

Application Brief

バッテリー充電アプリケーションにおける LLC 共振コントローラ: 広い出力電圧範囲にわたって高効率を達成



Gowthamraja RM

電動工具、車載、産業用充電器をはじめとする充電技術の最近の進歩により、すべての負荷レベルで一貫した効率と高い電力密度を備えた、ますますコンパクトな設計が可能になっています。これらの設計は、要求の厳しい環境でも堅牢なパフォーマンスを発揮できるように設計されており、大きな温度変動や長期間の使用にも耐えることができます。

ハーフブリッジ LLC トポロジは、1.3kW 未満の電力範囲の充電設計に実用的な構成として適しています。この電力レベルを超えると、設計者は通常、導通損失を最小限に抑えて効率を高めるために、フルブリッジ LLC およびフェーズシフトフルブリッジ (PSFB) トポロジに移行します。UCC25661x は、前世代や従来の PWM コントローラと比較して、優れたレギュレーションと統合された保護機能を提供する TI の最新 LLC コントローラです。

UCC25661x は、最大 750kHz の共振が可能な機能などの特徴を備えた TI の最新のディスクリート LLC コントローラであり、これにより小型フォームファクタと大電力密度が実現します。低負荷時に 2 つのバーストモードを実装することで、可聴ノイズを排除しながら、高い待機効率を実現します。入力電力比例制御 (IPPC) 機構は、充電アプリケーションで使用される際、デバイスに大きな違いをもたらします。電荷制御やハイブリッドヒステリシス制御などの従来の制御機構とは異なり、IPPC は LLC コンバータ設計において、より優れた広い入力電圧 (V_{in}) および広い出力電圧 (V_{out}) 動作を可能にします。この広い V_{in}/V_{out} 動作が可能なのは、簡単に言うと、コントローラがレギュレーション中に入力電流や周波数ではなく、入力電力を監視しているためです。これらの利点については、以下で詳しく説明します。

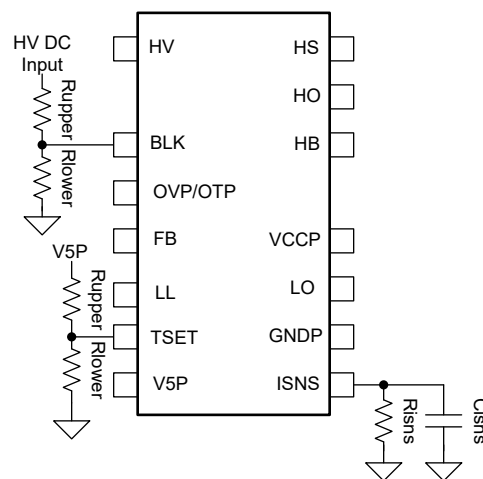


図 1. IPPC ピン固有の接続

UCC25661x の IPPC 支援機能により、バッテリー充電アプリケーションにとって実用的なデバイスとなっています。IPPC には、以下のピンが関連付けられています。

1. **FB ピン:** FBReplica は FB ピンから供給される電流に依存し、広い V_{out} を可能にします。
2. **ISNS ピン:** このピンは、共振タンクに直接接続され、回路にサイクルごとの過電流保護 (OCP) を提供するために使用されます。このピンは、電圧係数抵抗 (VCR) シンセサイザを使用して、内部の共振コンデンサ電圧を生成します。
3. **BLK ピン:** このピンは、コントローラのゲインを決定するために使用されます。さらに、このピンはブラウンイン/ブラウンアウト (BI/BO) のスレッシュホールド設定として機能し、コントローラのオン/オフを切り替えるために使用されます。

4. TSET ピン:このピンは、コントローラの最小動作周波数を設定し、コントローラの積分器時定数を設定するために使用されます。異なる TSET オプションによって、異なる最小周波数が設定されます。

表 1. バッテリ充電アプリケーションにおける IPPC の利点

特長	システムの利点	システムへの影響
内部 VCR シンセサイザ	VCR 信号は、ISNS ピンから検出された信号にフィードフォワード ゲインを伴う補償ランプを加算することにより、内部で合成されます。これにより、外部の VCR タイミング コンデンサが不要になります。	2 つの VCR コンデンサを削減することにより、システムレベルの設計における BoM を削減します
広い入力電圧能力	ここでのフィードバック信号は出力電力に比例するため、 V_{in} や F_{sw} が変動しても FB 信号の変動は少なくなります。	低リップルを維持しながら、入力電圧範囲全体で高い効率を達成します
ハードスイッチングなし	V_{TL} と V_{TH} の FET ターンオフ時間 (適応型デッドタイム) は、FB ピンの前のサイクルの出力によって決定され、ハードスイッチングを防ぐことができます。	優れた熱特性を維持しながら、負荷範囲全体で高い効率を達成します
OLP トリガ ポイントの変動が最小限	OLP トリガ ポイントは、一定の電力レベルを維持しながら、出力電圧の変化に対してほぼ一定に維持されます	保護機能が強化され、電力の急激な上昇を防ぎます
望ましくないバースト モード動作を防止できます	バッテリー電圧が低い場合でも、IPPC によりコントローラが異常なバースト モードに入ることはありません。IPPC は制御電圧に対するスイッチング周波数の影響を排除するため、バッテリー電圧がコントローラの動作周波数を決定することはなく、その逆も同様です。	バッテリー充電時間の短縮と効率の向上を実現
ブリバイアス起動	起動時にバッテリーにすでに負荷がある場合でも、コントローラやバッテリーを保護するための外部回路は必要ありません。通常、起動時にある程度の負荷がすでに存在している場合、AC/DC PSU はハードスイッチング状態になり損失が大きくなりますが、UCC25661x はこのモードの切り替えと損失を防ぎます。	ハードスイッチングを排除し、損失を最小限に抑えます

通常、バッテリー充電を行うお客様は、閉ループ DC/DC トポロジのフィードバックを備えた定電流・定電圧 (CC-CV) ループを実装します。この実装により、複数のセル組み合わせ (例: 6S および 12S バッテリパック) に対して、高効率、安全性、およびセル バランスが提供されます。このシステムは、バッテリー負荷抵抗に応じて CC モードまたは CV モードで動作します。

1. CC モード: CC 動作モードでは、バッテリー電圧が低い値から所望の最大電圧値まで徐々に上昇します。バッテリーの充電電流値は一定です。
2. CV モード: CV 動作モードでは、バッテリー電圧は所望の値で一定ですが、電流はゼロ近くまで劇的に低下します。したがって、充電電力も低い値に減少します。
3. トリクル充電: バッテリーの自己放電を防ぐため、システムは小さなバースト充電パケットで約 0A の電流を供給します。この現象は、システムが負荷抵抗のわずかな低下を検出したときに発生します。

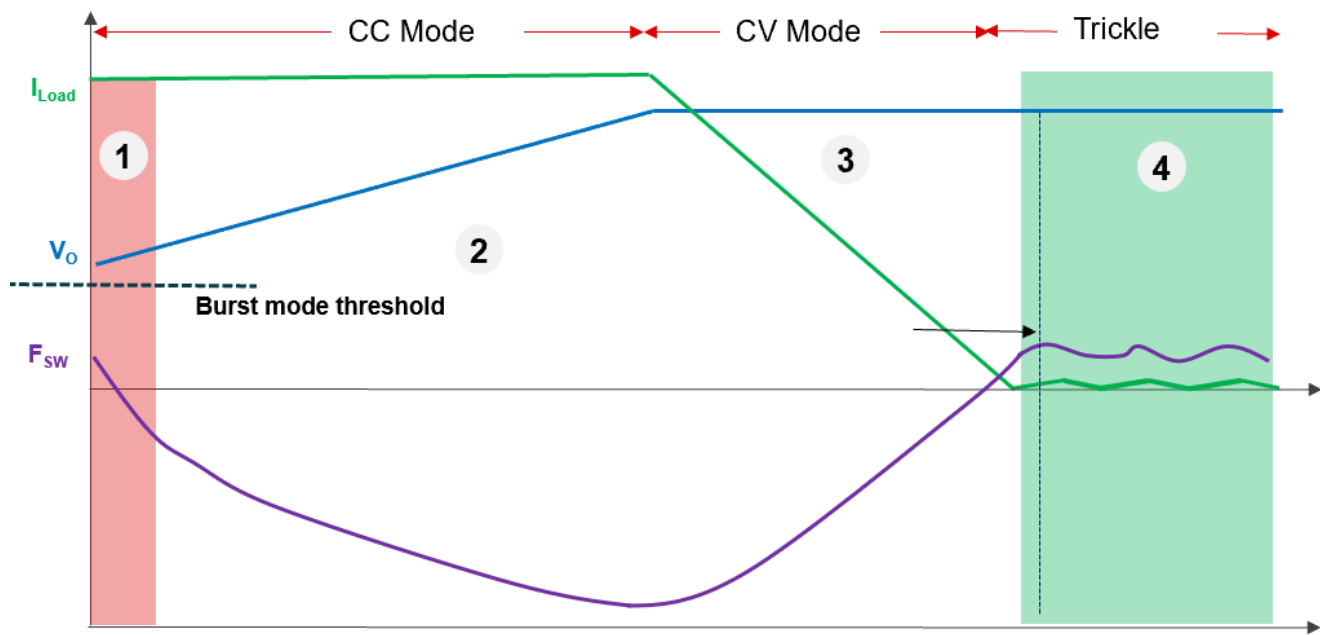


図 2. CC/CV ループ設定でのさまざまな動作領域

図 2 に、各種の動作モードにおける V_O 、負荷電流、スイッチング周波数の変動を示します。

- 領域 1: バッテリ電圧が非常に低い状態です。従来の LLC 制御はバーストモードで動作しますが、IPPC はコントローラが意図しないバーストモード動作に入るのを防ぎます。また、この領域ではスイッチング周波数も高くなります。
- 領域 2: バッテリ電圧が所望の値に達するまでピーク電流が供給されます。定電流モードでは、生成される電力も高く、スイッチング周波数は徐々に低下します。ここでバッテリ電圧が非常に低い場合 (領域 1 を出た直後など)、従来の LLC コントローラベースの設計では依然としてバーストモードで動作する可能性があり、バッテリ充電電流に巨大なリップルを引き起こし、意図しない可聴ノイズを発生させます。
- 領域 3: この期間中、電流は徐々にゼロに近い値まで減少します。供給される電力も徐々に減少するため、定電圧モードではスイッチング周波数が上昇します。
- 領域 4: バッテリを満充電状態に維持するためにトリクル充電が行われます。コントローラはバッテリの放電を避けるために小さなバースト充電を生成します。

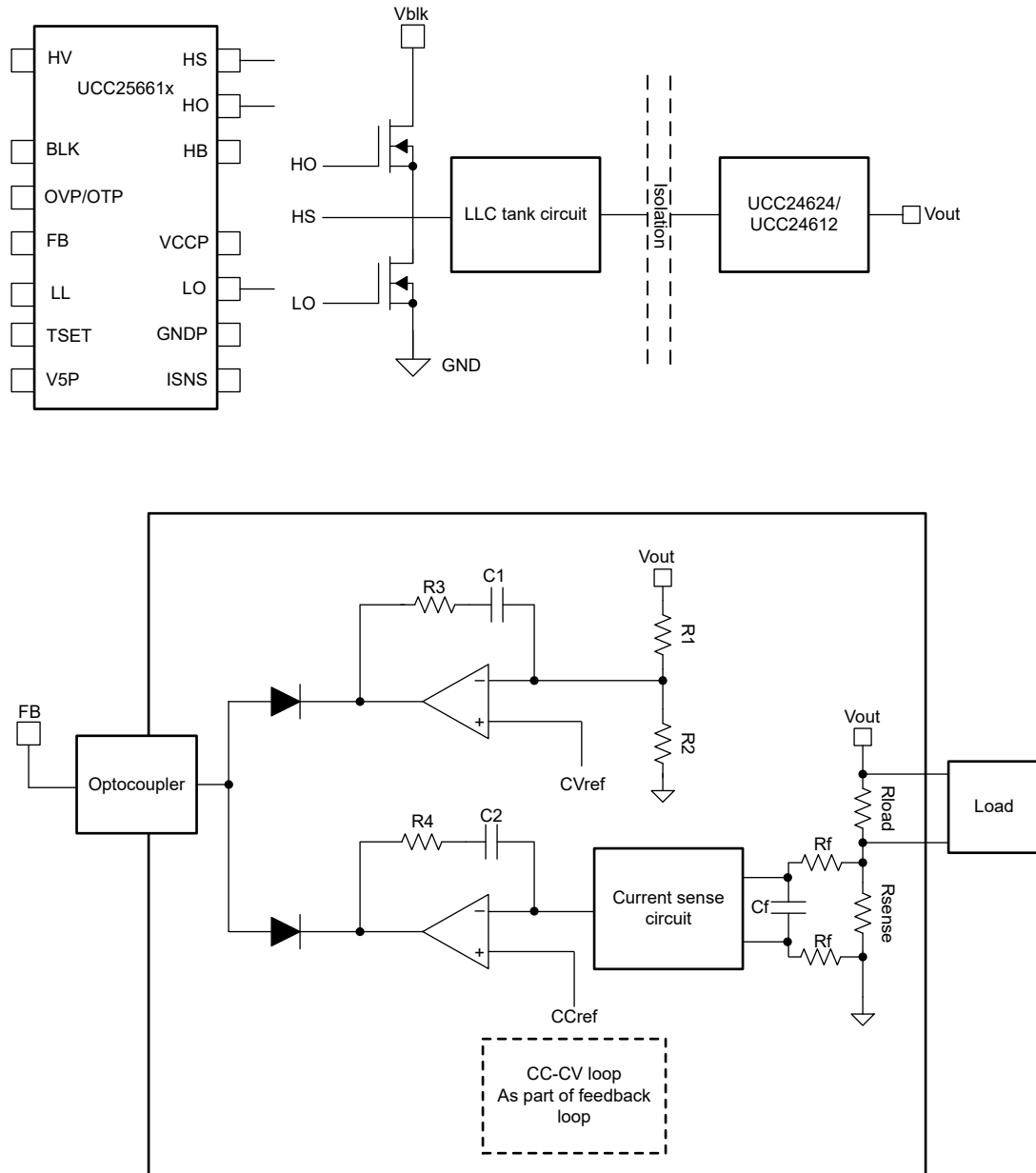


図 3. UCC25661x を使用した代表的な CC-CV ループの実装

図 3 のブロック図は、CC-CV 基準ループ内で UCC25661x をどのように設計するかを示しています。2 つの基準値である CC_{ref} と CV_{ref} は、式 1 および 式 2 に従い、分圧抵抗器を介して 5V 入力から設定されます。ここで H は電流アンプのゲインを表します。

$$CC_{ref} = \left(\frac{V_{out}}{R_{load}} \right) \times R_{sense} \times H \quad (1)$$

$$CV_{ref} = \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right) \times V_{out} \quad (2)$$

この基準点によって、バッテリー充電器が電流制御と電圧制御のどちらで動作するかが決定されます。バッテリー充電器の場合、出力抵抗の増加に伴って出力電圧が上昇するため、必要な電圧ゲインが確実に満たされているかを確認する必要があります。したがって、 V_{out} (最大、最小、標準値) の範囲を検討して、LLC のゲインを Mg 曲線に適合させます。UCC25661x は広い V_{out} 範囲を持っているため、 V_{out} の変動に対してゲイン曲線に十分なマージンを確保することが

できます。Vout の値や共振タンクのパラメータを入力することで、[UCC25661x 設計計算ツール](#)を利用し、これらの値に対するゲイン曲線を確認・検証できます。

結論として、テキサス インストルメンツの **UCC25661x** はバッテリー充電技術において重要な進歩をもたらし、要求の厳しいアプリケーション向けに独自に最適化および合理化された設計を提供します。このコントローラは、**IPPC** 機構と広い入力 / 出力電圧動作範囲を活用することで、**CC-CV** 充電ループの設計と実装を根本から簡素化します。複雑なチューニングや最適化を必要とすることが多い従来の **LLC** 共振コントローラとは異なり、**UCC25661x** は本質的に電力伝送効率を最大化し、幅広い入力電圧および負荷条件にわたって厳密な電圧レギュレーションを維持します。設計ガイドラインと特定用途向けの推奨事項の詳細については、テキサス インストルメンツの **Web** サイトで入手できる [UCC25661x のデータシート](#)および関連するアプリケーション ノートを参照してください。

商標

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、

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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月