

任意の 5V 電源から大容量バッテリーを高効率充電する、 パワー素子内蔵の I²C 制御リチウムイオン・パワー・マネジメント IC

David Simmons

携帯型電子機器の設計者は、あらゆる処理をこなすと同時に、1回の充電で無限に動作する装置を作り出すという難題を突きつけられています。この難しい要求を完全に満たすことはできませんが、バッテリーの世代が進むに従って少しずつではありますが、目標に近づいています。現在、大型で鮮明なタッチパネル式ディスプレイ、マルチコア CPU とグラフィック・プロセッサ、あらゆる場所で高速通信を行うための複数の無線モデムを誇る装置では、大容量のバッテリーが不可欠です。バッテリー・メーカーは、30 ワット時を超える容量を備えた、軽量で小型の電池により、この目標を達成しました。

USB は装置の相互接続、同期、およびデータ交換について主流の標準規格になりましたが、その電力供給能力は、バッテリー側の要求に追いついていません。USB 2.0 で対応できる負荷は最大 2.5W ですが、USB 3.0 では、限度が 4.5W に広がっています。効率が 100% ですべての電力が直接バッテリーに充電される

場合でも、USB を介して満充電に至るためには、一晩中充電しなくてはなりません。USB は大容量バッテリーのメイン電源としては適していませんが、装置がパソコンなどの USB 給電機器につながっている時にバッテリーの放電を防ぐための補助電源としては有効です。

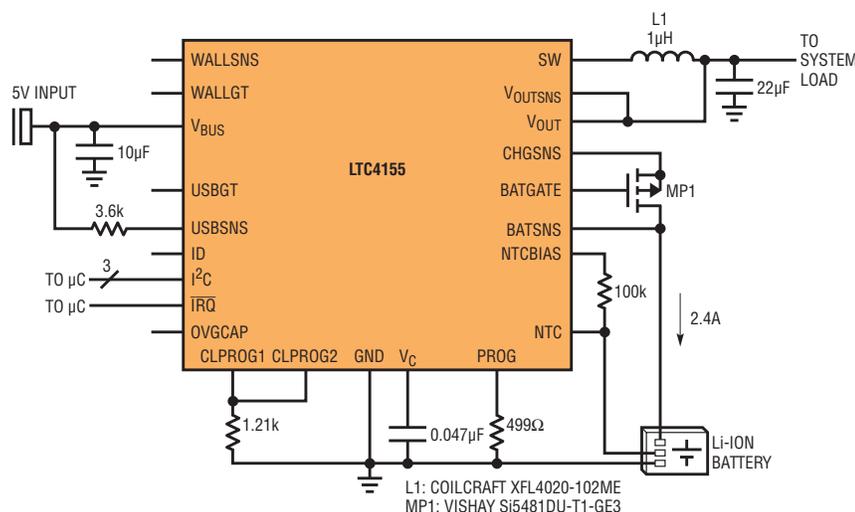
大電流充電と USB 給電の両立

LTC4155 は、小規模なプリント基板面積で 3.5A という高い電流で効率良く充電できるモノリシック・スイッチング・バッテリー・チャージャです。標準的アプリケーションに必要な部品を図 1 に示します。2.25MHz のスイッチング周波数により、小型のインダクタおよびバイパス・コンデンサを使用できるので、プリント基板の総面積を最小限に抑えることができます。

高電流を効率良く充電できるということは、入力電力の有効活用につながるだけでなく、携帯型機器の内部の電力損失を抑えることにも役立ちます。効率の悪い充電回路を用い、密閉された狭い空間で大量の電力損失が発生すると、機器を手で持つことができなくなる位に温度が上昇してしまいます。LTC4155 の内蔵パワー・スイッチは、100mΩ を十分に下回るオン抵抗特性を備えており、機器の温度を上げずに充電することが可能です。

LTC4155 のパワー・スイッチは、USB から供給可能な電流よりも多くの電流を処理できるサイズになっており、LTC4155 は、補助的な充電について USB との完全な互換性を維持します。入力電流は内部で自動的に測定され、ユーザが I²C 経由で設定可能な 16 種類の電流リミットが選べます。これらの設定値のうち 3 つは、USB 2.0 の 100mA および 500mA、USB 3.0 の 900mA という保証最大限度に対応しています。AC アダプタやその他の電源と併用した場合には、最大 3A までのその他の電流リミットを任意に選択することもできます。

図 1. I²C 制御の大電力バッテリー・チャージャ / USB パワー・マネージャ



高電流を効率良く充電できるということは、入力電力の有効活用につながるだけでなく、携帯型機器の内部の電力損失を抑えることにも役立ちます。LTC4155 の内蔵パワー・スイッチは、100mΩ を十分に下回るオン抵抗を備えており、機器の温度を上げずに充電することが可能です。

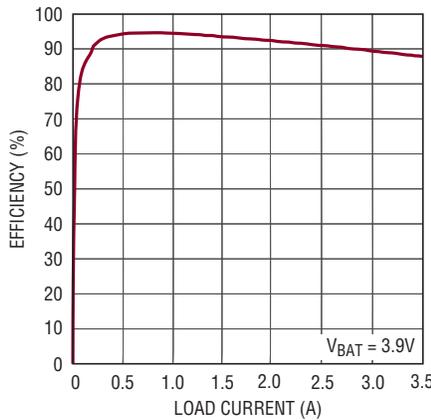


図2. スイッチング・レギュレータの効率

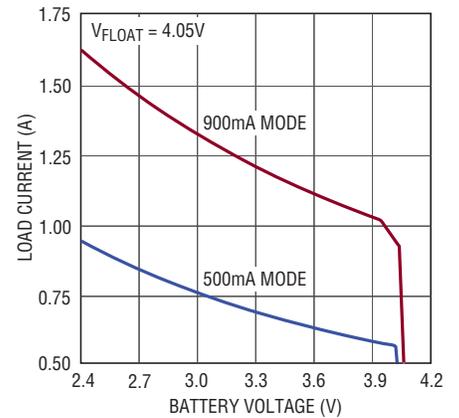


図3. バッテリーの放電前に利用可能なUSB準拠の負荷電流

LTC4155 は、ピンでプログラム可能な電源投入時のデフォルト入力電流をサポートしています。USB 互換性を必要としない大電力アプリケーションでは、CLPROG1ピンに1本の抵抗を接続することにより、デフォルトの電源投入時入力電流が設定されます。この抵抗は、特定のアプリケーション、目的の電源供給能力などに最適な初期電流制限値に対応するように選択されます。入力電流制限値は、電源投入後、I²C 制御により、3A までの16種類の設定値のいずれかに変更できます。

USB アプリケーションの場合は、CLPROG1ピンおよび CLPROG2ピンを1箇所接続することにより、USB 電流制限規則を適用するよう LTC4155 を設定できます。入力電流制限のデフォルト値は、外部電源を印加すると100mA になります。USB ホスト・コントローラによる確認が正常に完了すると、入力電流制限の設定値は、I²C 制御によって500mA または900mA に増加できます。システム負荷およびバッテリー・チャージャに供給可能な電流を図3に示します。スイッチング・レギュレータの出力電流は、USB 制限の入力電流より大きい値であることを注意してください。電源

がACアダプタ、専用のUSBチャージャ、またはUSB以外のその他の電源であることをシステムが検出すると、入力電流制限の設定値は、I²C 制御によって最大3Aのその他の設定値まで増加できます。

複数の入力間のシームレスな切り換え

LTC4155 は、オプションで2つの電源からの入力を受け付け、2つの異なる物理コネクタから製品へ高度な判別処理をして電力を供給するという課題を解決します。2つの入力電源が同時に接続されると、どちらの電源を使用するかは、ユーザがプログラム可能な優先順位に基づきます。各入力電圧が有効な動作範囲内にある限り、どちらの電圧が他方より高いかを気にする必要なく、いずれか一方を選択できます。これにより、たとえば、4.5V/2AのACアダプタを5V/500mAのUSBポートより優先させることができます。このUSB接続を取り外して、同じポートに5V/3AのACアダプタを接続すると、入力電源の優先順位はI²Cを介して変更され、より電力の大きい新しい電源に切り替わります。

LTC4155 は、その2つの電源入力のそれぞれに対して、I²Cでプログラム可能な独立した入力電流制限値をサポートしています。優先順位の高い入力電源を取り外すと、入力電流制限がより小さい新しい値に自動的に減少し、充電を途切れずに継続できます。システム・マイクロコントローラがリアルタイムに制御する必要はありません。

入力マルチプレクサの外付け部品の選択によっては、アプリケーションで必要な場合、±77Vまでの過電圧保護および逆電圧保護を容易に実現できます。さらに、LTC4155は、外付け部品を追加することなく、USB On-The-Go対応の5V電流制限付き電源をUSBコネクタに供給できます。

LTC4155 は、オプションで 2 つの電源からの入力を受け付け、2 つの異なる物理コネクタから製品へ高度な判別処理をして電力を供給するという課題を解決します。2 つの入力電源が同時に接続されると、どちらの電源を使用するか
の判断は、ユーザがプログラム可能な優先順位に基づきます。

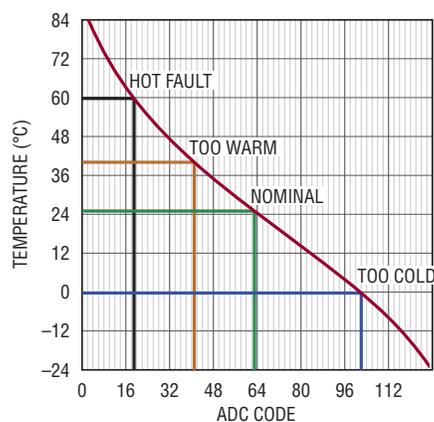


図4. LTC4155/バッテリー温度データ・コンバータの伝達関数。自律的なチャージャ遮断温度のしきい値を強調表示。

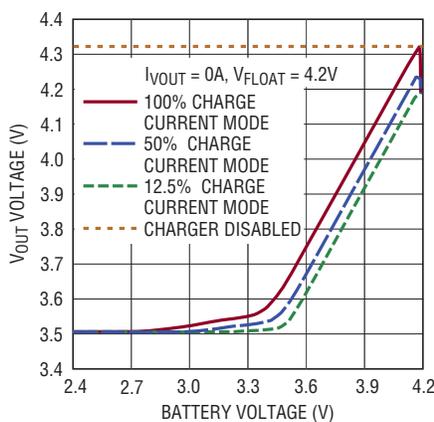


図5. V_{out} の電圧とバッテリー電圧

充電アルゴリズムのためのプログラミング性および遠隔測定

LTC4155 は、 I^2C ステータスの連続通知機能を備えているので、入力電源の状態、フォルト状態、バッテリー充電サイクルの状態、バッテリーの温度、およびその他のいくつかのパラメータをシステム・ソフトウェアによってすべて表示することができます。

重要な充電パラメータを I^2C 制御によって変更して、カスタマイズした充電アルゴリズムを実現できます。マイクロコントローラ・ベースの充電アルゴリズムやその他のプログラム可能充電アルゴリズムとは異なり、ソフトウェアの I^2C 制御によって設定できる LTC4155 の可能なすべての設定値は、バッテリーにとって本質的に安全です。4.2V より高いか、4.05V より低いフロート電圧を設定することはできません。同様に、バッテリー充電電流は、15 種類の可能な設定値のいずれかに設定できますが、バッテリー容量および最大充電速度に一致するようにプログラミング抵抗を選択することによって、設計者が設定したレベルを超える制限値をソフトウェアで設定することはできません。

バッテリー温度の連続データをシステム・ソフトウェアで読み取って、システムまたはチャージャの動作を動的に適合させ、制限値付近の極端な動作状態を管理できます。たとえば、フロート電圧または充電電流あるいはその両方を I^2C 制御によって低減し、高い周囲温度でのバッテリーの安全余裕度を増やすことができます。同様に、充電電流または全システム負荷電流は、製品筐体内部でのさらなる発熱を抑えるため、高温に対応して低減することができます。

バッテリー・チャージャのプログラミング性のその他すべての側面と同様に、LTC4155 は、ソフトウェアによる調整なしで（あるいは調整があってもそれに関係なく）本質的に安全な充電の解決策を実現します。セルの温度が 0°C より低くなるか、 40°C より高くなると、バッテリーの充電は必ず一時停止します。さらに、セルの温度が 60°C より高くなるたびに、フォルトによる割り込みを任意に発生させることができます。LTC4155 バッテリー温度データ・コンバータの伝達関数を図 4 に示します。この図

では、自律的なチャージャ遮断温度のしきい値が強調表示されています。

POWERPATH 瞬時オン動作

バッテリーに直接接続されているほとんどの従来型ポータブル機器の電源構成では、過放電のバッテリーが問題になる可能性があります。バッテリー電圧が低すぎてシステムが動作できない場合は、入力電源に接続した数分後であっても、製品が反応しないように見える場合があります。これによって、サポートデスクへの無用な電話がかけられる可能性があります。供給できる充電電流に比べてバッテリーの容量が非常に大きい場合、問題はさらに複雑になります（たとえば、大容量バッテリーを備えた USB 給電システムなど）。

LTC4155 など、リニアテクノロジーの PowerPath™ 製品は、システムの電源レールをバッテリーから切り離して瞬時オン動作を可能にし、完全に放電したバッテリーによって生じる最も厄介な 2 つの問題を解決します。

最初の問題は、システムの電源レールをバッテリーに直接接続すると、充電電流とシステム

LTC4155 は、入力電圧が許容できないレベルまで低下し始めると入力電流を自動的に低減する機能を備えています。充電電流レベルが高いと、細い線で接続された場合、小型のアダプタに接続された場合、軽度の腐食があるコネクタを介して接続された場合、または設計時には想定していなかったいくつかの条件が重なった場合に、入力電圧が下がってしまうことがあります。

負荷が区別できなくなることです。バッテリーが完全に放電している場合、セルの電圧がより安全なレベルに達するまで、初期の充電電流を大幅に減らすようバッテリー・メーカーは推奨しています。このトリクル充電電流は、システムの負荷電流が最小か流れないと仮定して、バッテリーの安全レベルに設定する必要があります。

第2に、直接接続のバッテリー・システムでは、トリクル充電中にシステムが動作している場合、バッテリーに流す予定の充電電流のかかなりの部分がシステム・レールに分流することです。その結果、バッテリーの充電電流が減少し、それに比例して回復時間が長くなります。システム負荷が相当に大きい場合は、正味のバッテリー電流が逆方向に流れるので、バッテリーをさらに放電します。この低電圧バッテリー状態の期間中、携帯型システムの電源レールの電圧が不十分なので、システムはユーザに回答できない場合があります。バッテリーとシステム電源レールは共通接続されており、ここに供給される電力が減るので、無応答の期間は10倍以上長くなります。

LTC4155 は、バッテリーが完全に放電されている場合、システムのレールに 3.5V を供給して、瞬時の起動を可能にします。充電前の段階でバッテリー電圧が上昇すると、LTC4155 は、継ぎ目なく自動的に高効率モードに移行して、充電速度を上げ、熱産生を最小限に抑えます。システム電源レールに供給可能な電圧をバッテリー電圧の関数として図5に示します。

LTC4155 のバッテリー充電電流は、バッテリー充電電流の制約を入力電力の制約から切り離すために、入力電流制限値とは無関係に設定されます。入力電流制限値は、入力電源の制限事項のみに基づいて設定できます。同様に、バッテリー充電電流は、バッテリー容量のみに基づいて設定できます。LTC4155 は入力電流制限を常々実施し、必要に応じて、バッテリーの充電よりもシステム負荷への電力供給を優先させます。

理想的ではない電源であっても堅牢

LTC4155 は、入力電圧が許容できないレベルまで低下し始めると入力電流を自動的に低減する機能を備えています。充電電流レベルが高いと、細い線で接続された場合、小型のアダプタに接続された場合、軽度の腐食があるコネクタを介して接続された場合、または設計時には想定していなかったいくつかの条件が重なった場合に、入力電圧が下がってしまうことがあります。

ユーザが介入しない場合、IC への入力電圧は降下し続け、最終的には低電圧ロックアウトしきい値より低くなります。IC はその後シャットダウンし、入力電圧を回復させてサイクル全体を再開できるようになります。LTC4155 は、悪い状況の中で最善を尽くします。入力電圧が 4.3V まで低下すると、LTC4155 は、入力電圧がさらに減衰するのを防ぐために必要な大きさだけ入力電力をスムーズに低減します。このモードでは、システム負荷およびバッテリーに供給される電流は設定値より少なくなります。このモードでは、システム負荷およびバッテリーに供給される電流は設定値より少なくなりますが、入力電圧が低電圧ロックアウトと回復をくり返した場合よりも多くなります。さらに、LTC4155 は、I²C ステータス・レポートおよびオプションの割り込み信号を発生して、最大限の充電電流供給機能を復元するために、エンド・ユーザが是正または診断することが必要であることをシステムに通知します。

まとめ

LTC4155 は、高い電流供給能力と高い効率を兼ね備えたモノリシック IC で、プリント基板の占有面積が小さい大容量のリチウム・バッテリーで動作する携帯型機器に最適です。こうした機器では、基板スペースに余裕がなく、発熱や充電時間が敵となります。USB 互換の入力電流制限設定値により、汎用性がさらに拡張され、広く普及しているが比較的低出力の電源から補助的な充電が可能です。広範な遠隔測定により、自律的なバッテリーの安全性を損なうことなく、充電環境やアプリケーションの条件に基づいて、カスタム動作が可能です。完全に放電したバッテリーや細い抵抗性の入力電源ケーブルなど、よくある問題に面した場合でも、連続した電力がシステム・レールに供給されます。LTC4155 は、4mm × 5mm の 28ピン QFN パッケージで供給されます。■