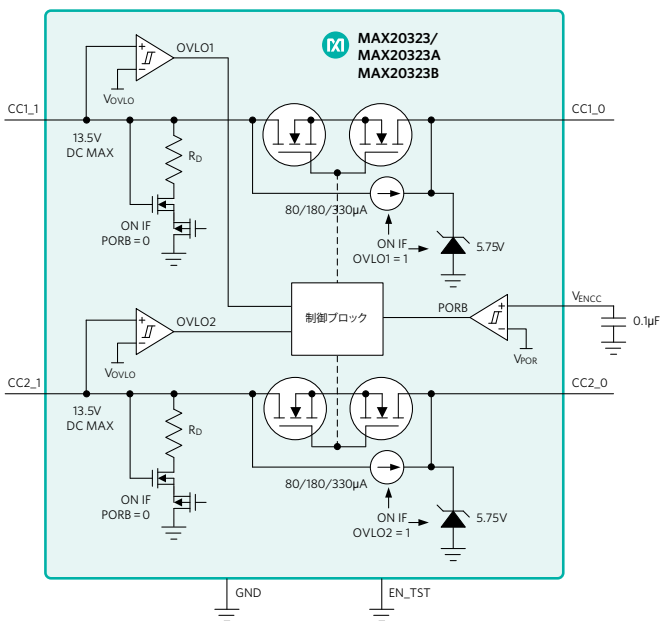


図11. USB Type-C CCピン過電圧プロテクタ

これらのデバイスは、オン抵抗 0.27Ω (typ)の2チャンネルスイッチを備え、これは入力が高電圧スレッシュホールドを下回った時にオンになります。これらのチャンネルのどちらかで過電圧スレッシュホールドを超えると、対応するスイッチがオフになり、代わりに高精度のプルアップ電流が入力(CC1_I/CC2_I)から出力(CC1_O/CC2_O)へと流れます。MAX20323A/Fはプルアップ電流機能を備えていません。これらのデバイスは、12ピンWLPパッケージ(1.7mm x 1.32mm、0.4mmピッチ)で提供されます。

PMIC

システム電源端子(たとえば、図6の V_{SYS})は、バッテリーまたは利用可能な場合は V_{BUS} からさまざまなレールに給電します。以下のセクションでは、デバイスのレールに給電するいくつかの事例について説明します。

Always-on電源(常時オン電源)

常時オンのバックコンバータは、ポータブル機器で重要な役割を果たします。通常動作時には、電源はいつでも機能を変更することが可能であり、シンク機器は再ネゴシエーションを強制される場合があります。そのため、バックコンバータは常時「オン」であることが必要です。そこで、消費電力が極めて小さくなるように常時オンのバックコンバータを選択する必要があります。

一例として、MAX77596 (図12)は、スイッチを内蔵した小型の同期整流バックコンバータです(図12のT1およびT2)。常時オンのデバイスはシャットダウンされることがないため、低自己消費電流であることが極めて重要です。MAX77596の固定出力バージョンでは、内部回路の大部分に V_{OUT} 端子からバイアスを掛けることができます(I_{BIAS})。そのため、関連する電力損失は最小限に抑えられます。

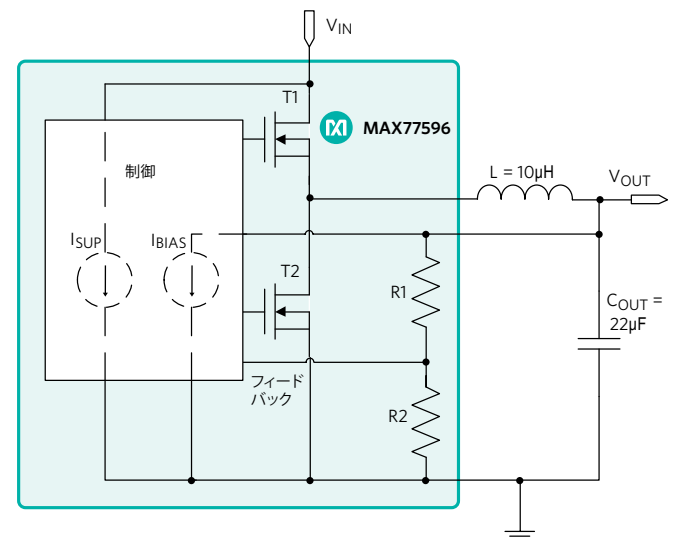


図12. MAX77596バックコンバータの固定出力

このデバイスは、3.5V ~ 24Vの入力電圧で最大300mAを供給するように設計され、無負荷時の自己消費電流は1.1 μ Aにすぎません(固定出力バージョン)。このデバイスは、98%のデューティサイクルで稼働することによってドロップアウト近くで動作可能であるため、バッテリー駆動アプリケーションに最適です。

MAX77596は、小型の10ピンTDFNパッケージ(2mm x 2.5mm)で提供されます。

バックアップ電源レール

図13は、USB PDで主電源を供給する一方、バックアップ電源がバッテリーまたは太陽電池アレイである例を示しています。この事例では、常時オンの電源を負荷に供給するために入力マルチプレクサが必要です。

MAX77756は、デュアル入力電源マルチプレクサ(MUX)を内蔵した同期整流500mAステップダウンDC-DCコンバータです。このコンバータは最小3.0Vおよび最大24Vの入力電圧で動作します。デフォルトの出力電圧は1.8V、3.3V、または5.0Vのいずれかに出荷時設定されます。出力電圧は、外付け抵抗またはI²Cシリアルインタフェースによってさらに調整可能です。

まとめ

USB Type-Cは、バッテリー駆動の受電機器を相互接続する方法を簡素化します。USB-CおよびUSB PDの実装は、USBの準拠性の達成、大電力に対応した熱管理、ソリューションサイズの小型化、安全性および信頼性向上の必要といった課題を生み出します。

- 15Wを下回るアプリケーションへの給電には、USB-C検出を内蔵したチャージャ、1SリチウムイオンバッテリーにはMAX77860およびMAX77751、2SリチウムイオンバッテリーにはMAX14748を提案しました。
- さらに大電力およびマルチセルのソリューション(2S、3A)には、MAX77962バックブーストチャージャとMAX77958 PDコントローラを提案しました。
- 過電圧およびサージ保護をCC端子とSBU端子に追加する場合は、MAX20323を提案しました。
- デュアルUSB-C車載用電源に関しては、MAX25431について説明しました。
- 最後にレギュレーションについては、スタンバイ用にMAX77596、バックアップ電源アプリケーション用にMAX77756を提案しました。

Maximが提供するチャージャ、パワーマネジメント、保護ソリューションなどのUSB-C製品ポートフォリオは、高い集積度、先進的なパッケージング、および柔軟なアーキテクチャによって、今日のUSB-Cの実装が直面する極めて重要な課題を克服します。

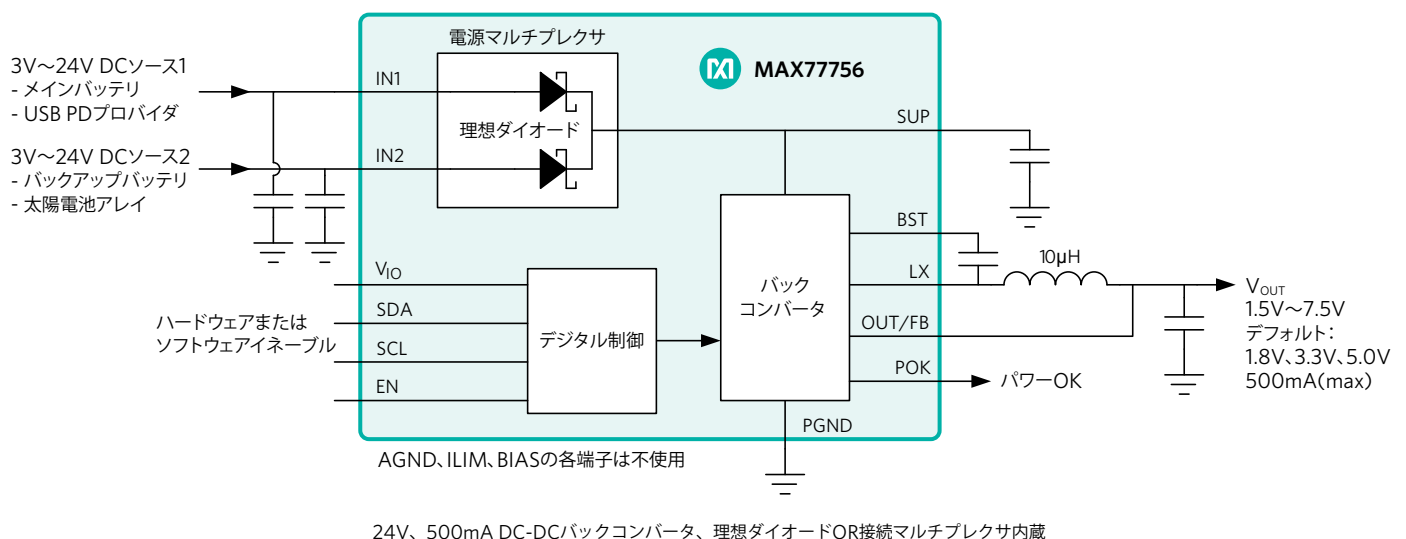


図13. デュアル入力電源マルチプレクサを内蔵したMAX77756バックレギュレータ

製品選択表

表1は、USB-C、USB Power Delivery、保護、およびPMICソリューションの製品ポートフォリオを示しています。

表1. USB-CおよびUSB Power Deliveryソリューション

製品	機能	説明
USB-C PDコントローラ		
MAX77958	PDコントローラ	USB Power Deliveryコントローラ
USB-Cチャージャ		
MAX77976	1セルバックチャージャ	19V _{IN} 、5.5A _{OUT} I ² C設定1セルバックチャージャ、FET内蔵、USB Power Delivery用
MAX77975	1セルバックチャージャ	19V _{IN} 、3.5A _{OUT} I ² C設定1セルバックチャージャ、FET内蔵、USB Power Delivery用
MAX77962	2セルバックブーストチャージャ	25V _{IN} 、3A _{OUT} 2～3セルバックブーストチャージャ、FET内蔵、USB Power Delivery用
MAX77961	2～3セルバックブーストチャージャ	25V _{IN} 、6A _{OUT} 2～3セルバックブーストチャージャ、FET内蔵、USB Power Delivery用
MAX77960	2～3セルバックブーストチャージャ	25V _{IN} 、3A _{OUT} 2～3セルバックブーストチャージャ、FET内蔵、USB Power Delivery用
MAX77860	1セルバックチャージャ、USB Type-C検出内蔵	14V _{IN} 、3.15A _{OUT} I ² C設定1セルバックチャージャ、FETおよびUSB Type-C CC検出内蔵
MAX77757	自律型チャージャ、JEITA準拠	3.15A USBType-C自律型チャージャ、JEITA準拠、1セルリチウムイオンおよびLiFePO4バッテリー用
MAX77751	1セルバックチャージャ、USB Type-C検出内蔵	14V _{IN} 、3.15A _{OUT} 抵抗設定1セルバックチャージャ、FETおよびUSB Type-C CC検出内蔵
MAX14748	チャージャおよびCC制御、I ² C設定内蔵	1.5A USB-Cブーストチャージャ、I ² C内蔵、2セルリチウムイオンバッテリー用
USB-C電源		
MAX77756	バックコンバータ	500mA、デュアル入力電源マルチプレクサ(MUX)、入力電源3.0V～24V
MAX77596	バックコンバータ	300mA、入力電源3.5V～24V、無負荷時1.1μAの自己消費電流

製品選択表

表1は、USB-C、USB Power Delivery、保護、およびPMICソリューションの製品ポートフォリオを示しています。

表1. USB-CおよびUSB Power Deliveryソリューション(続き)

製品	機能	説明
USB-C電源経路および保護		
MAX14727	保護	デュアル入力、双方向過電圧プロテクタ、自動電源経路セクタ内蔵
MAX14748	2セルブーストチャージャ、USB Type-C検出内蔵	5V _{IN} 、2A _{OUT} I ² C設定2セルブーストチャージャ、FETおよびUSB Type-C CC検出内蔵
MAX20323	保護	USB Type-C CC端子過電圧プロテクタ
MAX20328	保護	USB Type-Cオーディオアダプタアクセサリ用マルチプレクサスイッチ
MAX20333	保護	可変電流制限スイッチ、低電力モード内蔵
MAX20334	保護	過電圧およびサージ保護デュアルSPDTデータラインスイッチ
MAX25431	USB電力源	車載40V、55μA I _Q 、2.2MHz、Hブリッジバックブーストコントローラ

関連リソース

USB-Cソリューション

リファレンスデザイン

MAXREFDES179#リファレンスデザインボード

デザインソリューション

USB Type-Cバッテリーチャージャを小型化する方法

USB 3.1 Type-C給電の機器に最適なバックコンバータの選択

アプリケーションノート

モバイルUSB-C設計を簡素化する

ブログ

容易になったUSB-C用の設計

ビデオ

MAX77860を使用してUSB Type-CおよびBC1.2ポートでバッテリーを充電する方法

USB-Cの基礎

商標

USB Type-CはUSB Implementers Forum, Inc.の登録商標であり、Smart Power SelectorはMaxim Integrated Products, Inc.の商標です。

さらに詳しく

詳細については、こちらをご覧ください：

www.maximintegrated.com/jp/usbc

マキシム・ジャパン株式会社

〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-4 大崎ニューシティ 4号館20F

©2021 Maxim Integrated Products, Inc. All rights reserved. Maxim IntegratedおよびMaxim Integratedのロゴは、米国およびその他の国の管轄域におけるMaxim Integrated Products, Inc.の登録商標です。その他、記載されている会社名、製品名は各社の登録商標、または商標です。

Rev 1; March 2021

