

Technical Article

自動車設計者が **LLC** トポロジを採用すると、電力密度と信頼性を向上させることができます

アンドリュー・プラマー



車載電源の設計者は、フォーム ファクタや効率などの仕様を満たすに加えて、ISO (国際標準化機構) 26262 が定義した車載セーフティインテグリティレベルの各種規格に適合するトポロジとコントローラを選択する必要があります。従来、設計者は、ハーフブリッジトポロジを構成したシンプルなアナログ PWM (パルス幅変調) コントローラを使用してきました。ただし、高度な保護機能や高効率を必要とするシステムでは、PWM コントローラでは不十分な可能性があります。

最新のハイブリッド車/電気自動車 (EV) は、航続距離と安全性を最大化するために、電力密度の向上、軽負荷性能、信頼性の向上を必要とします。そのため設計者は補助、冗長、分散型、ゾーン モジュールなどのパワートレイン システムに適した新しいアーキテクチャを検討することになります。排出量を削減するために、二輪車、ゴルフ カート、フォークリフト、さらには芝刈り機のメーカー各社は、高電圧のバッテリー パック、電動化モデル、充電インフラへの投資を進めています。軽量電気自動車 (LEV) の設計者が必要としている製品は、コストや信頼性を犠牲にせずに高い電力密度を達成できる製品です。

LLC (インダクタ-インダクタ-コンデンサ) の各トポロジは、PWM コントローラをベースとするハーフブリッジコンバータに比べて、固有共振とゼロ電圧スイッチング (ZVS) に起因する効率と電磁適合性 (EMC) を改善できます。ただし、スタンバイ時電力の最小化や可聴ノイズの低減など LLC トポロジには利点がありますが、動作入力電圧範囲が限定されているため、EV メーカーは LLC トポロジの使用をためらっていました。車載用 DC/DC コンバータは、コールド クランク、過渡電圧、クラッシュに関連する事象が発生したときに性能を維持するために、広い入力電圧範囲、出力電圧範囲、またはその両方をサポートする必要があります。

UCC25661(Q1) など LLC コントローラの技術革新により、車載および EV 充電アプリケーションにおいて LLC トポロジの新しい使用事例が可能になりました。EV では LLC 方式を冗長電源、補助電源、ゾーン モジュール、キーオフ電源に使用できます。LEV の場合、LLC トポロジをオンボード DC/DC コンバータまたはオフボード チャージャ/アダプタに使用できます。これらのアプリケーションの関係で、車両の航続距離を最大化してコストを削減するためには、特にのゾーンモジュールに示すように、複数の LLC コンバータが車両全体に分散されている場合、高効率と最小サイズが必要図 1 です。

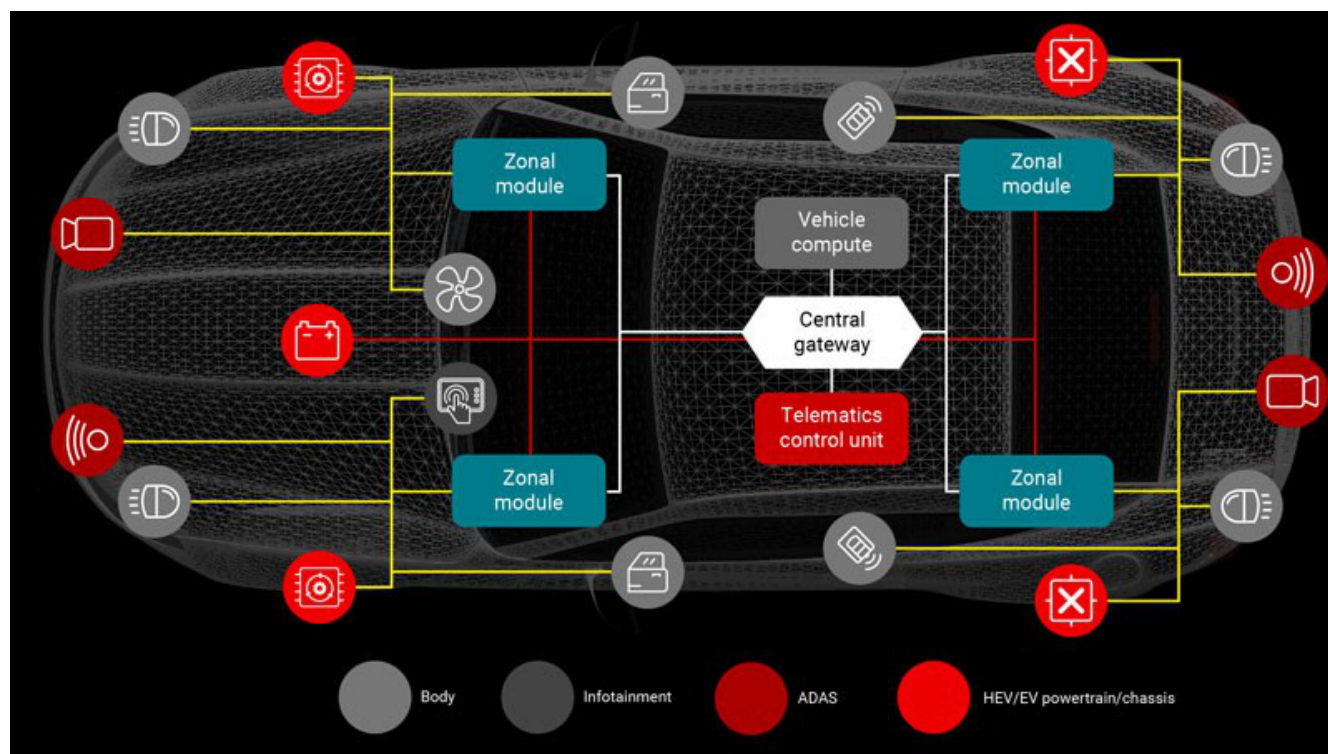


図 1. ゾーン アーキテクチャ

LLC トポロジを活用して、車載システムで電力密度の向上を実現

通常、磁気部品は絶縁型電源のサイズと重量を支配しています。このサイズはスイッチング周波数に反比例するので、固定出力電力で、スイッチング サイクルごとに蓄積または供給する必要のあるエネルギーの量が少なくて済みます。

UCC25661-Q1 LLC コントローラには 750kHz の共振周波数があるため、磁気部品のサイズと重量の両方を縮小し、コストを削減して信頼性を向上させるのに役立ちます。多くの LLC コンバータを車両全体に分散することで、磁気部品の小型化と軽量化がメリットをもたらします。

PWM コントローラは高周波での動作をサポートすることもあります。スイッチングがハードであるという事実は、かさばる EMI フィルタを使用せずに CISPR (国際無線障害特別委員会) 25 で規定されているような EMI 制限に適合するという課題に直面する可能性があります。LLC コントローラは、電力段に共振タンクがあるため、本質的にソフト スwitching です。そのため、LLC トポロジでは、ハード スwitching ハーフ ブリッジトポロジよりも、伝導型 EMI が少なく、スイッチング損失も少なくなります。

図 2 に、ハード スイッチングとソフト スイッチング (ZVS) の違いを示します。

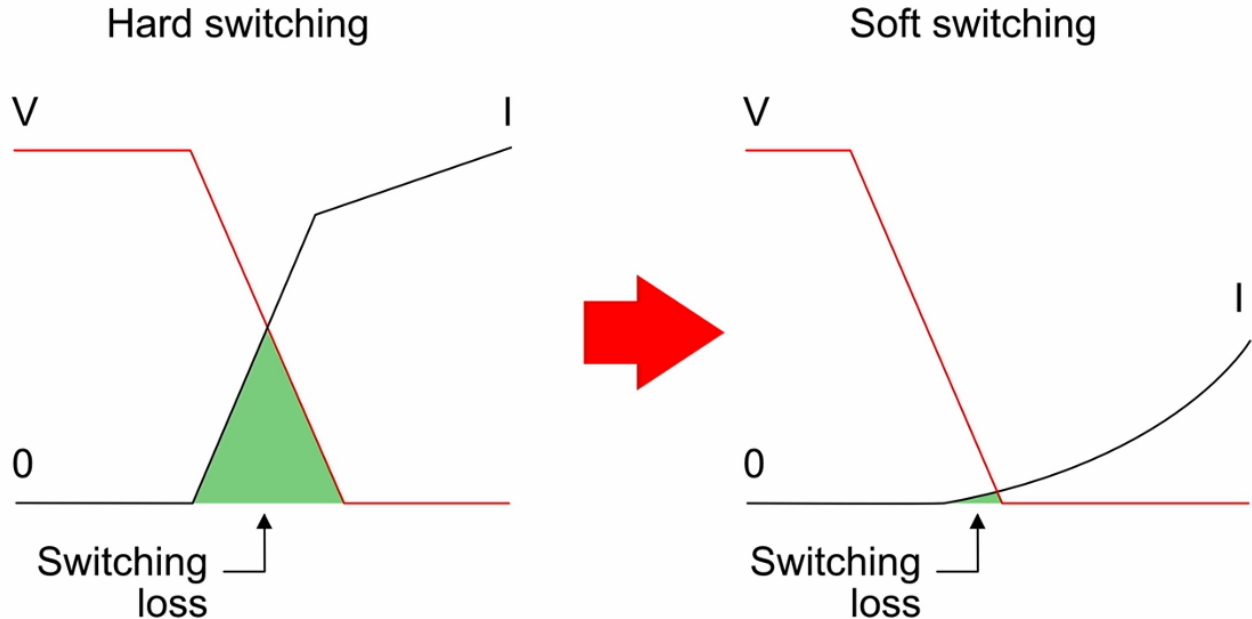


図 2. ハーフブリッジ PWM コントローラと LLC コントローラのスイッチング イベントの波形例

IPPC による新しいユースケースのロックを解除します

UCC25661-Q1 LLC コントローラは、テキサス・インスツルメンツの入力電力比例制御 (IPPC) を内蔵しているため、バッテリー充電 (軽 EV アダプタ、充電ステーション、補助電源) など、出力電圧の広いアプリケーションをサポートできます。また、IPPC は、EV のバッテリー駆動 DC/DC システムで、入力電圧範囲の広いアプリケーションもサポートします。LEV は 12V ~ 36V の低電圧バッテリーパックから、48V などの高電圧や 96V 以上への移行を進めており、航続距離の最大化を図っています。

出力電圧範囲の広いサポートにより、バッテリー電圧が低下したときにバースト モードに移行しない LLC コンバータを設計し、バッテリー寿命を保護することができます。IPPC は、バーストモードの性能安定性をチューニングする際の開発時間も短縮します。UCC25661-Q1 の IPPC は、コントローラが電力を供給するために使用するスイッチング周波数を大幅に引き下げることにより、LLC 制御規則の従来の制限を上回ります。この除去により、エンジニアはオン車両とオフ車両の両方で、バッテリー アプリケーションで不要な過負荷保護を回避できます。

IPPC は、過負荷電力制限をトリガーすることなく、力率補正が無効になっている場合に電力をより効率的に供給するのにも役立ちます。混合バースト モードでは、可聴ノイズを最小限に抑えるだけでなく、軽負荷および無負荷時の性能も向上し、バッテリーの消耗を防止する上で重要です。

UCC25661-Q1 は、プリバイアス起動、ソフトスタート、容量性領域回避などの強力な保護機能を備えているため、いずれも信頼性の高い電源設計を実現できます。

各種機能を内蔵しており、電源ユニットを簡素化し、保護します

UCC25661-Q1 の自己適応型ソフトスタート機能は、電源電圧を安定させ、低速での上昇を可能にします。これにより、VDD ピンに接続されたコンデンサが起動前に完全に充電され、過剰な突入電流から電源を保護できます。

負荷条件に応じて、LLC コントローラを使用するパワー コンバータは、容量性領域または共振領域で動作する場合があります。容量性領域で動作する場合、電力段に致命的な損傷を引き起こす可能性があります。ほとんどの LLC コントローラは容量性領域での動作を検出した後に動作を停止できますが、UCC25661-Q1 には容量性領域を回避して、ゲートドライブの終了を回避し、損傷を防止できます。

まとめ

EV は、LLC トポロジーのような絶縁型電源トポロジの進歩や、次世代アーキテクチャを実現する DC/DC コンバータを定義する IPPC (Intellectual Property) のような制御方法論に依存しています。UCC25661-Q1 LLC コントローラをベースとする絶縁型 DC/DC コンバータは、性能を維持しながら、従来と同じまたはより小型のフォーム ファクタで、より多くの電力効率を供給できます。

その他の資料

- 次のアプリケーション ノートをご覧ください。
 - [UCC25661x-Q1 ファミリ 軽負荷時の効率が最適化され、VIN/VOUT 範囲が広い 750kHz LLC コントローラのデータシート](#)。
 - [UCC25661x セレクション ガイド](#)。
- 次のリファレンス デザインをご確認ください。
 - [ユニバーサル入力、500W、CC/CV \(定電流 / 定電圧\)、電動自転車向けチャージャのリファレンス デザイン](#)。
 - [750W オフボード チャージャ、Light Electric Two-Wheeler リファレンス デザイン用](#)。

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

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated